

生態系維持基盤としての流域特性と水循環特性
に関する研究

—スギ・ヒノキ放置林伐採前後における比較—

2006年

佐倉 保夫
千葉大学理学部地球科学科 教授

目 次

A. 研究調査篇

I 総論

第一章 研究の概要	1-1
第二章 従来の研究	2-1
第三章 研究の背景	3-1

II 研究地域

第四章 地質と地形	4-1
第五章 土層の物理特性	5-1

III 水文観測

第六章 降雨	6-1
第七章 蒸発	7-1
第八章 土壌水	8-1
第九章 流出	9-1
第十章 水質	10-1

IV 生態調査

第十一章 植生	11-1
第十二章 底生動物群集	12-1
第十三章 昆虫	13-1
第十四章 樽の動物	14-1

V 総合的考察

第十五章 水循環の変化とその影響に関する総合的考察（その一）	15-1
水循環の変化とその影響に関する総合的考察（その二）	15-8

B. 地域連携資料篇

第十六章 樽沢の変遷と水文環境変化	16-1
第十七章 東京都の水事情	17-1

C. 全体のまとめ

第十八章 全体の総括	18-1
------------	------

第1章 研究の概要

(佐倉 保夫)

1-1 はじめに

1950年代後半から始まる高度経済成長により、玉川上水をはじめ、多摩流域の中小河川の水環境にも大きく及び、流域の正常な水循環は阻害されていった。そして、それに起因するビオトープの衰退は、さらなる人間の介入により、生物的要素、種数、個体数の減少などの現象として、拍車がかけてきたといえる。現在、人の社会システムを持続性のある社会に近づける視座をえることが急務となっている。その持続性は循環によって支えられ、その循環は水の運動と生物の多様性によって支えられている。このような観点から行われてきた学際的な研究は殆どない。そこで、本研究は典型的なスギ・ヒノキの密集放置人工林流域を選び、水分、土壌、地質、地形、水質等の生態系の基盤、及び植生、動物、微生物から構成される共存体の時空間分布を明らかにし、更に森林伐採による攪乱に対する生態系の反応、変化する水循環に対応する生態系の維持のメカニズムを解明し、望ましい循環系の回復のための基礎的な知見を得ることにねらいを定めた。

1-2 研究計画

当初の計画は、以下の通りである。

(1) 調査・試験研究の計画

本研究は、長期野外調査区を設けて、自然生態系の総合的理解を目指している。時空間ユニットとしては森林流域を考え、水文連続定点観測と流域内の生態要素調査と平行にして実施している。具体的にあきる野市五日市の上樽沢及び下樽沢地区の森林等において水循環に関する観測施設を設置し、生態系調査と共に、観測を続ける。

(2) 調査・試験研究の実施状況

定点観測としては、現在、溪流の水量観測施設(3か所)、林内雨観測(4か所)、樹幹流(4か所)、林外雨量観測(2か所)、土壌水分観測(TDR連続自記計測:1か所、テンシオメータ目視観測:12か所)、地下水位観測(1か所)に各測器を設置し計測を行っている。それに基づいて、山間部の水収支計算を行う。一方、土壌採水装置などを利用し、水質調査(雨、溪流、地下水)から流域の物質循環特性を把握する。

さらに、流域内の生態系基盤要素としての地形、土壌、地質調査及び動植物などの時空間分布に関する調査を行った。

2003年度には、2002年度に引き続き、流域一部の森林を伐採し、比較流域を設置している。調査項目は2002年度と同様である。水収支、物質収支、動植物の時空間変化などから、森林伐採による生態系の変化前兆を把握し、その後の継続研究のための布石とする。具体的には、各堰で計測している流量の変化、表流水の水質変化、各流域での土壌水分の変化、深度別土壌水の水質変化などを計測している。従って、2001年度の観測開始前に行われた伐採と2003年度に行われた一部の伐採に伴う、流量、水収支さらには物質収支と物質輸送の変化などへの影響が検討できるものと期待される。

更には、上述の水文環境変化に伴う植生や小動物など生態系の変化、森林伐採後の植生回復過程などが明らかになる予定である。

2004年度は、2003年度後半分の助成金をあてて、1年間の研究延長をおこなった。その理由は以下の通りである。

1) 伐採費及び伐採保障費が不要になったため。

2) 当初の研究計画とは一致しないが、実際には伐採は進行した。伐採後1年は、特に流量の減少傾向が期待できるため、流量、土壌水分、土壌水の水質、植生などの変化を確認した。2003年度で研究を終了すると、伐採後の効果の確認ができない。

3) 2004年度には、雑木の植林、伐採跡地の整理と、各種調査の継続に費用を当てた。

2004年度には以下のことが行われた。

1) 1.8haの新規伐採で前年度と合わせて樽流域約7ha中の半分の伐採

2) 各種観測装置による継続水文観測、植生、昆虫、水生植物の観察

3) 報告書の作成

2005 年度以降では以下のことが予定されている。

1) 伐採効果の各種観測

2004 年度で一応の観測解析結果は得られたが、基本的な河川流量などの記録は、助成金のあるなしに関わらず、その後の変化を見守るため継続した観測を計画している。

第2章 従来の研究

(佐倉 保夫・唐 常源)

2-1 はじめに

森林の保全は、長い人類の歴史からみると、ごく最近になってその重要性が認識されるようになって来た。人間の活動は、森林破壊から始まる。世界中の多くの地域では、活動に伴って森林を、農耕地、牧草地、市街地などへ変えてきた。近年の気温の変動を地下の孔内温度の変化から推定する研究では、世界中の各地で、鉱山開発、農耕地の拡大、市街地の拡大、都市化などにより森林が伐採され、その面積が縮小することから、直射日光が地表面へ到達し、さらには人工熱により、地下の温度が上昇していることが報じられている(佐倉、2000)。近年の人間活動による森林伐採が、水循環にも大きな変化をもたらしていることが考えられる。

まず、Vazken Andreassian(2004)の研究から、水と森林の歴史的な論点を概観してみる。

Pliny the Elder が「水循環における森林の役割」を紀元最初の世紀に注目した。森林を伐採すると湧水が出現し、洪水が生じる。また中世では、コロンブスがアゾレス諸島とカナリー諸島における降水量の差に着目し、それは西インド諸島の森林破壊が原因しているという仮説を持っていた。そのほか、フランス革命の10年後、森林が荒廃し、斜面は裸地化し、壊滅的な洪水が生じたことが知られている。

さらに、Boussingault(1837)は、南米のペルーとボリビア滞在から、森林破壊は湖水位の低下をもたらすと考えた。それらの知見に基づき次の結論を得た。1) 伐採は表流水の減少をもたらす。2) もしこの減少は降水量の減少によるとしても、蒸発の増加と降水量減少の組み合わせかもしれない。3) 森林の保護は、表流水を守り、その流量を安定させる。4) 局所的な森林破壊は、降水量が減少しなくても湧水を枯渇させる。

Becquerel(1853, 1865)は、ギリシャ・ローマの歴史から、トロイ地域では、Plinyの時代に航行可能であった河が、当時では完全に枯渇しており、イダ山を覆っていたスギは存在しなかったことから、表流水の保護は、森林を守ることであり、それが表流水の流量を安定させると結論付けた。

以後観測時代となり、Belgrad(1850-1852)は、森林、裸地と部分森林の3流域で観測した。その結果、3流域の流量は単純に降雨に回答し、森林は泉に水を補給し、流量を安定させることを見出した。

Jeandel, Categril and Bellaud(1958-1959)では、完全な森林と半分森林の2流域で降水量と流量を測定した。単純な水文モデルを導入し、洪水時の降雨と流量変化の比較から、森林が洪水流量を緩やかに減衰させることを示した。

そして、対照流域法の発見に至る。McCulloch and Robinson(1993)から、アメリカ人によればスイスでのEnger(1919)が最初の発見者となるが、Vazken Andreassian(2004)によれば、先ほどのフランスでのBelgrad(1953)とJeandel et al.(1962)が最初となる。しかし、これらの研究は、異なる森林被服の流域比較に基づいているが、森林の水文現象への影響に明確な答えを出してはいない。できれば、規模、地形、地質、気候、土地被服が同じ2つの流域が望まれる。伐採で流量増加、植林(再生)で流量減少は明らかであるが、それらの値はばらついている。対照流域法では、森林伐採は明確に洪水流量と流量のピークを増大させることが明らかとなっている。

最近の森林水文学の成果(塚本、1992; 塚本、1998 など)から、森林の変化がもたらす水循環への影響について概観する。

森林水文学は水循環、水収支への森林の影響を究明する学問として発展している。そのプロセスについては、(1)大気中から雨や雪として林地に到達する降水過程、(2)地表水、地中水、さらに河川水として流域外まで移動する流出過程、(3)林地から大気へ戻る蒸発過程に大別され、それぞれはさらにいくつか素過程に区分される。

斜面土層内での雨水の移動をより正確に追跡する方法として、土層各部の保水性・透水性を物理法則に基づく流れとして解析する方法が見出され、1980年代にはいわゆる「物理水文学」としての斜面水文学研究が大いに発達した。その結果、森林斜面における雨水の浸透・流出過程は、パイプ流などの不均質流れを除いて、ほぼその全容が明らかにされ、その成果は豪雨による崩壊の予知を目指した「斜面安定解析」にも応用されている。

さらに1990年代に入り、雨水の浸透・流出プロセスを考慮した森林の水質浄化機能の解明が始まっている。

2-2 研究方法

研究目的或いは研究の主題から森林水文学の研究を分類することができる。研究目的から三種研究があり、それぞれ(1)植生 水 流域の因果関係及び相互影響;(2)気象、植生群落、人間活動に起因

する水文学現象の予測；および(3)需要を満足するための流域自然資源及び水文学条件の管理である。また、研究の主題は水の機能、森林の機能及び流域の機能の三つに分けられる。

因果関係の研究は森林水文学の基礎研究である。因果関係研究の目的は森林流域の水循環特性を理解し、流域における各種の水文現象を説明し、そして、森林 水 気候 土壌 地形の相互関係を支配する物理法則を見出すことにある。

予測は全ての学問分野においても主要な任務である。因果関係の研究から得られた成果に基づいて、予測方法を開発するための多くの研究は行われてきた。

管理に関する研究は流域の水資源の有効利用、環境保護に重点に置かれている。

水の分子極性が水のユニークな特性を作り出し、その結果自然及び人間社会に主要な役割を演じる。森林の環境機能は地形、植物生理、樹種、組成及び密度などの影響を直接受けている。流域の機能は降雨の収集及び貯留、地表水及び地下水の流出、水質および生物の生息場所の維持、栄養物質或いは汚染物質の減少、水、栄養物質及び土砂の堆積、及び太陽輻射の散乱と伝達など挙げられる。

いずれの調査手法も次の原因で誤差が生じる。 研究対象の不均一性； 計測機器の精度及び 人為誤差である。その誤差を必要最小限にするために、実験の設計時に、照査規準 (Control) 統計的有意性 (Randomization) および繰替え (Replication) の三つ原則がある。

流域処理効果を評価するために、全ての研究は照査或いは参考規準が必要である。照査規準は理論的な考え、既存の標準、特定の因子、あるいは国家・国際機関に定められたものによって作られる。植生、水文学条件の全く同じである二つ流域が不可能であるから、実験流域の研究は、照査規準の流域だけでなく、キャリブレーション期間も必要である。キャリブレーション期間には、後で行われる流域処理効果を評価するために、照査規準の流域と処理流域の間に照査関係を見出す。

統計的な有意性は主観的、或いは個人差を減少し、研究の質を改善する。また、繰替えの原則は一つ以上のサイトに行われる基礎流域実験の再現性を意味する。

森林流域水文学研究の手法が大別に分けて五つある。(1)試験流域法；(2)上流 下流法；(3)試験区法；(4)地域分析法；及び(5)流域シミュレーション。

試験流域法は「対照流域法」、「単一流域法」及び「複数流域法」がある。

「対照流域法」(Paired watershed approach)と呼ばれる試験方法が伝統的に試みられてきた。互いに接近し、流域規模・地形・地質・森林状態等の似かよった2流域を選定し、一方を基準流域(対照流域)、他方を処理流域として数年間流出量の観測を行った(キャリブレーション期間)後、処理流域の森林の状態を変更し、その後の両流域からの流出量を比較することにより、流域処理の影響を抽出しようとするものである。

最も多く行われた流域処理は「皆伐」である。森林が皆伐されても森林土壌層は通常そのまま残っており、森林土壌層まで取り去った流域処理が行われたことはない。一方、はげ山は、単に地上の樹木を全て伐採した状態とは違うのである。はげ山では、表面侵食が発生するため、土壌層も存在しないのが普通である。従って、対照流域法という試験方法では森林の洪水緩和機能を直接証明することはできなかったのである。

「単一流域法」(Single watershed approach)とは、同様にキャリブレーション期間と処理期間の二つからなる。研究全過程において、ただ一つ流域しか利用しない。基準流域が必要でない。キャリブレーション期間に、多変量回帰分析手法を用いて、溪流流出と気象要素との相関関係を探る。それによって開発された水文・気候学モデルが処理期間の流量の評価に使われる。そして、処理の効果が観測地と予測値の差で表される。また、一般的に、単一流域法のキャリブレーション期間が対照流域法より長い。

対照流域法と単一流域法ともある特定の流域条件での結果である。一つ流域から得られた研究成果が流域全体の代表性には不足である。さらに、実験の誤差の評価も難しい。そこで、「複数流域法」(Replicated watershed approach)は、そのような問題の解決を図るものであるが、それを実施するために、時間、人力、経費などの問題が残されている。

上流 下流法は土地利用条件、土地処理、或いは自然災害によって水質変化、動植物の生息環境及び生物に与える影響を調べるに使われる。研究地域の上流と下流に観測点をそれぞれ設ける。上流サイトは対照点で、下流サイトは処理点として使われる。一般に、この方法はキャリブレーション期間がない。

試験区法とは、煉瓦やコンクリートブロック、丸太で囲まれる未攪乱土壌ブロックである。その底面に観測機器を取りつけ、地表流、地下水流出及び浮遊物質などを計測する。

地域分析法とは、流域の流量、植生、地形及び気候特性を考慮するモデルを作る。

試験流域研究の困難である場合に、流域シミュレーションがもう一つの選択肢である。

2 - 3 森林の変化による長期的な流出の変化

長期的な流出とは、年間の流出量、月間の流出量、あるいは無降雨が長期間継続した場合の地下水流出量をいう。降雨 - 流出機構で、量を変化させる要因は蒸発散であり、他の要因は、時間配分を変化させるだけである。従って、長期的な流出に大きな影響を及ぼすのは蒸発散である。

この評価で、最も精度の高いのは対照流域試験法である。伐採前数年間に2つの並列した小流域で降雨量と流出量を測定し、その後片方を伐採して、その変化量を検証する方法である。有名な米国アパラチア山系のカウィータ試験地の結果を、次に示す。なお、1939年～1953年の平均降雨量は1775mm、平均流出量は925mm、平均蒸発散量は825mmであった。

1) 広葉樹林を伐採し、放置した場合の年流出量変化： 伐採初年度の流出量の増加は、370mmで、降雨の20%、森林状態の蒸発散量の44%であった。結局、下草からの蒸発散と地面からの蒸発が森林蒸発散量の半分程度であった。流出の増加量は伐採後も指数関数的に減少するが、23年経っても増加している。23年後に再生林を伐採すると、前回の伐採とほとんど同様の流量増加を示した。

2) 広葉樹林を針葉樹林に変えた場合の年流出量変化： 広葉樹林を伐採し、マツを植栽した時の初年度増加量は300mm弱であった。その後10年経過後から減少に転じ、広葉樹のときより年間約200mmの減少となった。初期では、伐採による増加を、10年後からは針葉樹による蒸発散量の増加を示した。

3) 森林帯による伐採初年度の年流出増加量の比較

Bosh and Hewlett(1982)は、世界の森林水文試験地のデータを整理し、針葉樹林帯が広葉樹林帯よりも増加量が多いことを示した。

4) 森林の変化が無降雨期間の地下水流出に及ぼす影響

無降雨期間が続くと河川流量は減衰し、地下水流出(基底流出)という状態になる。昼間で少なく、夜間で多くなる流量の変化から、河道や河岸周辺から昼間に蒸発散が活発となることが、流量を減少させる原因と考えた(塚本、1966)。同様に長期間にわたる流量減衰傾向が、冬期に比べて夏期で早い、すなわち大きいことから、同様に森林の蒸発散の効果であると考えた。小流域やライシメーターによる実験でも同様な傾向を見出していることから、森林の蒸発散の効果と考えられているが、季節変化にともなう気温の変化にともなう水の動粘性係数の変化であっても同様な傾向が生じるため、どちらの効果かを区分する何らかの定量的評価が必要であろう。

5) 東京大学千葉演習林における実験

近年、太田らの東京大学千葉演習林袋山沢研究グループによって、対照流域法に基づく70年生のスギ・ヒノキ人工林の伐採実験が行われた。伐採後3年の結果からは、伐採流域での年間250～300mm程度の流量の増加が認められ、その原因は蒸発散量の減少であると考えられている(東京大学千葉演習林袋山沢研究グループ、2002)。また、豊水、平水、低水、渇水各流出量は伐採によってどれも増加したが、流出率では、豊水流出率が低下し、その他の流出率は増加していることから、伐採によって各流出率の差が小さくなり流出の年間一様性が高まったと指摘している(真板他、2005)。

2 - 4 森林の変化による短期的な流出の変化

短期的な流出とは、時間単位で変化する降雨の発生にともなう流出現象をいう。わが国の流域の規模からは洪水流出とほぼ同じで、短期流出特性は、ハイドログラフ(時間 - 流量曲線)として表される。

森林の伐採にはいろんな方式があるが、森林伐採は森林表層土をあまり破壊しない点が、他の土地利用と大きく異なる。そのため森林伐採が直接流出に与える影響は、伐採による蒸発散の変化が、降雨流出の初期条件として土壤水分分布に影響を与えることにより生じる。また、一部には表面流の発生によって起こることもある。このように森林伐採による土壤水分の変化は、先行降雨によって大きく異なるので、短期流出への影響評価は2. で述べた長期的な流出への影響に比べると非常に難しいことになる。

仮に、森林土壌層が発達していなくても、樹木を植栽するために斜面を掘り返しただけでも、雨水が地中に浸透することができれば、洪水の発生は緩和されることが示された。つまり、森林の洪水緩和機能は主に森林土壌が雨水を浸透させ続ける作用により発揮されていると結論できる。森林には、森林土壌の働きによって洪水を緩和し、河川流量を平均化する作用があるということになる。

一方、流出過程に対する皆伐の影響は年流出量の著しい増大となって現れたのである。Bosch & Hewlett (1982)は全世界で行われた対照流域法による皆伐処理の結果を分析した。その結果、森林の伐採は短期流出(洪水)よりも長期流出(低水流出)により多く影響することが分かった。また、皆伐以外のいろいろな流域処理を含めて対照流域法による試験結果を以下のようにまとめた。

森林を伐採すると年流出量は必ず増加する。

皆伐したときの増加量は、日本でも200～400mm/年程度と、かなり大きい。

広葉樹は、針葉樹に比較して伐採後の増加量が小さい傾向がみられる。

増加量は処理した森林の葉量に比例する。つまり伐採率 50%の処理ではその増加量は皆伐処理の 1/2 である。

その結果を端的に表現すれば、森林は水を消費しており、その量は森林の葉量にほぼ比例する、ということが出来る。しかも、その原因は主に無降雨時を含む低水流出に関係しているらしい。したがって、蒸発過程の影響していることが示唆される。

流域流量が小さいときには流域末端にある湧水点付近の土層におけるマトリックス中の流れが賄われるが、降雨規模が大きくなると、湧水点からだけではなく流出が賄えなくなってパイプ流が生じ、流域流量が大きくなる。

2 - 5 森林の変化が源流域の河川水質に与える影響

皆伐など樹冠の除去が小流域の河川水質形成に及ぼす影響は、次のように考えられている。

1) 土壌の温度上昇が有機物の分解を促進し、土壌溶液中の硝酸イオンが増加すると土壌溶液中の陽イオンの増加となり、その結果、渓流の元素濃度の増加へと進行する。

2) 蒸散量と養分吸収量が減少すると、流出水量が増加し、流出元素量の増加となる。

一方、樹冠を除去しても流出元素量が増加しない場合には次のように考えられている。

1) 表層土壌の温度がそれほど増大しない。

2) 有機物の分解によるアンモニア性窒素から硝酸性窒素への移行（硝化作用）に遅れがある。

3) 降雨時の表面流出量がそれほど多くなっていない。

4) 植生の急速な繁茂による蒸散量や養分吸収量があり、伐採前に比べて減少していない。

他にも、森林地域では、次のような複雑な要因もある。

1) 地質と気候の無機的環境条件で、微生物や有機物の分解条件が異なる。

2) 樹種によって A0 層の量と質や微生物の種類が異なる。

渓流の溶存元素量は流出水量と溶存元素濃度の積として求められる。皆伐による樹冠破壊は、このどちらにも影響を及ぼす。しかし、間伐や枝打ちによる樹幹の破壊は、土壌へ落とされた有機物の分解に数年かかること、また分解された無機物は下層植生や植栽木に吸収されることから、溶存元素濃度の変化は小さいと考えられている。

土壌中の硝酸態窒素は、植物にとって利用可能な窒素資源であり、その生成に関わる要因を明らかにすることが森林の窒素循環を評価するうえで重要である。一般的に土壌の硝化速度は、pH が低く、CN 比が高い条件で低いことが知られている。

樹木が吸収する以上に窒素が無機化されることは、森林生態系外へ窒素が流亡する危険性を示している。人工林では林齢が 30 年を過ぎるまでは成長が旺盛であっても、高齢になるにつれて成長量が減少し、成長に必要な窒素量も高齢になるにつれて減少すると考えられている。樹木による窒素要求量が、土壌の無機態窒素供給速度を下回るようになると、系外へ窒素が流亡する可能性が大きくなる。渓流水の硝酸態窒素濃度は、若齢人工林に比べて、高齢人工林で高い傾向がある。

杉林では、アンモニア態窒素と硝酸態窒素の生成がほぼ同時に進行することによって賛成条件でも硝化速度は高い。一方、ヒノキ林では、外部からの窒素供給によって硝化速度は変化製図、窒素供給以外の要因が硝化速度を規制している。（稲垣善也、山田毅：2002）

脱窒・硝化両過程の根本的な違いは、硝化過程における N_2O の生成は副次産物であるのに対し、脱窒における N_2O の生成は中間生成物であることである。

日本のような温暖、多雨な地域では、皆伐により、有機物の分解は急速に進行する。しかし、皆伐後の雑木や雑草の繁茂が著しいため、植栽初期には、多量の下草による蒸散量と養分吸収量があるため、流出水の元素濃度の低下にも影響する。以上のように、森林伐採による源流部の水質変化も単純ではない。

2 - 6 蒸発散過程

森林地からの蒸発散過程は、樹冠や下草に遮断された雨水がそのまま蒸発する遮断蒸発、地面からの蒸発、さらに光合成を中心とした植物の生理作用に関わる蒸散の各過程に分けられる。日本では、樹冠遮断蒸発量が大きく、蒸発散量のほぼ半分を占めている（太田、1996）。つまり、森林は蒸散と遮断蒸発の両方で水消費するのである。皆伐によって年流出量が増加する原因は蒸散量の減少ばかりでなく、樹冠遮断蒸発量の減少によるところが大きいようである。

森林の蒸発散が多いことは、水収支からみて河川への流出を減少させるということになる。しかし、伐採によって洪水ピークが大きくなり、侵食による土砂の流出が飛躍的に増大すること、さらに、伐採

が広域にわたる場合は気候の緩和機能が失われることを無視することができない。

2 - 7 影響要因

2 - 7 - 1 土壌と地形

森林の土壌層は、樹木の根や森林に生活する土壌小動物の働き等によって、空隙に富んだ土壌を作り出している。土壌はこのように沢山の空隙に多くの水を含み、保持し、一時的にしる水を貯える「貯留能」や、濁った水をきれいにする「浄化機能」を維持している。

伐採前にもともと地表流が出るような流域よりも、殆ど地表流発生がなかった流域の法が、溪流へ出てくる洪水量の伐採による増加がより著しいものになると推測される。

N_2O の生成に対する硝化過程と脱窒過程の貢献の割りは土壌水分量によって変化し、熱帯季節林の場合は、雨季には脱窒による N_2O の生成が重要である。

2 - 7 - 2 生物

独立栄養の硝化細菌はアンモニア態窒素を硝化の基質として利用するが、従属栄養の硝化微生物はアンモニア態窒素だけでなく、有機態窒素から直接硝酸態窒素を生成する能力を持っている。

脱窒菌が脱窒を行うための環境条件が脱窒量に大きく影響を与えていることが推測できる。脱窒菌の密度には炭素含有量以外の要因が影響を与える。脱窒のポテンシャルは過去の土壌水分状態を反映していると考えられ、地形的要素が大きく影響すると推測できる。渓畔林において脱窒量は、硝酸態窒素の供給が制限になっている。このような場所では、硝酸態の供給は即座に脱窒を引き起こし、硝酸態窒素が低濃度状態に維持されている。硝酸態窒素がこのような渓流域の土壌に供給される場合としては、一定以上の降雨があり地下水の飽和帯が拡大するとき、が考えられており、このような場合に集中的に脱窒が起こっている可能性が示唆される。また、森林の伐採時には大量の硝酸態窒素が流出することが知られており、そのような場合にも脱窒が起こっていると考えられる。この場合、森林渓流域の土壌は渓流水中の硝酸態窒素濃度を低下させ、水質浄化の役割を果たしていると考えられる。いずれにせよ、硝酸態窒素の渓流域への流入速度は渓流域での脱窒量に大きな影響を与えられるため、今後解明すべき課題である。

硝化過程における N_2O の生成に関しては、乾燥は硝化過程の速度を低下させ、その結果 N_2O の生産量を低下させる可能性が指摘できる。日本の気候下では水分条件が圃場容水量の40%前後まで少なくなることは殆どがないが、森林の伐採などによって直接日光が直接地表面に到達し乾燥するような条件があれば硝化過程が阻害され、結果的に N_2O の生成量が減少することが考えられる。硝化活性は斜面下部で活発に行われることが知られており、硝化活性による N_2O 生成は斜面下部（但し渓流域より上方）の方が活発であると考えられる。

渓流域における N_2O の発生が主に脱窒過程にあり、硝酸態窒素の供給がその脱窒速度に大きく影響を与えていると考えられる。その以外の地点においては、 N_2O の発生量のうち硝化過程での発生が占める割合が高く、脱窒量は微小である。しかし、斜面下部では脱窒酵素活性が認められ、脱窒が起こっている可能性があった。硝化能は斜面の下部ほど高くなるため、 N_2O の生成量も斜面下部ほど高くなると考えられる。

ヒノキ林の単純一斉林施業を行うと地力の減退することが古くから知られている。ヒノキ林での地力減退の原因として、下層植生が少ないこと、リターが堆積しにくい、A0層量が少ないことなどが考えられ、地力減退への対策として、他の樹種との混合や、下層植生の導入などが提案されている。ヒノキ林での下層植生や他の樹種の侵入がヒノキ落葉や表層土壌の流亡を抑制する。また、ヒノキ林のA0層被覆率（林地面積から植物の地際断面積を除いた面積に対するA0層の被覆面積の割合、%）には林地の傾斜と林床の草本層被度が大きく影響しており、林床の植生群落の被度や種数は林内の光条件が影響する。

ヒノキ林では、落葉広葉樹林（主要樹種：ブナ、イタヤカエデ）や杉林に比べて降雨の樹冠通過や樹幹流下に伴う降雨の酸性を中和する能力が小さい。ヒノキ林の地上部有機物量（A0層を含む）に占めるA0層量の割合は杉林に比べて少ない。ヒノキ林では落葉広葉樹林に比較して土壌への養分の供給量が少ないことや、土壌pHの低下とそれに伴う土壌からの塩基の流亡、交換性Alの溶出などによる地力低下が危惧される。

土壌中の窒素量や窒素の無機化量は混合林より針葉樹純林の方が多い。

2 - 8 流域研究の将来展望

Vazken Andreassian(2004)によれば、まず、流域スケールの研究が必要になる。対照流域法では伝統的に流域が小さい。将来的には数十km²の大きな流域が必要である。流域が大きくなると安定した管理流域を見つけるのが難しくなるため、管理流域をシミュレートするモデルの使用が必要となるが、不確かさを補うために管理流域とモデル流域の評価が望まれる。さらには、森林被服の割合などに関して、流域スケール研究のモデル化や解析に基づくだけでは十分ではない。これからの研究には、基本的な地域の生物生産量、葉面積などの記述が必要である。より広い流域では、国の森林管理者による日常業務に基づくデータが有用となる。

また、対象流域法による研究は、短期的変化に焦点を当てすぎる傾向がある。多くの流域では変化は緩やかであり、それらをあらわすには数十年を要する。多くの先進国では今遅い変化を経験しており、徐々に森林面積・密度が増加している。周辺農地は放棄されており、自然や人工の森林再生が生じている。発展のインパクトに関する研究は、土地・水利用計画に有用である。

長期にわたる水文気象観測が、流域水文に対する変化する森林被服のインパクトの効果を明らかにしてくれる。アメリカでは幾つかの有名な試験林が長期生態学的研究(LTER)場を持っており、それは試験林を維持する上で重要である。これらの研究は、地球温暖化に対する森林インパクトの評価にもなる。

すばらしい森林は、森林土壌に依存する。すなわち土壌はその前 100 年の森林被服を記録している。何人かの研究者は森林伐採の疑わしい効果は、森林土壌の変質の効果としてより詳しく調査すべきであると指摘している。森林の作用における木と土壌の役割をより明確にしなければならない。

最後に、数多くの森林流域にもとづくものでなければ、水文学者は十分な知識は得られないことを知っている。実際、19 世紀の歴史は、多くの誤解が一点観測の軽率な一般化に基づいていることを示している。

参考文献

- 佐倉保夫 (2000) : 気候変化に伴う地下の熱環境変化、陸水学雑誌、61、35-49 .
- Vazken Andreassian(2004): Waters and forests: from historical controversy to scientific debate, J. Hydrol., 291, 1-27.
- 塚本良則 (1998) : 「森林・水・土の保全」、朝倉書店、p138 .
- 塚本良則編 (1991) : 「森林水文学」、文永堂出版、p319 .
- 太田猛彦 (1996) : 森林と水循環。森林科学、No.18、26-31.
- 東京大学千葉演習林袋山沢研究グループ (2002) : 東京大学千葉演習林袋山沢における総合対照流域法調査に関する報告書、東京大学大学院生命科学研究科森林化学専攻・森林理水及び砂防工学研究室、p260.
- 真板英一、鈴木雅一、太田猛彦(2005) : 新第三紀層流域における 70 年生スギ・ヒノキ林伐採による年流出量の変化、日本林学会誌、87(2)、124-132.
- 高木潤治 (1996) : 森林が水を蓄える働き。森林科学、No.18、32-36.
- 中尾登志雄 (1996) : 森は水をきれいにしているのか。森林科学、No.18、37-41.
- 福嶋義宏 (1993) : 森林と水に関する研究の動向。森林科学、No.9、7-13.
- 藤枝基久 (1993) : 水源涵養機能の計量化の現状。森林科学、No.9、24-29.
- 溝上展也、伊藤哲、井剛(2002) : 宮崎県諸塚村における帯状複層林のスギ・ヒノキ下木の成長特性。日林誌、84(3)、151-158.
- 稲垣善也、山田毅(2002) : 成熟したスギとヒノキの人工林における窒素無機化および硝化特性。日林誌、84(3)、159-165.
- 石塚成宏、阪田匡司、谷川東子、石塚和裕 (2000) : 落葉広葉樹林におけるNO₂生成とその空間的異質性。日林誌、82(1)、62-71.
- 内田太朗、小杉賢一郎、水山高久(1998) : 山地源流域の流域流量に及ぼすパイプ流の影響。日林誌、80(2)、89-97.
- 内田太朗、小杉賢一郎、水山高久(1997) : 山地源流域における地下水位、パイプ流量の関係。日林誌、79(4)、202-210.
- 高橋輝昌、生原喜久雄、相場芳憲(1996) : ヒノキ林への広葉樹の混交が土壌の化学的性質に及ぼす影響。日林誌、78(3)、244-249.
- 藤枝基久、野口正二、小川真由美(1996) : 森林流域における土壌被覆変化が水文環境に与える影響 - 皆伐・トラクタ集材を例にして。日林誌、78(1)、43-49.
- 戸田浩人(1994) : 森林土壌中における窒素無機化の反応速度論的解析()土壌の含水率およびpH の違

- いが窒素無機化過程に及ぼす影響。日林誌、76(6)、540-546.
- 平英彰(1994)：タテヤマスギの更新形態について。日林誌、76(6)、547-552.
- 玉井幸治、服部重昭 (1994)：落葉広葉樹林における林床面蒸発のモデル化と流域への適応。日林誌、76(3)、233-241.

第3章 研究の背景

(飯田 輝男)

近年、水環境が全国規模で変化しつつあること。沿岸漁業の衰退、河川水量の減少、湧水に減少枯渇、池の水のアオコ等々である。これらをすべてダム建設や堰堤建設、下水道の未普及による影響とするのには、無理があるのではないだろうか。

1980年代後半に「全国名水百選」の湧水の見学時に、「池が枯れ30年になる。」「昔は泳げた小川の水が減少して今は泳げない。」などと、地元の県庁職員、大学職員から聞いたことが始まりであった。

それから、東京の河川の調査を進めると、都市河川だけでなく東京の山地河川の流量が減少していることが分かった。山地の森林の実態をしらべると、1950年代後半に、大規模な樹種転換があった。それまでの、雑木林を伐採し、スギ・ヒノキを全国規模で植林していることが分かった。

東京の場合には、60%がスギ・ヒノキの人工林となっている。密集植林をし、間伐を繰り返すのが、通常的林業である。しかし、林業家とはいえない1ヘクタール以下の零細地主が多く、木材価格の下落等により、間伐などの手入れが出来ない状態で放置されたままの森林が多い。

表3.1 民有林所有規模別森林所有者数・所有面積(東京都 2003年)

規模		計	1ha未満	1～5ha	5～20ha	20～50ha	50～100ha	100ha以上
合計	所有者数	20,121	13,545	4,830	1,318	278	75	75
	所有面積	70,943	4,082	10,612	12,500	8,434	4,916	30,399

資料：東京都産業労働局調べ(2003年4月1日現在)

昔から、スギを植えるところは、沢筋、沼地といわれていたが、今では山の頂まで植林されている。吉野スギ、屋久島の縄文スギ、秋田杉等の有名産地は、雨量または積雪の多い地域である。降雨量が少ない東京地域においては、適地が少なく、大規模な植林は適切であったのであろうか。

この放置森林が溪流・河川の水量減少の原因ではないかと考え、典型的な放置森林において現状調査をすることにした。さらに、スギ・ヒノキ放置林を伐採し、落葉広葉樹を主体とするいわゆる雑木林を再生する過程での流量の回復、生態系の回復過程を調べることにした。

一般には手入れの行き届いた、試験地での調査が主体である。いわゆる放置林では調査はほとんど行われていない。2次林、雑木林を伐採して、スギ・ヒノキを植林する形態が多く、スギ・ヒノキを伐採して、水源涵養林にするという調査はほとんどなかった。そのため、東京並びに全国の森林の現状にあった水収支が適切に把握している調査をみつけることはできなかった。

3-1 森林に関する基本調査

山林に関する伝承としては、風が吹くと沢の水が減る。昼より夜のほうが沢の水が多い。植林に関しては、マツは頂、ヒノキは中腹、スギは沢筋などがある。スギだけでなくすべての樹木、草は水を消費するが、スギは元々、水を多く消費する樹木とみられていた。世界の乾燥地域では、木は水を消費するので、植林を避けている地域もある。日本では比較的雨が多く、水害の常襲地帯であるので、水害防止と保水能力を期待し、植林をすることになっている。

しかしながら、スギの植林のあと、全国各地の水量は激減したようである。筆者自身が直接確認した例を述べる。鹿児島県や都内の浅川流域醍醐川における溪流の水量に関する調査では、「昔は泳ぐころが出来た。いまはできない。水量が激減した」。これらの地域の上流には、スギの人工林がみえ、面積の大半を占めていた。富山県では「スギの植林後、池が枯れた。30年たてば復活するといわれたが、30年たった今も枯れたままである。」と嘆いていた。

財団法人林業科学技術振興所「多摩川流域森林機能の計量・評価に関する調査報告書」1992年6月発行¹⁾p10によると、植林手法の実態は以下のとおりで、現在使われていない丸太用のスギが残されており、他の用途に転用しにくいスギが多数あることが分かった。また、森林の多くは、過密状態のままの放置林となっている。表3.1に実際の山仕事の場合に、植林する基準を掲載した。予想をこえた本数を植えている。

3-2 従来型の調査

他県での動向についてはインターネットを主体として調査した。本調査の始まる前の調査では、データ量は限られていたが、最近ではかなりのホームページがみられるようになった。

表 3.2 標準的な施業の仕組み

樹種	生産目標	仕立方法	期待直径	1 ha 当たりの植栽本数	主伐時期の目安
スギ	小丸太	蜜仕立	15cm	4000 本	25 ~ 30 年
	一般建築材	中仕立	20cm	3000 本	35 ~ 40 年
ヒノキ	心持柱材	蜜仕立	18cm	4000 本	40 ~ 45 年
マツ	一般材	中仕立	24cm	3000 本	30 ~ 35 年

1) 伐採による効果

樹幹遮断がなくなるので、水量は増加する。おおむね 1 mm/ha/d 以上は増えるという。

2) 間伐による効果

水量は増加するが、葉の量が増えると元に戻る。蒸散量の抑制効果は期待できない³⁾。

遮断量もすぐに元に戻るなどであり、長期的な効果を望むことは出来ない。

3) 樹冠遮断

1年を通じて、葉の多い針葉樹のほうが、落葉樹よりも多い²⁾。東京都環境科学研究所の酸性雨調査結果³⁾でも明らかである。

樽の本調査「異なる植生に起因する流域降雨再配分特性の比較」では、スギ、ヒノキの遮断量は 560mm, 781.8mm でヒノキの方が多かった⁴⁾。

雨量に対する遮断率は、微小降雨の場合は80%以上になるが、雨量が大きくなると遮断率は10%程度と小さくなる²⁾。針葉樹は落葉樹よりも遮断量が多く、落葉樹は常緑樹より年間遮断量はすくない³⁾。

水不足を解消した離島（天売島、焼尻島）における森づくりのあり方⁵⁾では、「降水が地下水帯に到達するまでに、できるだけ水の損失をなくすことが必要です。しかし、森林によって起こる水損失があります。その一例として、常緑針葉樹の樹冠による降雪遮断と葉の表面からの蒸散が挙げられます。これは、広葉樹や落葉針葉樹に比べて常緑針葉樹の樹冠によって降雪が遮断され蒸発（葉や枝に捕捉された雪が地面に到達することなく蒸発する）される量が多いため、雪が地中に浸透する量が減り、私たちが溪流や地下水から使用できる水量がより少なくなるということです。」と記載されている。

4) 樹木は水を大量に消費する。

樹木にとっては生きるために必要なものは水である。炭酸同化作用、栄養を運ぶ水、温度コントロールに必要である。樹種により、湿地を好むもの、乾燥地を好むものがあり、大量の水を消費する樹種もある。同じ樹種でも壮年樹と老齢樹でも水の消費量は異なる。

くりかえしていうが、スギは水を消費する樹種であり、沢筋に植林する樹である。

身近な地球環境問題 - 酸性雨を考える - の中で、「また、葉からの蒸散を制御する気孔コンダクタンスもほかの多くの樹種と比べても非常に大きいことが分かった。」「大気の乾燥に対し蒸散速度の大きい樹種といえる。」と述べている。表 3.4 は気孔開度が最大とされる午前中に、森林総合研究所内で測定したものである⁶⁾。これらは、スギの衰退と酸性雨との関連を調べる中で明らかになっている。

表 3.3 日本産樹種の最大水蒸気拡散コンダクタンス (cm·sec⁻¹) から抜粋

樹種名	最大蒸気コンダクタンス cm·sec ⁻¹	樹種名	最大蒸気コンダクタンス cm·sec ⁻¹
アズキナシ	1	スダジイ	0.4
エゴノキ	0.9	ボダイジュ	0.4
スギ	0.8	カシワ	0.4
ミズキ	0.8	ミスナラ	0.4
オオシマザクラ	0.7	イヌブナ	0.3
クスノキ	0.7	カツラ	0.3
ヤマナシ	0.6	ケヤキ	0.3
サワラ	0.6	イタヤカエデ	0.3
アオハダ	0.6	モチノキ	0.3
コブシ	0.5	マテバシイ	0.2
クヌギ	0.5	イヌシデ	0.2
ヒノキ	0.5	リョウブ	0.2

最盛期には 1ha 当たり 30 トンも消費するときがある。5 月は蒸散量が多く、八王子や小河内の降雨量が平均 110mm なので、春山は水不足になりやすく、梅雨に雨が少なければ夏も水不足になることが推測される。

表 3.4 31 年生ヒノキ林の月別蒸散量（降雨量を加筆 森と水のサイエンス²⁾ から）

	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	合計
間伐前	63.5	83.0	67.8	58.8	66.6	54.8	394.5
間伐後	50.7	69.2	53.0	44.6	53.0	40.7	311.2
減少率	20.1	16.6	21.8	24.1	20.4	25.7	128.7
小河内平均降水量 1983～2000	109.7	113.3	159.3	190.7	286.6	261.7	1121.3
八王子平均降水量 1983～2000	122.1	107.9	191.8	177.4	219.7	259.8	1078.7

蒸散量の測定結果は少なく、データの数値はばらついている。測定は実際にはむずかしく、同じ樹でも葉の位置により異なるし、なおかつ降雨量と土壌中の水分量、樹種と年齢により大きく異なることが推測される。

表 3.5 蒸散量（森と水のサイエンス²⁾ から）

種名	蒸散量 (mm / 年)	備考
スギ	260～500	芝本 (1951)
	392～495	柴田 (1955)
	1230	佐藤 (1955)
	555～1000	中村 (1964)
ヒノキ	193～294	芝本 (1951)
	233～452	柴田 (1955)
	970	佐藤 (1958)
	283	東京都水源林 (1973)
アカマツ	633～1242	佐藤 (1958)
	860	柴田 (1962)
クロマツ	880～1026	門田 (1962)
カラマツ	280	東京都水源林 (1973)

表 3.5 蒸散量の中で東京都水源林の蒸散量が小さいが、1973 年の小河内の降雨量は 1185mm と渇水年であった。

5) ヒノキ林の撥水作用についての記述は一例 1 か所のみであった⁷⁾。乾燥した土壌と同様表流水が多くなるので、重要な資料である。

6) スギを水源涵養林と見ているのは、一例しかみつけられなかった。

「例えば、1994年、1995年の大渇水では、放置したままの広葉樹の樹林からは水が涸れているのに、手をかけて育ててきた杉の森林からは、それがわずか30年生の少年のような森林であっても、例年と変わりなくとうとうたる流れが保たれ、明暗を分けている... (富山和子、"水と緑の国、日本")」

7) 森作りは漁民が主体に

魚つき保安林は 2002 年 3 月現在、全国で約 25,137ha に達している⁸⁾。また、漁業関係者による継続的な森林整備の取組が北海道を中心に八十一の市町村で行われており、全国的な広がりをみせている (平成 10 年林業白書⁹⁾)。

植林により土砂の流出を防止し、清浄な水を確保するという「森は海の恋人」を大きく掲げ、すでに、襟裳岬のコンブ¹⁰⁾、気仙沼、厚岸湾のカキ、小樽地方のニシン、新潟・秋田のハタハタ等回復しつつあるブランドになっている。

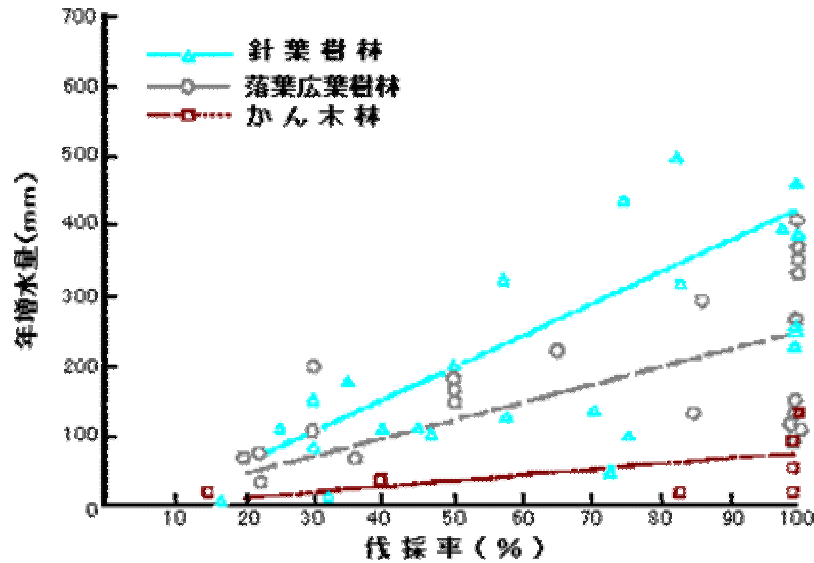
2004 年 4 月 27 日農林水産省水産庁・林野庁、国土交通省河川局「森・川・海のつながりを重視した豊かな漁場海域環境創出方策検討調査」の結果の取りまとめについて、を発表したが、森とつながりについては、今後調査を実施し知見を蓄積するとしている。

8) 溪畔林

土砂の流入を防ぎ、水温の上昇を防ぐ。水辺を好む樹種で構成される。代表的な物としてハンノキ、ミズナラ等があり、考え方はいわゆる魚つき林と同じである。溪流に最も近いところにあるべき樹林であるため、樹種変更の時には、最優先で保護、植林すべき部分と推測される。

3 - 3 海外の情報

Bosch & Hewlett(1982)の「植生の減少に伴う年流出量の増加」の関係が、一般的に使用されている¹¹⁾。図 3.1 を見ると、針葉樹の伐採は水量の増大につながる事が理解される。



伐採率と年流出量の増加量との関係
(Bosch and Hewlett, 1982)

図 3.1 伐採率と年流出量の関係

参考文献

- 1) 「多摩川流域森林機能の計量・評価に関する調査報告書」財団法人林業科学技術振興所平成 4 年 6 月発行 p 10
- 2) 水のサイエンス 社団法人日本林業技術協会 中野秀章、有光一登、森川靖
p38 図 3-3 カラマツ林の樹幹遮断率及び量村井弘 1970
p86 表 5-1 31 年生のヒノキ林の蒸散量
p87 表 5-2 森林の蒸散量
p88 間伐や枝打ちによって蒸散量はへるか
- 3) 酸性雨に関する調査研究報告 H8 年 12 月発行 p 108-109. 東京都環境科学研究所
- 4) 異なる植生に起因する流域降雨再配分特性の比較 千葉大学、唐常源、石原成知ら森と
- 5) 離島における森作り 天売島と焼尻島 光珠内季報 No.132(2003.10)佐藤弘和
- 6) 身近な地球環境問題 酸性雨問題を考える p 136 - 138 森林総合研究所
- 7) ヒノキ人工林における土壌の撥水性 森林環境部 小林政広所報 No.129 '99-6
- 8) 森林総合研究所 所報 22・2003-1 「森林の多面的機能」解説シリーズ 第 5 回 沿岸生態系：森林の魚つき機能気象環境研究領域 吉武 孝 [研究解説 1]
- 9) 平成 10 年林業白書
- 10) 日本の美林 p 170 岩波新書 伊原俊一
- 11) Bosch & Hewlett, 1982 の「植生の減少に伴う年流出量の増加」Bosch, J.B. and Hewlett, J.D.(1982) : A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration , J.Hydrol , 55 , 3-22.

第4章 地質と地形

(樽 良平)

4 - 1 地質概要

関東山地の南端部にあたる秋川流域は、古生代、中生代、新生代と各地質時代の海成層が五日市盆地を中心に、狭い地域に複雑に分布していることで、日本でも有名である。

西から東に流れる秋川の西北部一帯は古生代石炭紀、二畳紀、中生代三畳紀、ジュラ紀の中古生層が広がり、秋川南西部は中生代白亜紀から新生代古第三紀の小仏層が桂川～相模川まで分布している。

また、新生代第三紀中新世の地層が五日市盆地を形成し、その東の草花 加住丘陵から狭山・多摩丘陵をへて千葉まで続いているのが上総層である。

その後、地殻変動によって五日市盆地東縁が隆起して秋川が堰き止められ、五日市湖が形成された。この頃、関東南部一帯には、富士火山の最後の噴火による火山灰(立川ローム)が降り、山も平地も2 mもの厚さで覆われた。しかし、その後の降雨で傾斜地のロームは流れ去り、平坦地のロームは残った。立川ロームが降灰する前、今ある秋留台地は加住丘陵や草花丘陵と同じ高さまで同じ地層が堆積していたが、多摩川、平井川、秋川が浸食と氾濫を繰り返し、今の秋留台地が形成された。つまり、草花・加住丘陵は元の高さのまま残り、間に挟まった面は削られて秋留台地となった。(図4 - 1 地質図)

4 - 1 - 1 古生代(石炭系、二畳系)

関東山地は古生代後期の石炭紀から二畳紀の海成層によって構成され、一般に秩父古生層と呼ばれている。関東山地を源流とする多摩川、秋川流域では北部ほど地層が古い傾向があるが、多摩川、秋川流域の南部ではやや新しくなり、中生代三畳紀・ジュラ紀にまで及んでくる。これらの地層を総称して中古生層とよぶこともある。

秋川流域では、日の出町の坂本、肝要、あきる野市深沢、養沢川流域、檜原村北秋川流域などに古生代の地層が分布する。岩石は砂岩を主とし泥岩、チャート、石灰岩などであるが、強い横圧力などを受けている。それによる褶曲や断層のためにチャート、石灰岩などの硬い岩石を残してそれ以外の地層は、粉碎され風化して細かな角礫状になっている部分が多く観察される。

古生代後期の石炭紀～二畳紀の代表的な準化石であるフズリナが養沢川流域、日の出町坂本、肝要、あきる野市深沢に分布する石灰岩に多く見られる。この外、ウミユリ、サンゴ、腕足貝、層孔虫など多くの化石を産出する。

4 - 1 - 2 中生代層(三畳系・ジュラ系、白亜系)

三畳紀・ジュラ紀の地層に五日市第三系の地層が不整合に覆い、以前は三畳紀層は北部の岩井、幸神の一部に知られるのみであったが、最近、微化石などの研究や調査が進み、三畳紀やジュラ紀層の分布地域がもっと広いことがわかってきた。

三畳系・ジュラ系は上記石炭系、二畳系と同様、地殻変動を受けて破碎され、風化して細かな角礫層のようになっている部分が多い。したがって、層向傾斜の確認が難しいところがある。ジュラ紀層は盆地北側の樽から小中野で第三紀層と接し、樽のジュラ紀鳥ノ巣石灰岩には浅海性化石のほか、日本唯一の産地として特に知られている魚卵状石灰岩を共産する。

五日市盆地南には長野まで続く五日市 川上構造線が走り、その南は白亜紀の小仏層が桂川・相模川まで伸びている。この地層の堆積時期は白亜紀から第三紀暁新世にかけてと考えられている。構造線は幅30～50 mが特に粉碎され板状の千枚岩になっている。

三畳紀の化石は、日の出町岩井の砂岩からモチノス貝が、石灰岩のノジュールからアンモナイトを産出している。そのほかコノドントと放散虫の微化石の発見によって三畳紀・ジュラ紀層の分布地域がさらに広がった。

ジュラ紀の石灰岩の化石は鳥ノ巣形化石群として知られている。鳥ノ巣形化石群にはサンゴ類、ウニ、層孔虫、腕足貝などがみられ、当時は温暖な気候に加え穏やかな浅い海が広がっていたとみられる。

小仏層は化石がみられないことで知られている地層である。

4 - 1 - 3 新生代層(中新世系、鮮新世系、更新世系)

中新世には、東から海が入り込んで五日市に深い湾を作った。五日市小庄、北寒寺、樽から北東へ日の出町幸神、坂本へ、南は八王子市市川口へかけて開口した穏やかな湾であった。表面穏やかであったが、海底は岸から急に深くなっていて、今の駿河湾のような海岸線をもった海であった。生き物は海中にも、

また陸上にも大いに繁殖して豊かな生態系が営まれていたらしく多種多様な化石が発見されている。

動物では、大型哺乳類のパレオ・パラドキシアから始まり、サメ、マイワシ、ハダカイワシ、巻貝類、二枚貝類、ヒトデ類、カニ類、スナモグリなどが、植物では、メタセコイア、ブナ、クリ、ランダイスギ、ケヤキ、コンプトニア、ナラ、クヌギ、カエデ、など海生、陸生の化石を豊かに産出する。

4 - 1 - 4 新生代鮮新世

鮮新世の時代になると関東山地の東側に海が押し寄せ、山地からは関東山地の崩落した土砂が大量に流されて東に広く堆積、狭山、草花、加住、多摩の丘陵を形成した。これは千葉県上総まで続く一連の地層で広大に広がるこの地層を一括して上総層という。上総層の最下部の地層は加住、草花丘陵にみる礫層で、これをまた五日市礫層とも呼んでいる。

1978年3月、網代の五日市礫層の中から古代象ステゴドンのはぼ一体分の化石と古代鹿シフゾウの化石が発見され、植物化石ではエゴ、ブナなどの実が共産した。このほか、砂層の中にメタセコイアなど大小の材化石が数多く見られた。前後するが、それ以前、1940年の網代堰工事現場でステゴドンの臼歯が見つかっている。

4 - 1 - 5 新生代更新世

下末吉ロームの降灰の頃、起きた地殻変動によって、三内山から高尾山にかけて地層が立ち上り、秋川が堰止められて水が溜まり、五日市湖（仮称、樽未発表資料）ができた。これらの推定は湖沼性堆積物の特徴と堆積の様相から考えられることである。

盆地中心部は秋川の流れて円礫の砂利層が堆積しているが、支流の流れの弱い淀んだ谷部には浮石層、腐葉土や倒木や粘土層、岸边では不選別の角礫崖錘が不規則に堆積していることなどが挙げられる。浮石層や化石の堆積状況や立川ローム層が覆っていることなどから、五日市湖は10数万年前的下末吉ローム層の降灰頃から2万年以前の立川ローム層降灰までの10万年ほどの間に存在したと考えられる。

五日市地区の谷の奥深くには、湖沼性堆積物の特性である崖錘性角礫層や植物をたくさん含んだ粘土の堆積層が分布している。樽地区に見られるこの地層は鉄分を多く含むんでいる。また、尾根部の平らなところには2万年前の立川ローム層が1mないしそれ以上の厚さで堆積している。

ここに見られる湖沼性堆積物の地層を五日市湖成層と仮に呼ぶ

湖成層の黒色粘土層にはトウヒ、オニグルミ、エゴ、などの実のほか、ケイソウ、甲虫の羽などがみられる。この地層から出たと思われる化石として留原からナウマン象の歯の報告があるが、現在この歯は行方不明である。化石からわかる環境は今より数度低くやや寒い気候であったようである。

4 - 2 地形

五日市盆地は関東平野西端の関東山地入口に位置し、盆地内は標高200m±で、盆地の東側は300m、北から西～南側は350m～450mの山で囲まれた周囲4キロほどの小さな盆地である。盆地内中央を秋川が西から東へ蛇行して流れ、川はさらに東進して多摩川に合流している。

盆地の北、西、南部は中生代の古い地層が占め、盆地内から東は新しい新生代の地層が分布している。

盆地内には数段の河川段丘があり、第一段丘は五日市湖成層生成期からの堆積層だが、第2段丘以下はこの第一段丘を秋川が蛇行しながら次々と削ってできた段丘である。

盆地上流の西の山岳地域における谷や山の斜面は急峻なV字谷で深く谷を刻んでいるのに比べ、尾根部はなだらかで準平原的な地形をしている。比較的平坦な尾根部や鞍部には立川ローム層が残存しているが、それより古い武蔵野、下末吉、多摩のロームは傾斜地のみならず尾根部でも流し去られてしまっている。

多摩の山岳地域の谷と斜面が急峻であるのに対し、尾根部や鞍部が平坦であるのは、風化浸食を受けてもなくなった地層と、風化しない硬いチャートや石灰岩のブロックが尾根や山腹、谷などに風化を免れて残されているという、この地域の中生代の特性にあると思われる。

4 - 3 樽地区の地質、地形と特徴(図4 - 2)

さて、主たる研究フィールドとなる樽地区の基盤である地層は中生代ジュラ紀鳥ノ巣統の上に新生代第三紀中新世の基底礫層が不整合にのり、さらに五日市湖成層が覆った形で段丘を形成している。

西部の樽沢奥はジュラ紀中期の鳥ノ巣統の地層で砂岩、泥岩を主体とし、チャート、石灰岩、礫岩などからなっている。

地層を構成する岩石は砂岩、泥岩を主体とし、走向は北西・南東方向で、やや北に傾いて、南西方向から強い圧力を受けている。特に泥岩部分がもろく、時にはチャートと泥岩・砂岩の薄い互層でさえも

圧砕されて細かな角礫状になっているのが、尾根部の道路工事で掘削された露頭で観察できる。これが、尾根部のなだらかな地形の理由である。

また、尾根部には基盤の凸凹を埋めるように初期ローム層が、降灰したままの状態ですら流されずに堆積している。平面部や鞍部は緩やかで平らな地形を形成して、ロームが厚く堆積しているところが多く、谷部の急斜面に対して、尾根部のなだらかさがこの地域の地質地形の特徴と言える。

なお、この泥岩からはいくつかの結核団塊を採集したが、まだ化石を確認するには至っていない。

樽沢に入ると沢中にチャートの岩が点在し、最奥部に縊岩と言うチャートの大きな大岩が数個集まってあり、片や南尾根の金毘羅神社西側にはチャートの大きな奇岩群がみられる。

この沢の右斜面には基盤である鳥ノ巣石灰岩の露頭があるが、代表的な高知県佐川地域の鳥ノ巣山周辺に存在する石灰岩と同じくサンゴ、ストロマトポラ類、ウニ、石灰藻、有孔虫、腕足類、巻貝、二枚貝などを産出する。また、この鳥の巣式石灰岩のほかに、他の地域ではみられない直径1～2mmほどの丸い魚の卵が集まった様な魚卵状石灰岩も分布する。

上流部の縊岩のようなチャートの大きな岩石が沢を埋めると堰となり、これが階段状に上流からの土砂を堰き止めて結果的に沢の浸食を防ぐ働きをしているためか、これにより上流部の地形がなだらかなになっているところもある。

樽部落の人家のある辺りの沢南の山は新生代第三紀中新世の基底礫層で、人家周辺の段丘は谷部を埋めた湖成層からなり、沢岸の崖に炭質物を多量に含んだ黒色の粘土層が見られる。この粘土層には材木やまだ光沢のある昆虫、ケイソウの化石もあり、五日市湖の湖水がこの樽沢の奥にも入り込んでいたことはわかるが、現在、その水面を確定することができない。

樽沢入口付近から奥は五日市湖成層の段丘堆積物が谷を埋めているが、谷の奥に入るにつれて、段丘と崖錘の区分がつきにくい地形をなして、基盤の斜面を駆け上がる形になっている。このことから、五日市湖形成初期にはその水面は高く、不安定であったが、第一段丘形成の頃になってやや水位が安定して段丘形成が始まったとみられる。このため、山地の谷部へ転げ落ちたチャートの大きな転石に堰止められてできた小規模な止水域に崖錘や腐葉土の堆積層が形成されたものと見られる。

4 - 4 樽沢の土層について(図4 - 3)

日本の森林の多くは、過去60～70年間杉や檜による過度の植林のため、山の命とも言うべき腐葉土を流し去ってしまっていて、山々の表土は痩せたままの状態を過ごしてきた。このため、谷の窪地には落葉も下草も腐葉土もない岩石の風化土とロームの風化土が流されてきて溜まり、また、尾根部でもしかり、同じように風化した岩石やロームの堆積層ばかりで、有機分の少ない土層となった。

杉や檜の樹下は日光が土まで届かないので下木も下草も生えにくく、生えても日光を好まない種類の草ばかりで、落葉もない薄い表土では保水力など希むべくもない。

水源の土を、今求められている数十年前の保水力のある肥えた土壌に戻すためには、この杉檜を転換して落葉広葉樹の茂る森林にしなければならない。転換をはかって70年前の昔の土壌を作るには、それを越える何倍もの時間と労力をかけなければならないことが、今回の調査や最近すすめている杉檜の伐採ではっきりと確認できた。

落葉広葉樹の山は樹種も下草の種類も多種多様にわたるので、これらによって育まれる生態系も格段に豊かとなる。その昔の恵まれた自然環境の復活を期した今回の針葉樹の伐採は、水循環が改善されただけでなく、生物群にも好影響をもたらしたようだ。

昆虫の種類と数が2年目にして見た目にも明らかなほど数値の増加をみせ、水生昆虫もケイソウでさえも杉の落葉にはよりつかない事実が解ってきた。

植物の「多様化」をすすめることが植物ばかりでなく、動物の「多様化」を可能にし、生態系を豊かにすることであることが解ったかぎり、今後早急に樹種転換をはかり、地球も自然も豊かにして未来につなげたい。

樽沢の土層調査の結果、樽沢の流水量の減少は水源の山々に杉檜が植えられたと時を同じくして始まり、その生長とともに下降を辿ってきたものであり、今回の調査に端を発し、続く調査によって徐々にそれは証明されるものと思われる。樹種転換の後、樽沢の復活なれば幸いというほかないが、何十年後に待たれる結果をわが目で確かめることは無理であろう。

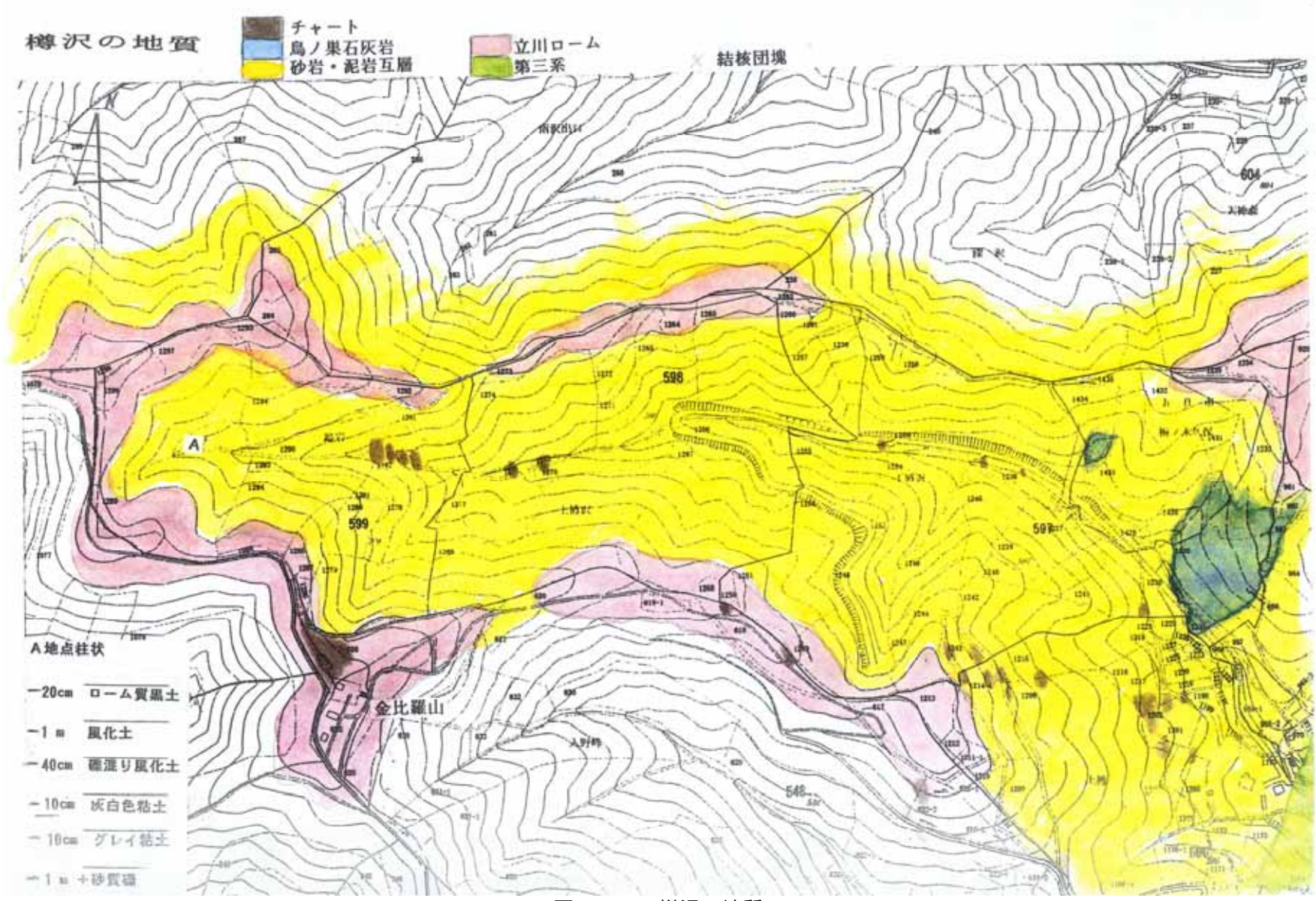


図4 - 1 樽沢の地質
4-4

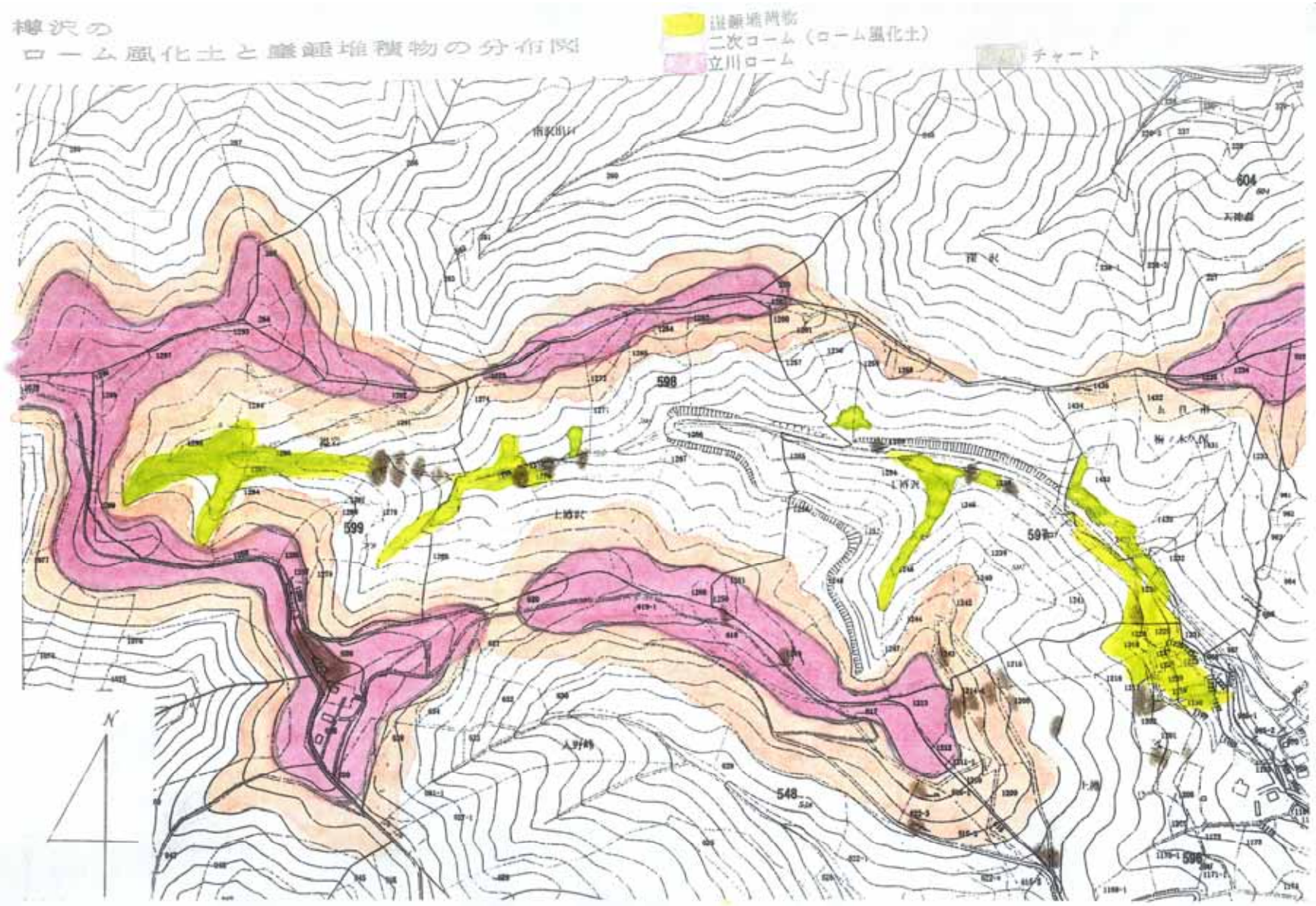


図 4 - 2 樽沢のローム風化土と崖錘堆積物の分布図

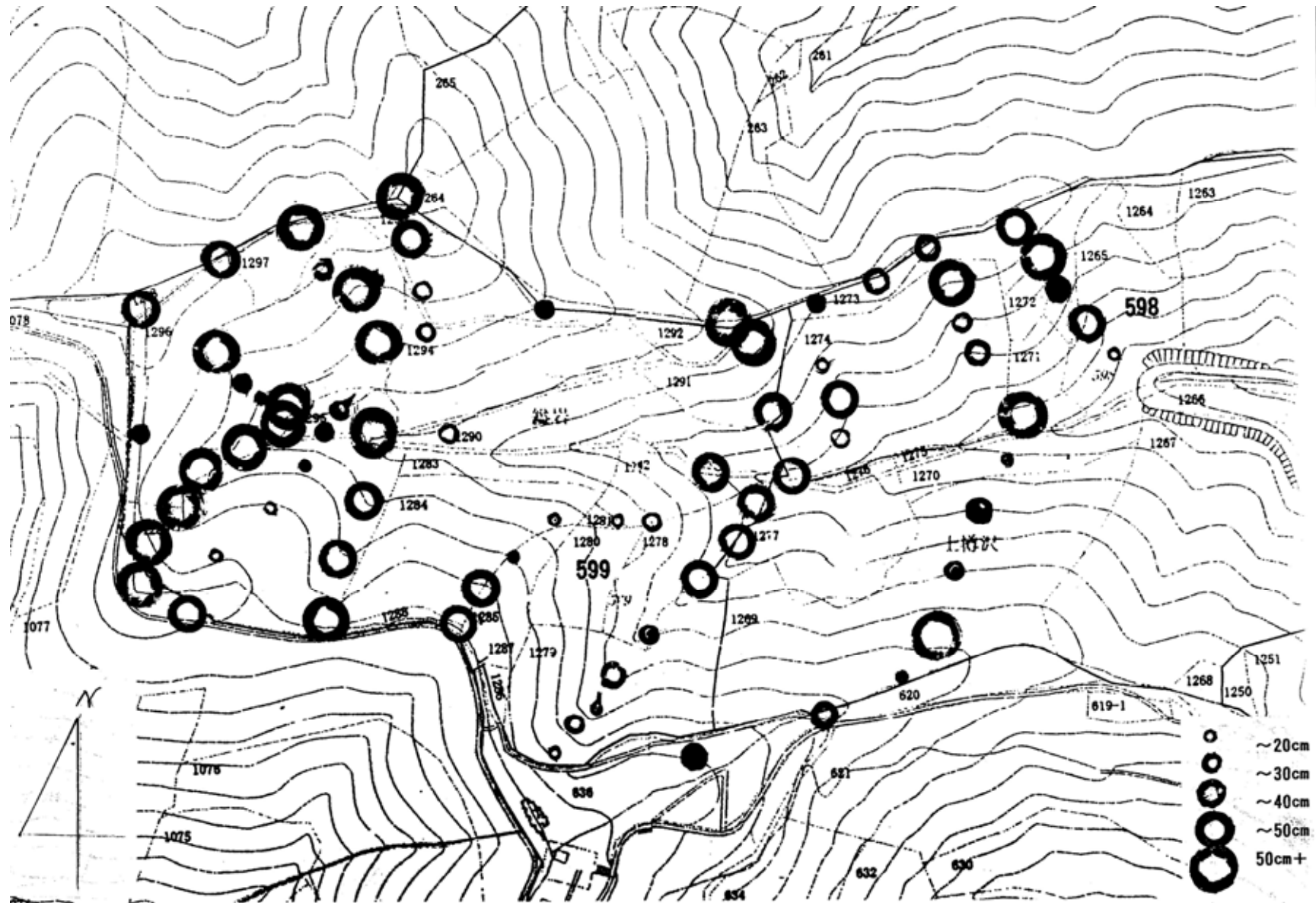


図 4 - 3 樽沢の表土の厚さ

5-1 研究目的

森林は裸地などに比べ保水性に優れ、防災の面からも優位にある。そのため、森林の水循環、物質循環の特性を知ることは非常に重要な事である。しかし、樹木の種類によってその特性は大きく変化し、また、森林伐採後はその特性も大きく変化すると思われる。そこで本研究では、河川流域にスギ、ヒノキ、雑木林、スギ伐採後の裸地という4つの異なる植生を持つ東京都あきる野市樽沢を研究対象地点とした。その研究地点において、雨量、水質、河川流量、土壌の透水係数などを観測し、それぞれの植生での水循環、物質循環の特性を、また、スギ伐採後の裸地の変化を、水、物質の両方の観点から定量的に評価する事も目的としている。

このため、まずスギ、ヒノキ、雑木林それぞれの植生での降雨遮断量を求め、裸地になった場合、相対的にどれだけ土壌に浸透する水分量が増えるのかを調べた。また、同時に裸地でサンプリングした林外雨と、スギ、ヒノキ、雑木林の林内雨、樹幹流をそれぞれサンプリングし、その水質を測った。そして、得られたイオン濃度及び雨量データからどれだけの物質負荷量が植生毎に流入しているのかを求め、裸地との比較を行った。

さらに、伐採後の裸地の変化を表流水流量とその物質質量から評価するため、流域からの流出量とイオン濃度を測定した。この結果から、スギが伐採された裸地からの物質流出量が時間の経過とともにどのように変化しているのかを調査した。

5-2 観測地点概要

観測地点は、東京都あきる野市樽沢森林流域である。この森林流域では、1つの流域にスギ、ヒノキ、雑木林、裸地という4つの異なる植生が分布している(図5.1)。観測器具は、この4つの植生それぞれに設置した。また、2003年10月から新たな伐採を実施したため、それに応じて、図5.2のように新たな観測地点を増やした。また、河川の流量及び水質採取地点は図5.3に示す。

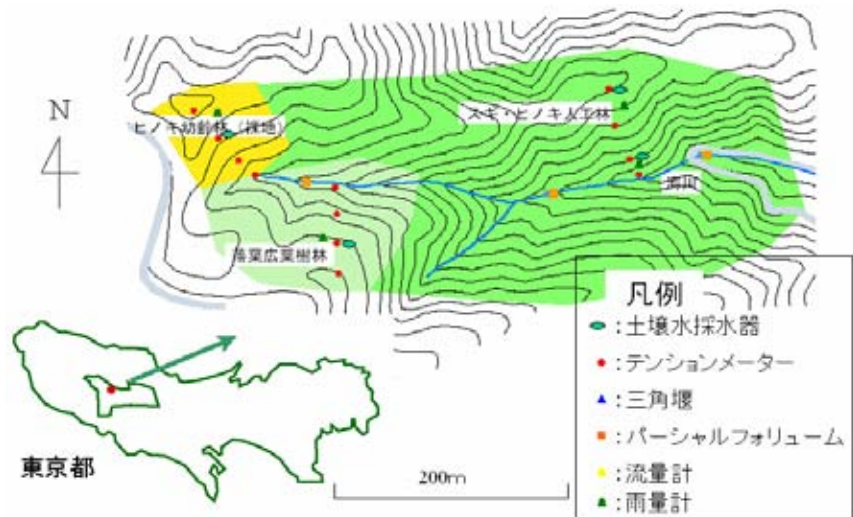


図 5.1 実験地における観測地点(2003年8月以前)

1). 裸地

以前はスギ林であったが、2001年7月に全伐され裸地となる。斜面は、南東に向かって傾斜している。本流域の湧水点の上部に位置している。標高は410 ~ 470mである。

2). スギ林

スギは流域に広く植えられており、観測器具を設置した地点は比較的流域の下流部に位置している。斜面は、南向きに傾斜している。観測機器が置いてある地域では、樹木の直径は、地表から1.5mの高さで15~35cm。樹木の密集度は、1アール辺り29本であった。その標高は350~370mである。

3). ヒノキ林

ヒノキもスギと同じように流域に広く植えられている。現在、林業は行われておらず放置林となっている。森林では倒木も見られる。観測器具を設置した地点は、スギ林において観測器具を設置した地点と同じ斜面に位置し、ヒノキ林は斜面の上部に位置している。斜面は、南向きに傾斜している。樹木の直径は、地表から1.5mの高さで10~20cm。樹木の密集度は、1アール辺り37本であった。標高は370~400mである。

4). 雑木林

以前はスギ林であったが、10年程前にスギが伐採され雑木林となった。木々は高さ3~5m程のものが多く、非常に密集して生えている。木の種類は、シヤナラなど広葉樹が主である。斜面は北向きに傾斜している。樹木の直径は、地表から1.5mの高さで2~5cm。樹木の密集度は、1アール辺り130本であった。標高は410~440mである。

5-3 実験地の土壌・地形特性

各観測区の土壌飽和透水係数は表5.1と表5.2に示す。

表5.1 ヒノキ, スギ, 雑木林の土壌飽和透水係数 (単位: cm/s)

深度	ヒノキ	スギ	雑木林
0~5cm	1.04×10^{-2}	3.26×10^{-4}	
20cm	7.45×10^{-3}	3.69×10^{-3}	1.82×10^{-3}
40cm	9.02×10^{-3}	4.02×10^{-5}	3.36×10^{-5}
60cm	2.48×10^{-2}	6.55×10^{-5}	5.04×10^{-4}
80cm	1.92×10^{-4}	3.83×10^{-3}	2.85×10^{-4}
100cm	2.14×10^{-3}	5.85×10^{-2}	7.86×10^{-4}
150cm	3.94×10^{-5}		
200cm	1.63×10^{-4}		
250cm	1.60×10^{-6}		
300cm	1.55×10^{-5}		

表5.2 伐採地斜面における土壌飽和透水係数

深度	林内上部	林内中部	林内下部	下流最下部	Z下部	谷頭斜面
0 cm	1.67×10^{-2}		6.54×10^{-2}	1.10×10^{-2}	1.62×10^{-2}	
20 cm	7.40×10^{-3}			1.33×10^{-3}		
40 cm	9.17×10^{-4}					
50 cm				2.22×10^{-2}	2.64×10^{-2}	6.18×10^{-5}
60 cm	1.57×10^{-2}		2.36×10^{-3}			
80 cm	1.19×10^{-2}	3.05×10^{-2}				
100 cm	1.72×10^{-2}	2.93×10^{-3}				
150 cm	9.92×10^{-4}					
200 cm	1.16×10^{-3}					

斜面における土壌断面の調査・測定を行う場合、簡易貫入試験を実施した。5kgの重りを50cmの高さから落下させ、円錐コーンを地中に貫入させ、コーンが10cm貫入するのに要した重りの落下回数に換算してNc値とするものである。Nc値は以下のように求められる。

$$Nc \text{ 値} = [\text{落下回数(回)} / \text{貫入量(cm)}] \times 10$$

太田(1988)は新第三紀丘陵性山地斜面において行った調査観測より、Nc値20に相当する面を“水文学的基盤”と定義し、その上に直接流出に寄与する飽和側方流が発生するとした。また、本報告書はNc値50以上の面を“未風化基盤”と定義した。

図5.2~図5.5は各斜面の地面形状及び土壌のNc値分布を示している。

スギ・ヒノキ斜面(図5.2)において、斜面下部から上へ向かって、Nc値20に相当する面は、下部では深度が70cmから120cmであり、中腹()ではNc値が30を超えた深度110cmを除き、180cmまでとなる。地点 では、“水文学的基盤”の土層厚が90cmに止まり、更に上部の では、その層厚が再び200cmに達した。土層厚が下部から上部に向かって厚くなっていることではなく、極めて複雑な分布をしている。このことは、斜面の異なる部分において、崩壊・堆積の繰り返しが生じていることが暗示される。

一方、2003年10月から12月まで森林伐採が行われた斜面(図5.3)については、地点 ~ までの区間で、土層厚は下部端で薄く、上部へ行くほど厚くなる傾向にある。特に地点 での土層厚が340cmに達した。地点 では、土層厚が90cmに急激薄くなった。更に上流にいくと、地点 , で見られるように、土層厚が500cm以上になる。研究地域では、土層厚く堆積しているのは山頂部付近及び斜面の中腹である。その両者の間に、土層の薄い部分が分岐点として存在していることが分かる。2001年伐採

の斜面（図 5.4）の貫入試験データが少ないが，同様な傾向が見られる。

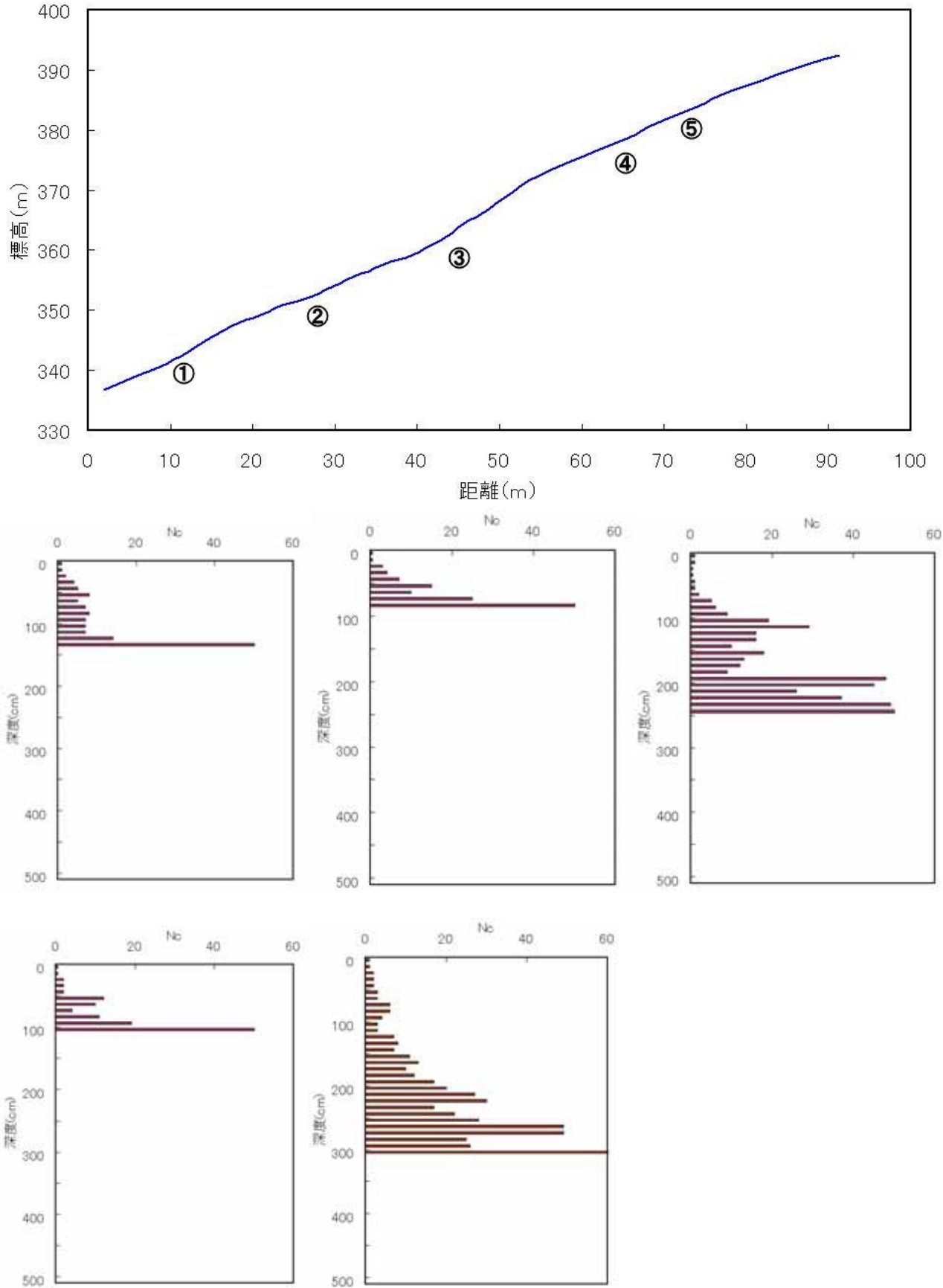


図 5.2 スギ・ヒノキ斜面

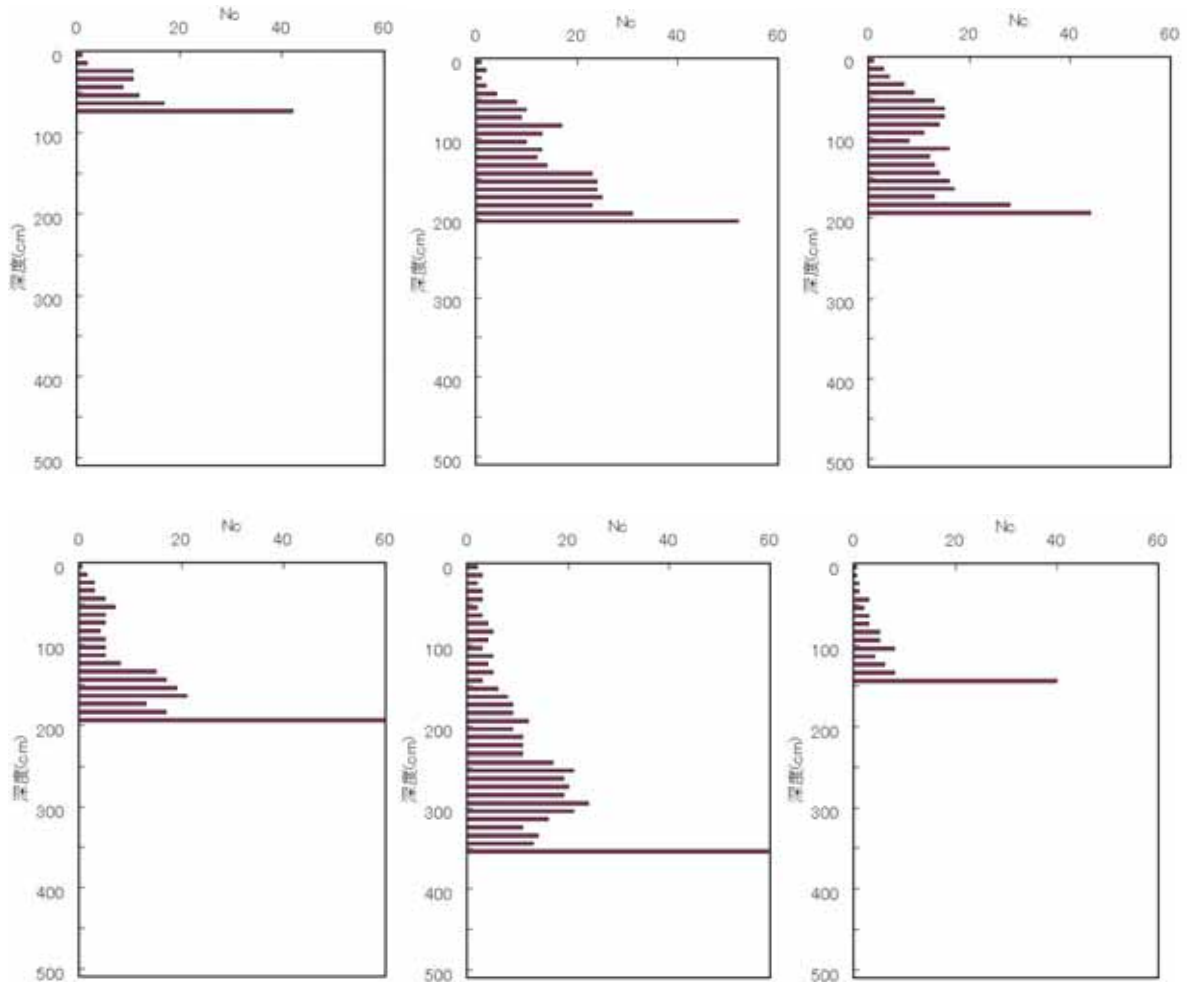
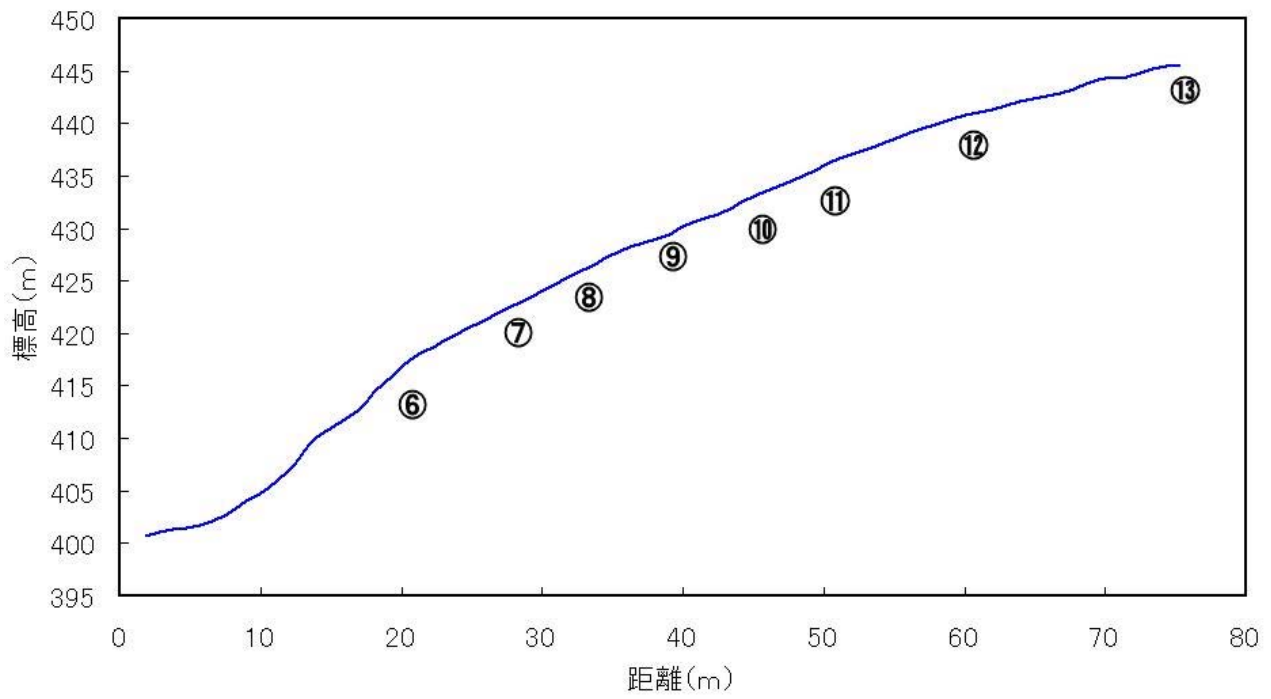


図 5.3 2003 年十月伐採実施された斜面（つづき）

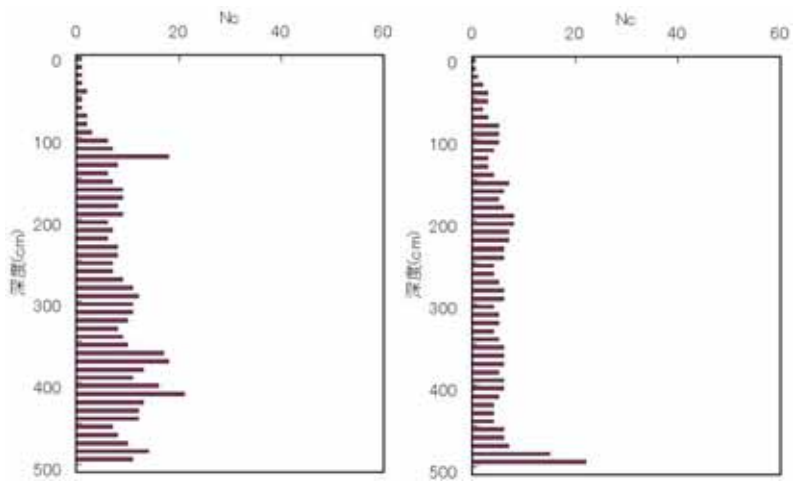


図 5.3 2003 年十月伐採実施された斜面

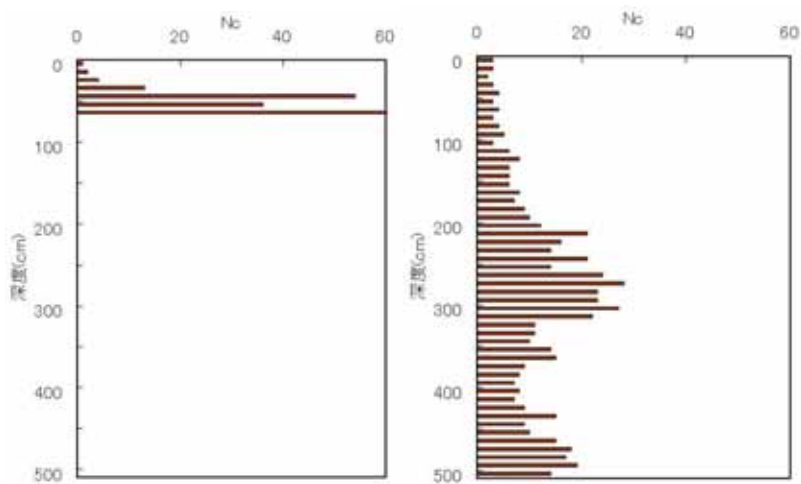
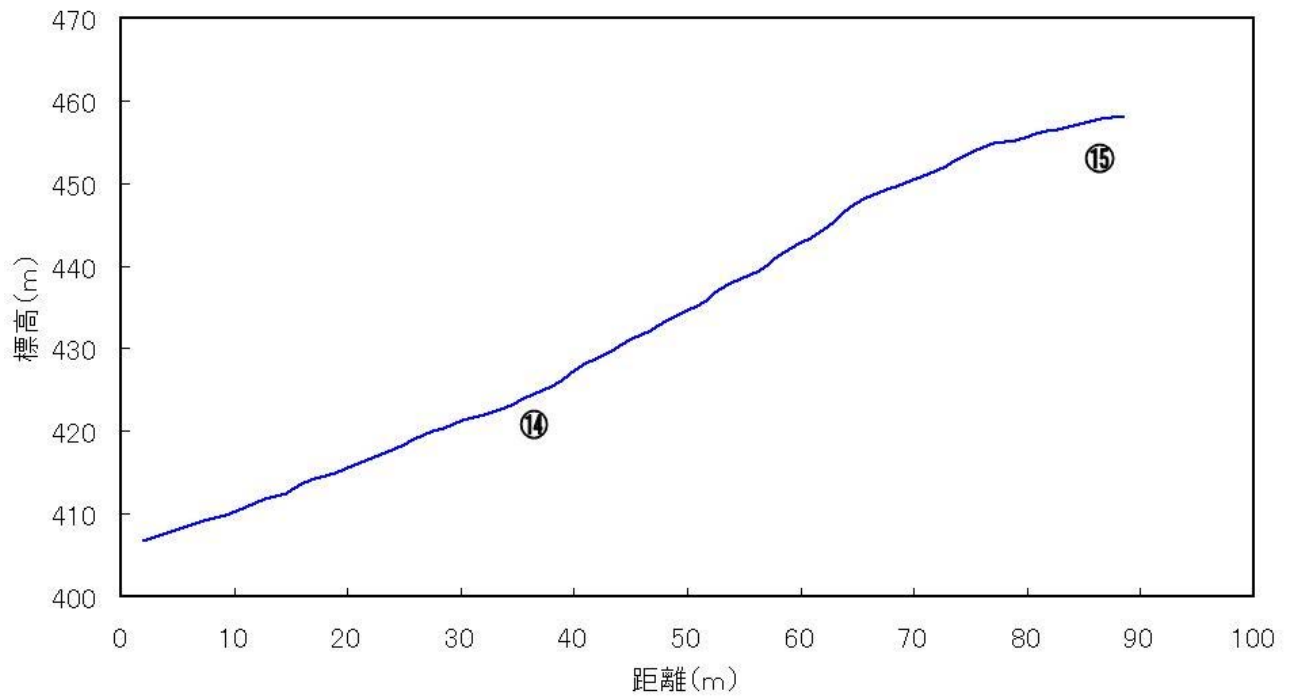


図 5.4 2001 年伐採実施された斜面

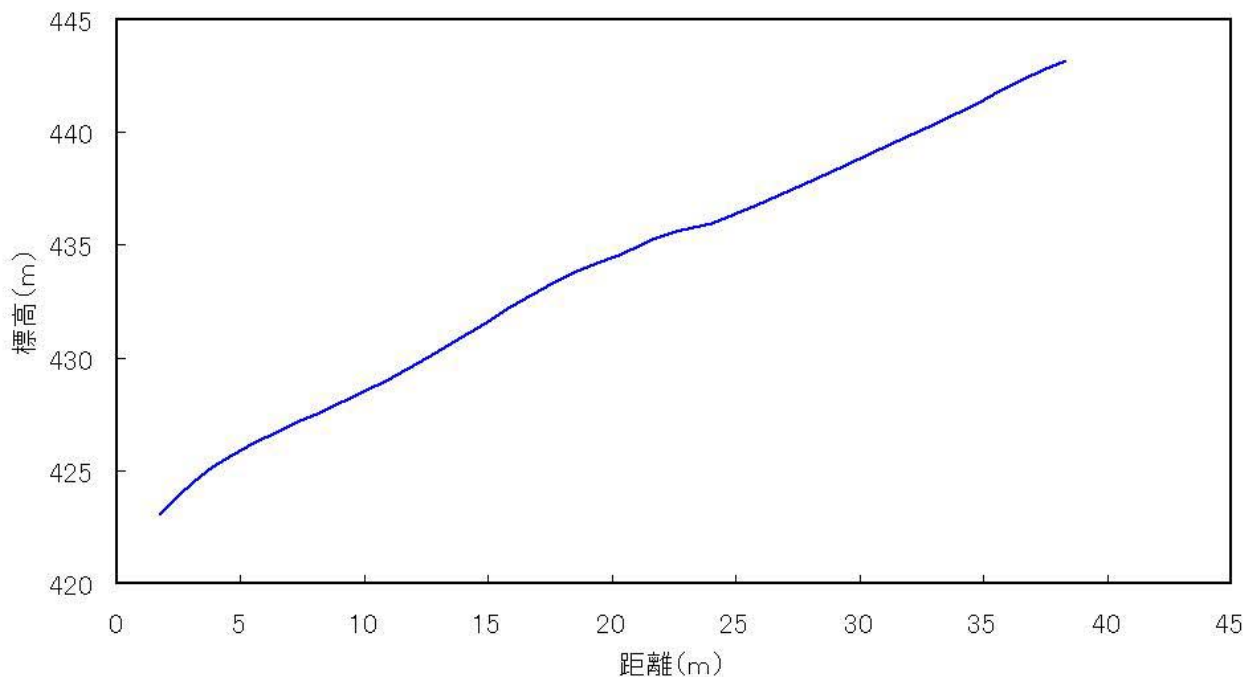


図 5.5 雑木林斜面

また、土壌堆積の厚さの観点を見ると、その分岐点を境にし、研究地区の各斜面は下部～中部および上部から頂上の二部分に分けることができる。また、土壌厚と斜面傾斜角の関係はある斜面位置における土層の相対的な安定性の推定するのに非常に重要なものである。図 5.6 および図 5.7 はそれぞれ $N_c=20$ および $N_c>50$ の場合の土壌厚と斜面傾斜角の関係を示す。図から、「下部～中部」においては、傾斜角度が大きいほど、土層厚が増える。土壌厚と斜面傾斜角は弱い正相関関係がある。一方、「上部から頂上」においては、「下部～中部」と正反対に、斜面の傾斜角度が多いほど、土層厚が薄くなり、土壌厚と斜面傾斜角は逆相関関係を持っている。

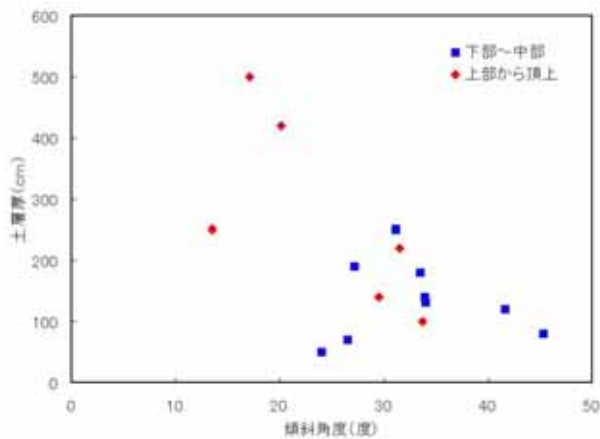


図 5.6 土壌厚と斜面傾斜角の関係 ($N_c=20$)

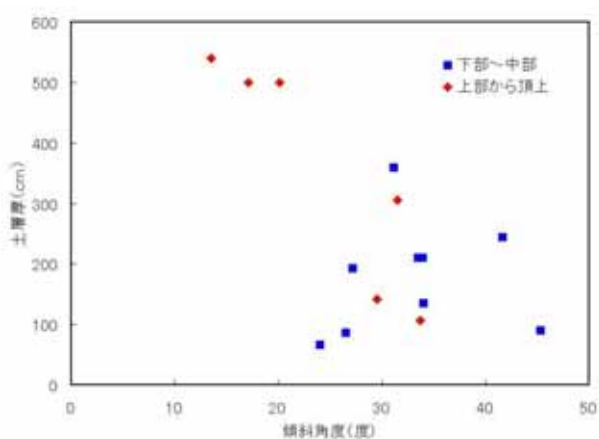


図 5.7 土壌厚と斜面傾斜角の関係 ($N_c>50$)

5-4 観測方法

観測器具は、この4つの植生それぞれに設置した。また、2003年10月から新たな伐採を実施したため、それに応じて、図 5.8 のように新たな観測地点を増やした。また、河川の流量及び水質採取地点は図 5.9 に示す。

i). 雨量

森に降った雨は、地面に浸透するもの(林内雨)、木の幹を伝って地面に浸透するもの(樹幹流)、幹や葉などに捕らわれ地面に浸透することなく蒸発していくもの(遮断)の3つに分けられる。つまり、遮断の割合が大きければ、降雨の損失量が大きくなることになる。本研究地において、各植生における降雨がどのような割合で林内雨、樹幹流、遮断に再配分されるのかを調べるため、スギ、ヒノキ、

雑木林の各植生で林内雨と樹幹流を観測した。また、林外雨を2地点で観測した。林内雨と樹幹流は各植生で観測された値を用いているが、遮断は、林内雨と樹幹流を足した値と林外雨の差から求めた。林外雨、林内雨と樹幹流の観測は2001年9月1日から開始した。雨量計を用い、林外雨を2地点で、林内雨をスギ、ヒノキ、雑木林の各植生で1地点ずつ定点観測している。記憶媒体にはHoboを使用している。また、スギ、ヒノキ、雑木林の各植生において、1箇所ずつ木の幹に樹幹流採取装置を取りつけた。それを雨量計に接続し、樹幹流量を測定している。計測されたデータを樹幹流採取装置のついた樹木の面積で割り、単位面積あたりの樹幹流量に変換した。記憶媒体にはHoboを使用している。

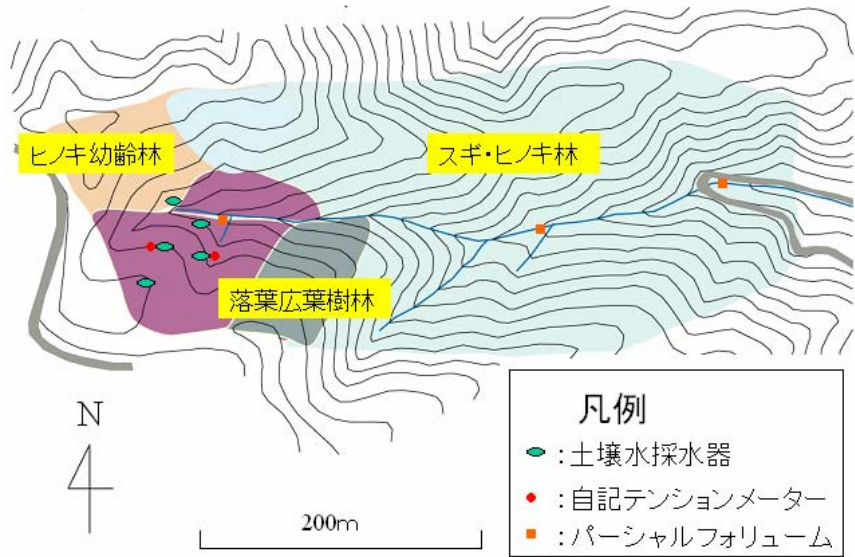


図 5.8 実験地における新設観測地点（2003年8月以後）

ii). 水質

林内雨や樹幹流は、木に付着したエアロソルなどを吸収することにより、もともとの水質から変化する。各植生において林内雨、樹幹流をサンプリングし、水質、林内雨、樹幹流量のデータから、どれだけの物質が土壤に流入しているのかを計算した。また、河川水をサンプリングし、河川流量とかけることにより物質の流出量も計算した。

水質の観測は2001年9月1日から開始した。2週間～2ヶ月毎に、林外雨、林内雨、樹幹流、河川水をサンプリングし、EC、pH、イオン濃度を測定した。陰イオン濃度はイオンクロマトグラフィー(島津製作所)を用い、陽イオンはICPS-1000 C(島津製作所)を用いて測定した。河川水の観測地点は次のとおりである。

- Point : 源流部
- Point : 落葉広葉樹林からの流出水
- Point : との合流した点
- Point : スギ・ヒノキ林からの渓流水
- Point : 源流部からの本流
- Point : との合流した点
- Point : 最下流堰

iii). 河川流量（観測期間：2001年9月1日～）

そのうちに、自記流量計を設置した場所は、

及びの地点である。また、河川水取水の際に、全ての地点において、手動で流量観測をした。特に流域上部のパーシャルフリュームにおいて、圧力センサーのついた記憶媒体Diverを使用し、気圧及び水圧を計測している。Diverで観測された気圧と水圧の差から水位を計算し、さらに、パーシャルフリュームの水位から流量を計算する式を用い流量を求めた。

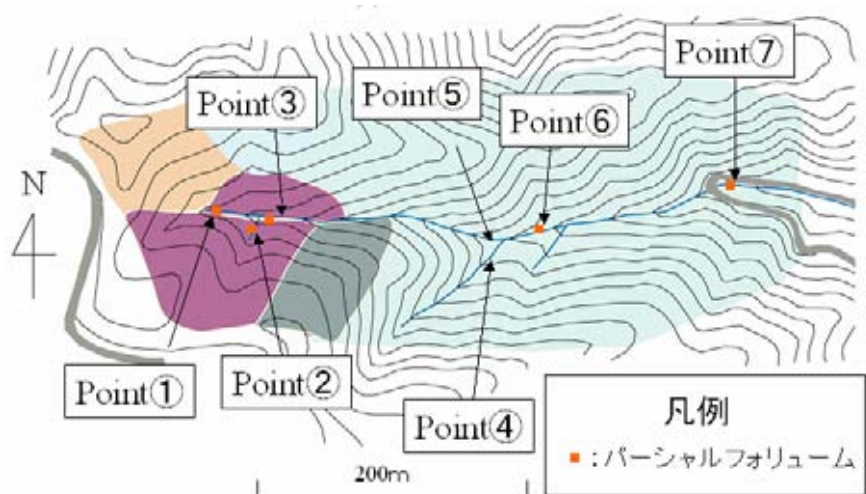


図 5.9 実験地における河川観測地点

iv). 土壌の負圧 (観測期間: 2001年9月1日~)

裸地, スギ, ヒノキ, 雑木林の各植生の斜面にテンシオメーターを埋設し、土壌の負圧を測定した。各斜面に4セットずつ埋設し(位置は図5.1を参照)、植生毎に斜面の土壌の水分量を調べた。また、2003年から伐採予定地で自記テンシオメーターも設置した。(図5.8)

参考文献

- Changyuan Tang (1996) : Interception and recharge process beneath a pinus elliotii forest. Hydrological Processes, **10**, 1427-1434
- Jaime Cavelier, Maria Jaramillo, Daniel Solis, Doris de Leon (1997) : Water balance and nutrient inputs in bulk precipitation in tropical montane cloud forest in Panama Journal of Hydrology, **197**, 83-96
- 岡本省吾, 北村四郎 (1959) : 原色日本樹木図鑑 16-19, 保育社
- 太田猛彦(1988) : 森林山地斜面における雨水の流出について。水文・水資源学会誌 1(1) : 75-82 .
- 佐藤一男, 高橋章, 若松孝志 : 森林生態系における酸の挙動 電中研レビュー, **43**, 34-44
- 塚本良則 (1998) : 森林・水・土の保全 103-121, 朝倉書店
- 中野秀章 (1976) : 森林水文学 19-66, 137-182, 197-199, 共立出版

第6章 降雨

(唐 常源)

6 - 1 はじめに

土地被覆としての森林の特徴は、他の植生と比較して、樹幹遮断量が多いことにある (Pearce and Rowe, 1979)。森林による降雨の再配分は流域水収支に大きな影響を与える。流域における樹冠遮断量の観測は、森林の生態学研究の一環として、水循環、水収支、養分循環、養分収支を知るため行われるものである。

森林は裸地などに比べ保水性に優れ、防災の面からも優位にある。そのため、森林の水循環、物質循環の特性を知ることは非常に重要な事である。しかし、樹木の種類によってその特性は大きく変化し、また、森林伐採後はその特性も大きく変化すると思われる。そこで本研究では、河川流域にスギ、ヒノキ、雑木林、スギ伐採後の裸地という4つの異なる植生を持つ東京都あきる野市樽沢を研究対象地点とした(図6.1)。その研究地点において雨量と水質を観測し、それぞれの植生での水循環、物質循環の特性を定量的に評価し、また、スギ伐採後の裸地の変化を、水、物質の両方の観点から定量的に評価することを目的とした。

このため、まずスギ、ヒノキ、雑木林それぞれの植生での降雨遮断量を求め、裸地になった場合、相対的にどれだけ土壌に浸透する水分量が増えるのかを調べた。また、同時に裸地でサンプリングした林外雨と、スギ、ヒノキ、雑木林の林内雨、樹幹流をそれぞれサンプリングし、その水質を測った。そして、得られたイオン濃度及び雨量データからどれだけの物質負荷量が植生毎に流入しているのかを求め、裸地との比較を行った。

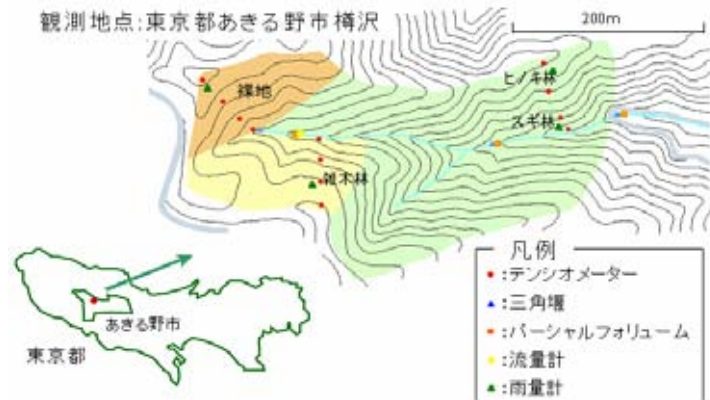


図 6.1 研究地域概要図

6 - 2 観測内容及び手法

6 - 2 - 1 観測内容

森に降った雨は、地面に浸透するもの(林内雨)、木の幹を伝って地面に浸透するもの(樹幹流)、幹や葉などに捕らわれ地面に浸透することなく蒸発していくもの(遮断)の3つに分けられる(図6.2)。つまり、遮断の割合が大きければ、降雨の損失量が大きくなることになる。本研究地において、各植生における降雨がどのような割合で林内雨、樹幹流、遮断に再配分されるのかを調べるため、スギ、ヒノキ、雑木林の各植生で林内雨と樹幹流を観測した。また、林外雨を2地点で観測した。林内雨と樹幹流は各植生で観測された値を用いているが、遮断は、林内雨と樹幹流を足した値と林外雨の差から求めた。

林内雨や樹幹流は、木に付着したエアロソルなどを吸収することにより、もともとの水質から変化する。各植生において林内雨、樹幹流をサンプリングし、水質、林内雨と樹幹流の量らのデータから、どれだけの物質が土壌に流入しているのかを計算した。

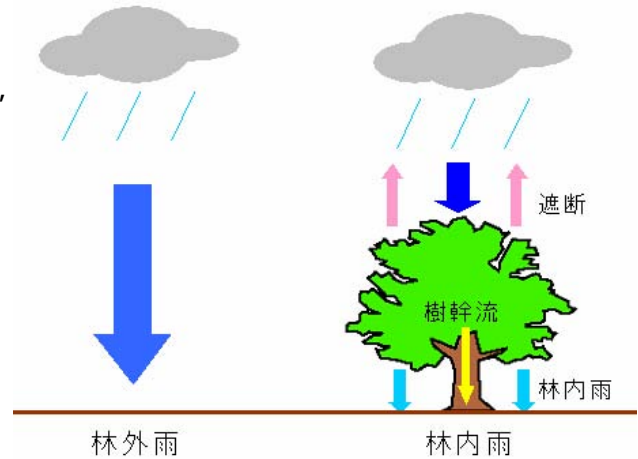


図 6.2 林内雨，林外雨，樹幹流，遮断の概念図

6 - 2 - 2 観測手法

i). 雨量 (観測期間：2001年9月1日～)

雨量計を用い、林外雨を2地点で、林内雨をスギ、ヒノキ、雑木林の各植生で1地点ずつ定点観測している。記憶媒体にはHoboを使用している。

ii). 樹幹流量 (観測期間：2001年9月1日～)

スギ、ヒノキ、雑木林の各植生において、1箇所ずつ木の幹に樹幹流採取装置を取りつけた。それを雨量計に接続し、樹幹流の量を測定している。計測されたデータを樹幹流採取装置のついた樹木の

面積で割り、単位面積あたりの樹幹流の量に変換した。記憶媒体には Hobo を使用している。

iii). 水質 (観測期間: 2001 年 9 月 1 日 ~)

2 週間 ~ 2 ヶ月毎に、林外雨、林内雨、樹幹流、河川水をサンプリングし、EC, pH, イオン濃度を測定した。陰イオン濃度はイオンクロマトグラフィー(島津製作所)を用い、陽イオンは ICPS-1000 C(島津製作所)を用いて測定した。

6 - 3 結果と考察

6 - 3 - 1 降雨遮断特性

一般的に、森に降る雨のほとんどが林冠(木の上部にある枝や葉が集まった部分)を通り地面に到達する。この雨を「林内雨」と呼ぶ。また、雨の一部は幹を伝って地面に到達する。この雨を「樹幹流」と呼ぶ。さらに、林冠などに捕らえられ地面に到達することなく蒸発していく雨を「遮断」と呼ぶ。これらと対比させるため、森の外で降る雨を本研究では「林外雨」と呼ぶ。林内雨及び樹幹流は雨量計で測定された値を用い、遮断については林外雨の観測値から林内雨と樹幹流を足した値を引いたものを遮断の値とした。

また、林外雨、林内雨、樹幹流の観測値(2001 年 9 月 1 日 ~ 2002 年 8 月 31 日の 1 年間)を用い、植生毎に林外雨と林内雨、樹幹流の相関をとった。グラフは図 6.3~図 6.5 である。得られた結果は以下の通りである。(x: 林外雨量[mm]、y: 林内雨と樹幹流の量[mm])

スギ 林内雨: $y=0.8064x-1.4316$
樹幹流: $y=0.0074x-0.1292$

ヒノキ 林内雨: $y=0.7236x-4.8813$
樹幹流: $y=0.0178x-0.3561$

雑木林 林内雨: $y=0.9202x-0.2752$ ($x < 40$)

樹幹流: $y=0.0039x-0.0070$

スギ、ヒノキから得られた回帰直線の式の傾きは、林内雨、樹幹流の 1 年間の積算値と林外雨の積算値から得られた林内雨、樹幹流の比率と良く一致している。回帰直線の傾きが一樣に降雨再分布の比率よりも高くなってしまっているが、その理由としてまず切片が負の値を取っている事が挙げられる。また、もう一つの理由として、先行降雨の影響を無視すると、植生毎の遮断量は 1 回の降雨あたりほぼ一定である。このため、少ない雨量では遮断の割合が大きく、多量の雨では遮断の割合が小さくなる。このことによって全体の比率を比べると、少量の降雨では林内雨の観測された割合が小さくなり、また、多量の降雨では林内雨の割合が大きくなってしまった。そのため回帰直線の傾きが降雨再配分の比率よりも大きな値を取ったと考えられる。また、雑木林内雨の回帰式とスギ、ヒノキのものを比較すると、傾きが 0.9202 とスギ、ヒノキと比べ大きな値を

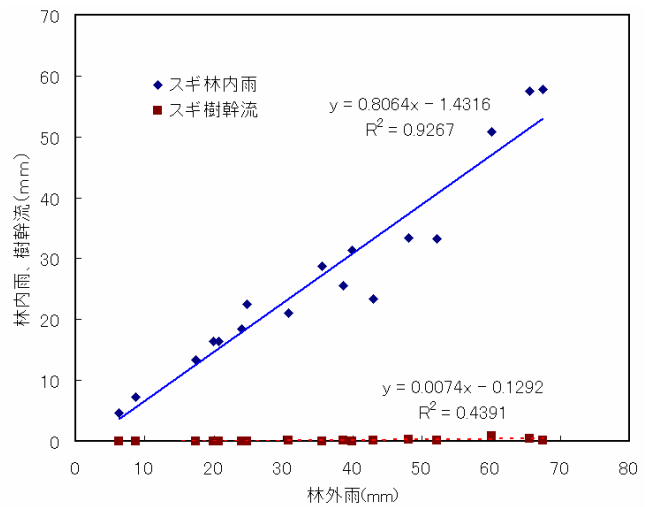


図 6.3 林外雨、林内雨、樹幹流の相関関係 (杉林)

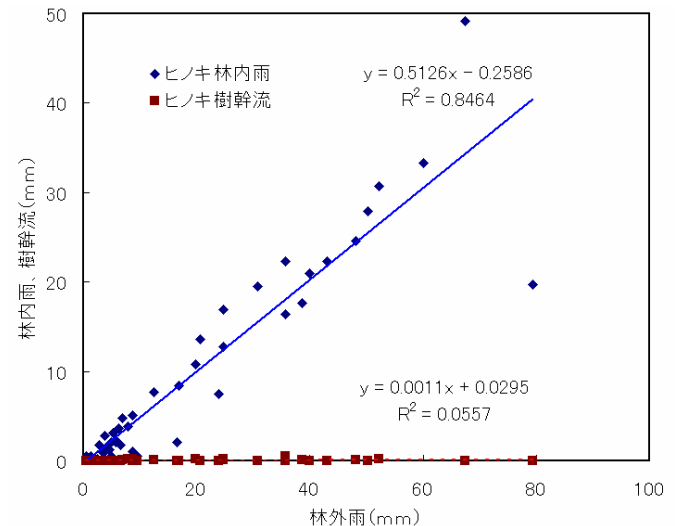


図 6.4 林外雨、林内雨、樹幹流の相関関係 (ヒノキ)

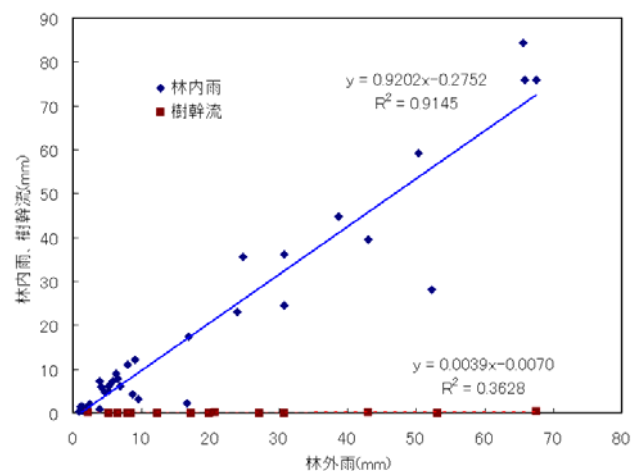


図 6.5 林外雨、林内雨、樹幹流の相関関係 (雑木)

示した。式から導き出される遮断量($y=0$ の時の x , 1回の降雨に対する遮断量に相当)が0.3mmとスギ、ヒノキに比べて(それぞれ 1.8mm, 6.2mm)、かなり小さくなっている。この式から雑木林は、遮断量がスギ、ヒノキに比べ少ないと考えられる。

次に、(林外雨 = 林内雨 + 樹幹流 + 遮断)とし、スギ、ヒノキ、雑木林における降雨の分布比率を求めた。林外雨、林内雨、樹幹流はそれぞれ測定された値を用い、遮断については、林外雨、林内雨、樹幹流のデータから推定した値を遮断量とした。その結果次の値が求まった。

林外雨：年間降水量 2428mm

スギ：林内雨 1853mm (76.3%), 樹幹流 14.4mm (0.6%), 遮断 560.6mm (23.1%)

ヒノキ：林内雨 1612mm (66.4%), 樹幹流 34.2mm (1.4%), 遮断 781.8mm (32.2%)

八王子で観測されたアメダスの降雨データから、過去10年の年間雨量は1110~2393mmであった。本研究値で観測された林外雨は、2428mmと八王子のデータと比べ大きい値であった。

降雨再分布の比率は、植生毎に傾向が見られた。遮断率ではヒノキの割合がスギのものよりも約9%大きく、年間遮断量にすると約220mmに相当する。同じ針葉樹林でこのような違いが現われた理由として、葉の構造が挙げられる。図6.6にスギとヒノキの葉の構造を示した。両者とも細かく枝分かれした構造をしているが、スギと比べヒノキの葉の方がより大きな空隙を持っている。このため、ヒノキの葉がより多くの水分を捕らえる事が可能である。この構造の違いから、ヒノキの方がより降雨を遮断する量が大きくなり、遮断量の違いとなって現われたと考えられる。また、スギが伐採され裸地となることで1haあたり560.6mmの降雨がさらに流入するが、裸地は森林に比べ浸透度が低い(中野秀章(1976):森林水文学, 82-87 共立出版)ために、スギと比較すると涵養量は低下すると考えられる。

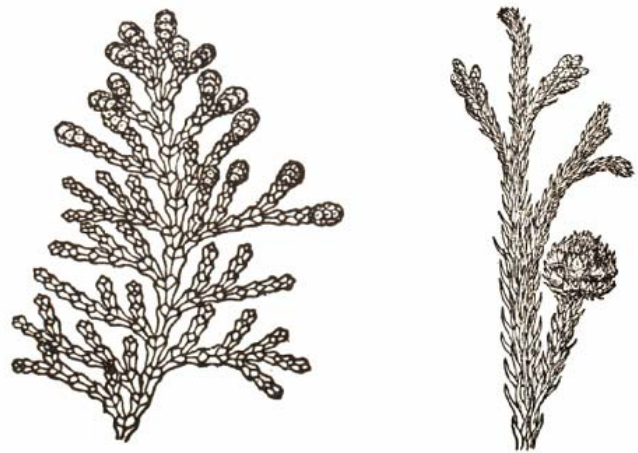


図 6.6 ヒノキ(左)とスギ(右)の葉の構造

6-3-2 物質負荷特性

研究地において、2週間~2ヶ月毎に林外雨と植生ごとの林内雨、樹幹流をサンプリングし、そのイオン濃度を計測した。計測したイオンは、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} である。その結果は、図6.7~図6.9に示した。

この結果から、裸地の値に対して Cl^- は、スギ林内雨で平均3.56倍、スギ樹幹流で平均4.34倍、ヒノキ林内雨で平均4.07倍、ヒノキ樹幹流で平均3.06倍であった。 NO_3^- は裸地と比較すると、スギ林内雨で平均2.51倍、スギ樹幹流で平均2.70倍、ヒノキ林内雨で平均5.74倍、ヒノキ樹幹流で平均5.77倍であった。植生別に見るとヒノキのイオン濃度がスギと比べ非常に高いという結果が得られた。 SO_4^{2-} も、これまでと同様に裸地と比較すると、スギ林内雨で平均1.83倍、スギ樹幹流で平均5.74倍、ヒノキ林内雨で平均2.03倍、ヒノキ樹幹流で平均4.84倍であった。植生別に見ると、林内雨ではヒノキでより高い濃度が検出され、樹幹流ではスギの濃度が高くなった。

また、林外雨と各植生の樹幹通過流の陰イオン濃度及び電気伝導度を比較すると、 Cl^- 濃度は1~4mg/lの間の値をとったので樹種による差はそれ程無いと考えられる。 NO_3^- 濃度については、林外雨、裸地林内雨、落葉広葉樹林内雨で1~2mg/l、スギ林内雨、スギ樹幹流、落葉広葉樹樹幹流で2~4mg/lとヒノキ林以外ではそれ程大きな差は見られなかったが、ヒノキ林内雨で約7mg/l、ヒノキ樹幹流で約13mg/lと他の陰イオンよりも大きな値を示した。このことから、スギ林、落葉広葉樹林では降雨の樹幹通過による NO_3^- の負荷は少ないが、ヒノキ林では NO_3^- の負荷が大きいことがわかった。

SO_4^{2-} 濃度は林外雨、スギ林内雨、裸地林内雨、落葉広葉樹林内雨、落葉広葉樹樹幹流では約1~2mg/l、ヒノキ林内雨、ヒノキ樹幹流で約2~4mg/lとそれ程差は無いが、スギ樹幹流では10~20mg/lと他の地点よりも非常に大きな値を示した。このことから、スギの樹幹流はヒノキや落葉広葉樹と比べ SO_4^{2-} を多く負荷することが分かった。また、どの植生においても樹幹流で値が高かった。一方、電気伝導度では、裸地林内雨と落葉広葉樹林内雨は林外雨とほぼ等しく約20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ となった。スギとヒノキの林内雨

はほぼ等しく、約 $40 \mu\text{S/cm}$ となった。樹幹流は各植生で異なり、広葉樹林で約 $50 \mu\text{S/cm}$ 、ヒノキ林で $80 \mu\text{S/cm}$ 、スギ林では $80 \mu\text{S/cm}$ 以上の値を示した。

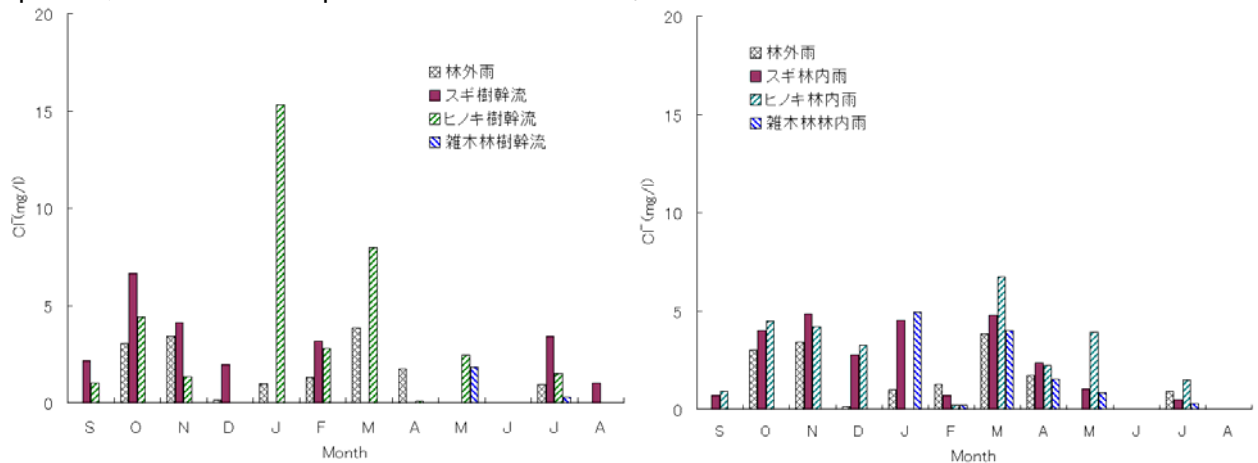


図 6.7 林外雨，林内雨，樹幹流のCl⁻濃度変化の比較

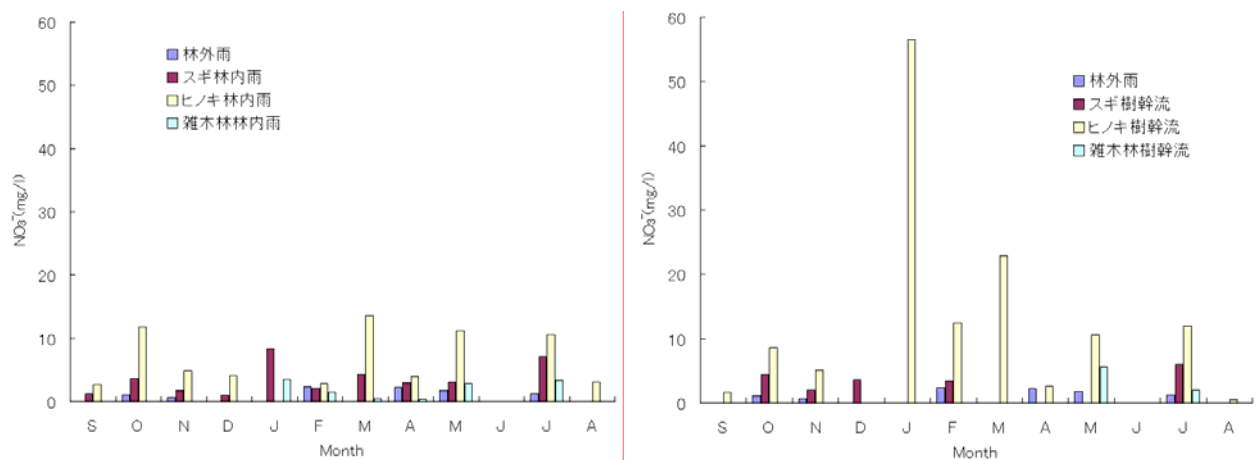


図 6.8 林外雨，林内雨，樹幹流のNO₃⁻濃度変化の比較

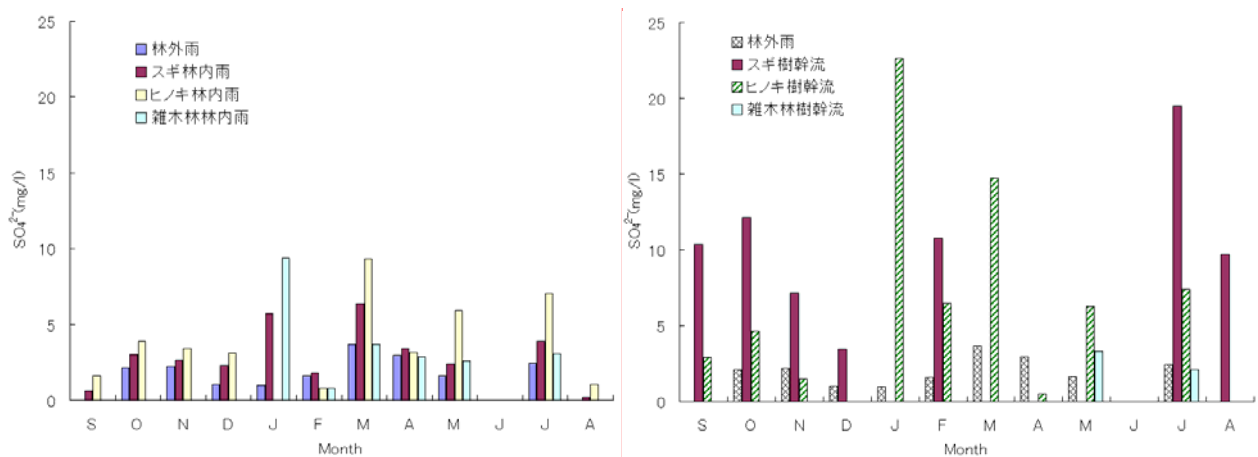


図 6.9 林外雨，林内雨，樹幹流のSO₄²⁻濃度変化の比較

また、これらのイオン濃度と先ほど示した雨量のデータから、各植生に単位面積あたりどれだけの量の物質が流入しているのかを計算した(2001年9月1日～2002年8月31日までの1年間の値)。その結果、

裸地	Cl ⁻ : 23.8kg/ha,	NO ₃ ⁻ : 17.6kg/ha,	SO ₄ ²⁻ : 30.8ka/ha
スギ	Cl ⁻ : 22.0kg/ha,	NO ₃ ⁻ : 34.2kg/ha,	SO ₄ ²⁻ : 29.5kg/ha
ヒノキ	Cl ⁻ : 26.2kg/ha,	NO ₃ ⁻ : 80.4kg/ha,	SO ₄ ²⁻ : 44.2kg/ha

となった(図 6.10)。

Cl⁻の年間負荷量はヒノキで最大となったが、裸地を含む各植生であまりばらつきのない結果となった。それに対してNO₃⁻は、非常にばらつきのある結果となった。裸地の年間負荷量が 17.6kg/haであるのに対して、スギ林では裸地の値の約 2 倍である 34.2kg/ha、ヒノキ林では裸地の約 4.6 倍の 80.4kg/ha という結果が得られた。SO₄²⁻の値は、裸地とスギが同じような値を取ったのに対して、ヒノキが 44.2kg/ha(裸地の約 1.4 倍の値)と最大の値を取った。

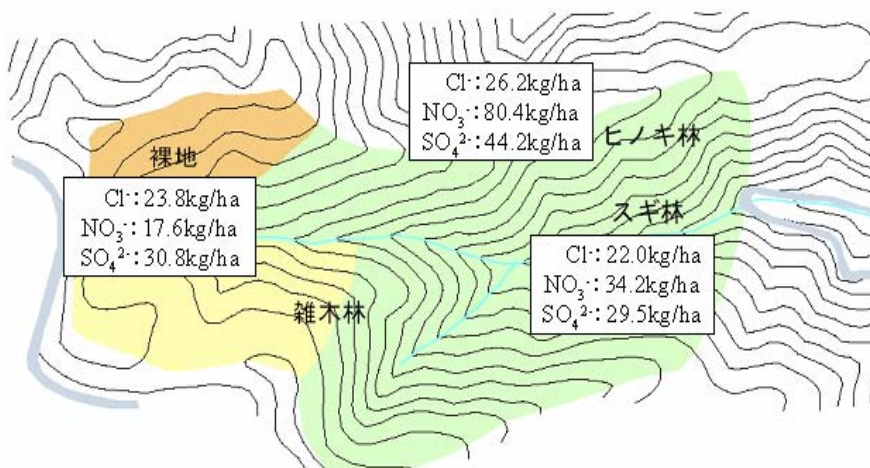


図 6.10 植生毎のCl⁻, NO₃⁻およびSO₄²⁻負荷量

また、裸地の値(林外雨からの物質負荷量)と比較し、植生毎の傾向を見た。スギでは裸地と比べた場合、Cl⁻とSO₄²⁻の年間負荷量が減少している(Cl⁻は 1.8kg, SO₄²⁻は 1.3kgそれぞれ減少)が、NO₃⁻は裸地の年間負荷量の約 2 倍であった。(裸地と比較した場合 16.6kgの増加)。ヒノキはCl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻全て増加している。しかしながら、物質毎に裸地の年間負荷量と比率をとるとCl⁻は約 1.1 倍、NO₃⁻は約 4.6 倍、SO₄²⁻では約 1.4 倍と、物質毎に顕著な傾向が見られた。

得られた結果から、植生毎の傾向をみると、スギでは林内雨、樹幹流ともにCl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻で高い値を示しているが、樹幹流のSO₄²⁻濃度が特に高かった。ヒノキは、スギと同じようにCl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻全て高い値を示していて、NO₃⁻では林内雨、樹幹流ともに特に高い値を示した。

また、イオン濃度には季節変動が見られた。1月にサンプリングしたデータは、期間内の降水量が 30.2mm と少なかったためイオン濃度が非常に高い値を示していた。これは、木に付着したエアロソルがより少ない降雨によって溶出したため、このような高いイオン濃度となったと考えられる。

また、イオン濃度、林内雨、樹幹流量のデータから、2001年9月1日~2002年8月31日の年間物質負荷量を植生毎に求めた。その結果、裸地と各植生の物質負荷量の差は

スギ	Cl ⁻ : -1.8kg/ha,	NO ₃ ⁻ : 16.6kg/ha,	SO ₄ ²⁻ : -1.3kg/ha
ヒノキ	Cl ⁻ : 2.4kg/ha,	NO ₃ ⁻ : 62.8kg/ha,	SO ₄ ²⁻ : 13.4kg/ha

となった。

植生毎に特徴のある結果が得られた。スギはCl⁻で 1.8kg減少, NO₃⁻は 16.6kg増加, SO₄²⁻は 1.3kg減少した。スギの林内雨、樹幹流は林外雨と比べてイオン濃度が高く、特に樹幹流のSO₄²⁻濃度は非常に高い値を示していた。しかし、Cl⁻, SO₄²⁻の負荷量が減少するという結果になった。この原因として、樹幹流のイオン濃度は比較的高かったが、その量が非常に少なかったため(年間 14.4mm)樹幹流からの負荷量があまり影響しなかったこと、また、遮断の影響があったため林内雨の方が林外雨よりも高いイオン濃度であっても、負荷量では裸地より少なくなってしまうと考えられる。それに対して、NO₃⁻は裸地の約 2 倍の値を示した。これはスギの林冠や樹幹に付着したエアロソルが降雨によって溶け出したためだと考えられる。ヒノキはCl⁻で 2.4kg増加, NO₃⁻は 62.8kg増加, SO₄²⁻では 13.4kg増加となり、とくにNO₃⁻の負荷量が多かった。この結果はpHにも顕著に表れていて、林外雨のpHが 4.88~6.93 であったのに対し、ヒノキの林内雨、樹幹流のpHはそれぞれ 4.57~6.05, 3.71~4.50 と非常に低かった。ヒノキでは本研究で遮断量が最大であった(年間 781.8mm, 林外雨の 32.3%に相当)にもかかわらずこのような結果となったのは、ヒノキに付着するエアロソルが非常に多かったためだと考えられる。以上のことから、スギやヒノキでは硝酸の付着が多く、特にヒノキでは著しいということが明らかになった。

6 - 4 まとめ

- スギが伐採され、裸地となったことでスギの遮断量である 560.6mm ほど降雨の流入量が増加し

た。また、スギ、ヒノキの遮断量はそれぞれ 560.6mm, 781.8mm と、遮断量ではヒノキの方が大きいという結果が得られた。これはヒノキの葉の空隙が大きく、より多くの水分を捕らえることが出来るためであると考えられる。

- 物質の負荷量では、スギから裸地となったことで Cl^- は 1.8kg, SO_4^{2-} は 1.3kgそれぞれ増加し、 NO_3^- の負荷量は 16.6kg減少した。裸地と比較した場合、スギの物質負荷量は Cl^- で 1.8kg減少し、 NO_3^- は 16.6kg増加, SO_4^{2-} は 1.3kg減少した。また、ヒノキは Cl^- で 2.4kg増加, NO_3^- は 62.8kg増加, SO_4^{2-} では 13.4kg増加した。このことから、スギやヒノキでは NO_3^- の付着が多く、特にヒノキでは著しいということが明らかになった。

参考文献

Jaime Cavelier, J., Jaramillo, M., Solis, D., and de Leon, D. (1997) : Water balance and nutrient inputs in bulk precipitation in tropical montane cloud forest in Panama Journal of Hydrology, **197**, 83-96

Pearce A.J and Rowe, L.K (1979): Forest management effects on interception, evaporation, and water yield. Jour. Hydrol.(N.Z), 18: 73-87.

佐藤一男, 高橋章, 若松孝志 : 森林生態系における酸の挙動, 電中研レビュー, **43**, 34-44

中野秀章 (1976) : 森林水文学 19-66, 137-182, 197-199, 共立出版

塚本良則 (1998) : 森林・水・土の保全 103-121, 朝倉書店

岡本省吾, 北村四郎 (1959) : 原色日本樹木図鑑 16-19, 保育社

第7章 蒸発

(唐 常源)

7-1 はじめに

森林の蒸発散量は樹冠による降雨の遮断蒸発、樹木を主とした植生からの蒸散、河道蒸発、および林地表面からの蒸発量（以下地面蒸発量と呼ぶ）により構成される。地面蒸発量は、森林における水循環を構成する素過程の一つであり、森林の成長に伴う階層構造の発達や林床被覆の形成により大きく変化する。また、水資源・水利用の管理、農作物の栽培管理等の実用的側面においても重要なことから、様々な分野において多くの調査、研究がなされてきたが、未だ観測手法の確立はなされておらず、その実態は十分に明らかではない。森林地の水収支を総合的に理解するためには、様々な森林状態での地面蒸発量について定量的な情報を得ることが必要であろう。

現在、世界の林業では落葉広葉樹を伐採し、スギやヒノキなどの針葉樹の植林が行われている。日本でも古くからスギ・ヒノキの植林が行われてきた。しかし、スギ・ヒノキなどの針葉樹は落葉広葉樹と比べて成長するために必要な水の量が多いことが知られている（塚本、1998）。また、針葉樹林は森の中に光を通さず、根をあまり大きく張らずに落葉も少ないので蓄える養分の量が少ないのに対し、広葉樹林は森の中が明るく、根を大きく張り、地表は落葉が幾重にも重なり雨を含んでスポンジ状になっている。これらのことから針葉樹林と広葉樹林では表層条件が異なることが考えられ、植生の変化によって地面蒸発量に違いをもたらすことが予測される。

7-1-1 従来の研究

農耕地における蒸発散・水収支は水管理計画、水分動態解明の基礎であり、植物体内水分とともに水消費特性、代謝生理の解明に不可欠の測定要因である。水面蒸発は古くから円筒容器の水の重量や水位変化として得られ、土壌面蒸発の推定にも有効な役割を果たしている。蒸発測定には降雨量を同精度で測定して差引かねばならないが、その手間を省くため蓋付蒸発計も考案された。水稲田における用水量は水面蒸発、葉面蒸散、地下浸透の三者合計であり、これらを分離測定するために、有底・無底の栽培箱を組み合わせて使用するが、箱内外の水位差を無くするために水位差調節用ゴム袋を装着することにより測定精度が向上した。このほか水中に溶解しているイオンの量や色素の着色度の検出により蒸発と蒸散を分離する方法、浸透の熱的測定法、また小型ライシメータによる三者分離測定が試みられた。小型ライシメータで土壌構造を乱さない工夫もされ畑状態での使用も可能となった。蒸発散の測定は栽培規模により種々の方法が研究されており、十分に広い圃場（少くとも100m×100m以上）では熱収支法、空気力学的な方法などが可能であるが、通常は小区画の群落や個体、個葉を対象とすることが多い。チャンバー法は作物を蒸発散箱で覆い通風を行うもので通風装置の入口と出口の乾球・湿球温度と通気量を測定して蒸発散量を求める方法で、圃場、個体、器官別の測定が可能である。入口と出口の通気を塩化カルシウム管に通し水蒸気の増量を秤量する方法では個体、個葉の測定が可能である。その中で、現在主に行われている手法を下に挙げる。

流域水収支法・短期間水収支法

- 流域を単位として算出する方法。数ヶ月以上のオーダー。流域水文学等で用いられる。
- 降水量 = 流出量 - 蒸発散量 - 流域貯留量 の水収支式のうち流域貯留量が同等とみなせる期間内の降水量・流出量の観測値をもとに算出する。

土壌水分減少法

- 作物1本～数本単位を基本とする。灌漑排水・農業土木分野で用いられる。
- 本来作物の消費水量を決定する際に用いられ、有効土層内の土壌水分量の減少量を持って消費水量とする。消費水量から蒸発散量を求める場合、降雨入力による重力排水量もしくは毛管補給量を考慮して算出する。

ライシメータ法

- 数株～圃場単位まで容器の大きさに寄る。数時間のオーダー。作物・灌漑排水・水文学等さまざまな分野で用いられる。
- 蒸発散あるいは降水による容器の重量変化を直接、間接的に計量する方法。

チャンバー法・蒸散室通気湿度測定法

- 個葉・作物1本を基本単位とする。数分～数十分のオーダー。光合成測定等に用いられる方法で、作物・農業気象等の分野で用いられる。
- 植物体をチャンバーに入れ、チャンバーの入り口と出口における絶対湿度と通気量を計測し、蒸発散量を求める。

茎（幹）熱収支法

- 作物・樹木 1 本単位、数分～数十分のオーダー。作物・林学・農業気象等で用いられる。
- 茎など導管水流量の多い部分にヒーターで加熱し、周辺の温度変化を計測して熱収支を当てはめ、その部分を通過する蒸散流量を計測する。

渦相関法

- 平坦な地形上の群落単位、数分～数十分のオーダー。農業気象・林学・気象等の分野で用いられる。
- 単位時間・単位面積に地表面に垂直な風速・水蒸気の変動成分を直接測定する方法。

傾度法

- 平坦な地形上の群落単位、農業気象・林学・気象等の分野で用いられる。
- 地表面に垂直な風速・水蒸気の平均流を測定して、算出する方法。

熱収支法或いはボーエン比法

- 平坦な地形上の群落単位、数分～数十分のオーダー。農業気象・林学・気象等の分野で用いられる。
- 接地気層内の 2 高度の気温・比湿の平均値と正味放射量・地中熱伝導量を測定し、ボーエン比（顕熱 / 潜熱）を用いて熱収支式より算出する方法。

補完法

- 広域・大流域単位、流域水文学分野等で用いられる。
- 一般の地上気象観測資料から実蒸発散量を気候学的に推定する方法。Penman の蒸発散位が地域蒸発散量に対して補完的に変化するという、補間関係式を利用して推定する。

ペンマン法(Penman method)

- 水面からの蒸発位、または土壌の水分量が充分にある丈の低い草地などの蒸発散位を基本とする。灌漑排水・農業気象・流域水文学等の分野で用いられる。
- Dalton の輸送式と熱収支式を組み合わせたもの。2m 程度の高さの温度、湿度、風速と熱収支項（純放射量、地中熱伝導量）のデータから算定する。基本的には日単位以上。

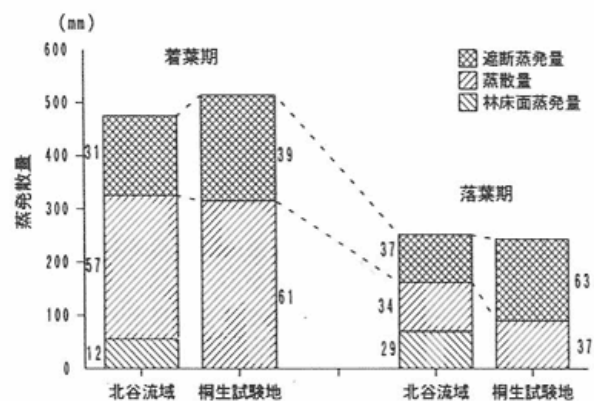
ペンマン・モンティス法(Penman-Monteith method)

- 植生面からの蒸発散量を基本とする。灌漑排水・農業気象・作物・森林水文等の幅広い分野で用いられる。
- ペンマン法をより一般化したもの。熱伝達に対する空気力学的抵抗、水蒸気伝達に対する拡散抵抗を盛り込み、空気力学的抵抗に植物の群落抵抗を加えることによって植生からの蒸発散量の算定を可能にしている。

マッキング法(Makkink method)

- 水面からの蒸発位、または土壌の水分量が充分にある丈の低い草地などの蒸発散位を基本とする。灌漑排水・流域水文学等の分野で用いられる。
- 観測気象要素が少なくても簡易に推定できる手法。ペンマン型簡略式または放射温度法と呼ばれる。気温と日照率から推定する。基本的には日単位以上。

また、林床面蒸発量計算モデル(EFF モデル)を開発した玉井幸治(1994)は落葉広葉樹二次林における林床面蒸発量の季節変化をシミュレートした(図 7.1)。これは日射量、気温、湿度、降水量といった気象データから林床面蒸発量を推定するモデルで、森林・土壌タイプの違いによる影響は、それぞれ相対日射率、土壌水分特性曲線によって評価されている。また林床面蒸発は落葉層による影響が大きいと考えられるが、これは「被覆効果率」と「落葉層蒸発量一日射量・含水率関数」によって評価されている。



(図 7.1 玉井,1994 桐生試験地の値は Suzuki,1980 より引用)

7 - 1 - 2 本研究の目的

本研究における第一の目的は、低コストで簡易に、かつ高精度に地面蒸発量を継続的に計測する方法を確立することで、マイクロライシメータ法を利用しその実現を図る。第二の目的としてマイクロライシメータ法を導入して森林の、植生の違いによる地面蒸発量の違いを把握することである。さらには各植生の降水量や土壌への浸透量も同時に把握することで各々の水収支を確立させて比較し、また各々の土

壤状態と水収支がどのように関係するかをも比較することで多方面から植生の違いによる地面蒸発量、そして水収支のあり方、土壌のあり方の違いを明らかにする。

7 - 2 研究地概要

7 - 2 - 1 研究地位置について

観測地点は、一つ目は千葉県千葉市の千葉大学理学部棟 5 号館の圃場である。圃場は雑草が多少生えている砂地である。千葉市の気候は温暖で、平成 10 年の年間平均気温は 16.3℃、年間降水量は 1345.5mm となっている。また台風、高潮等の災害もまれで、比較的恵まれた自然環境にある。二つ目は東京都あきる野市樽沢森林小流域である。流域内にはスギ・ヒノキ林、雑木林、ヒノキ幼齢林、広葉樹林伐採地の異なる 4 種類の植生が隣接して分布している。観測器具はこの 4 種類の植生の頂上にそれぞれ設置した。

7 - 2 - 2 研究地植生について

二つ目の樽沢森林小流域について述べる。

1) スギ・ヒノキ林

スギ・ヒノキ林は現在、植生分布の大部分を占めている。木材利用を目的として、20～50 年前に人工的に植林されることで成立した。斜面位置における植え分けが行われており、斜面下部にはスギ林が分布する。スギの直径は地表から 1.5m の高さで 15～35cm、樹木の密集度は 100 m²あたり 29 本であった。標高は 350～370m であった。そして斜面上部にはヒノキ林が分布する。ヒノキの直径は地表から 1.5m の高さで 10～20cm、樹木の密集度は 100 m²あたり 37 本であった。標高は 370～400m であった。年間を通して、日光が遮断されてしまうため林内は暗く、下部植生はまったく生育していなかった。

2) 雑木林

落葉広葉樹を主体としており、クリ・シイ・ナラなどが主だが他にも豊富に種類が見られ、非常に密集している。以前はスギ・ヒノキ林であったが、20 年ほど前の伐採後放置され、自主的に成立した。樹木の直径は地表から 1.5m の高さで 2～5cm、樹高は 3～5m ほどであった。そして樹木の密集度は 100 m²あたり 130 本であった。標高は 410～440m であった。4 月～11 月にかけて着葉期ではほぼ樹冠が閉鎖しているが、11 月より落葉が始まると樹冠が消失されて林床が開ける。下部植生は豊富に生育している。かつて、スギ・ヒノキの植林が開始される以前は、この落葉広葉樹を主体とし、様々な種類の樹木が密集して生育する“雑木林”が流域全体に広く分布していた。

3) ヒノキ幼齢林

2001 年 7 月にスギ林を全伐した後に、斜面全体に一樣に植林されたことで成立した。現在の樹高は 2m 程度である。植生が未発達であるため、表土に対する影響は少ないと考えられる。下部植生が著しく生育している。標高は 410～470m であった。

4) 広葉樹林伐採地

2003 年 12 月に雑木林の一部を全伐して成立した。倒木が至るところに目立っている。広葉樹の土壌であったため、すぐに下部植生が生育し始めた。

7 - 2 - 3 研究地地質について

本研究地の基盤岩は中生代ジュラ紀の砂岩で水文学的基盤を成しており、その上に基盤岩風化土、関東ローム、腐植土が堆積している。各斜面の山頂部には 400 cm 以上もの関東ロームが堆積しており、尾根部から末端部に向かってその層厚が減少していき、河川近傍では基盤岩が露出している地点もあることが共通している。流域の規模が極めて小さいために、斜面によって土壌の堆積様式に大きな差異はないものと考えられる。また、流域全体に火山灰の被覆が見られるのが特徴的である。

7 - 3 観測方法

本研究の観測期間は 2004 年 4 月から 2005 年 1 月までであった。千葉大学理学部棟 5 号館の圃場に関しては、毎日午前 10 時観測を行い、樽沢に関して月 1 回程度の頻度で実施した。

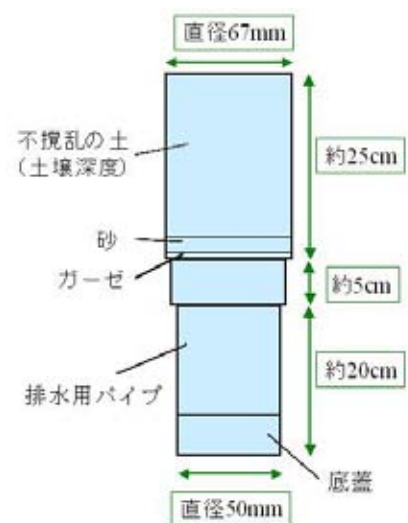


図 7.2 自作マイクロライシメータ

7 - 3 - 1 マイクロライシメータ

本研究に利用したマイクロライシメータは塩ビパイプを用いた自作のもので(図7.2)、重量を測定して蒸発量に換算するという方法を利用した。内径67mm、高さは観測する土壌深度に合わせた長さの塩ビパイプに不攪乱の試験土壌を入れ、土壌が崩れるのを防ぐために底に砂、ガーゼを敷く。更に、この塩ビパイプの底に蝶番を取り付けて、浸透した水を溜める筒として、底に蓋を取りつけた塩ビパイプをはめる。下にはめた塩ビパイプは蝶番で取り外し可能で、浸透した水を採取・除去することができる。上の筒には不攪乱の土壌が含まれるためその重量を測定することで土壌中の水分の変化量を、下の筒は貯水の役割を果たすため浸透量を観測することができる。簡易に設置・観測することを目的とし、指標として土壌深度10cm、20cm、30cmの3タイプを作成した。

また重量測定には電子天秤を使用した。精度1g(最大重量2kg)と10g(最大重量20kg)の2種類を用意し、降雨量によっては土壌深度30cmのみ重量が2kg超を示すのでこの場合のみ精度10gを使用した。

7 - 3 - 2 土壌水分の変化量と浸透量の観測

マイクロライシメータを用いて観測する。千葉大学園場では試験土壌として砂と関東ロームを用いて埋設深度10cm、20cm、30cmを各1本ずつ、計6本観測した。また、樽沢では埋設深度を20cmに統一し、広葉樹林伐採地、雑木林、ヒノキ幼齢林、スギ・ヒノキ林4地点の山頂部に2本ずつ、計8本観測した。マイクロライシメータの直径は全て67mmで統一されている。電子天秤(精度1g・10g)を使用し、重さを計測する。

7 - 3 - 3 降雨量の観測

千葉大学園場、樽沢ともにマイクロライシメータのそばに設置してある転倒マス式雨量計を用いて植生ごとに観測する。ただし、樽沢の広葉樹林伐採地においては、雨量計が設置されていないため林外雨のデータを使用した。転倒マス式雨量計はhoboに接続し、10分間隔で自動計測を行っている。

7 - 3 - 4 蒸発量の計測

次の水収支式に当てはめる。

$$P = E + R + D + S$$

(P:降水量、E:蒸発量、R:地表流量、D:浸透量、S:土壌水分の変化量)

このときP:雨量計の計測値、D:マイクロライシメータ・下の筒の計測値、S:マイクロライシメータ・上の筒の計測値に相当し、Rの地表流は山頂部なので、発生しないと考えてよい。マイクロライシメータの値は重量なので、計測値を底面積で割り、換算する。

また、千葉大学園場のみパン(蒸発皿・直径:15cm、高さ:15cm)を使用して蒸発量を計測する。ただしパンを使用して観測する方法は無降雨日に限る。同様に底面積で割り、換算する。値そのものが蒸発量を示す。

7 - 3 - 5 圧力水頭の観測

20cm深度で土壌水の挙動を把握するためにテンシオメータを埋設し、土壌の圧力水頭を観測する。テンシオメータも各山頂部に埋設してあるが、広葉樹林伐採地のみ埋設していないため、他の3地点のみの観測になる。各地点の山頂部の埋設深度は以下の通りである。

雑木林: 20cm、50cm、100cm、200cm、300cm

ヒノキ幼齢林: 20cm、40cm、60cm、80cm、150cm

スギ・ヒノキ林: 20cm、50cm、100cm、200cm、300cm

ただし、マイクロライシメータの観測深度が20cmなので、テンシオメータも各植生深度20cmを比較した。

7 - 3 - 6 土壌の物理特性

各土壌の透水係数と間隙率を測定する。採土円筒(体積:100cm³、密度:1g/cm³、高さ5cm)にて千葉大学園場では両土壌を不攪乱の状態深度0~25cmを連続して採掘し、樽沢森林小流域では各植生で5~10cm、15~20cmの2深度を採掘した。透水係数は変水位透水性測定器(大起理化工業株式会社DIK-4050)を使用した。また、間隙率は重量法で求めた。

千葉大学園場で行った実験の土壌の性質は次のようにまとめられる(表7.1)。

砂:透水係数は、深度15~20cmで土壌を飽和状態にしても水が浸透しなかったため測定することができなかった。他の深度別で比較すると深度0cmから深度15cmまでの透水係数は4.22×10⁻³cm/s、3.15

$\times 10^{-3}\text{cm/s}$ 、 $3.48 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ とほぼ変わらず推移した。深度 20～25cmに下がると $6.99 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ を示し、ごくわずかではあるが深度が深くなるにつれ透水性が高くなったことを示す。また間隙率においてもいずれの深度にもあまり差は見られなかったが、深度が深くなるにつれて 50～55%の間で間隙率は高くなった。

関東ローム：透水係数・間隙率共に連続性が見られる砂に対し、関東ロームは深度により大きく変化が現れた。まず透水係数は深度 0～5cmから 5～10cmに深くなると $2.35 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ から $5.43 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ と急激に値が小さくなり、さらに深度 10～15cmへ深くなると $3.04 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ と再び値が大きくなり、そこからは深度に比例して透水性も上がった。間隙率においては深度によって全く異なった結果を示した。深度 0～5cmでは約 71%であったのが 5cm深くなると 40%まで小さくなり、さらに 5cm深くなれば再び約 74%まで上がるが、それ以下深度が深くなると 40～50%まで下がるというように 5cmごとに大きく変化を見せた。

表 7.1 千葉大学圃場/砂・関東ローム土壤の物理特性

土壤種類	深度 (cm)	透水係数 (cm/s)	間隙率 (%)
砂	0～5	4.22×10^{-3}	50.95
	5～10	3.15×10^{-3}	52.16
	10～15	3.48×10^{-3}	52.31
	15～20		52.27
	20～25	6.99×10^{-3}	55.81
関東ローム	0～5	2.35×10^{-3}	71.59
	5～10	5.43×10^{-4}	40.79
	10～15	3.04×10^{-3}	74.83
	15～20	1.41×10^{-2}	37.07
	20～25	1.57×10^{-2}	51.34

一方、樽沢実験流域の表層土壌についても、千葉大学圃場同様透水係数と間隙率を測定した。スギ・ヒノキ林深度 15～20cm の透水係数を欠けている以外に、各観測地点での透水係数と間隙率はそれぞれ次のような特徴がある(表 7.2)。

広葉樹林伐採地：透水係数は深度 10cmまでは $2.64 \times 10^{-3}\text{cm/s}$ で透水性が低かったのが、さらに 5cmほど深くなると $2.26 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ となり急に上がっている。間隙率は深度 5～10cmで 77.32%と高く、深度 15～20cmとなると 43.45%と急に下がった。しかし深度 15～20cmの間隙率は雑木林とほぼ同じ値であった。

雑木林：深度が 5～10cmから 15～20cmに深くなると透水係数は $5.58 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ から $1.57 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ へと変化し、透水性は低くなっているがその差はあまりない。また深度 5～10cmから深度 15～20cmへ深くなると 48.18%から 41.07%を示し、深度が深くなると間隙率も下がる結果を示した。これは透水係数とも相対している。

ヒノキ幼齢林：透水係数が深度 5～10cmで $1.19 \times 10^{-1}\text{cm/s}$ 、深度 15～20cmで $5.15 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ を示し 4 植生で最も透水性の高い値を示した。また間隙率においても深度 5～10cmで 76.28%、深度 15～20%で 73.98%を示し、こちら最も高い値を示した。

スギ・ヒノキ林：透水係数は深度 5～10cmで $2.31 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ を示した。また間隙率は深度 5～10cmから深度 15～20cmに深くなると 66.69%から 47.84%へ下がった。

表 7.2 樽沢試験流域各観測地点における土壌の物理特性

	深度 (cm)	透水係数 (cm/s)	間隙率 (%)
広葉樹林伐採地	5～10	2.64×10^{-3}	77.32
	15～20	2.26×10^{-2}	43.45
雑木林	5～10	5.58×10^{-2}	48.18
	15～20	1.57×10^{-2}	41.07
ヒノキ幼齢林	5～10	1.19×10^{-1}	76.28
	15～20	5.15×10^{-2}	73.98
スギ・ヒノキ林	5～10	2.31×10^{-2}	66.69
	15～20		47.84

7 - 4 結果

7 - 4 - 1 千葉大学理学部棟 5 号館園場

) マイクロライシメーターで得られた日蒸発量の相関

観測期間を通して砂・関東ローム共に 10cm、20cm、30cm の 3 地点の日蒸発量に多少の差異は見られたが、ほぼ同じ傾向にある。それぞれの日蒸発量を、30cm を基準にして相関を取り比較した(表 7.3)。以下に全観測期間と夏と秋の無降雨日(夏:7/8~7/17、秋:11/23~12/3) 各々の相関の近似式を示す。

表 7.3 各種マイクロライシメーターで得られた日蒸発量の相関関係式一覧表

砂・全観測期間	30cm/10cm : $y = 0.67x + 0.28$	R2 = 0.62
	30cm/20cm : $y = 0.78x + 0.59$	R2 = 0.63
関東ローム・全観測期間	30cm/10cm : $y = 0.66x + 0.54$	R2 = 0.67
	30cm/20cm : $y = 0.79x + 0.43$	R2 = 0.81
砂・無降雨日(夏)	30cm/10cm : $y = 0.27x + 0.27$	R2 = 0.46
	30cm/20cm : $y = 0.31x + 0.29$	R2 = 0.70
砂・無降雨日(秋)	30cm/10cm : $y = 1.00x + 0.18$	R2 = 0.48
	30cm/20cm : $y = 0.78x + 0.17$	R2 = 0.51
関東ローム・無降雨日(夏)	30cm/10cm : $y = 0.44x + 0.36$	R2 = 0.50
	30cm/20cm : $y = 0.57x + 0.17$	R2 = 0.75
関東ローム・無降雨日(秋)	30cm/10cm : $y = 0.37x + 0.85$	R2 = 0.82
	30cm/20cm : $y = 0.49x + 0.91$	R2 = 0.94

全観測期間において砂・関東ローム共に深度 30cm と 10cm との相関は約 10 : 7 の、深度 30cm と 20cm との相関は約 5 : 4 の比率を取る。深度を深く観測するほど蒸発量の値も正確になるので最も深い設定の 30cm を基準とした。比率より深度 20cm との相関の方が蒸発量の差が小さい。近似式の精度を表す R2 値はそれぞれ 0.46、0.70 を示し、深度 20cm との相関の方が高かった。

次に無降雨日の相関に関して、両者ともに全観測期間に対して変化が見られた。30cm : 10cm、30cm : 20cm の比率において、砂・夏の期間はどちらも約 10 : 3、関東ローム・夏の期間はそれぞれ約 5 : 2、5 : 3、同じく関東ローム・秋の期間は約 5 : 2、2 : 1 をとり、全観測期間より深度 30cm の蒸発量する割合が高くなった。しかし、砂・秋の期間で深度 20cm との比率は変わらず、深度 10cm との比率においてはほぼ 1 : 1 を示した。また無降雨日観測期間の夏から秋への変化を見ると、砂は深度 10cm との相関では近似式の傾きが 0.27 から 1 へ、深度 20cm との相関では 0.31 から 0.78 へ両者とも高くなっている。関東ロームは深度 10cm との相関では傾きが 0.44 から 0.37、深度 20cm との相関では 0.57 から 0.49 とあまり変化は見られない。また深度別の観点から見ると、近似式の傾きが砂・夏の期間は 10cm : 0.27、20cm : 0.31、関東ローム・夏の期間は 10cm : 0.44、20cm : 0.57、関東ローム・秋の期間は 10cm : 0.37、20cm : 0.49 と若干ではあるが、深度 10cm との相関より深度 20cm の方が近似式の傾きが大きかった。砂・秋の期間は 10cm : 1.00、20cm : 0.78 と逆に 20cm の方が近似式の傾きが小さくなった。また、R2 値は深度 20cm の方が全ての場合において高いことを示した。

) Pan 蒸発量との比較

Pan は皿に水を一定量張り、元の重さからどれほど水の量が減少したかということ測定し、蒸発量に換算する手法であり、無降雨日のみ観測可能となる。そこでマイクロライシメータ法で観測した無降雨日夏・秋それぞれの期間の日蒸発量と比較した。夏の期間の砂は深度 10cm で約 1.2~47 倍、深度 20cm で約 1.3~23 倍、深度 30cm で約 0.8~12 倍、関東ロームは深度 10cm と 20cm で約 0.6~11 倍、深度 30cm で約 1.2~11 倍、それぞれ平均して Pan 蒸発量の方が高い値を示した。秋の期間では、砂は深度 10cm で約 1.2~2.3 倍、深度 20cm で約 1.1~14 倍、深度 30cm で約 0.9~4.5 倍、関東ロームは深度 10cm で約 0.09~8.8 倍、深度 20cm で約 0.2~6.6 倍、深度 30cm で約 0.9~11 倍、それぞれ平均してマイクロライシメータ法による蒸発量の方が高い値を示した。それぞれ比率に幅があるが、夏の期間には Pan 蒸発量と相関が見られた。下に近似式を示す。ただし、E:蒸発量、Epan:パン蒸発量である。

● 砂(夏) : $E = 2.57 \cdot E_{pan} + 0.08$ R2 = 0.92

● 関東ローム(夏) : $E = 1.88 \cdot E_{pan} + 0.29$ R2 = 0.74

これに対し、秋の観測日ではほとんど相関が見られず、砂の夏の期間においては相関がないと言える。

● 関東ローム(秋) : $E = 0.39 \cdot E_{pan} + 0.83$ R2 = 0.44

）蒸発量と浸透量・降水量に対する割合

図 7.3 は千葉大学圃場/砂・関東ロームの全観測期間降水量に対する割合を示す。全観測期間の蒸発量は、砂は 10cm : 約 290mm、20cm : 約 370mm、30cm : 約 380mm、関東ロームは 10cm : 約 289mm、20cm : 約 353mm、30cm : 約 380mm で両者ともほぼ同値であった。また深度 10cm は 20cm、30cm と比べて差が大きかった。浸透量においては、砂は 10cm : 約 632mm、20cm : 約 262mm、30cm : 225mm と、深度 10cm・20cm と 30cm に約 380mm の差があった。関東ロームは 10cm : 約 614mm、20cm : 約 596mm、30cm : 約 362mm で深度 30cm が 10cm・20cm に対して約 300mm 多かった。いずれも深度が深いほど値も大きくなった。降水量に対する割合を見ると砂は 10cm : 約 35%、20cm : 約 45%、30cm : 約 46%、関東ロームは 10cm : 約 35%、20cm : 約 43%、30cm : 約 46% で深度 20cm と 30cm はほぼ同じ割合であった。また砂と関東ロームを比較すると深度別にほぼ同じ割合を取った。また浸透量において、砂は 10cm : 約 77%、20cm : 約 31%、30cm : 約 27% で深度 20cm と 30cm がほぼ同じ割合であるのに対し、関東ロームは 10cm : 約 75%、20cm : 約 72%、30cm : 44% で深度 10cm と 20cm がほぼ同じ割合であった。

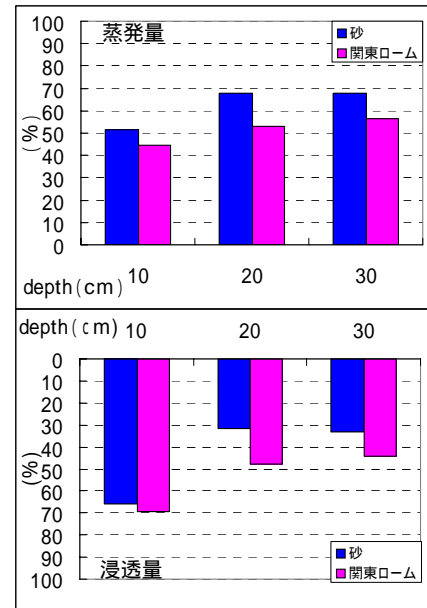


図 7.3 千葉大学圃場/砂・関東ロームの全観測期間降水量に対する割合

7 - 4 - 2 樽沢森林小流域

4 植生を比較してまず蒸発量を見ると一様にヒノキ幼齢林は高い。また 9 月の観測時までは広葉樹林伐採地がヒノキ幼齢林の次に高い値を示していたが、10 月の観測時から雑木林の蒸発量が目立つようになった。スギ・ヒノキ林は他の 3 植生と比較して蒸発量は少なく、特に 9 月の観測時から差が見られた。浸透量に関しては 4 地点で統一感はなかったが、蒸発量、浸透量共に観測時の降水量の大小に対応していた。各植生でその空間的環境が異なるため、各植生に設置してある雨量計に観測される降水量も当然違いが生じる。そのため、単に蒸発量・浸透量のみでその植生の蒸発量や浸透量の大小を位置づけることはできない。

そこでそれぞれ降水量に対する割合を比較する。まず蒸発量を見ると広葉樹林伐採地とヒノキ幼齢林はほぼ同じ割合で、かつ常に 70%以上という高い値で推移している。両植生において共通して見られる条件として、地表面が開けて明るいということが挙げられる。そのため直に太陽の光や熱を受けやすいのである。次に雑木林においては観測開始時から 8 月の観測までは一定して 40%弱の値であったのが、9 月の観測時から 70%~90%以上に急激上がった。これは蒸発量そのものでも見られる傾向であった。最後にスギ・ヒノキ林においては気温の高くなる 6 月~8 月の観測期間では蒸発量の割合は 50%台、最も低いときで 20%以下を推移していたのに対し、気温が低くなる時期に入るとその割合は 80%以上と、急激に高くなった。この期間においては広葉樹林伐採地・ヒノキ幼齢林とほぼ同じ割合を推移している。また、浸透量の割合においては蒸発量の割合・観測期間の推移のしかた、共に相対していた。広葉樹林伐採地・ヒノキ幼齢林は観測期間通じてほぼ同じ割合で推移し、5%弱~20%弱であった。雑木林は着葉する夏の期間には 20%~55%ほどであったが、落葉期間に入ると土壤中に浸透する水分が蒸発作用に使われ、浸透量の割合は 5%弱~20%ほどに減少した。そしてスギ・ヒノキ林も蒸発量の割合が少ない夏の期間は浸透量の割合が 25%~80%弱と多く、逆に春・秋の観測時にはいずれも 10%以下と極端に少ない値を示した。

植生ごとに全観測期間の蒸発量・浸透量、それぞれ降水量の割合を比較するとある傾向が見られた(図 7.4)。まず蒸発量はヒノキ幼齢林が最も多く、スギ・ヒノキ林が最も少ないのに対し、浸透量は雑木林が最も多く、広葉樹林伐採地が最も小さい値を取った。ところが降水量に対する割合に換算すると、2 パターンに分かれた。蒸発量の割合において広葉樹林伐採地とヒノキ幼齢林は 85%以上、雑木林とスギ・ヒノキ林は 75%前後、それぞれほぼ同じ割合を示した。また浸透量の割合においても前者の 2 植生は約 10%、後者の 2 植生は約 20%

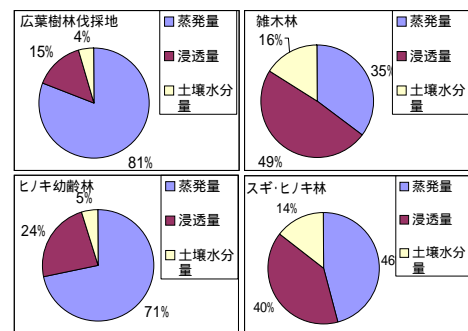


図 7.4 樽沢森林小流域/ 全期間蒸発量に対する蒸発量・浸透

とそれぞれほぼ同値を示し、蒸発量と浸透量の割合はそれぞれ対応していた。

また、各観測地点深度 20cm のテンシオメータ観測結果から、雑木林は常に 150cmH₂O 前後を推移しており、すなわち常に土壤吸引圧が下向きであることを示す。そして、ヒノキ幼齢林、スギ・ヒノキ林両者とも -100cmH₂O ~ -50cmH₂O の範囲で推移し、土壤吸引圧は常に上向きを示している。

7 - 5 考察

7 - 5 - 1 千葉大学理学部棟 5 号館圃場

）日蒸発量・浸透量計測に対するマイクロライシメータ構造の影響

深度 30cm を基準とした全期間における砂・関東ロームの相関は、共に深度 10cm より深度 20cm との相関の方が高いことが示された。比率が 1 : 1 であるほど蒸発量に差がないことになる。よって 5 : 4 を取った、深度 20cm の方がより正確であることが伺える。また、R² 値は 1 を示すほど近似式にばらつきがないことを表し、こちらも深度 20cm との相関の方が高い値を示した。

無降雨日の観測においては他の 2 深度に比べ、より深度 30cm の蒸発量の比率が上がったことが示された。無降雨日が続くと土壤中の水分は減る一方であり、深度の深い方が水分を貯蓄する器を持つためであると考えられる。夏から秋への季節推移では砂が夏の方がより深度 30cm の蒸発量の比率が高い値を示した。砂は浸透性が高いため土壤中の含水率も低い。さらに蒸発作用の高い夏の方が土壤中の水分が減少する速度が速いため、より深くその分より水分を貯蓄する 30cm が、極端に蒸発率が高くなったと考えられる。関東ロームは無降雨日両季節で傾きにあまり変化がなかったため、比率に差がないことが分かった。深度別に比較するとほぼ深度 10cm との相関より深度 20cm との方が、傾きが高く R² 値も深度 20cm の方が高い数値を示したため、やはり無降雨日での相関図でも深度 20cm の方が正確さを持つことが確認できる。

このように深度 30cm において深度 10cm と深度 20cm で相関を比較したが、季節の推移、近似式の変化の仕方は両深度で同様であると言える。よってマイクロライシメータの有効性は高いと考えられる。深度 30cm では山への簡易な持ち運び・埋設・計測が困難であり、30cm と高い相関の見られた深度 20cm に設定した。砂・関東ローム共に全観測期間で 30cm : 20cm が 5 : 4 の比率を取ったため、両近似式を元に以下に換算式を導いた。

$$E = 5/4 E_{20} + 0.5$$

(ただし、E : 蒸発量 , E₂₀ : マイクロライシメータ土壤深度 20cm の蒸発量)

また、全観測期間の蒸発量・浸透量、降水量に対する割合についての比較においても、蒸発量は深度 30cm と 20cm とでほぼ同じ値を示した。深度 10cm においては蒸発量・浸透量の割合を合わせると 100% 以上になるので降水量の多いと飽和状態が生じること確認された。また関東ローム深度 20cm においては浸透量が極端に多かった。蒸発量に関してはどの深度においても砂と関東ロームでほぼ同じ値を示し、マイクロライシメータ法による蒸発量の観測の有効性が伺える。

）土壤特性の影響

まず砂に関して、50 ~ 55% ほどの範囲であるが深度が深くなるにつれ、間隙率が高くなると透水係数も上がるという推移を示した。このことから観測した範囲での間隙率では、高くなるほど土壤の吸引力も小さくなり水が浸透しやすくなることが明らかになった。そして関東ロームの土壤について、関東ロームは粘土的な地質なため透水性は低く透水係数はおよそ 10⁻⁶ ~ 10⁻⁴ cm/s とされている。このことよりおよそ 5 ~ 10cm の深度に関東ロームが顕著に層となっていると考えられる。しかし間隙率の面から見ると、関東ロームは約 80% とかなり高い値を示す。これを考慮すると最も近い値を取る深度は 0 ~ 5cm、10 ~ 15cm の 2 深度が挙げられる。このように土壤の特性の面から見ると、関東ロームである裏づけがしづらく、実際に土壤を採取したところ、地表面には砂、さらに深度 15 ~ 20cm、20 ~ 25cm は礫なども混合していることが見受けられた。このようにそれぞれの土壤に特性が表れたが、実際観測した蒸発作用にその影響が見られなかったため、土壤の物理特性は無視して良いと考えられる。

7 - 5 - 2 樽沢森林小流域

）植生による蒸発量・浸透量の違い

まず蒸発量は、広葉樹林伐採地とヒノキ幼齢林がほぼ同じ割合でかつ高い値を一定して推移しているのは両植生において共通して見られる条件として、地表面が開けて明るいということが挙げられる。直に太陽の光や熱を受けやすく、すなわち最も気温の影響を受けるのである。雑木林は蒸発量としても、降水量に対する蒸発量の割合としても 9 月の観測時から変化している。これはやはり秋に入り落葉が始まったことで林床が明るくなったのが一番の要因であろう。また他の植生を考慮せず、雑木林単体で観測期間の推移を見ても、植生の密集度により蒸発量・浸透量の割合が大きく左右されることが見受けら

れる。最後にスギ・ヒノキ林において、針葉樹林であるスギ・ヒノキ林は落葉をほとんどせず樹高も高いので、太陽の光・熱が届きづらく年中林床は暗い。そのため他の3植生に比べて林内での気温の日変動が小さいと言える。よって蒸発作用も他の3植生より気温に影響されにくいと考えられる。ゆえに蒸発作用が太陽の光・熱そして気温に大きく起因する夏は、他の3植生よりその割合が小さいと考えられる。夏に対し、気温の低い春先や秋から冬にかけては広葉樹林伐採地・ヒノキ幼齢林とほぼ同じ割合を示すことから、この時期の蒸発作用はほとんど太陽の光・熱、気温の影響を受けないことが証明された。これら蒸発量の割合の影響が浸透量にも相対して表れている。

次に植生ごとに全観測期間の蒸発量・浸透量を比較した結果において以下に述べる。まずスギ・ヒノキ林の蒸発量が顕著少なかったことにおいて、スギ・ヒノキ林は落葉が起らず常に林床の暗い環境にあるので、雨水が林床に届きづらいことが要因であろう。また、浸透量は着葉開始の時期や落葉期に目立つ雑木林が多かった。降水量に対する割合においては、樹高がある程度あり、林床面が暗くなる期間の多い雑木林とスギ・ヒノキ林が他の二地点の植生より若干低く75%前後であったのに対し、林床面が明るい広葉樹林伐採地とヒノキ幼齢林は85%以上であった。浸透量の割合もそれぞれ蒸発量のそれと相対している。このようにパターンが二つに分かれ、その上割合の値もほぼ同じであったため、植生の状態により蒸発量、浸透量が大きく左右されることが考えられる。

）表層土壌の透水性について

まず圧力水頭に関して、ヒノキ幼齢林とスギ・ヒノキ林はほぼ同値で推移したが、ヒノキ幼齢林はスギ・ヒノキ林の一部を伐採して成立した部分であったので同じ傾向を辿ったと考えられる。水の吸引圧も蒸発・浸透作用に少なからず加担していると思われるが、ヒノキ幼齢林とスギ・ヒノキ林において観測した蒸発量の割合に大きな差があり、実際に植生の違いが生じると、ほとんどその影響を受けないのではないかと考えられる。

次に各植生において透水係数・間隙率について考える。

広葉樹林伐採地：深度が深くなると急に透水性が上がった。伐採地ということで、地表面は倒木や人の足など上からの圧力があつたのだろうか。実際掘って目で見たところ深度約20cmほど下部から関東ロームが見られ、固い感触だった。よって深度20cm以下で透水性が極端に低くなるだろうと考えられる。間隙率において、深度15~20cmの間隙率は雑木林とほぼ同じ値であったことから伐採以前、雑木林の一部であったことを証明している。伐採という行為により地表面に近い土壌は攪乱されてしまい、深度5~10cmでは違いが生じたのではないかと。

雑木林：4植生を比較すると透水性は高い。植生が広葉樹林のため土壌は腐葉土でスポンジ状になっているためであると考えられる。足で踏みつけたり、手で触れたり実際の感触も軟らかいものであった。しかし透水性は高めであるのに対し、間隙率は他よりも低い値を示した。

ヒノキ幼齢林：4植生のうちで透水性・間隙率共に最も高かった。伐採以前はスギ・ヒノキ林であったとはいえ、観測期間の約8ヶ月でヒノキ幼齢林は著しく成長し、下草も4地点で最も豊富であったために少なくとも地表面から深度20cmの範囲では土壌が雑木林と同様に、根が豊富で貯水率が高い環境になったのではないかと。しかし広葉樹林伐採地に見られたようにヒノキ幼齢林においても深度約20cm以下から関東ローム層が見られ極端に固い状態であった。間隙率においては実際採土する際に同じ間隙率を示した広葉樹伐採地・深度5~10cmほどやわらかい感触はなく、間隙率の値としては高めであると感じた。ヒノキ幼齢林は土壌が見えないほど下草が豊富なために採土する際に下草の根が多く含まれてまったのではないかと考える。

スギ・ヒノキ林：透水係数に関して深度15~20cmを観測することができなかったが、おそらく透水性は急激に低くなったと思われる。実際に採土した際に深度5~10cmの土壌は人力で土壌中に採土円筒を押し進めることができるほど軟らかいものであったが、深度15~20cmではハンマーで打ちながら進めるほどの固さであった。間隙率が急激に下がった結果にも表れている。

このように土壌においてもそれぞれの植生における特性が現れているが、一般的に落葉広葉樹林の土壌は水を貯蓄し土壌に水が豊富なものに対し、針葉樹林の土壌は水がすぐに浸透してしまう特性を持つ。しかし、今回観測した深度ではそれぞれの特性による蒸発量や浸透量への影響は、広葉樹林である雑木林と針葉樹林であるスギ・ヒノキ林とで際立った違いは見られなかった。

7-5-3 マイクロライシメータ法の問題点について

直接土壌槽の総重量を計測して、雨水浸透量、蒸発量を求めるマイクロライシメータ法の特徴を以下にまとめる。

- ・自然に近い地表面からの蒸発量の観測が可能である
- ・任意の深度における観測が可能である

・設置、取り扱いが簡易であり、マイクロライシメータ 1 基当たりのコストは低い

・携帯可能でかつ軽量であるため、多深度・多地点における観測が可能である

従来の観測方法では、気温や地温、風速など気象に関する方法であったり、流域全体から算出するというように機械的に見る方法であったり、実際の地面蒸発量の測定はあまりなされていなかった。また精密であったり、重さがあったりする機械を設置する労力やコストの面から制約がかかっていた。しかし、本研究において試みているマイクロライシメータ法ではコスト・労力などの問題点を失くし、極めて簡易に、直接的に、そして継続的に地面蒸発量を観測することができる。

一方、考えられる問題点もいくつか挙げられる。今回は深度 20cm に統一しての地面蒸発量観測であったが、実際深度約 1m までを地面蒸発量として考えることができる。深度 1m ほどでは含水率や圧力水頭・透水係数・間隙率など、土壌の特性がどのように影響を与えるのか不明であり、そのために深度 20cm の地面蒸発量では過大評価される恐れがある。今回は深度 30cm を基準に観測したので、深度 1m での観測結果との比較・検討をすることでより正確な係数を導くことができると考える。

7 - 6 まとめ

今回の千葉大学圃場での土壌と深度の違いによるマイクロライシメータ法の検証で、どの深度でも蒸発量はほぼ同じ値を示し、無降雨日においても両土壌の特性に基づくと考えられた。また他の蒸発量観測の方法との比較においてもその有効性は確立できると明らかにされた。その上で樽沢森林小流域にも導入し、植生の違いによる、蒸発量を始めとする水収支や観測期間を通じて季節変動の違いを明らかにすることができた。

しかし、今回観測した深度 20cm では土壌の特性が蒸発作用や浸透作用に大きく影響するという際立ったものではなく、地表面に近いことから植生の樹高や密集度など、その環境の空間的分布状態によって蒸発量や浸透量は左右されることが明らかになった。少なくとも 20cm ほどの深度では蒸発作用は土壌の特性よりも実際地上の環境、林床への太陽の熱の伝わり方に左右されると考える。すなわち地面の蒸発作用に最も大きく起因するものは気温であると明らかにされた。よってマイクロライシメータ法を利用して簡易に地面蒸発量を観測することができ、将来への有効な指標を示すことを証明した。

また、樽沢森林小流域での観測において木々のある雑木林・スギヒノキ林は林床の開けている広葉樹林伐採地・ヒノキ幼齢林に比べて蒸発量の割合が少なく浸透量が多かったため、降雨をより多く貯蓄するには、木が生育する場が必要であることが分かった。また、その中でも浸透量は雑木林の方が多く、年中暗いスギ・ヒノキ林より雑木林の方がより多くの水分を浸透させ、落葉・微生物による腐葉土で保水力もあることから環境を守るにも土砂崩れなど災害を防ぐにも広葉樹林の育成が重要であると考えられた。

参考文献

- 大槻恭一、補完関係を利用した流域蒸発量の推定、水文水資源学会誌 第 1 巻第 1 号 83 - 93, 1986
- 恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴 編、水文地形学 - 山地の水循環と地形変化の相互作用 - , 古今書院, 267p.
- 鴨田福也・加藤一郎・内藤文男・谷口利策、蒸発散量測定法に関する研究 (英文)、日本作物学会紀事, 第 28 巻第 3 号, 286 - 288, 1960
- 小倉祐幸: 塩化カルシウム管による蒸散量測定法、日本作物学会紀事, 第 35 巻第 3 号・4 号, 126 - 130, 1966
- 桜谷哲夫、蒸発の測定法、日本農業気象学会, 第 37 巻第 4 号, 337 - 338, 1982
- 高瀬恵次・丸山利輔、水収支法による季別流域蒸発散量の推定、農業土木学会論文集第 76 号, 1 - 6, 1978
- 玉井幸治、林床面蒸発量の季節変化 落葉広葉樹林の場合、森林総合研究所関西支所研究情報 No. 33, 1994
- 陳健耀、華北平原における蒸発散の研究について、総合地球環境学研究所
- 千葉文一・宮本幸一、水田用水量の測定法について、東北農研, 5, 18 - 21, 1963
- 中井裕一郎・北原 曜、ウェイティングライシメーターによる林内地面蒸発量の測定、日本林学会北海道支部論文集第 40 号, 223 - 225, 1992
- 中井裕一郎・北原 曜・齋藤 武史・坂本知己・寺嶋智巳、針広混交林における地面蒸発量の季節変化、日本林学会北海道支部論文集第 41 号, 154 - 156, 1993
- 福田仁志ら、蓋つき蒸発指標計の試作と使用について、農土研別冊, (9), 17 - 20, 1964
- 堀江武・桜谷哲夫、蒸発散の測定法(), 日本農業気象学会, 第 38 巻第 2 号, 193 - 195, 1982

第8章 土壌水

(唐 常源)

8 - 1 はじめに

森林は裸地に比べ保水性に富み、水質浄化などの公益的機能を持つ。そのためその水循環・物質循環の特性を知ることにより、水質保全という森林機能の重要性を把握することができる。しかしそれは植生によって異なると考えられる。また、土壌水分及び土壌水質は表層条件の変化に敏感に反応するので、流域の水循環を研究する際に表層付近の影響を把握することは重要である。

現在、世界の林業では落葉広葉樹を伐採し、スギやヒノキなどの針葉樹の植林がおこなわれている。日本でも古くからスギ・ヒノキの植林が行われてきた。しかし、スギ・ヒノキなどの針葉樹は落葉広葉樹と比べて成長するために必要な水の量が多いことが知られている。(塚本、1998) このことから、スギ・ヒノキ林と落葉広葉樹林では表層条件が異なることが考えられ、植生の変化によって流域の水循環・物質循環に違いをもたらすことが予測される。

8 - 1 - 1 従来研究

スギ・ヒノキ林において樹種の違いによる、また森林と裸地の違いによる土壌水と流出水の成分の変化についての研究はこれまでに数多く行われてきた。

森林を伐採し裸地にすることにより流域の河川水中の NO_3^- 濃度が増加することは既に確認されている。(塚本、1992)

市川ら(2002b)や、澤田・加藤(1991)、高橋ら(1996)によってスギ林は土壌にCaを蓄積するが、ヒノキ林では交換性塩基の蓄積が無いことが確認された。また、井上ら(1993)によって落葉広葉樹林(ブナ林)がヒノキ林と比べ降雨の樹幹通過に伴う塩基の付加量が多く酸性への中和能力が大きいという報告がなされている。

これまでに行われてきた多くの研究は、複数の樹種間における水質変化について行われており、樹種の変遷による水質変化という観点に基づく研究は筆者の知るところ見られない。また、これらの研究の多くはライシメーター法やポリエチレンパック法によって採水がおこなわれているため、土層を通過してきた水については調べられているが、土層中の土壌水の成分についてはまだ明らかになっていない部分が多い。しかも、これらの方法では土層の埋め戻しをするのでその影響も考えられる。

そこで、本研究ではポーラスカップを用いた土壌水採水器を使用することで、特定の深度の土壌水を採取することとする。この方法は土壌に穴を開け、その穴に機材を差し込み、吸引圧をかけることにより土壌中の水分を回収するので土層を崩すことなく任意の深度の土壌水だけを採取し、それによって樹種の変遷による土壌水質の変化を調べることとする。

また、本研究地のある野市樽沢森林流域はスギ林、ヒノキ林、裸地、落葉広葉樹林の4つの植生から構成されており、落葉広葉樹林はスギ・ヒノキ林を伐採後10年経過してできた林で、裸地は3年前にヒノキ林の伐採によって裸地化したものである。そのため、本研究地はスギ・ヒノキ林が伐採後、裸地を経て落葉広葉樹林へと変化していく際の物質循環の変化を見る一例とすることができる。

8 - 1 - 2 目的

この試験地は石原(2002)によってスギ・ヒノキ林に比べ、裸地は NO_3^- の流出が大きいことが確認されているが、各植生における土壌水中の溶存元素の違いについては調査されていないため、物質流出に至る過程は把握されていない。

そこで、本研究では表層条件の変化に伴って水循環・物質循環がどのような変遷をするのかを明らかにするために、その一例としてスギ・ヒノキ林、裸地、落葉広葉樹林で構成されるあきる野市樽沢森林小流域において土壌水の化学成分を調べることにより、この地域における植生の変遷による土壌水質の変化を追うことを目的とする。

8 - 2 観測、採水及び分析方法

8 - 2 - 1 観測方法(観測期間：2003年5月26日～)

土壌の負圧は既に埋設されているテンシオメータを用いて観測した。また、採水については、裸地、スギ、ヒノキ、落葉広葉樹林の各植生の斜面に土壌水採水器を各斜面に1セットづつ(深度20cm、深度50cm、深度100cm、深度190cmの4深度を1セットとする)埋設し、約1ヶ月毎に採水を行った。(位置は図6.1を参照)

8 - 2 - 2 分析方法

採取した水サンプルは大学に持ち帰り、電気伝導度、pH、イオン濃度を測定した。陰イオン、陽イオン濃度はイオンクロマトグラフィー(島津製作所)を用いて測定した。

8 - 3 結果

8 - 3 - 1 土壌水の挙動

テンションメータの観測データから、次のよう傾向を読み取った。

スギ林は深度 20cmで約 -28 ± 16 mmH₂O、深度 50cmで -35 ± 23 mmH₂O、深度 100cmで約 -52 ± 47 mmH₂O、深度 135cmで約 -51 ± 109 mmH₂Oとなった。

ヒノキ林では深度 20cmで約 -71 ± 24 mmH₂O、深度 50cmで約 -62 ± 26 mmH₂O、深度 100cmで -34 ± 25 mmH₂O、深度 200cmで約 88 ± 86 mmH₂O、深度 300cmで約 4 ± 27 mmH₂Oとなった。

裸地では深度 20cmで約 -66 ± 23 mmH₂O、深度 50cmで約 -2 ± 25 mmH₂O、深度 100cmで 6 ± 36 mmH₂O、深度 200cmで約 24 ± 26 mmH₂Oとなった。

落葉広葉樹林では深度 20cmで約 -42 ± 79 mmH₂O、深度 50cmで約 -21 ± 45 mmH₂O、深度 100cmで 4 ± 21 mmH₂O、深度 200cmで約 15 ± 5 mmH₂O、深度 290cm約 59 ± 28 mmH₂Oとなった。

これらのことから、落葉広葉樹林では深度が増すほど土壌水分量が増加していくことが見られる。ヒノキ林では深度 200cm までは水分量が増加していくが、深度 300cm ではやや減少していることが見られる。スギ林では変動の幅が大きく、他の地点と異なり深度が深くなっても必ずしも水分量が増加していなかった。これはスギ林の観測地点が斜面の下部にあったためと考えられる。また裸地の深度 50cm と深度 100cm のデータがほぼ同じ値となったのでこの 2 深度では水分量が等しいと考えられる。

8 - 3 - 2 土壌水質変化

土壌水の pH はスギでやや低い値をとったが植生や深度の違いによる差はそれほど見られなかった。各植生ともほぼ 6~7 の間の値を示した。このことから、この地域において土壌の酸緩衝機能はまだ十分あると考えられる。

電気伝導度はスギ林とヒノキ林では 20cm の土壌水ではばらつきがあり、スギ林で約 80~200 μ S/cm、ヒノキ林で約 110~150 μ S/cm と大きく差があったが 50cm 以深の土壌水ではスギ・ヒノキとも約 100 となり変化の幅も小さかった。裸地と落葉広葉樹林では深度による変化はあまり見られず、裸地で約 80 μ S/cm、落葉広葉樹林で約 50 μ S/cm となった。電気伝導度は溶存イオン濃度に比例することから、スギとヒノキ、裸地、落葉広葉樹林の順に土壌水中の溶存イオン濃度が低いことがわかった。

Cl⁻濃度はスギでばらつきが見られるものの各植生ともほぼ 4mg/l \pm 2mg/lの間にあり、この試験地においても、植生による違いが無いことが確かめられた

NO₃⁻濃度は植生によって大きな差が現れた(図 8.1)。スギでは 50cmの土壌水では約 10mg/lから約 34mg/lの間と大きなばらつきがあるものの、100cm土壌水では 20 \pm 5mg/lとばらつきが小さくなり、135cm土壌水では濃度は 15 \pm 4mg/lに低下している。ヒノキでは 20cm土壌水で約 18 \pm 2mg/lで、50cm土壌水では約 21mg/lとなり濃度のピークを迎え、100cm土壌水では約 19mg/lとやや濃度が低下している。裸地では濃度にばらつきが見られ、100cmの土壌水では約 10mg/lから 18mg/lとなり、190cmの土壌水では 5mg/lから約 15mg/lとなっていた。裸地では濃度にばらつきが見られるものの、同じ日に採取したサンプルでは深度が深いほど濃度が低かった。落葉広葉樹林ではNO₃⁻はほとんど検出されなかった。

SO₄²⁻濃度はヒノキ以外では深度 50cmでは約 5mg/lだが、深度 100cmで約 10mg/lに増加し、その後はほとんど変化はなかった。ヒノキは深度 20cmの土壌水では約 10mg/lであるが、深度が深くなるにつれ濃度が下がって深度 100cmの土壌水ではほぼ 0 だった。

K⁺濃度は裸地 100cmのサンプルでは 2.5mg/lと高い値を示したが、他のサンプルでは濃度約 0.8mg/lとほとんど同じ値となった。

Na⁺濃度はスギ林で約 1mg/l、ヒノキ林で 2.3mg/l、落葉広葉樹林では約 1mg/lで深度による差は無かったが、裸地では深度 100cmで 5.3mg/l、深度 190cmで 1.4mg/lとなり深い深度の方が濃度が低かった。

Mg²⁺濃度は深度 100cmのサンプルではスギで 1.8mg/l、ヒノキで 1.9mg/l、裸地で 1.3mg/lとなり、深度 190cmのサンプルではスギで 2.4mg/l、ヒノキで 3mg/l、裸地で 2.1mg/lとなった。この 3 つの植生では深度が深いほど濃度が高い結果となった。しかし落葉広葉樹林では深度による差はほとんど無く、約 1mg/lであった。

Ca²⁺濃度はスギ、ヒノキでは深度による変化は無く、スギで約 3.5mg/l、ヒノキ約 3mg/lとなったが、裸地では深度 100cmで 1.7mg/l、深度 190cmで 3.2mg/lと深い深度の方が高い濃度となった。落葉

広葉樹林では深度 100cm で 0.7mg/l、深度 190cm で 0.1mg/l と浅い深度の方が高い値となったが、他の植生と比べ著しく低い値となった。

ヘキサダイアグラムの変化を見てみると、ヒノキ林、裸地、落葉広葉樹林で明らかに形状が異なっている。ヒノキ林から裸地、落葉広葉樹林へと植生が変化していくと SO_4^{2-} 濃度が上昇し、 NO_3^- 濃度と、 Mg^{2+} 濃度が減少していくのが分かる。 NO_3^- は土壌中の Mg^{2+} と Ca^{2+} によって中和されることが知られており、この結果から植生の変化による NO_3^- 濃度の減少が確かめられた。

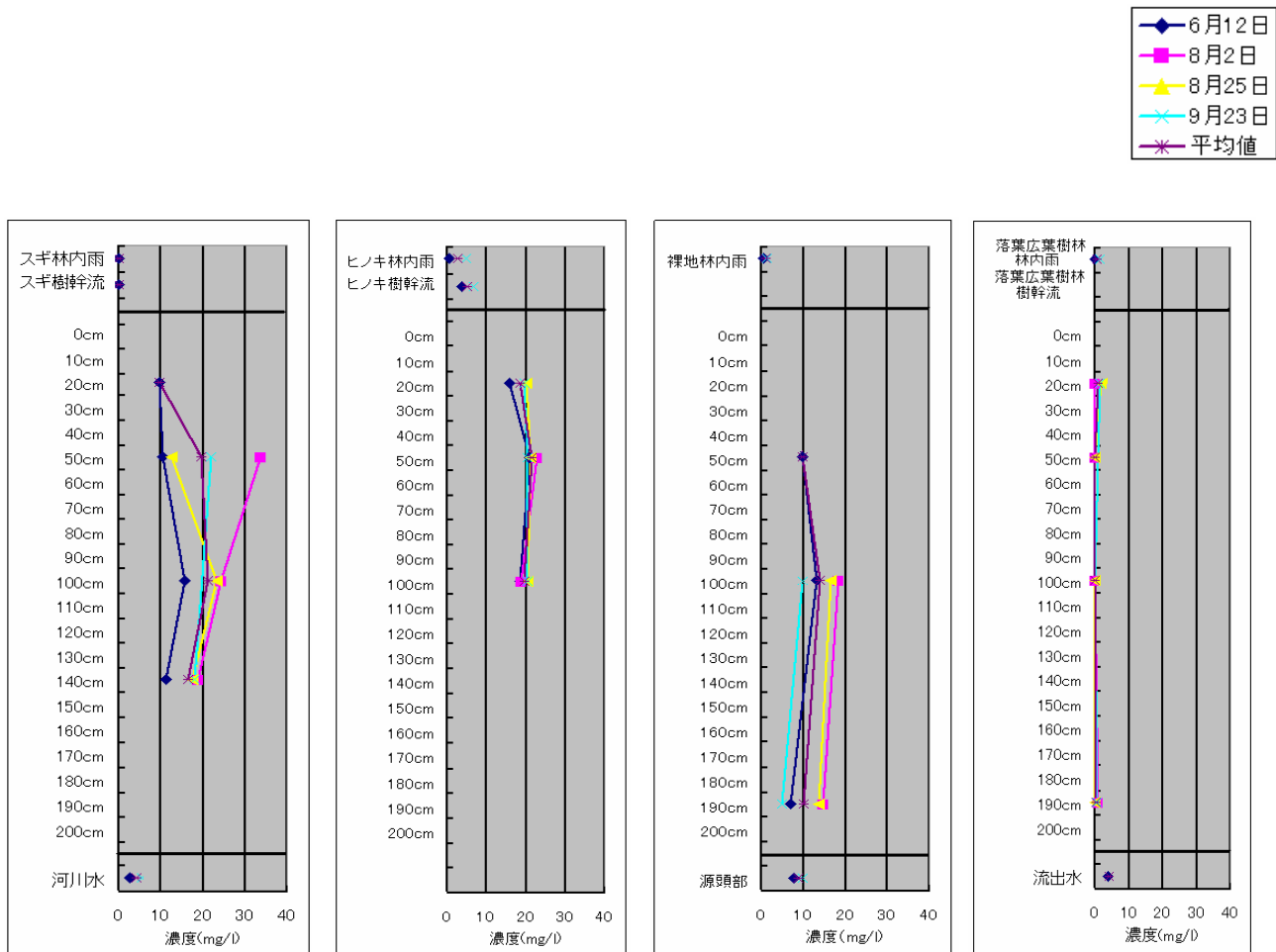


図 8.1 異なる被覆状態で土壌水の NO_3^- 濃度の比較

8 - 4 考察

今回採取した水サンプルのデータを見てみると深度 100cm 以深のデータはばらつきが小さかった。また、一般的にスギ・ヒノキの細根は深度 100cm よりも浅い深度に集中していることから（荻住昇、1979）、深度 100cm 以深のデータは根系の影響を受けないものと考えられる。よって、これらの事から深度 100cm 以深のデータを比べる事で、植生の違いによる土壌水の化学成分の変化を見ることにする。

河川水の NO_3^- 濃度を時間変化から見てみると、裸地からの流出水である源頭部では 2002 年 7 月から 2003 年 6 月にかけて、明らかな濃度の低下が見られる。スギ林からの流出水と考えられる河川水では多少の変動が見られるものの大きな物ではない。また、落葉広葉樹林からと考えられる流出水はほとんど変動がなかった。

土壌水の NO_3^- 濃度を時間変化から見てみると、深度 100cm 以深のデータはスギ林、ヒノキ林、落葉広葉樹林では見られなかった。しかし、裸地のデータは時間経過とともに濃度が減少していることが見られる。

つまり、スギ林、ヒノキ林、落葉広葉樹林は土壌水中の NO_3^- 濃度に時間変化が無く、またそれらの植生からの流出水の NO_3^- 濃度も時間変化は見られないが、裸地では土壌水中の NO_3^- 濃度が時間経過とともに減少し、流出水中の NO_3^- 濃度も時間経過とともに減少していることがわかる。したがって、スギ

林、ヒノキ林、落葉広葉樹林はNO₃⁻を流出しないが、裸地はNO₃⁻を流出していることが推測される。

2003年11月のデータで裸地からの流出水のNO₃⁻濃度が上昇している理由としては2003年10月に裸地からの流出水の集水域においてヒノキの伐採が始まったことによるNO₃⁻の流出が考えられる。

スギ林とヒノキ林の土壌水中のNO₃⁻濃度は高いものの、流出においては裸地よりも低い濃度を示した。このことからスギ林とヒノキ林は土壌水中にNO₃⁻を保持することが考えられる。

本研究において落葉広葉樹林は針葉樹林を伐採した後に成立し、その経過年数は約10年である。また、裸地は伐採後約3年経過している。そこでヒノキのデータを伐採後0年、裸地のデータを3年後、落葉広葉樹のデータを10年後として、植生の変化による土壌水成分の変遷を追うこととする。

電気伝導度の変化を見てみると、ヒノキで約88 ± 15 μS/cm、裸地では約80 ± 15 μS/cm、落葉広葉樹で約57 μS/cmと値が下がっていくことがわかる。このことから、植生が変化していくと土壌水中の溶存イオンが減少していくことが考えられる。

NO₃⁻濃度の変化を見てみると、ヒノキで約20mg/l、裸地では約10mg/lから18mg/lとなり、落葉広葉樹でNO₃⁻がほとんど存在しなくなることがわかる。電気伝導度と同様にヒノキ、裸地、落葉広葉樹と植生が変化していくとNO₃⁻濃度が減少していくことが分かる(図8.2)。ヒノキ林が土壌水中にNO₃⁻を保持すること、裸地がNO₃⁻を流出すること、そして落葉広葉樹林の土壌水中のNO₃⁻濃度がほぼ0であったことから、この小流域においてヒノキ林を伐採し裸地にした後に落葉広葉樹林とすると、土壌水中のNO₃⁻濃度が減少していき、伐採10年後には土壌水中にNO₃⁻がほぼなくなることが推測された。

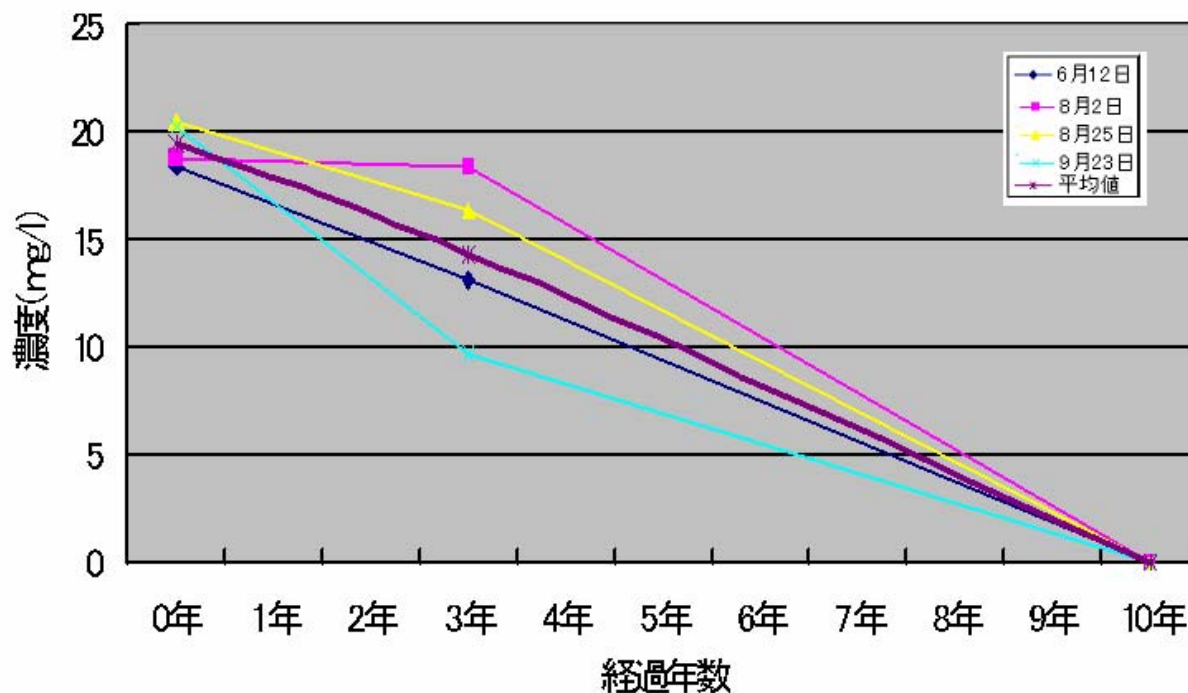


図 8.2 森林伐採後再植林の場合土壌中NO₃⁻濃度変化の推測

8 - 5 まとめ

今回、各植生の樹幹通過水の化学成分、土壌水の化学成分と流出水の化学成分の分析を行った結果、次のことが明らかとなった。

- ・ 樹幹通過成分では、スギ林ではSO₄²⁻の負荷が大きく、ヒノキ林ではNO₃⁻の負荷が大きかった。落葉広葉樹林はイオンの負荷はそれ程見られなかった。また、スギ林、ヒノキ林で電気伝導度の値が落葉広葉樹林よりも高く、イオンの負荷が大きいことが分かった。
- ・ 土壌水中のNO₃⁻濃度はスギ林とヒノキ林で高く、裸地、落葉広葉樹林の順に濃度は低くなっていった。しかも落葉広葉樹林では土壌水中にNO₃⁻がほとんど含まれなかった。
- ・ 土壌水中のSO₄²⁻濃度はスギ、裸地、落葉広葉樹林では深度を増すごとに約4mg/lから8mg/lへと濃度が上昇するが、ヒノキ林では逆に深度を増すごとに約10mg/lからほぼ0へと濃度が減少していくことがわかった。

- ・ 河川水のNO₃⁻濃度データと土壤水のNO₃⁻濃度データからスギ林とヒノキ林はNO₃⁻を土壤水中に保持するが、裸地はNO₃⁻を土壤水中に保持できず地下水へと流出させてしまうことが分かった。そして、本研究の結果よりスギ・ヒノキ林を伐採し落葉広葉樹林へと植生が変化していく過程で土壤水成分が次のように変化していくことが推測された。
 - ・スギ・ヒノキ林では土壤水中に保持されていたNO₃⁻が伐採による裸地化によって流出していく。その後落葉広葉樹林となり年月を経ると土壤水中にNO₃⁻はほとんど存在しなくなる。
 - ・また、土壤水中のNO₃⁻濃度の減少に伴ってその交換性塩基イオンであるMg²⁺とCa²⁺の濃度も減少する。

参考文献

- 石原成知 (2002) : あきる野市樽沢森林流域における水循環、物質循環に関する研究.
- 平田建正・唐常源・村岡浩爾 (1993) : 筑波森林試験地における土壤水分・地下水変動に伴う水質変化について. 水工学論文集,37,pp,253~258
- 塚本良則編 : 森林水文学, p283, 文永堂 東京 1992
- 塚本良則著 : 森林・水・土の保全 湿潤変動帯の水文地形学, 朝倉書店 1998
- 苅住昇著 : 樹木根系図説, p592~596, p611~614 誠文堂新光社 1979
- 市川貴大・深沢文貴・高橋輝昌・浅野義人 (2002b) : 落葉広葉樹天然林のヒノキおよびスギによる人工林化が土壤の養分特性に及ぼす影響. 森林立地,44(2), pp, 23~29
- 澤田智志・加藤秀正 (1991) : スギおよびヒノキ林の林齢と土壤中の塩基の蓄積との関係. 土肥誌,62(1), pp, 49~58
- 高橋輝昌・添谷稔・戸田浩人 (1996) : スギおよびヒノキ壮齡人工林における元素の垂直的な移動特性. 日林誌,78(2), pp, 127~133
- 井上克弘・横田紀雄・村井宏・熊谷直敏・望月純 (1993) : 富士山麓におけるブナ林、ヒノキ林の雨水および土壤浸透水の水質とブナの酸性雨中和機能. 土肥誌,64(3), pp, 265~274

9 - 1 観測施設

流量観測は、最初は上流部と下流部の2箇所にて堰を設置して2001年9月から開始したが、降雨時のピーク流量が予想以上に大きかったため、堰の付け替え(写真9.1, 9.2)や漏水対策に手間取り、正常にデータが取れるようになるまでに数ヶ月を要した。その後、源流域の支谷と中流部の2箇所を加え、これまで図9.1に示した4箇所にて観測を行っている。

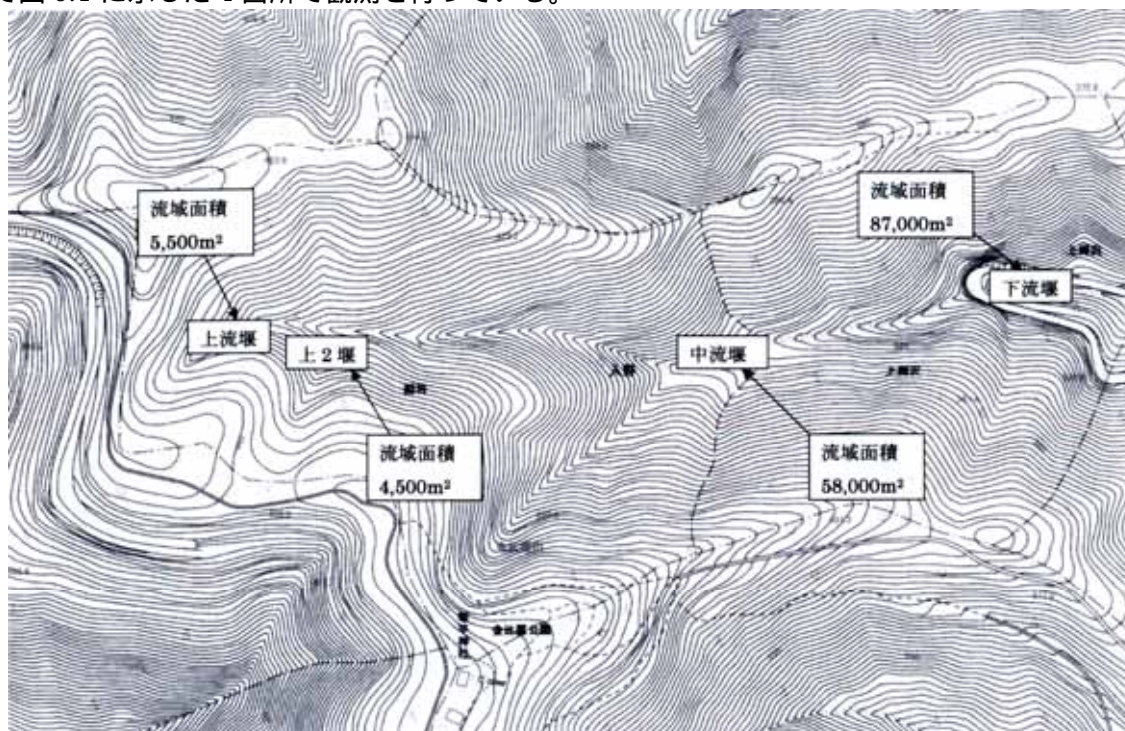


図 9.1 堰設置位置

なお樽集落の入り口にあたる場所にも堰を設けたが、2回設置して、そのいずれも2週間たらずのうちに出水によって破壊したため、現在は観測を断念している。(写真9.3)



写真 9.1 下流堰の破壊



写真 9.2 同左大型の堰に交換

さて、以下の記述では堰の名称を“上流堰”, “上2堰”, “中流堰”, “下流堰”とする。それぞれの流域面積は 5,500m²、4,500m²、58,000m²、87,000m²である。前2箇所は60度Vノッチ、後2箇所はパーソナルフリュームによって観測した。なお観測計器は池田計器製の1週間巻き1mm目盛りの減水位計によった。欠測を避け、かつ精度をあげるためには高価な圧力センサーを用いるより、記録用

紙によるマニュアル方式の方が手間を別にすればはるかに優れているというのが筆者の持論である。



写真 9.3 樽沢最下流堰の破壊状況

観測流域は急流のため、降雨時の土砂堆積を考慮して堰の上流側に土砂溜めを設け、大降雨の度に発生する堆砂を取り除いたが、これはかなりの重労働であった。(写真 9.4, 9.5) 参考までに今回用いたパーシャルフリュームの諸元を図 9.2 に示しておく。またその他の堰を写真 9.6, 9.7 に示しておく。



写真 9.4 中流堰
漏水対策に苦心



写真 9.5 同左出水時の堆砂
出水の度に大量の土砂が堆積

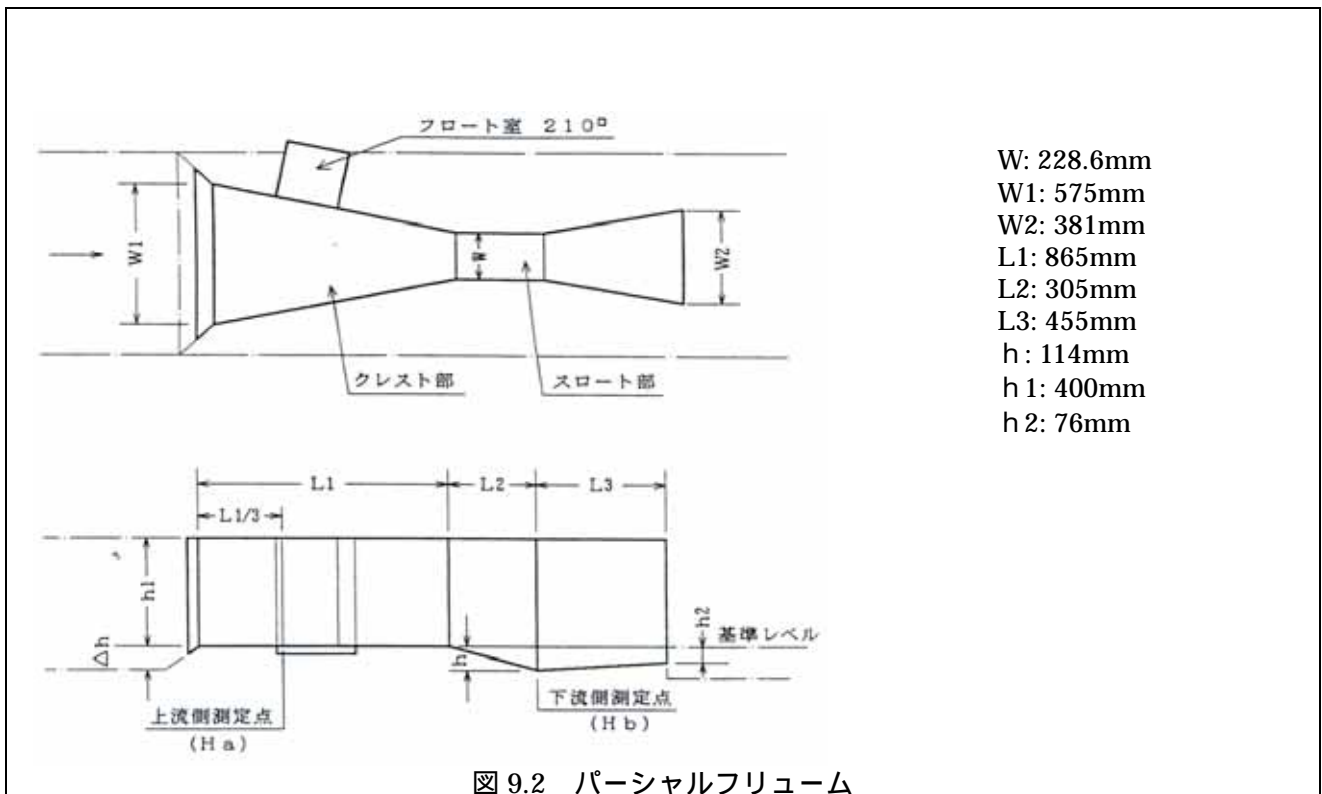




写真 9.6 上流堰
樽沢源頭部に位置する



写真 9.7 上 2 堰
本流に合流する支流出口に設置

9 - 2 年間流出率

これまでに年間を通して取得された流出記録を集計した結果を表 1 および図 9.3 に示す。図 9.1 にあるように下流堰は観測流域の末端部にあり、上流堰は源頭部に位置する。

これらの記録から次の興味ある事実が指摘できる。すなわち、

流出率は下流部に比べて源流域で極端に少ない。

流出率は下流域、源流域ともに経年的な減少傾向を示す。

については当流域のみに見られるものなのか、隣接の他の流域でも同じことが言えるのかは現時点では不明であるが、筆者は周辺の地形的特長から見て後者の可能性が高いと見ている。それは「観測流域の特徴」のところでも述べたように、他の多くの谷も当流域と同様にその谷頭部はカール状の地形を呈していることが多く、形成時代は今後の課題として残るものの、田村俊和(1998)のいう“多元地形”、的な考えを導入しても良いのではないかと考えている。すなわち先に述べた地形的な相違とともに源流域谷頭部のグライ化した比較的厚い土壌層の存在に対して下流部の基盤岩が地表に露出または浅いところに位置する、といった顕著な相違は無視できないように思われるからである。ただし現段階ではこれらの見解は推定の域を出ず、今回得られた水文学的特性のバックグラウンドをより明確にするためにはさらなる研究を積み重ねる必要がある。

については 2002 年春先から開始された東京都による 3 割間伐と同年夏から始まり、途中休止期を経て翌年春先まで続いた上流域の皆伐によって地表部の土壌層が乾燥し、降雨の初期損失が増大したためと判断している。一般には森林伐採により蒸散量が減少すると流出量が増大すると言われているが、ここでは逆の現象が発生しているわけである。しかし残念なことに伐採は十分な観測データの蓄積を得ないまま行われたため、そのプロセスを詳細に追究することは出来なかった。いずれ流出量が増大に転ずるものと予想されるが、それを確認することも今後の課題である。

表.9.1 年間流出率の経年変化

下流堰(流域面積:87,000m ²)				
期間	降雨量(mm)	総降雨量(m ³)	総流出量(m ³)	流出率(%)
2002.1.1-2002.12.31	1,560.5	135,764	107,538	79.2
2.003.1.1-2003.12.31	1,885.5	164,039	130,075	79.3
2004.1.1-2004.12.31	1,691.5	147,161	95,827	65.1
上流堰(流域面積:5,500m ²)				
期間	降雨量(mm)	総降雨量(m ³)	総流出量(m ³)	流出率(%)
2002.1.1-2002.12.31	1,560.5	8,583	4,249	49.5
2.003.1.1-2003.12.31	1,885.5	10,370	4,631	44.7
2004.1.1-2004.12.31	1,691.5	9,303	3,651	39.2

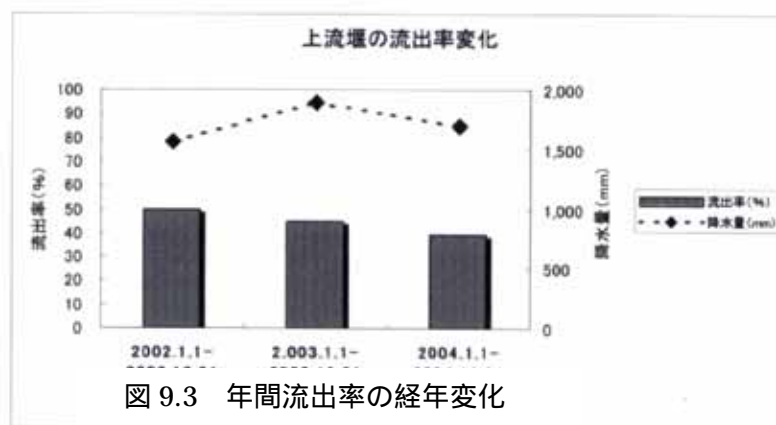
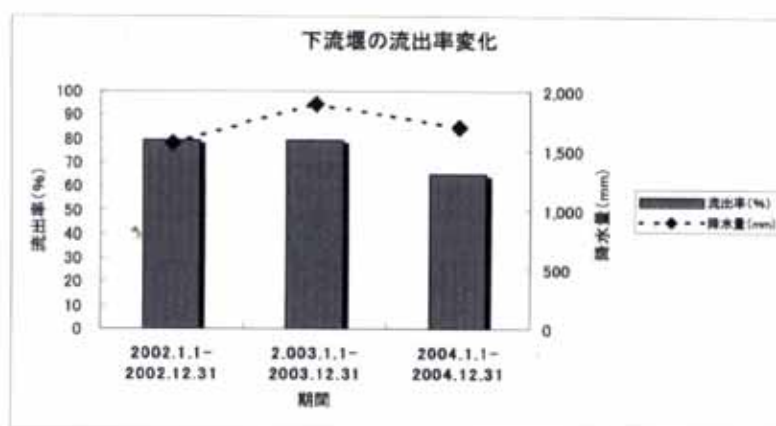


図 9.3 年間流出率の経年変化

3. 樽沢の流出特性

(1) イベント流出

本流域の流出特性を端的に示したイベントとして流域末端部に前後2回にわたって設置し、そのいずれも破壊された堰(写真 9.3, 図 9.4)での流出現象があげられる。この地点での通常の流量は15~150l/sec程度であるが、大降雨時には図 9.5 に示したように一挙にその100倍を越える2m³/sec以上に達する。このときの強い水勢によって写真にあるように堰の周辺または底が抉られ、また堰板が曲げられた。

ピーク流量にいたる時間は短く、それは降雨強度と殆ど一致し、減衰も早い。このことは流域の保水

性が極めて低いことを示している。



写真 9.8 上 2 堰流域のグライ化土壌

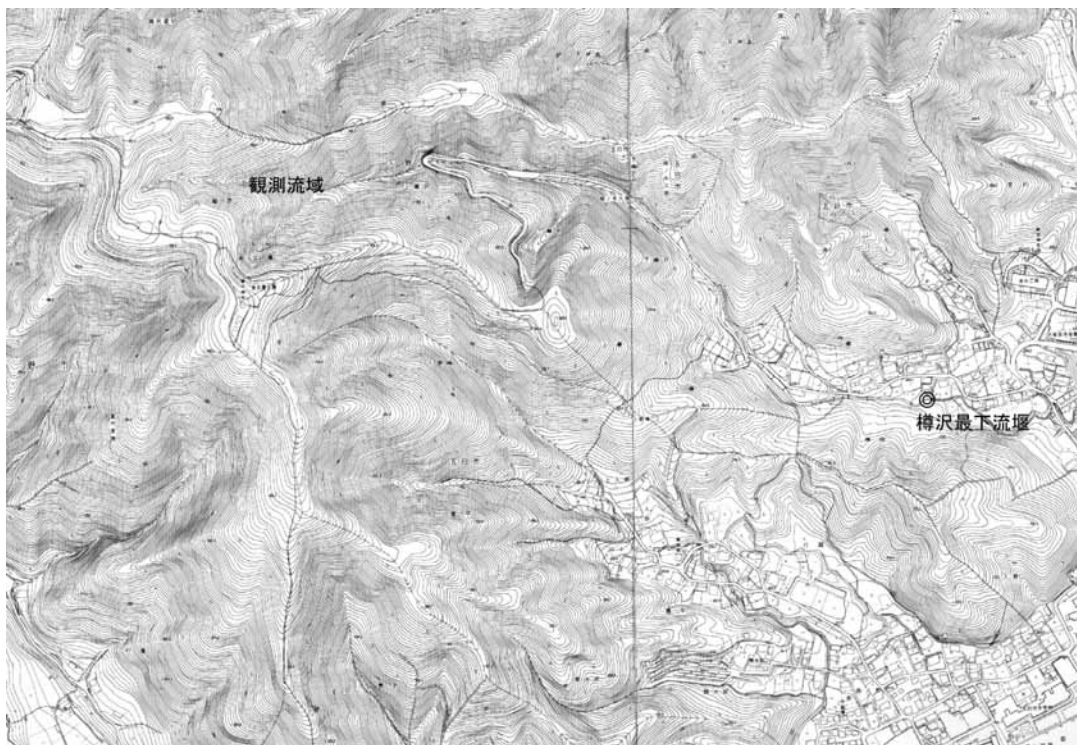


図 9.4 樽沢末端部の堰地点

その他の堰での降雨イベント時の流出記録例を図 9.6 に示しておく。上にも述べたように上流側の流出率が下流側のそれに比べて常に低く、とりわけ上 2 堰流域では極端に低い。このような特徴に加えてその流量は少ないながらも安定しており、無降雨時においても流出量はほぼコンスタントである。この流域の末端部は写真 9.8 のように段丘状をなし、その土壌は 2m 以上と厚く、かつグライ化が進んでいて粘性土が勝り、降雨浸透水を長期間保有し得ることがその理由といえる。

図 9.6 からはもう一つの特徴が読み取れる。それは図のように降雨が断続してもたらされた場合、流出率が少しずつ増大してくることである。これはいわゆる先行降雨効果によるものである。

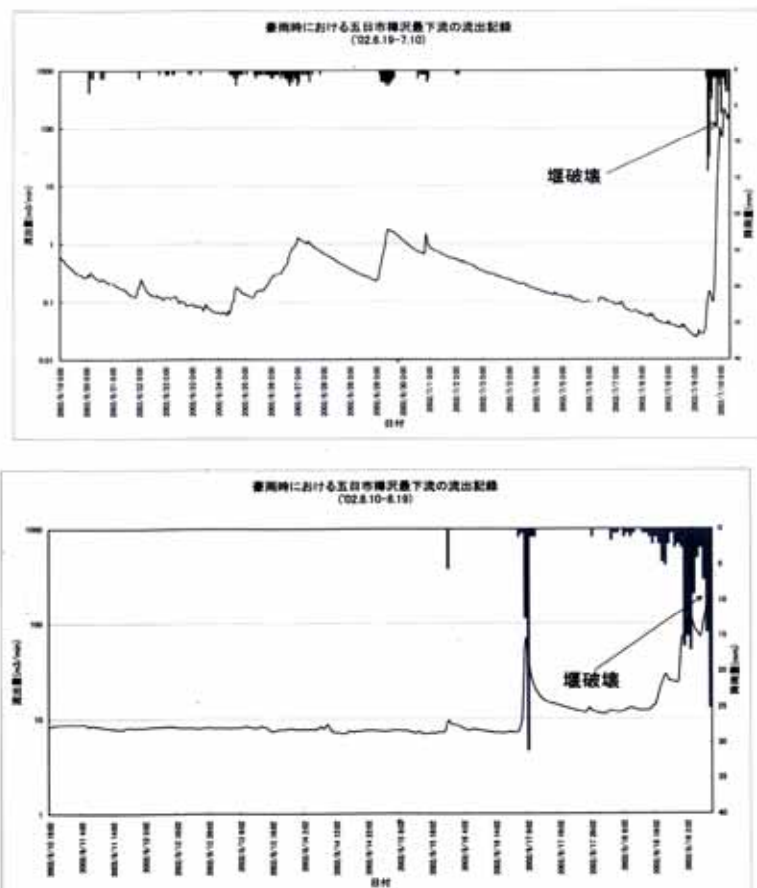


図 9.5 樽沢最下流の豪雨時における流出記録

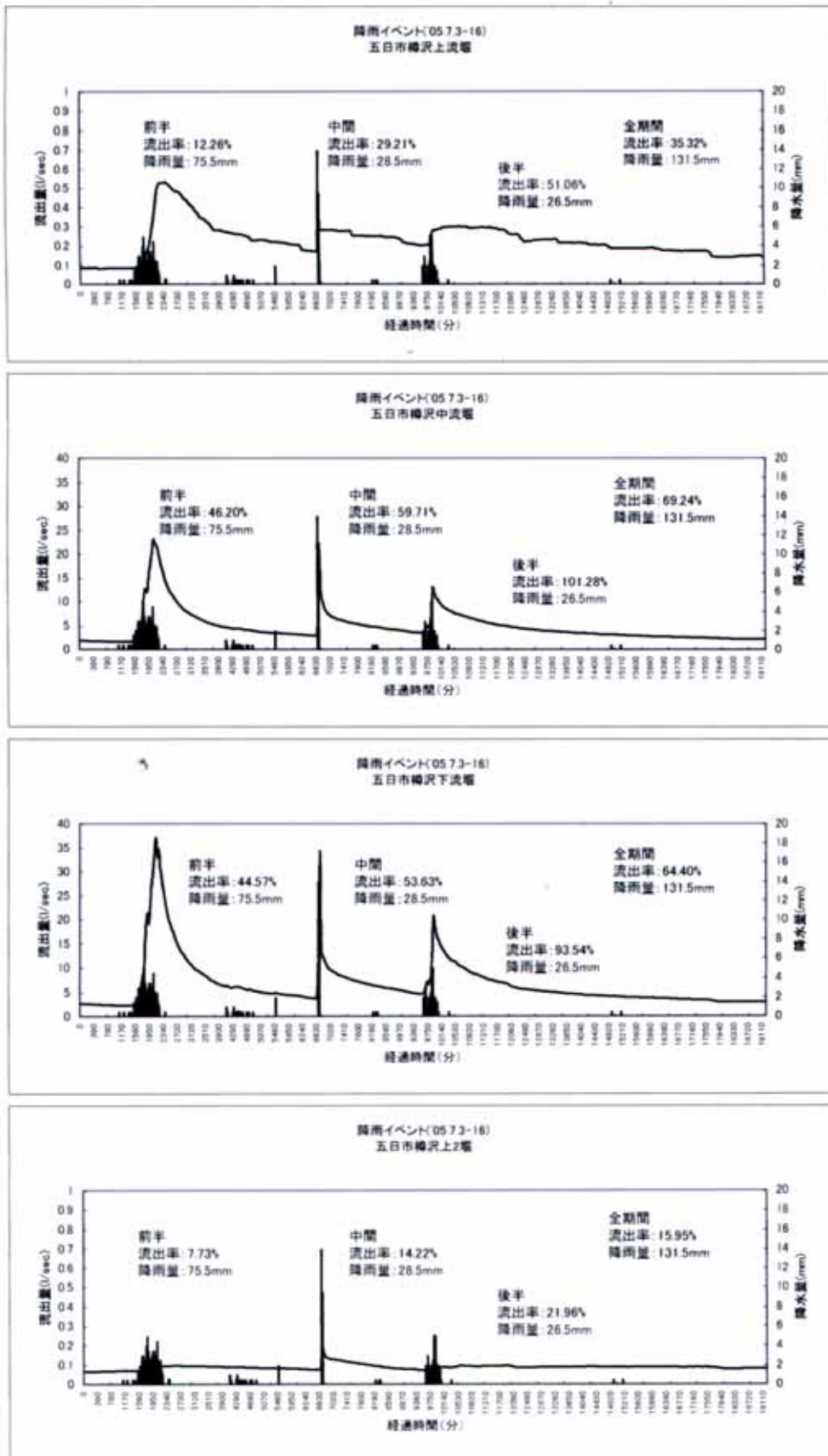


図 9.6 降雨イベント流出記録例

(2) 降雨量とイベント流出率

これまでに得られた降雨イベント流出の記録をもとに降水量と流出率の関係を上流側と下流側に分けて図示すると図 9.7 のようになる。先行降雨の支配を受ける土壌水分状態によってバラツキがみられるものの概ね下流側では流出率の上限が 80% 台以上に達するのに対して上流側ではそれを越えることはない。特に上 2 堰流域では降雨量の大小にかかわらず、流出率は常時 20% 以下という特異な現象を示している。なお流出率が 100% 以上というのは基底流出量や先行の残存流出量が加算されているためである。

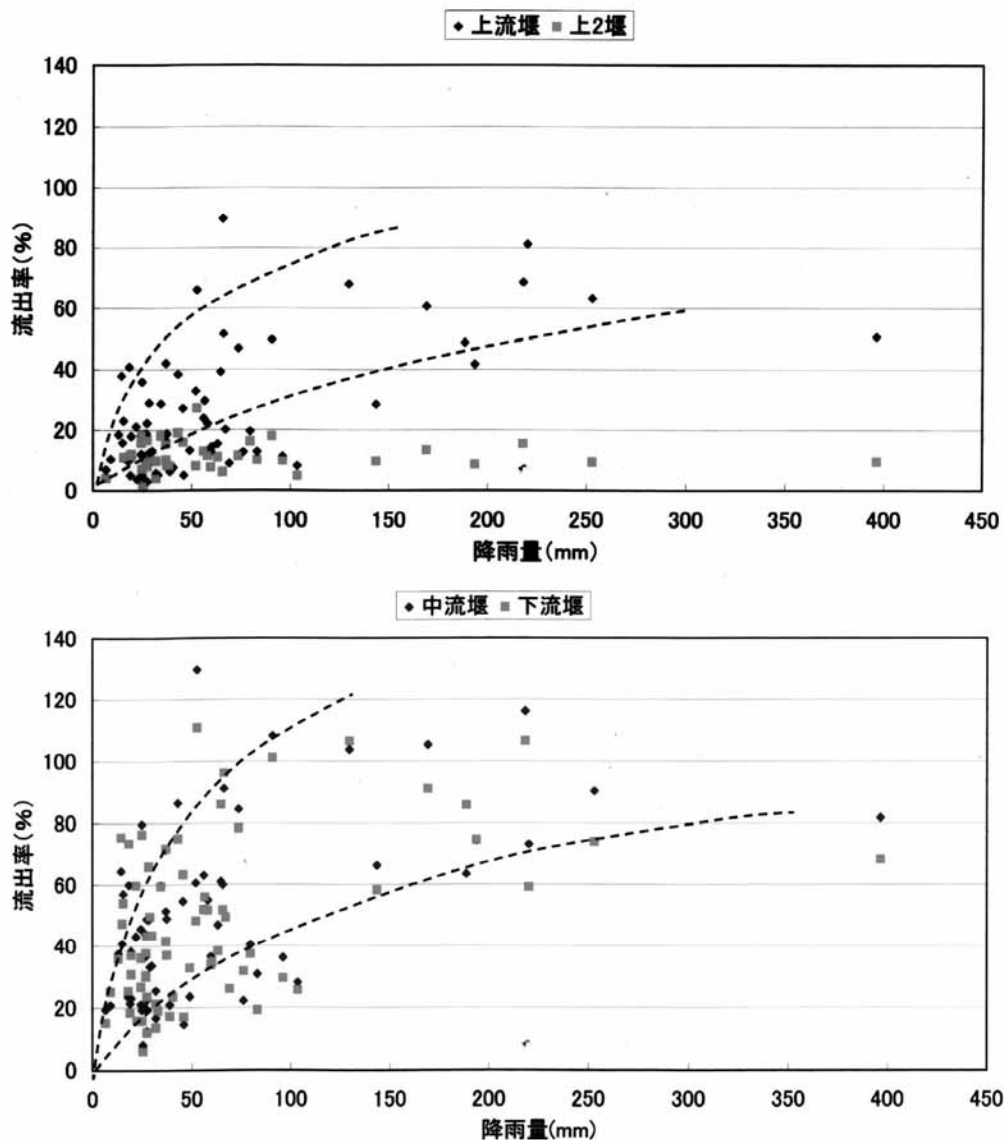


図 9.7 降水量と流出率の関係

(3) イベント流出率の経年変化

先に年総降水量と年総流出量によって求めた年総流出率の経年変化について述べたが、同じような傾向はイベント流出率の年平均をとっても言える。(図 9.8) ここでイベント数は 2002 年度が 22、2003 年度が 25、2004 年度が 20 となっている。図にあるように各堰とも低下の傾向にあり、図 9.3 の結果と矛盾しない。

イベント流出において問題となるのは降雨の初期損失、つまり土湿不足を補うために消費される水量である。図 9.7 にある流出率のバラツキの原因はここにあるわけだが、これが経年的に減少しているのは 2 章で述べたとおり伐採によって土壌が乾燥しやすくなったことを示している。

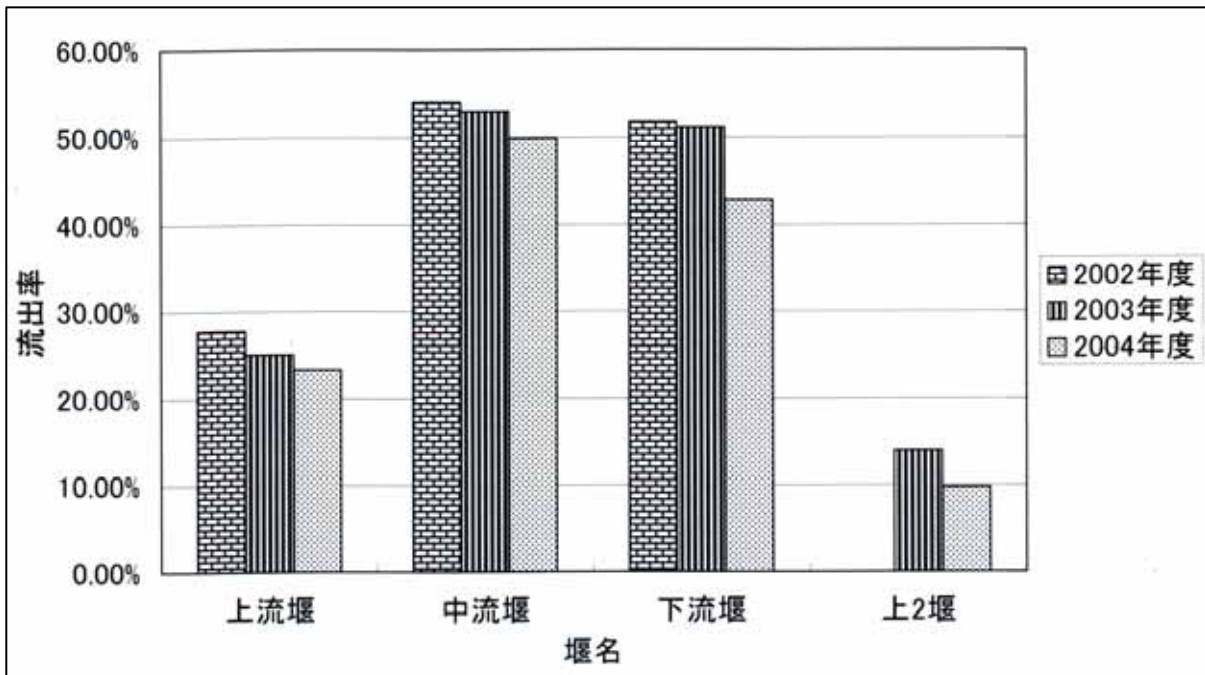


図 9.8 降雨イベント毎の流出率の経年変化

(4) 流出量と地下水位

流出量に占める地下水の割合は従来考えられてきたものより大きいという指摘は最近多くなされているが、その機構についてはまだ論ずべき余地が多いように思われる。そこで地下水流出のウェイトの大きい上流部の堰のそばに深度を変えた複数のピゾメーターを設置して地下水位変動と流出量の間関係を迫った。その一部はすでに「観測流域の特徴」の項で触れたところであるが再度考察を加える。(図 9.10 「源流域地下水の深度別全水頭変化」参照)

図にあるように通常では深度 100cm の全水頭値が高く、この付近に地下水流動のポテンシャルの高いゾーンのあるのが推定される。土壌調査によればこの部分までが斜面末端部に集積している土壌層といえるもので、その下底部は含水量が常に高いことが確認されている。その下位のグライ化した部分の下から転石が多くなり、また一部には基盤の風化部も認められる。通常はこの部分の水頭は低いところにあるが、大雨時や長く続いた降雨の後ではこれが急上昇してポテンシャル勾配が逆転し、流出量の大部分が下部からの流れに支配されるかたちになる。このことは先に述べた降雨後の硝酸態窒素濃度のプロファイル変化と矛盾しない。図 9.9, 9.10 は流出量と地下水位の関係を示したものであるが、地下水位の高い期間のほうが明らかに流出量も大きくなっている。

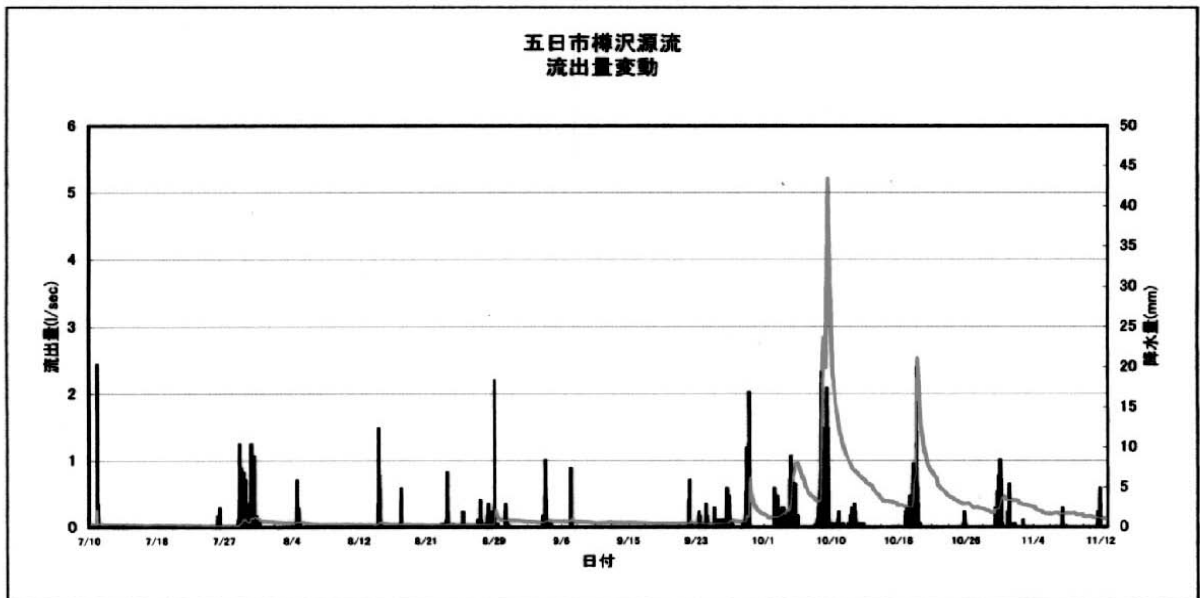
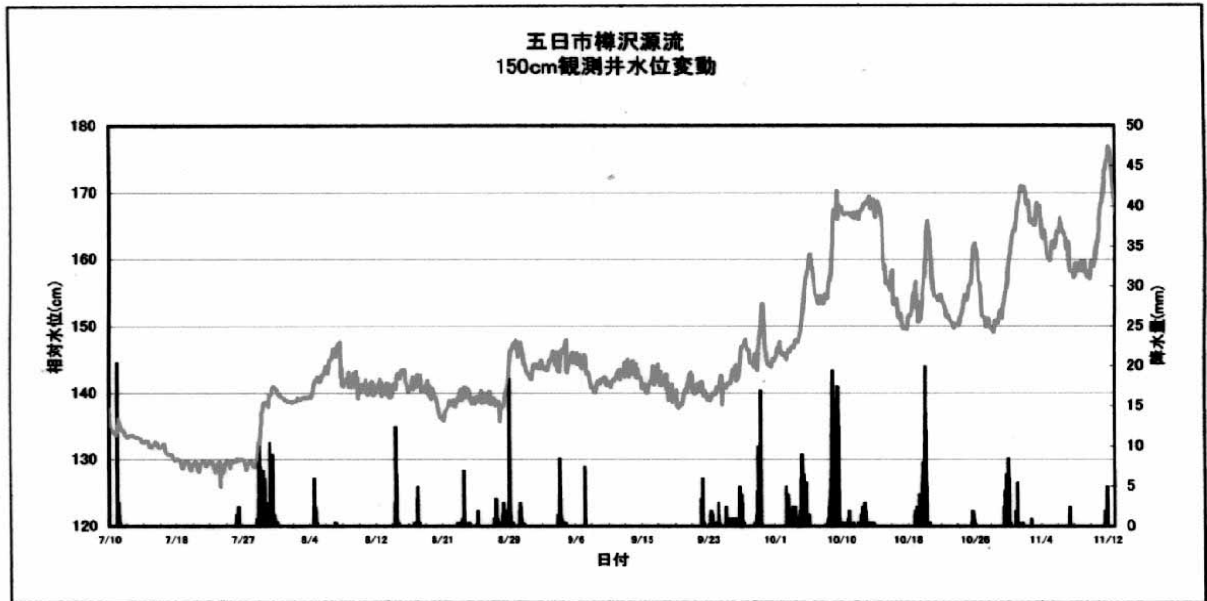


図 9.9 上流堰における地下水位（上）と流出量（下）の関係

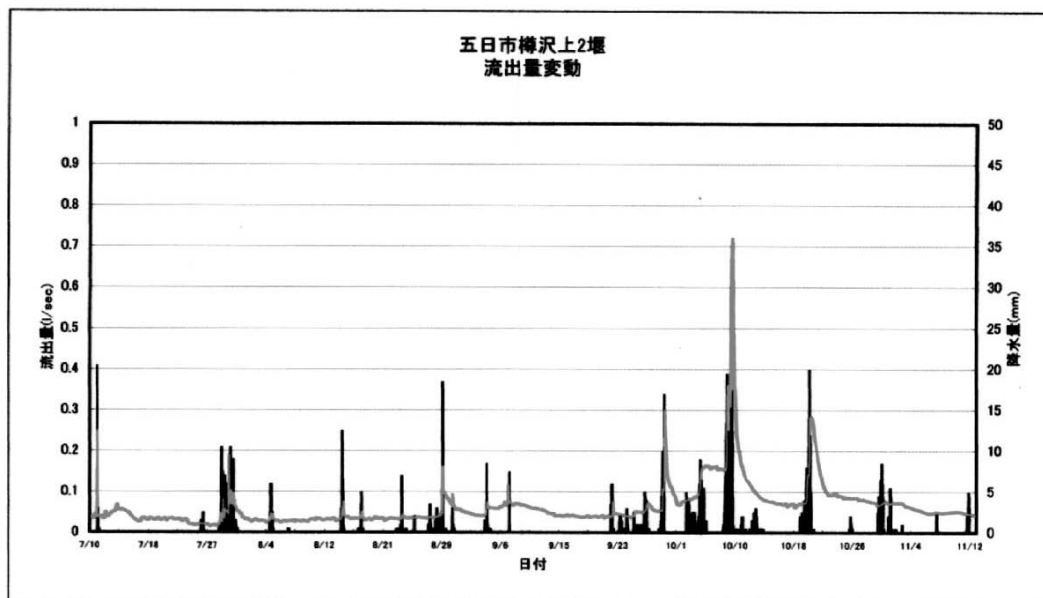
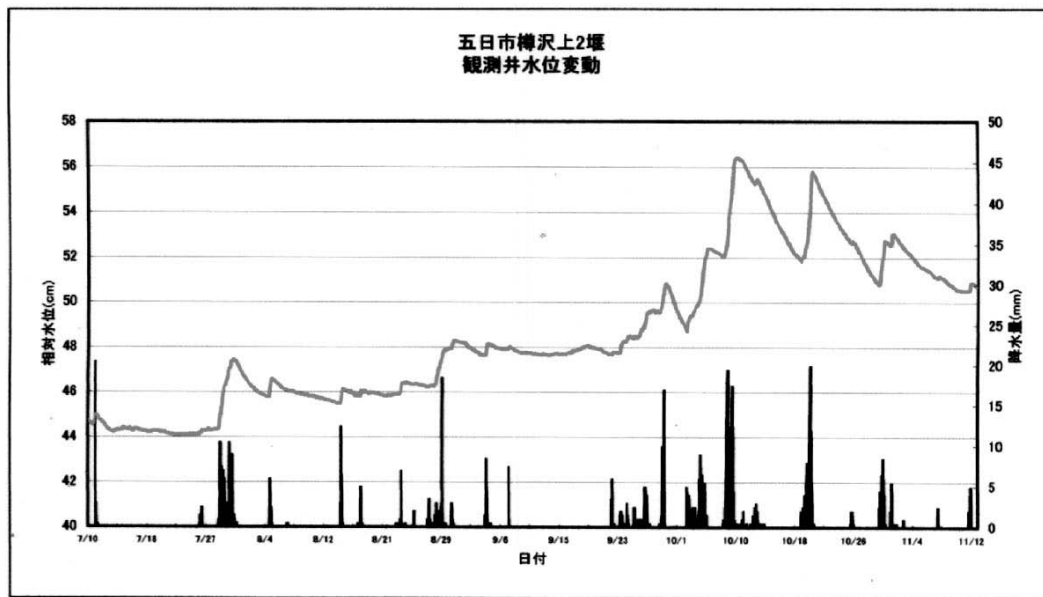


図 9.10 上 2 堰における地下水位（上）と流出量の関係（下）

(4) 流出量の経年変化

図 9.11 にこれまでに得られた流出量の記録を一括して示す。なお上流側と下流側の差が大きいので特徴を比較しやすくするため、流出量是对数尺で示してある。全体として流出のパターンは同じであり、共に降雨量との対応が顕著である。流出の基底部を連ねた包絡線は基底流出とも言えるもので、この流域の特徴をよく表している。1 例として豊水期では上流側と下流側ではその比は 1 : 40 前後と大きな差を示すのに対して渇水期では 1 : 20 程度と半減していること、また豊水期と渇水期における基底部の比も上流域が 2.5 程度であるのに対して下流域はその倍の値を示すといったように上流側の流出の方が下流側に比べて相対的に安定しているということが指摘でき、流出における地下水の貢献度は上流域において大きいことが示されている。

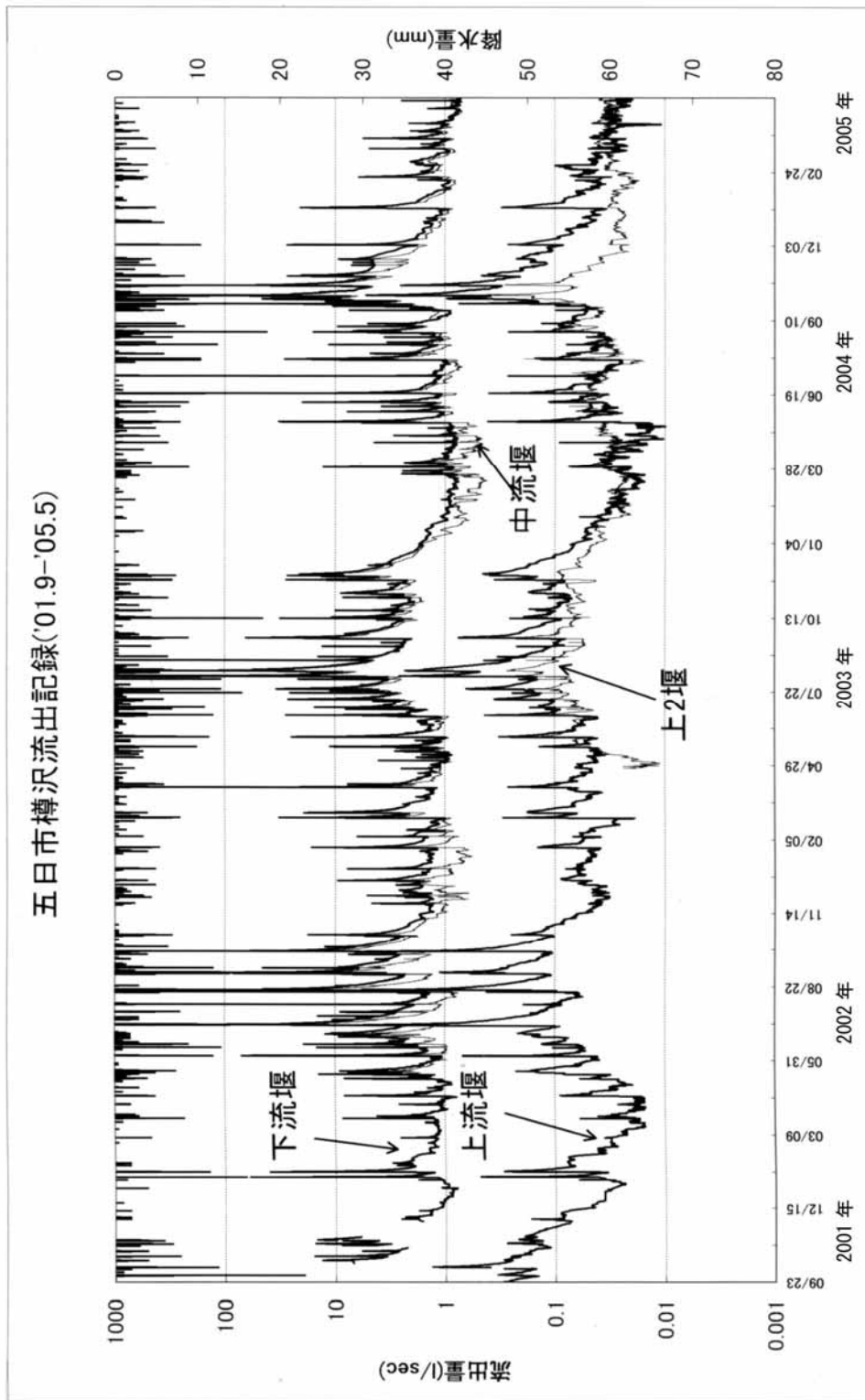


图 9.11 流出記録

第10章 水質

(唐 常源)

10-1 はじめに

森林には洪水を緩和し、水資源を保全したりする水源涵養機能がある。これにより私たちは渇水期にも貴重な水資源を確保できている。しかしその機能は森林の状態、すなわち林種や成長段階によって大きく異なる。

現在の森林の大部分が二次林であり、利用価値の高さから落葉広葉樹を伐採しスギやヒノキなどの針葉樹が植林されている。このような中で伐採して植林したことにより森林が持つ水源涵養機能にどのような影響を与えているのかを把握することは重要である。またわが国の森林のように、急峻な地形で、しかも温暖多雨な地域では降雨は溪流への溶存物質の流出を引き起こす誘引として大きな作用力を持つ。このようなことから伐採され新たに植林された場合、降雨時の短期流出の際にどのような変化が生じているかを把握する必要がある。

10-1-1 従来研究

今まで長期的変動の観点からスギ、ヒノキ林において樹種の違いまたは森林と裸地の違いによる土壌水と流出水の成分の変化についての研究は数多くなされてきた。しかし、これまでの森林生態系からの溶存物質に関する研究は、定期的な採水による試料の解析が大部分を占めている。

森林土壌生態系で作られた土壌水の流出は、降雨時の渓流水水質変化に2つのパターンをもたらすことが明らかにされている(1995 平田ら)。一つは NO_3^- 、N、K、Ca、Mgなどの降雨終了後に降雨前のベースを上回る物質群で植物体の主要必須元素として森林内の循環量も多く、表層土壌中に多量に蓄えられている物質が多い。もう一つが SiO_2 、NaやClなどの降雨終了後にほぼ降雨前のベース値に戻る物質群でいずれも森林生態系内の循環量の少ない物質に分類され、表層土壌中の現存量は深層に比べて減少している。しかしそれらが林種の違いや伐採などの影響により降雨時の渓流水水質変化にどのような違いをもたらすかを取り扱った研究というのはまだなされていない。

10-1-2 目的

一般には降雨規模の違いと同じく流域間の降雨流出過程や植生の違いも渓流水質形成機構に影響を与えると考えられるが、このような視点にたった研究例はあまり見られない。

本研究地は河川流域にスギ、ヒノキ、落葉広葉樹林、4年生のヒノキ幼齢林、伐採地の5つの植生を持ち今までその植生の違いによる土壌水質や水循環、物質循環の研究が行われた(2002 石原、2003 日吉)。しかし樽沢森林小流域の渓流水において異なる植生を集水域に持つ河川水の比較というのはまだなされていない。

そこで本研究は平水時および降雨時において河川水は植生の違いにより流出過程や水質形成にどのような違いが見られるのかを比較しその物質収支、水収支を明らかにすることを目的とする。

10-2 観測、採水及び分析方法

10-2-1 観測方法

地下の水の流れを見るために河川沿いにピエゾメータを埋設し水頭を図った。(図10.1を参照)

河川流量は流域上部のパーシャル設置地点Cにおいて、圧力センサーのついた記録媒体 Diver を使用し、気圧、温度及び水圧を計測している。

また今回、10月9日の台風22号による降雨イベント時に11時から21時まで集中観測を行った。観測内容として1時間ごとに地点A、B、C、D、E、F、Gで渓流水とピエゾメータb、c、d、e、fで可能な限り採水と水頭を計測した。自動採水で

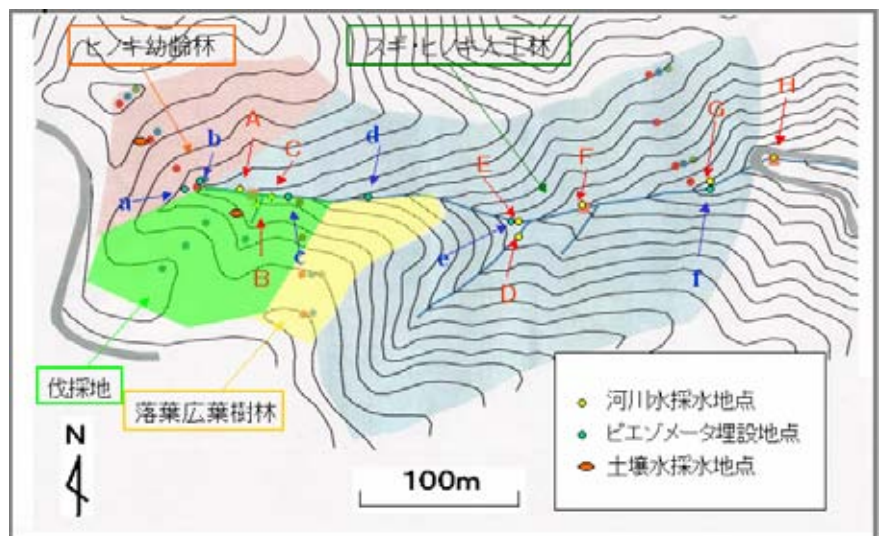


図10.1 研究地域でのピエゾメータ、土壌水および河川水採取地点

はなく自ら行ったものであるので欠側データも多少ある。

ピエゾメータの埋設深度： a - 140 cm、 b - 100cm、 170 cm
c - 50 cm、 90 cm、 d - 85 cm
e - 43 cm、 70 cm、 f - 35 cm

10 - 2 - 2 採水方法

約1ヶ月に一回、渓流水はポイント(A~H)を決め採水を行った。採水場所の主な特徴を以下に示す。

Aは本研究地の源流部で4年生のヒノキ幼齢林を集水域として持つ。Bは小さな支流で2003年10月にヒノキと雑木林が全伐された伐採地を集水域として持つ。CはAと源流とBの支流が合流したもので流量計が設置されている。図10.1を見てもわかるようにヒノキ幼齢林、広葉樹林より下流はスギ・ヒノキ林で構成されている。Dはそのスギ・ヒノキ林からの支流でEはDと合流する前の本流をFはそのEの本流とDの支流が合流したもので流量計が設置されている。Gは最下流のピエゾメータを埋設した地点で、Hはこの樽沢森林小流域の最下部で流量計が設置されている。

ピエゾメータ(a~f)は採水と水頭を計測したが、水位がなく採水できなかった時もあり欠側データがある。またピエゾメータd、e、fは新たに埋設したものでデータは10月9日以降のみとなる。

10 - 2 - 3 分析方法

採取した水サンプルは大学に持ち帰り、陰イオン、陽イオン濃度はイオンクロマトグラフィー(島津製作所)を用いて測定した。またSiについては10月9日以降のデータのみになるが同様に大学に持ち帰った後、ICPを用いて測定しこの結果からSi濃度は通常水中に溶存する形態であるSiO₂濃度に換算して示した。

10 - 3 年間変動長期変動

図10.2に示したのは地点Cに設置された堰における2003年5月1日~2005年4月30日までの日流量の経時変化である。この流域には日流量は12月から減少し始め、3月上旬から中旬まで最小値に達す。その後、日流量が上昇に転じる。

伐採前及び伐採期間(2003年5月1日~2004年4月30日)と伐採後(2004年5月1日~2005年4月30日)を比べてみると、前者の基底流量が明らかに少なかった。集中降雨や台風の影響を受け、日流量の変化も大きかった。

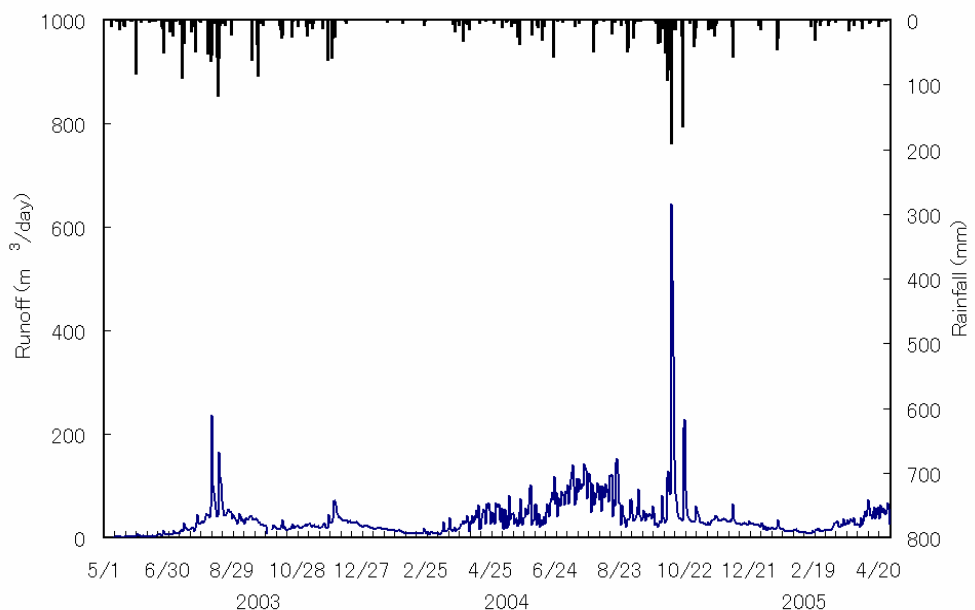


図10.2 2003年5月1日~2005年4月30日までの日流量(単位:m³/day)

表10.1には堰における2003年5月1日~2005年4月30日までの年間流出および流出率を示す。全期間中の降雨量が3683mmであるに対して、同時期の流出は1308mmとなった。また、伐採前及び伐採期間(2003年5月1日~2004年4月30日)と伐採後(2004年5月1日~2005年4月30日)を比べてみると、降雨量がほぼ同じであるが、流出率が23.33%から47.41%となった。明らかに、伐採によって堰の流量が増大した。

森林の生育する山地の水循環特徴を評価するために、流況曲線を用いると、年最大流量から最小流量までの流出の安定性を把握することができる。伐採など山地植生分布の改変による影響も流況曲線に現れる。

表 10.1 堰 における年間流出及び流出率の一覧表

期間	雨量(mm)	流出(mm)	流出率(%)
2003/5/1 ~ 2004/4/30	1818	424	23.33
2004/5/1 ~ 2005/4/30	1865	884	47.41
2003/5/1 ~ 2005/4/30	3683	1308	35.52

図 10.3 と図 10.4 はそれぞれ 2003 年 5 月 1 日から 2004 年 4 月 30 日まで、および 2004 年 5 月 1 日から 2005 年 4 月 30 日までの堰 に関わる流域の流況曲線を示す。図 10.3 より、2003 年 5 月 1 日から 2004 年 4 月 30 日の時期について、流域では 1mm/day 以上の降水日数が 127 日であること、日流量の最小値は 0.03mm/day 以上にあることが分かる。また、図 10.4 より、2004 年 5 月 1 日から 2005 年 4 月 30 日の時期について、1mm/day 以上の降水日数が 104 日であること、日流量の最小値は 0.39mm/day 以上にあることが分かる。降雨のパターンの年によって異なるが、表 10.1 で示したように、伐採前及び伐採後二年間の雨量を見ると、総雨量がほぼ同じであるのに対して、伐採後の初年度は日流量の最小値が伐採以前の約 10 倍に達した。

東京大学愛知演習林白坂流域の研究結果は、年最大雨量など大きい雨の有無は、それだけでは年降水量の大小に影響を与えず、30 日目雨量のように中程度の雨も含めた総量が年降水量の大小を決めていることを示唆した（劉ら、1998）。本流域の場合に、30 日目雨量が伐採前後の二年間とも 17mm/day であったので、伐採による流出の増大が明らかになった。

10-4 降雨時の流出について

図 10.5 は伐採後の 2004/10/8 ~ 2004/10/12 の間に、堰 でのハイドログラフを示す。その期間の降雨量が 291.5mm であった。流出率が 22.05% に達した。流量の増減が降雨パターンとほぼ対応している。降雨が 2004 年 10 月 8 日 12 時降り始まり、翌日 10 月 9 日 12 時まで 174.5mm に達した。その期間中に最大降雨強度が 23mm/h であるのに対して、最大流量が 600m³/日を超えた。しかし、10 月 9 日 12 時から 21 時 45 分までの降雨量が 117mm であった。その間の最大降雨強度および最大流量がそれぞれ 25 mm/h と 1240m³/日に達した。降雨のピークが流出のピークが約 2 時間遅れていたことが図 10.5 から読み取れる。また、堰 での流量が降雨開始前の基底流量に戻ったのは、降雨終了後約 60 時間であった。

一方、図 10.6 は伐採以前の 2003/8/14 ~ 2003/8/19 の間に、堰 でのハイドログラフを示す。その期間の降雨量が 255mm であった。流出率が 10.76% に達した。最大降雨高度が 16mm/h

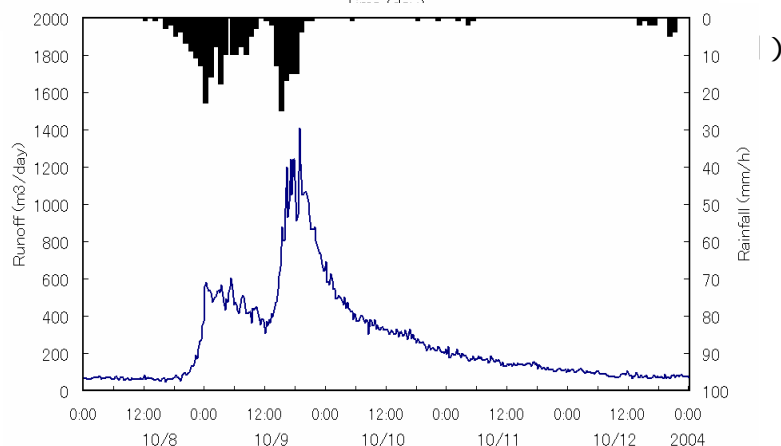
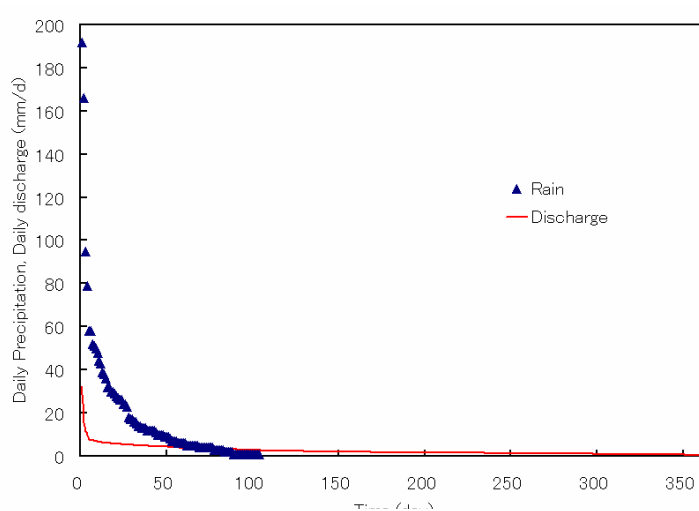
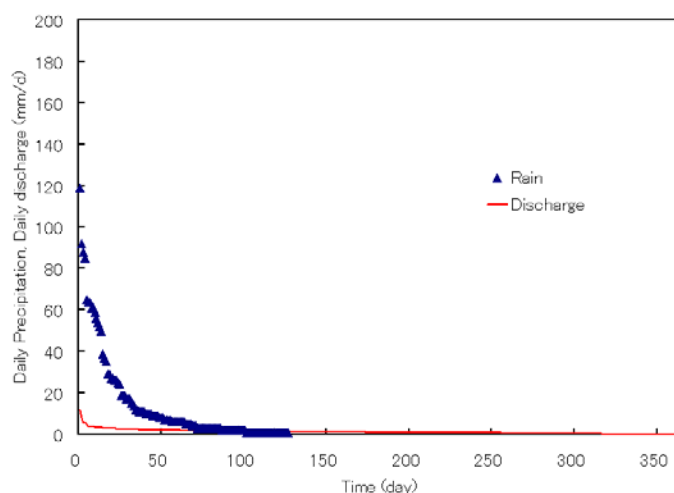


図 10.5 堰 でのハイドログラフ

を示す。その期間の降雨量が 255mm であった。流出率が 10.76% に達した。最大降雨高度が 16mm/h

であった。流量の増加が緩やかであった。流量が8月15日10時30分に最大280m³/日に達した。また、翌日(8月16日)の降雨が61mmであり、流量もそれに応じて増減した。また、堰での流量が降雨開始前の基底流量に戻ったのは、降雨終了後約72時間以上であった。

図10.5と図10.6を比較すると、降雨総量の差が36.5mmであるのに対して、ハイドログラフの特徴が大きく異なっていたといえる。伐採前と比べると、最大流量は伐採後のほうが数倍増えている。また、降雨前の流量に戻るのに、伐採後の方が12時間以上短縮した。表10.2はその二つイベントの際に堰における降雨量、流出及び流出率の比較を示す。

堰付近の川底に設置したペイゾメーターから深度方向の水頭分布を調べた結果は、河川水が一部伏流になっていることを示唆した。

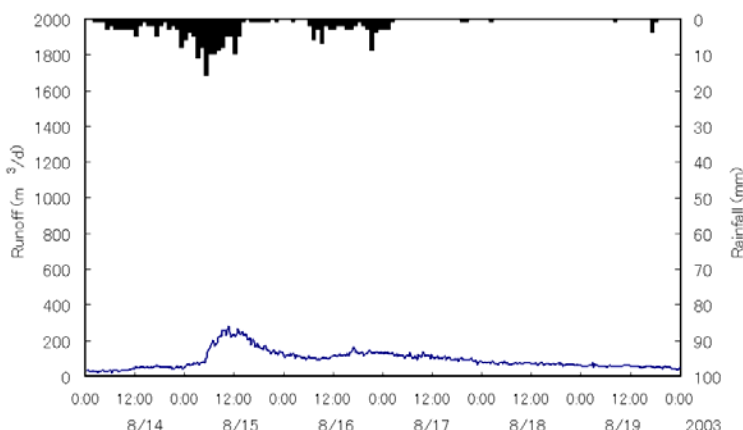


図10.6 堰でのハイドログラフ

表10.2 降雨イベントの際に堰における降雨量、流出及び流出率の比較

期間	雨量(mm)	流出(mm)	流出率(%)
2004/10/8～2004/10/12	291.5	64.27	22.05
2003/8/14～2003/8/19	255	27.45	10.76

10-5 水質の長期変動

10-5-1 渓流水のイオン挙動について

表10.3は2004年渓流水における各主要イオン濃度分析結果を示している。表から次のような特徴がある。

Cl⁻濃度は6月から12月の測定日でAの値が最も高くB～Hの平均濃度が約3.5mg/l前後に対しAの値は約4.7mg/lであった。全体的な傾向として8月～10月にかけて濃度の低下が見られた。

NO₃⁻濃度は、A～G全ての観測地点で8月に最小値をとり、全体として濃度変化は同じ傾向であった。またCl⁻と同じようにAの値は全測定日でB～Hより一番高い値をとり平均濃度は約7.6mg/lであった。その影響で次に濃度が高かったのはAとBの合流地点であるCで約5.6mg/l、その他の地点では3～4mg/lであった。

SO₄²⁻濃度は6月から12月を通じて一番低い濃度をとったのがBで平均濃度は約5.5mg/lだった。逆に一番高かったのがAで約11mg/lでその他のB～Hでは7～9mg/lであった。

Na⁺とMg²⁺は共にA～Hの全ての採水地点で8月11日に最大値、10月15日に最小値をとった。また6月～12月の全ての採水地点で同じ傾向を示しAは常に一番高い値を示した。Na⁺はAで6.9mg/l、B～Hは4～5mg/lであった。Mg²⁺はAで2.9mg/lでB～Hは1.9～2.2mg/lの間で差は小さかった。

K⁺はD～Hの採水地点でNa⁺とMg²⁺と同じように8月に最大値、10月に最小値をとったがA～Cではあまり濃度の変化は大きくなかった。濃度は全体が0.5～0.8mg/l内に収まっていた。

Ca²⁺はA～H全ての採水地点で10月に最小値をとった。Aで最も高く12mg/lでBが最も低く8mg/lであった。その他C～Hは9～11mg/lとなった。

SiO₂濃度はA～Hの採水地点であまり濃度に差はみられず約25～30mg/lの範囲に収まっていた。どの地点でも季節的变化はみられなかった。

表 10.3 渓流水の定期観測から得られた水質データ (単位は mg/l)

Cl⁻濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
A	5.42	5.15	4.10	4.00	4.01	5.41
B	3.89	3.72	2.20	2.49	4.14	2.91
C	3.92	4.00	3.20	3.82	3.74	3.88
D	4.24	3.61	3.00	3.33	3.67	4.04
E	3.60	4.04	3.20	2.99	2.89	3.43
F	4.00	4.10	3.70	3.45	3.75	3.61
G		3.59	3.30	3.22	3.15	3.32
H	3.93	3.51	2.60	3.55	3.32	3.08

NO₃⁻濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
A	9.57	7.94	3.90	9.14	7.73	7.37
B	4.57	4.33	1.20	4.91	4.55	4.25
C	5.62	6.10	2.10	8.40	5.79	5.70
D	3.30	3.44	1.60	7.51	5.53	5.31
E	2.82	4.77	0.90	4.19	3.32	3.17
F	2.75	4.13	1.50	6.77	5.53	4.30
G		4.82	1.60	5.37	4.60	4.07
H	4.60	4.62	1.80	5.63	4.74	4.46

SO₄²⁻濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
A	13.73	12.13	11.50	9.65	9.62	9.68
B	7.53	6.16	4.20	5.58	4.40	4.92
C	9.74	8.38	6.20	6.86	6.31	5.94
D	10.02	12.63	6.30	7.62	6.43	6.45
E	12.24	8.89	10.00	9.22	8.33	8.85
F	10.36	9.41	8.40	9.07	7.85	6.90
G		9.02	8.00	7.39	6.87	7.38
H	11.01	9.00	9.10	7.32	6.99	8.12

Na⁺濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
A	6.98	6.73	7.90	5.62	6.76	7.49
B	4.69	4.45	5.90	4.23	5.54	4.62
C	5.59	5.28	6.30	5.27	6.04	5.99
D	5.31	5.26	5.90	5.51	5.75	5.84
E	5.57	5.02	6.70	5.05	4.83	5.57
F	5.42	5.80	6.70	5.54	5.67	5.49
G		5.02	6.30	5.05	5.40	5.63
H	5.36	4.84	6.10	5.07	5.61	5.44

表 10.3 渓流水の定期観測から得られた水質データ (単位は mg/l)(つづき)

K⁺濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
A	0.64	1.00	0.80	0.41	0.39	0.90
B	0.75	0.81	0.50	0.27	1.01	0.38
C	0.42	0.56	0.50	0.25	0.60	0.49
D	0.87	0.85	1.00	0.48	0.63	0.79
E	0.83	0.77	1.50	0.44	0.55	0.70
F	0.88	1.07	2.00	0.50	0.71	0.57
G		0.81	1.50	0.39	0.49	0.54
H	0.69	0.66	0.80	0.37	0.86	0.42

Mg²⁺濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
A	3.12	2.93	3.40	2.27	2.67	2.90
B	1.93	1.83	2.50	1.80	1.72	1.77
C	2.28	2.21	2.50	2.07	2.13	2.17
D	2.12	2.25	2.30	1.94	2.04	1.84
E	2.40	2.02	2.70	1.79	1.74	2.01
F	2.24	2.17	2.50	1.93	1.88	1.89
G		2.14	2.60	1.65	1.87	1.94
H	2.31	2.12	2.70	1.67	1.90	1.95

Ca²⁺濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
A	14.58	13.46	12.80	8.63	11.51	12.62
B	8.87	8.20	9.10	6.88	7.74	7.89
C	10.56	9.58	9.30	7.41	8.79	8.97
D	10.42	13.81	9.40	7.44	8.48	8.53
E	15.13	9.73	13.80	7.92	9.90	11.51
F	12.06	11.35	11.10	7.60	9.01	9.16
G		11.11	11.30	7.66	9.00	9.71
H	12.66	11.19	11.20	7.65	9.18	9.55

SiO₂濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
A				29.76	31.70	31.37
B				23.92	25.17	24.94
C				28.36	29.24	28.65
D				27.55	27.25	26.54
E				24.28	24.20	23.34
F				26.42	26.30	25.15
G				26.08	25.62	24.46

10-5-2 ピエゾメータのイオン挙動について

表 10.4 は 2004 年渓流水における各主要イオン濃度分析結果を示している。表から次のような特徴がある。

Cl⁻濃度はピエゾメータの値は渓流水よりも全体的に 1~2 mg/l 高く 4~6 mg/l であった。

NO₃⁻濃度は深度が深くなるにつれNO₃⁻濃度は下がっていく傾向にあり、c90 cmでは年間を通して濃度はほぼ 0 であった。また、NO₃⁻平均濃度はaとb100cmで約 5 mg/l と高くその他の地点では 2 mg/l 以下と低かった。

SO₄²⁻濃度は渓流水に比べ濃度変化の幅が大きい。平均濃度はb50 cmで約 9 mg/l でその他の地点は 15~18 mg/l と高かった。NO₃⁻とは逆に深度が増すにつれ濃度は上昇していった。

Na⁺は 8 月までは全ての採水地点でほぼ同じ値を示していたが台風が去って約一週間後の 10 月 15 日のデータを見るとb170 cmとc50 cmの値だけは 8 月の濃度より上昇していたがその他の地点では減少していた。また平均濃度でもb170 cmとc50 cmは約 10 mg/l あったがその他の地点は約 7 mg/l であった。

Ca²⁺とMg²⁺の濃度変化は似ていて共にcのピエゾメータの値だけ他の地点の変化とは異なっていた。中でもc50 cmの値は顕著でCa²⁺では約 10 mg/l、Mg²⁺では約 2 mg/l の差があった。その他の地点ではCa²⁺が約 10~16 mg/l でMg²⁺が約 3 mg/l であった。

K⁺の濃度変化の平均は 1~1.5 mg/l の範囲内だったがb100cmとc50 cmの濃度変化が似ていて、かつ濃度の変化幅が大きかった。

SiO₂はcのピエゾメータの値は約 27 mg/l で 10 月から 12 月で濃度変化もほとんどなかった。b170 cmではやや高く 27 mg/l で同じく 10 月から 12 月で濃度変化はほとんどなかった。aとb100cmのピエゾメータの値は 11 月で最大値をとり前後の月の値と約 15 mg/l もの差があった。

また、深度別のピエゾメータの全水頭分布から b、c、e 地点では河川水から地下水へ涵養していることがわかった。

表 10.4 ピエゾメータの定期観測から得られた水質データ (単位は mg/l)

Cl⁻濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
a140 cm	5.59	5.06	3.60	3.20	3.76	
b100cm	5.23	5.22	4.50	2.99	4.45	
b170cm	6.15	6.05	4.50	5.64	5.05	
c 50 cm	6.24	6.62	5.60	7.05	4.45	
c 90 cm	7.77	5.68	4.30	5.06	3.57	
e43 cm				5.06	3.54	5.43
e70 cm				5.62	8.00	4.65
f35 cm				3.99	4.37	4.27

NO₃⁻濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
a140 cm	3.03	6.02	2.10	4.11	5.39	5.54
b100cm	3.42	5.98	0.00	4.86	7.60	8.07
b170cm	0.00	0.00	4.00	0.93	2.17	3.88
c 50 cm	0.00	0.00	0.00	3.48	1.43	2.65
c 90 cm	0.54	1.76	2.10	0.68	0.92	0.64
d85 cm				1.92		3.62
e43 cm				6.75	3.30	1.09
e70 cm				0.83	2.60	2.57
f35 cm				0.00	0.00	1.32

表 10.4 ピエゾメータの定期観測から得られた水質データ（単位は mg/l）（つづき）

SO₄²⁻濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
a140 cm	25.64	20.84	11.60	12.70	12.62	9.78
b100cm	16.18	16.54	16.10	11.23	14.94	16.97
b170cm	13.64	13.04	19.20	23.85	19.82	20.04
c 50 cm	15.08	5.37	10.00	10.86	9.06	5.89
c 90 cm	27.89	13.80	8.10	18.66	21.84	19.96
d85 cm				3.04		5.82
e43 cm				1.29	8.51	4.60
e70 cm				9.81	12.59	9.51
f35 cm				8.98	10.99	10.28

Na⁺濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
a140 cm	6.45	6.65	8.40	6.63	6.87	8.70
b100cm	6.78	6.87	8.80	5.55	6.96	11.50
b170cm	6.97	7.13	8.60	11.78	8.26	16.27
c 50 cm	7.03	7.62	9.40	13.78	9.59	13.24
c 90 cm	6.82	4.92	8.70	7.79	6.93	7.82
d85 cm				0.51		2.33
e43 cm				7.79	8.78	6.28
e70 cm				6.22	6.38	6.13
f35 cm				8.57	7.24	7.32

K⁺濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
a140 cm	1.43	1.12	1.00	1.14	0.83	0.58
b100cm	1.21	1.22	1.80	0.39	0.47	1.78
b170cm	1.81	1.45	1.10	0.67	0.77	1.46
c 50 cm	1.53	1.55	1.80	0.74	0.66	2.74
c 90 cm	1.18	2.13	1.60	0.87	0.87	1.11
d85 cm				1.37		3.27
e43 cm				3.26	2.33	1.72
e70 cm				0.98	1.06	0.97
f35 cm				1.17	1.28	1.16

Mg²⁺濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
a140 cm	2.95	2.80	3.10	2.75	2.61	2.32
b100cm	3.06	2.96	3.20	2.18	2.79	3.39
b170cm	2.86	2.88	3.50	2.67	2.58	3.20
c 50 cm	2.98	7.32	4.00	5.59	5.42	6.52
c 90 cm	4.88	3.59	5.10	2.31	2.43	2.17
d85 cm				0.89		1.08
e43 cm				5.87	4.35	1.72
e70 cm				2.80	2.26	2.05
f35 cm				4.84	4.99	4.91

表 10.4 ピエゾメータの定期観測から得られた水質データ (単位は mg/l) (つづき)
Ca²⁺濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
a140 cm	11.19	11.23	10.00	11.95	8.86	8.63
b100cm	13.78	13.75	14.40	9.55	12.32	15.28
b170cm	19.15	19.73	13.70	13.99	14.41	17.77
c 50 cm	20.16	30.53	14.80	23.67	23.09	32.52
c 90 cm	23.26	20.99	18.50	10.38	11.41	10.71
d85 cm				11.31		8.24
e43 cm				39.42	27.41	20.98
e70 cm				18.10	15.51	15.91
f35 cm				29.23	27.95	29.07

SiO₂濃度

採水地点	6月18日	6月26日	8月11日	10月15日	11月25日	12月16日
a140 cm				32.34	58.59	34.62
b100cm				27.00	46.14	30.83
b170cm				25.76	27.55	26.81
c 50 cm				21.28	23.19	21.83
c 90 cm				20.36	21.06	19.21
d85 cm				6.33		
e43 cm				26.83	26.54	23.81
e70 cm				25.98	24.52	23.44
f35 cm				23.89	22.22	19.73

10-6 降雨イベント期間中の水質変動

10-6-1 渓流水のイオン挙動について
) Cl⁻濃度 (図 10.7 を参照)

B で濃度の時系列変化は安定せず各時間で変動幅が大きかった。これは雨量に対応しているものと思われる。ピエゾメータ a の近くに発生したパイプ流は 18 時~19 時にかけて値が上昇したがその後安定していた。パイプ流は終始安定していて降雨量とは直接関係してないと思われる。パイプ流も含めた A~C の上流域では場所によって値が変わるが D~G の下流域では値は同じ傾向をとるようになる。平均濃度はパイプ流と A で低くそれぞれ 1.3 mg/l と 1.4 mg/l、B で 2.4 mg/l、D で 2.5 mg/l、G で 2.7mg/l と高かった。

) NO₃⁻濃度 (図 10.8 を参照)

Cl⁻とNO₃⁻の濃度の時系列変化はそれぞれの採水地点でとてもよく対応していてグラフ (図 10.7 と図 10.8 を参照) は同じ形をしている。したがってCl⁻と同様にパイプ流、Aで平均濃度は低くそれぞれ 4.1 mg/l と 3.5 mg/l でB、D、Gで高くそれぞれ 7.2 mg/l、7.4 mg/l、7.6 mg/lであった。その他の地点では約 5~6 mg/lだった。

) SO₄²⁻濃度の分析結果 (図 10.9 を参照)

SO₄²⁻の濃度はD~Gの下流域ではCl⁻とNO₃⁻と同様の時系列変化を示している。パイプ流を含めたA~Cの上流域ではCl⁻とNO₃⁻とは逆にパイプ流、Aで高くBで低い値をとっている。平均濃度はパイプ流が 7.7 mg/l、A7.2 mg/l、Bが 5.3 mg/lであった。

陽イオンで濃度の時系列変化を見るとNa⁺とMg²⁺とCa²⁺がとても似た傾向を示していた。K⁺はパイプ流を含めたA~Cの上流域においてパイプ流以外の渓流水の値が雨が強くなった時間に対応した濃度上昇が見られ、Aでその傾向が特に強かった。

SiO₂はBとDで一定して濃度が低かった。時系列変化を見ると雨が強くなった 13 時頃にAとパイプ流以外の採水地点で濃度の急激な低下が見られた。

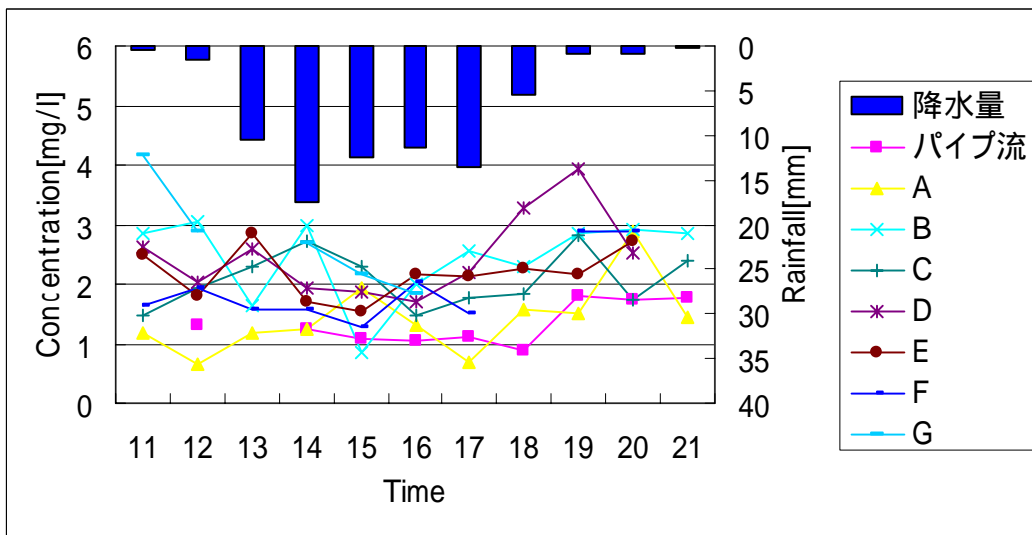


図 10.7 渓流水のCl⁻濃度の経時変化 (2004年10月9日)

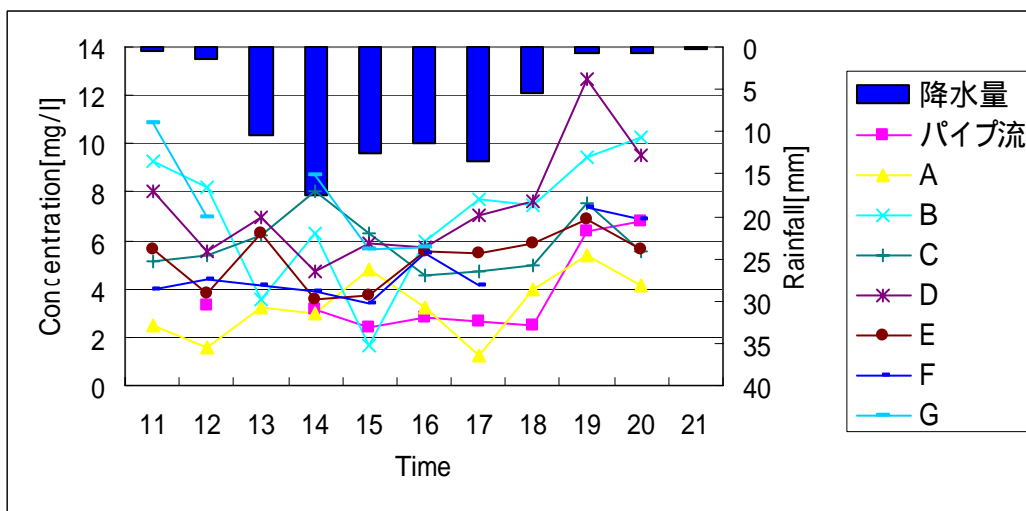


図 10.8 渓流水のNO₃⁻濃度の経時変化 (2004年10月9日)

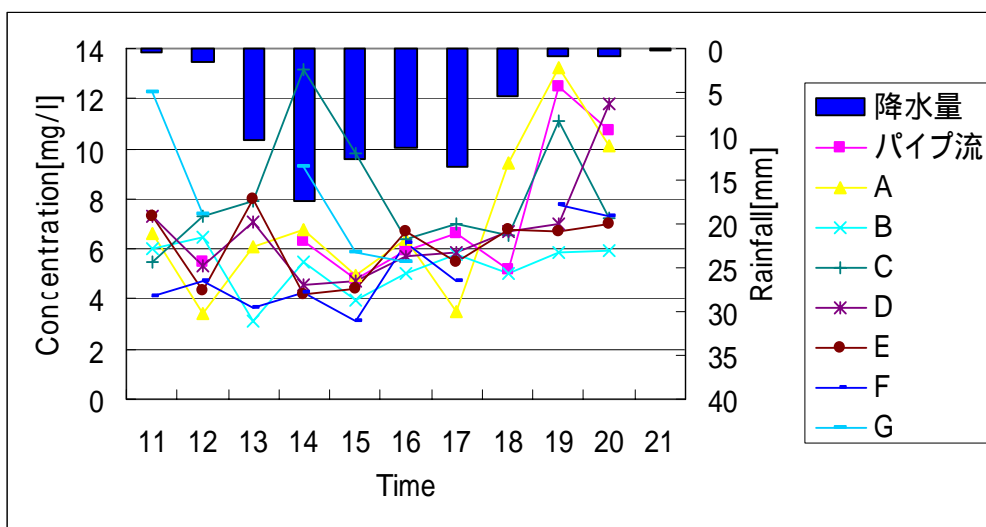


図 10.9 渓流水のSO₄²⁻濃度の経時変化 (2004年10月9日)

10-6-2 ピエゾメータのイオン挙動について

水頭はどの地点でも晴れた日と比べて7~8 cm高くなっていた。

NO_3^- の値は浅層部で高くb100cmで3~4 mg/l、c50 cmで1.4~4.6 mg/lで他の地点では低く0~1 mg/lであった。c50 cmでは徐々に濃度を増していき20時で最大値の4.6 mg/lの値を示した。逆に SO_4^{2-} は深層部で高く平均濃度はb100cmで14.8 mg/l、b170 cmで12.6 mg/l、c90 cmで15.7 mg/lであったのに対しc50 cmでは4.8 mg/lであった。

Na^+ は深度による変化も場所による変化もあまりなく濃度は7~8mg/lで安定していた。渓流水の濃度と比べると約3倍高い。 Mg^{2+} と Ca^{2+} はよく似た傾向を示していてbでは深度や時間による変化は見られず濃度は Mg^{2+} で約2.6mg/l、 Ca^{2+} は約12mg/lだった。またc90 cmはbの値と近いものだった。c50 cmはこれらbとc90 cmの値の倍で Mg^{2+} が約4.8mg/l、 Ca^{2+} が約22mg/lであった。

SiO_2 は深度による変化はあまりなかったが、cよりもbの方が5~6mg/l高かった。それぞれの濃度はb100cmが28mg/l、b170 cmが26mg/l、c50 cmとc90 cmが22mg/l、e43 cmが28mg/l、e70 cmが26mg/l、fが24 mg/lだった。

10-7 考察

表10.3をみると、10日以上降雨がなかった8月11日に NO_3^- の値が全ての採水地点で一様に低下し降雨イベントから1週間後の10月15日に一様に上昇したことは夏場の高い気温で硝化を行う微生物の活動が活発になり表層土壤中に蓄えられた NO_3^- が降雨による浅い斜面側方流によって溶脱されたためと考えられる。また逆に全ての陽イオンで8月11日に高い値をとり、10月15日に低い値をとったのは湯水期には地下深部をゆっくりと滞留してきた水が渓流に流出しているため、この長い滞留時間を経て植物遺体等の有機物に含まれ土壌鉱物由来の物質でもあるK、CaやMgを溶脱させたものと考えられる。これに対し10月15日は台風による大雨で発生した浅く流れの速い地下水の影響で濃度が低下したと思われる。

得られた長期的な水質変化の特徴として Cl^- 、 NO_3^- 、 Na^+ 、 Mg^{2+} がAで高くBとDでは一貫して低かった(表10.3)。また SO_4^{2-} と Ca^{2+} はAとDで高くBで低い。これは平水時で土壤中を比較的ゆっくり通過してきた水が流出したものであるため、それぞれの集水域である土壌の特徴を反映していると考えられる。ここでこの研究地において土壌水中の NO_3^- 濃度はスギ林とヒノキ林で高く、裸地、落葉広葉樹林の順に濃度は低くなり落葉広葉樹林では土壌水中に NO_3^- がほとんど含まれていないこと、またスギ林とヒノキ林は NO_3^- を土壌水中に保持することがわかっている(2003日吉)。

Aは4年前にスギ林を全伐しその後ヒノキを植林したヒノキ幼齢林を集水域としている。このことから植生がまだ未熟であるため伐採以前にスギの林内雨、樹幹流によってもたらされた物質を地中に留めることができず土壌中から地下水へと流出していつているため他と比べて濃度が高くなる(2002石原、2003日吉)。

Bでは主に落葉広葉樹林であったところを2003年の10月に伐採した地を集水域としている。先に述べたように落葉広葉樹林の土壌中には NO_3^- がほとんど含まれていない。また針葉樹林と広葉樹林の土壌を比較すると針葉樹林で SO_4^{2-} が高く広葉樹林では低いことが知られている。このことからBでは伐採されたにもかかわらず土壌中は広葉樹の特性から渓流水に流出する溶存物質がAやDに比べて低い。

Dではスギ、ヒノキ林を集水域としていてヒノキ林では SO_4^{2-} の負荷量が多く(2002石原)、またスギ林は土壌中に交換性Caが蓄積し(加藤ら、1989)、その蓄積は林齢とともに増加することが報告されている(澤田・加藤、1991)。このことからDではBに比べ SO_4^{2-} と Ca^{2+} が高くなったと考えられる。

得られた降雨イベント時の各溶存物質濃度の短期的変化の特徴としてまず NO_3^- 、 SO_4^{2-} ともにAとDは降雨強度と逆の反応を示し降雨強度が上がると濃度は低下し降雨強度が下がると濃度は上昇した。(図10.8、図10.9)

これに対しBでは NO_3^- 、 SO_4^{2-} ともに降雨量に応じて濃度も増えたり、減ったりしていた。この傾向は特にBの NO_3^- で顕著であった。これはBでは伐採され裸地となっているので多くが植物遺体から無機化されることで生成し土壌表層に多く存在する NO_3^- が降雨により流出していったので降った雨の量に応じて濃度が変化したと考えられる。また SO_4^{2-} で濃度変化が小さかったのは土壌表面にはあまり SO_4^{2-} が存在しないからである。

またAのヒノキ幼齢林の麓で発生したパイプ流とAとを比べてみると NO_3^- 、 SO_4^{2-} ともに濃度変化がよく似ている。また、パイプ流は土壌中の粗間隙を集中的に流れる地中流で、比較的土壌の浅いところを選択的に流れてきたと考えられる。このことから降雨イベント時、Aのヒノキ幼齢林からの流出水というのは、比較的土壌の浅いところを通過してきた水によって支配されていると言える。

次にA~Hの各採水場所で差分法によって各採水地点間の水質変化を求め土地の状態によりどんな変化があるのかを検討する。これは土壌による吸着が他の物質に比べて小さく、形態の変化や母材からの

溶出がほとんどないため、水移動のトレーサーとして有効な物質であるとされているCl⁻を基準として各採水地点間でCl⁻の濃度比をとり、そのCl⁻の濃度比から各物質の濃度を推定し実際の濃度と比較することで各採水地点間における物質の貢献度をみることができる。この原理を以下に示す。

ある採水地点とそれよりも下流に位置する採水地点のCl⁻濃度をそれぞれCとC'とする。この二地点間のCl⁻濃度比C/C'を基準とし、このCl⁻濃度比と地点の溶存物質xの積C/C' × C_xが地点におけるCl⁻濃度比C/C'を基準とした地点の溶存物質xの濃度であるC_x'の予測値となる。この予測値と地点の実測値との差から地点から地点で起きた各溶存物質の濃度変化をみることができる。すなわち(地点の実測値) - (予測値)が正である場合は地点から地点の間に地点の濃度を高めるものが流入したことを示し負の場合は地点から地点の間に地点の濃度を薄めるものが流入したことを示している。

地点の溶存物質xの予測値をC_x'とすると以下の様に表される。

$$C_x - C_x' = C_x - C / C' \times C_x$$

まず図 10.10 と図 10.11 を比べてみるとNO₃⁻濃度はCで平水時はマイナスつまりAからきた渓流水の濃度をBが薄める方向に作用している。このことからヒノキ幼齢林を集水域にもつAでは平水時、伐採地を集水域にもつBよりも高い濃度のNO₃⁻が流出していることがわかる。一方、土壌水中の濃度はヒノキ幼齢林の方で深部までNO₃⁻濃度が高いのに対し、伐採地では深部にはNO₃⁻はあまり存在しない。しかし降雨イベント時にはCはプラスに傾きAからきた渓流水の濃度がCで増えていることになる。このことから降雨イベント時には逆にヒノキ幼齢林を集水域にもつAよりも伐採地を集水域にもつBで高濃度のNO₃⁻が流出していると言える。このことから、平水時と降雨イベント時では流出過程が異なり降雨イベント時には降雨による直接流出の発生により比較的浅いところを通ってきた水によって、表層土壌中に多く存在する物質が渓流水へと流出していることがわかる。次にE,Fを見てみると長期変動でEは台風による降雨イベント時から一週間後の10月15日で高くなり差がプラスとなるがその他の観測日では全てマイナスとなっている。これからC~E間では10月9日の降雨イベントによってもたらされた地下深部を通らない浅い地下水の流出によって表層近くのNO₃⁻が一緒に流出し濃度を高めたと考えられる。Fの長期変動でNO₃⁻濃度差はマイナスに推移している。このことからEからくる本流のNO₃⁻濃度よりもスギ・ヒノキ林を集水域とするDの支流の方がNO₃⁻濃度は低いことになる。これは源流部であるAのヒノキ幼齢林からのNO₃⁻流出が影響していると考えられる。降雨イベント時にはFで降雨量による変化もなく濃度差が0に近い状態のまま推移している。このことから降雨時においてはEからくる本流の渓流水とスギ・ヒノキ林を集水域とするDからくる支流が同じ濃度で推移していたことになる。Eでは降雨イベント時に降雨量がぐっと少なくなる19時までは段階的に徐々に上昇していくが19時以降は大幅に減少する。このことからBの伐採地からの支流で高められたCの渓流水のNO₃⁻濃度がEの下流へと向かう段階で薄められていることがわかる。

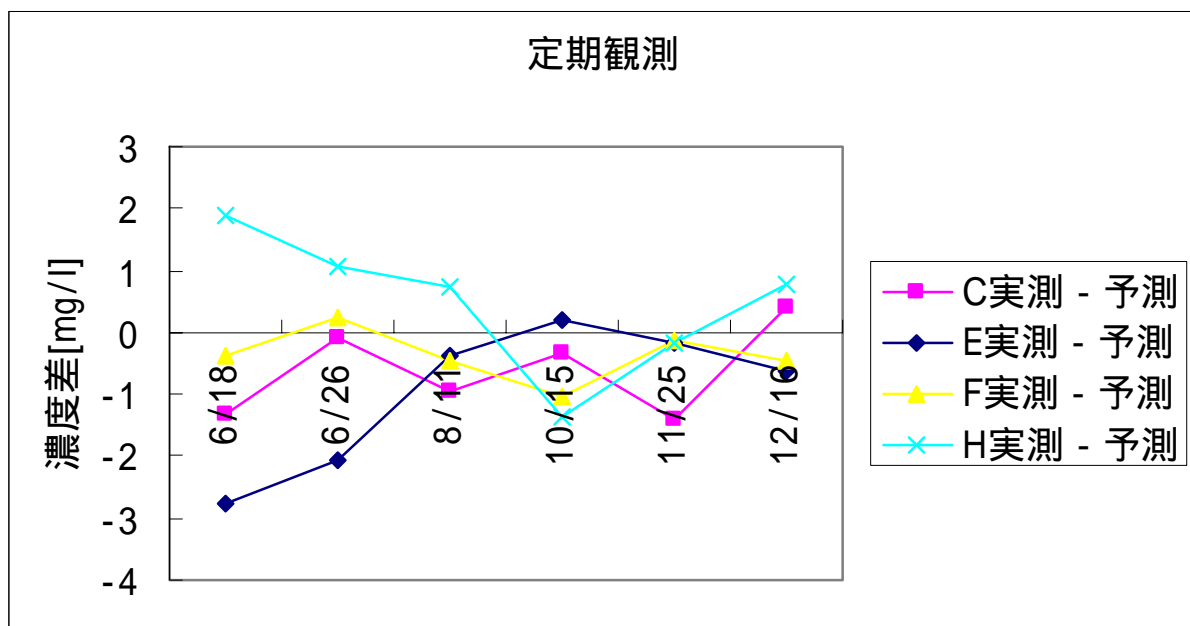


図 10.11 降雨のない平水時に渓流水の各採水地点間におけるNO₃⁻の貢献度

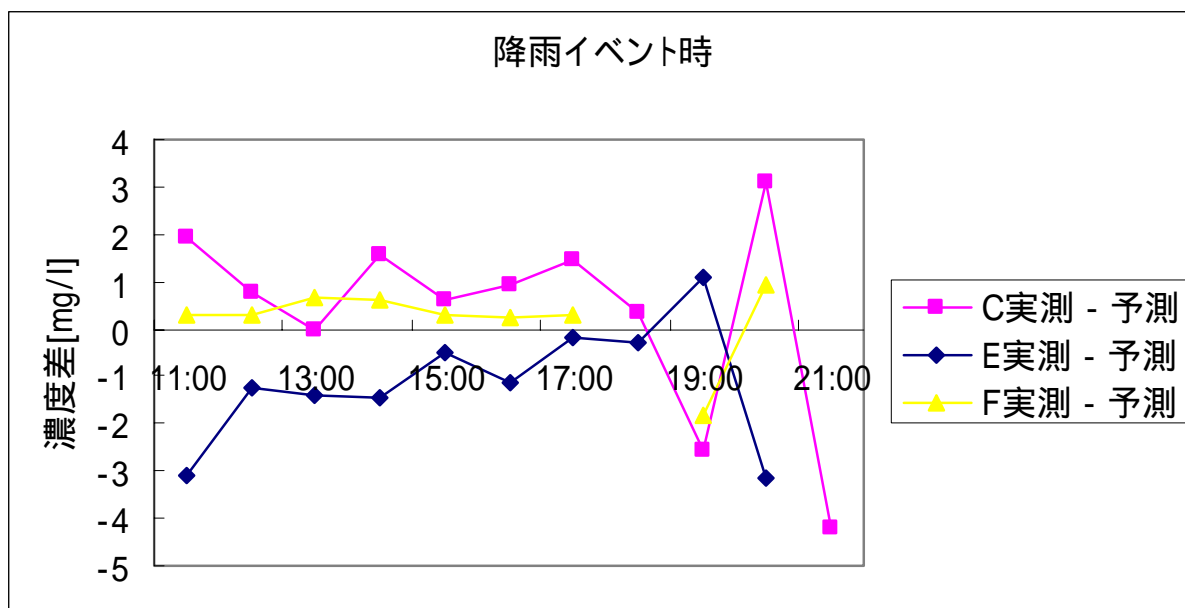


図 10.11 降雨イベント時（2004 年 10 月 9 日）に渓流水の各採水地点間におけるNO₃⁻の貢献度

同様に、SO₄²⁻濃度について見てみると平水時にはCで差がマイナスとなりAの渓流水に対してBの支流が濃度を薄める方向に作用している。ヒノキはSO₄²⁻の負荷量が多くヒノキ幼齢林を集水域に持つAが伐採地を集水域にもつBよりも高濃度のSO₄²⁻を流出させていることがわかる。また、土壌水の観測結果から、土壌水中のSO₄²⁻濃度は、伐採地よりヒノキ幼齢林の方が地下深部にまで渡ってSO₄²⁻は高濃度で存在する。

E、F、Hでは全体的に濃度差がプラスで推移している。これは下流域に広がるスギ・ヒノキ林の影響だと考えられる。SO₄²⁻の負荷量が多いヒノキ林で下流に向かうにつれ平水時にSO₄²⁻が徐々に高められて流出していていると思われる。降雨イベント時にはCは全体的にマイナスであるが13時以降の降雨が強くなったときにそれにつれて濃度差もプラスの方向に向かって推移するが降雨がかなり弱くなった19時以降濃度差は急激に減少している。これは降雨時に伐採地からの支流であるBがヒノキ幼齢林からくるAの渓流水を終始薄める方向に作用しているが、降雨が強くなった時にはBからもAよりも高い濃度のSO₄²⁻が流出していることがわかる。しかしこれは一時的なもので降雨が弱まればすぐにBからのSO₄²⁻濃度は減少する。Eでは降雨イベント時において終始マイナスで降雨強度にも関係なく安定して推移している。このことからC～E間でSO₄²⁻濃度を降雨強度とも関係なく安定して濃度を下げる作用が働いていることがわかる。Fでは終始安定していて濃度差もほぼ0である。このことからEの本流からの渓流水とDのスギ・ヒノキ林からの支流で濃度は常に同じ様に推移していたことがわかる。

陽イオンではCの渓流水が平水時に全陽イオンで0に近い状態で推移していているのに対し降雨イベント時には降雨量に応じて変化はするものの濃度差は大きく負に傾いている。これは降雨時にはヒノキ幼齢林の集水域であるAから伐採地を集水域にもつBよりも高濃度の植物の成長に重要な主要陽イオンが失われていることを示している。Eでは平水時にK⁺以外の陽イオンで季節変化が大きい。降雨イベント時には逆にK⁺だけ時間的な変化が大きく他の陽イオンは安定していてC～E間で時間的な濃度差はあまりない。Fでは平水時安定していて本流からのEとスギ・ヒノキ林からの支流Dで濃度差はあまりない。これは降雨イベント時にも言えることで時間的な変化もなく終始安定していて濃度差はなかった。

SiO₂の降雨イベント時を見るとCだけマイナスの値がずば抜けて大きい。このことから伐採地を集水域に持つBでヒノキ幼齢林を集水域に持つAよりも流出水に占める浅い水の割合が高いことがわかる。

次に降雨イベント時における降雨量と流量の関係を見てみる(図 10.5)。本研究の短期降雨イベント時とした10月9日は台風22号が最接近した日であるが、この台風接近による降雨は10月8日から続いていた。また、10月8日の12時頃から10月9日の0時頃までの段階的な降雨量の増加に対して、流量はよく対応したものになっているが10月9日の13時から19時までの急激な降雨量の増加に対して流量は少し遅れて対応している。

また得られた各イオン濃度とC地点の流量のデータから10月9日の11時から21時までの各物質の流出量と平水時の流出量を計算し、降雨イベント時(10月9日の11時～21時)と平水時(6月26日～12月16日の平均値)の比をとって比較した。(表 10.5を参照)

Cl⁻、Na⁺、Mg²⁺、SiO₂はそれぞれ約3.57倍、3.74倍、3.88倍、3.54倍なのに対し、Ca²⁺では少し高く4.32倍、更にNO₃⁻、SO₄²⁻、K⁺では高く、それぞれ5.96倍、7.84倍、11.06倍であった。Mg²⁺は低いものとなったが、これらの結果は降雨イベント時における物質の流出量は森林生態系において物質循環から外れた循環量の少ない物質であるCl⁻、Na⁺、SiO₂で少なく、森林生態系の物質循環に組み込まれた循環量の多い栄養物質であるMg²⁺、Ca²⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻、K⁺で多いということを裏付けるものとなった。

表 10.5 降雨イベント時（10月9日11時～21時）と平水時の物質流出量（単位はg）
降雨イベント時の物質流出量

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂
10/9(11時～21時)	553.28	1536.51	2170.55	869.72	210.47	343.65	1515.93	5147.22

平水時の物質流出量

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂
6/26	145.64	221.72	304.84	192.05	20.45	80.31	348.47	
8/11	52.53	34.47	101.78	103.42	8.21	41.04	152.67	
10/15	231.23	507.77	414.80	318.84	15.27	125.49	448.14	1715.09
11/25	214.87	332.74	362.36	346.78	34.66	122.34	505.22	1680.11
12/16	130.36	191.60	199.69	201.34	16.53	73.10	301.31	963.05
平均値	154.93	257.66	276.69	232.49	19.02	88.46	351.16	1452.75

降雨イベント時と平水時の平均値との比

	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SiO ₂
降雨イベント時 / 平水時の平均値	3.57	5.96	7.84	3.74	11.06	3.88	4.32	3.54

10 - 8 まとめ

今回の平水時と降雨イベント時における植生の違いに基づく渓流水の水質変化から次のことが明らかになった。

- ・平水時はヒノキ幼齢林からの流出水と伐採地からの支流で陽イオンの濃度差はあまりなかったが、降雨イベント時には降雨量に応じてヒノキ幼齢林からの流出水で伐採地からの支流より、高濃度の陽イオンが流出していることがわかった。

- ・NO₃⁻は平水時にはヒノキ幼齢林からの流出水で伐採地からの支流より常に高濃度のNO₃⁻が流出していたが、降雨イベント時には伐採地からの支流でヒノキ幼齢林からの流出水よりも高濃度のNO₃⁻を流出させていた。これはNO₃⁻は表層の土壤水中に高濃度で存在しているので短期流出時には平水時と異なる流出経路、つまり土壤の比較的浅いところを流出してくる水により、渓流水の水質は支配されていることがわかった。また、これはヒノキ幼齢林からの流出水とヒノキ幼齢林の麓で発生したパイプ流の濃度変化がよく似ていることから確認された。

- ・短期降雨イベント時の物質流出量と定期観測によって得られた平水時の物質流出量の平均値の比から短期流出時には、森林生態系の物質循環に組み込まれた循環量の多い栄養物質（Ca²⁺、NO₃⁻、SO₄²⁻、K⁺）で流出量が多く、これと比べて、森林生態系の物質循環から外れた循環量の少ない物質（Cl⁻、Na⁺、SiO₂）で流出量が少なかった。

参考文献

劉若剛，鈴木雅一，芝野博文，太田猛彦（1998）：山地流域の流況曲線に与える降雨の年々変動の影響。日本林学会誌，80(3)，184-188。

石原成知（2002）：あきる野市樽沢森林流域における水循環、物質循環に関する研究。千葉大学修士論文

日吉雄二（2003）：異なる植生状態における土壌水質の特徴について。～あきる野市樽沢森林流域を例

とする～。千葉大学理学部卒業論文。

平野智章 (2003): 携帯式 FDR 法による土壌水分量プロファイルの測定に関する研究。千葉大学理学部卒業論文。

平田健正・唐常源・村岡浩爾 (1995): 筑波森林試験地における渓流水質の長期変動。水工学論文集、第 39 巻、215～221

平田健正・村岡浩爾 (1991): 筑波森林試験地における土壌水質および渓流水質の季節変化について。水工学論文集、第 35 巻、105～110

大類清和・生原喜久雄・相場芳憲 (1994): 森林小集水域における渓流水質に及ぼす諸要因の影響。日林誌、76、383～392

第11章 植生

(星野 義延・井関智裕・星野順子)

11-1 はじめに

調査地である東京都あきる野市樽の樽沢はかつて雑木林が広がっていたとされるが、現在はスギとヒノキがほぼ全域に植栽されている。樽沢における水循環再生プロジェクトの一環として、樽沢流域の植生と植物相の現況を把握し、針葉樹人工林を伐採し、落葉広葉樹林化を図ることによる植物相と植生の変化をモニタリングすることを目的として調査研究を行った。

11-2 調査地および調査方法

2002年から2005年にかけて樽沢の標高320mから標高457mまでの地域にみられる植生を調査した。植生調査は植物社会学的方法、すなわち均質な植分において、調査面積を拡大しながら出現した植物種を記録し、ほとんど新たな種が出現しなくなった面積を調査面積とし、この範囲における出現植物種の優占度および群度を記録した。また、得られた植生調査資料は、表操作法を用いて並べ替えを行い、植生単位を抽出した。分布が確認された植物群落を凡例として植生図を作成した。また、スギ・ヒノキ人工林において実施された間伐処理後の林冠および林床植生の変化について踏査し、その変化を観察した。なお、植物相調査で草原生の植物種が確認された金毘羅尾根の園地での植生調査は行わなかった。

2002年から2005年にかけて調査地内を踏査して、分布が確認された植物のリストを作成した。

11-3 結果と考察

(1) 樽沢の植物群落

合計53の植生調査資料を収集した。このうちの森林で調査を行った調査区の林分概要を表1に示した。得られた資料を用いて表操作を行った結果、人工林を含む6つの植物群落を確認した。確認された植物群落の種組成の特徴は以下の通りである。群落組成表は付表1示した。

表1. 森林調査地点一覧

森林調査地点の概要		B1高さ	B1植被率	B2高さ	B2植被率	S高さ	S植被率	K高さ	K植被率	方位	傾斜
9	1 TARU0315	18	90	10	10	4	50	0.6	30	N10E	30
24	2 TARU01					3	90	0.4	30	N30W	30
7	3 TARU02			7	90	2.5	50	0.4	20	N20E	25
20	4 TARU07	18	60	13	60	4	20	0.3	20	S40E	15
15	5 TARU0314	20	85	14	40	5	50	0.4	20	N30W	15
39	6 TARU0313	17	85	10	20	4	30	0.4	40	S75W	30
30	7 TARU0324	20	95	8	5	3	20	0.4	50	-	0
32	8 TARU08	19	80	14	20	3	30	0.5	55	S50W	15
21	9 TARU28	25	100			2	65	0.5	70	N60W	30
16	10 TARU05	14	95			3.5	20	0.4	85	S75E	20
14	11 TARU14	20	95	13	2	4	45	0.5	40	N20W	10
37	12 TARU16	17	95			2	20	0.5	70	N30W	15
33	13 TARU0307	16	95			0.6	<1	0.3	50	S40E	25
8	14 TARU22	23	95	7	1	3	40	0.4	40	S50E	35
5	15 TARU26	18	95			2	75	0.4	60	N50E	35
25	16 TARU20	17	85			3	60	0.4	50	S40E	25
12	17 TARU06	18	90	10	10	3	60	0.4	20	S10W	30
38	18 TARU27	18	85	12	10	3	65	0.5	85	N10E	30
27	19 TARU0323	20	95			1.0	2	0.5	70	S60W	15
26	20 TARU0325	17	90			2	35	0.4	60	S10W	15
22	21 TARU0308			10	15	1	5	0.4	20	S5E	30
6	22 TARU0310	20	70	16	60	4	20	0.4	3	S10E	30
19	23 TARU21	15	100			3	60	0.2	25	S20E	30
17	24 TARU13	16	80	6	30	1.5	10	0.7	15	N70E	30
36	25 TARU0309	12	95			1.1	2	0.3	65	S15W	25
13	26 TARU0316	14	98			3	35	0.5	40	N70E	30
3	27 TARU0317	20	85	8	<5	1	<5	0.5	60	N60E	25
4	28 TARU0319	24	95			5	60	0.7	35	N5E	35
31	29 TARU0322			8	90	2	15	0.4	80	S15E	20
18	30 TARU0311	18	90			3.5	60	0.7	35	N5E	40
29	31 TARU0306	10	85			1.5	2	0.5	10	S15E	35
34	32 TARU0312	22	90	16	5	5	60	0.6	60	N10W	40
1	33 TARU0318					6	50	0.5	30	N30W	30
10	34 TARU15	20	90	10	5	4	60	0.4	40	N20E	35
28	35 TARU04	20	80	10	10	3	40	0.7	20	S60E	40
23	36 TARU03	15	85			4	40	0.5	25	N5E	50
35	37 TARU23	16	65	7	30	2	30	0.4	40	N	35
40	38 TARU19	13	70	6	30	2	40	0.5	30	S10E	35
11	39 TARU17	20	50			4	15	0.5	60	N10E	40
2	40 TARU18	24	70	6	20	2	70	0.6	20	N10E	35

1) コナラ - クリ群集

Castaneo-Quercetum serratae Okutomi et al. 1976

金毘羅山山頂に続く尾根筋に、小面積ながら夏緑広葉樹二次林がみられる。この林はアカマツが優占する部分もあるが、コナラ、リョウブ、アオハダ、ヤマザクラ、クマシデなどの夏緑広葉樹が林冠を構成する。このタイプの林はアオハダ、リョウブ、コアジサイ、オトコヨウゾメ、ナガバコウヤボウキ、ツクバネウツギが出現するため、これらを標徴種・識別種とする奥富ら(1976)のコナラ - クリ群集に同定された。この群集は東京都の丘陵地から山地下部にかけて普通にみられる夏緑広葉樹二次林である(奥富ら1986)。なお、調査は3地点で行われたがそのうち1地点(TARU01)はクロモジが優占する低木林であったが、組成的には大きな違いがみられなかった。林内には、アラカシ、シラカシなどの常緑広葉樹やモミを交える。低木層にはクロモジ、バイカツツジ、コウヤボウキ、ヤマツツジ、コバノガマズミ、ヤブムラサキ、サンショウ、モミジイチゴなどの夏緑低木とアセビ、イヌツゲ、ヒサカキなどの常緑低木がみられる。草本層にはジャノヒゲ、ヤブコウジ、テイカカズラ、ミツバアケビなど常緑種が多く、コチヂミザサ、タチツボスミレ、チゴユリなどの夏緑種と混生している。

2) モミ群落

Abies firma community

金毘羅山山頂直下の露岩地や樽沢北側の稜線にはモミの優占するパッチが点在している。このようなモミ優占群落はモミが優占する以外に特徴的な種群を見出すことができなかったが、当該地域の自然植生としてモミ群落が分布することが知られていることから他の群落と区分した。

現存するモミ群落の林分は、ヒノキが植栽されており、種組成は後述するスギ - ヒノキ植林のアカマツ植分群のそれとほとんど違いがない。林冠にはモミが優占するほかにアカマツやヒノキなどを交える。

東京都に分布するモミの優占する植物群落にはモミ - シキミ群集とシラカシ群集モミ亜群集、モミ - イヌブナ群落知られており、いずれも自然植生とされている(奥富ら1986)。しかし、樽沢のモミ群落はヒノキ植栽の影響や小林分化などのため、種組成が貧弱である。シラカシ、ヤブランなどの植物がよくみられるため、シラカシ群集モミ亜群集に最も近いものと考えられる。

3) スギ - ヒノキ植林

Criptomeria Japonica-Chamacyparis obtuse plantation

樽沢のほとんどの斜面は、スギとヒノキの植林となっている。今回の調査では、このような植林はハエドクソウ、ヤマグワ、ナンテン、ベニシダ、ホウチャクソウ、ヒメドコロなどがコナラ - クリ群集や後述するフサザクラ - タマアジサイ群集にみられないことなど特徴的な種組成を持っていることがわかった。スギ - ヒノキ植林は種組成の違いから大きくヒノキ - ヒサカキ型とスギ - ミゾシダ型の2つの植生タイプに分けることができた。

a) ヒノキ - ヒサカキ型

Chamacyparis obtuse-Eurya japonica type

主に斜面上部から中部の残積性の土壌のみられる場所には、ヒノキが植栽されている。このため、ヒノキの優占度が高く、時にアカマツを交える林分がこのような場所に広がっている。この林はチゴユリ、キッコウハグマ、モミ、コナラ、アセビなど、コナラ - クリ群集と共通に出現する種が多いのが特徴となっている。ヒノキ - ヒサカキ型はコゴメウツギ、ツリバナ、シロダモ、キッコウハグマなどを識別種として、スギ - ミゾシダ型(後述)と区分される。また、アラカシ、シラカシの優占度が高いのも特徴といえる。高常在度で出現する種にはこのほかにアオキ、テイカカズラ、ツタ、ヤブムラサキ、オオバジャノヒゲなどがある。さらに種組成に基づいていくつかの下位区分ができる。

ヤマツツジ下位単位

ヤマツツジ、ウリカエデ、ツノハシバミ、コウヤボウキなどのコナラ - クリ群集との共通種を多く持つタイプをヤマツツジ下位単位としてまとめることができる。このなかにはさらに、アカマツ、ヤマザクラ、ハンショウヅルを持つアカマツ植分群とツルグミ、ノササゲ、ヤダケ、アカショウマなどを持つツルグミ植分群に下位区分される。

ミヤマカンスゲ下位単位

後述するスギ - ミゾシダ型との共通種であるカシワバハグマ、カンアオイ、アマチャヅルなどをもち、前述のヤマツツジ下位単位の識別種を欠く植分はミヤマカンスゲ下位単位にまとめられた。

b) スギ - ミゾシダ型

Criptomeria Japonica-Stegnogramma pozoi ssp. *mollissima* type

主に斜面の下部にはスギが植栽されている。一部にはヒノキの優占するものもあるがほとんどはスギとヒノキの混交林である。この林は雪害によりスギの樹冠がダメージを受けたため、倒木や立枯木が多く、高木層の植被率はあまり高くはない。この林には他の植生タイプにはみられない、ミヤマカンスゲ、コアカソ、ヤマジサイ、カンスゲ、コアカソなどが出現するのが特徴である。ヒノキ-ヒサカキ型の植林で多くみられたアラカシ、ジャノヒゲ、ヒサカキは優占度、常在度ともに低下している。高常在度で出現する種としては、ハナイカダ、ミゾシダ、ヤブコウジ、テイカカズラ、アオキなどがある。ケヤキ、ウリノキ、アブラチャン、ガクウツギなどがみられることから、スギを植栽する前にはケヤキ林が発達していた可能性がある。

3) フサザクラ - タマアジサイ群集

Hydorangeo involucratae-Eupteleetum polyandrae Miyawaki, Ohba et Murase 1964

沢近くの崩壊斜面に形成されたアカメガシワの優占する先駆性の夏緑広葉樹林は、コクサギ、ミツデカエデ、アオイスミレなどを標徴種・識別種として、宮脇ら(1964)のフサザクラ - タマアジサイ群集にまとめることができた。この群集は2箇所調査されたのみであるので、その組成的な特徴ははっきりと捉えられていないが、マルバウツギ、ハナイカダ、アラカシなどが出現し、種組成からみるとスギ - ミゾシダ型の植林の組成に近いものであった。フサザクラ - タマアジサイ群集は奥多摩地域の渓谷で二次林として分布しているが、当調査地ではフサザクラは確認されなかった。

4) タラノキークサイチゴ群集

Rubo hirsute-Aralietum Miyawaki et al. 1971

樽沢の源頭部にある伐採跡地には、タラノキ、ニガイチゴ、クマイチゴなどの陽地生の木本とタケニグサ、ヤクシソウ、ベニバナボロギク、ヒヨドリバナなどの草本植物が混生する低木林がみられる。この植物群落はタラノキ、クサイチゴ、カラスザンショウ、アカメガシワ、キブシ、ヌルデなどが出現していることから宮脇ら(1971)のタラノキークサイチゴ群集に同定された。伐採地は、ヒノキや夏緑広葉樹の植栽が進んでおり、下刈り作業も行われていることから、タラノキ - クサイチゴ群集は次第に衰退している。

5) ダンドボロギク - ベニバナボロギク群集

Crassocephalo crepidioidis-Erechtitum hieracifoliae Miyawaki ex S. Suzuki in Miyawaki 1972

同じく伐採跡地にみられた植物群落で、組成的にはタラノキークサイチゴ群集と共通する植物が多く特徴的な植物はほとんどない。しかし、ベニバナボロギク、ダンドボロギクが優占し、他の木本植物がほとんどみられない草本植物群落であるので区別して示した。この群落はベニバナボロギク、ダンドボロギクを標徴種・識別種とするダンドボロギク - ベニバナボロギク群集に同定された。3箇所調査された。

(2) スギ - ヒノキ植林と残存するコナラ林・モミ林の種組成比較

スギ - ヒノキ植林に広く覆われる樽沢ではコナラ林・モミ林の分布は非常に限られている。これらの林はスギやヒノキが植栽される前に広がっていた植物群落と考えられるが、現在、コナラ林やモミ林に分布が限られる種は非常に少なく、調査資料で見るとアサダ、ダンコウバイ、ホソバヒカゲスゲ、ヤマユリ、シラヤマギク、コマユミなど僅かである。このことは、ヒノキやスギの植林地にもコナラ林やモミ林の構成種がまだ生育していることを示すものである。

スギ - ヒノキ植林の出現種数は、スギ ヒサカキ型で80種を調査区もみられ、一般的にスギやヒノキの植林は種組成が単純化するといわれるが、そのような傾向はこの地域では顕著でないといえる。

(3) 種組成からみた植林地伐採後の植生の推移予測

調査結果に基づいて、樽沢で計画中のスギ、ヒノキの伐採が実施された後に、どのような森林群落に移行するのかを検討した。

まず、伐採直後は現在伐採跡地に発達しているタラノキークサイチゴ群集やベニバナボロギク - ダンドボロギク群落のような先駆的な植物群落が成立するものと考えられる。しかし、その後の推移は以下の述べるように、伐採を行う植林のタイプによって異なると推測される。

樽沢のスギ - ヒノキ植林は、種組成からみると明らかに異なる2つのタイプが存在する。この両者の違いは、低木種や草本種の違いもみられるが、伐採後に森林を形成すると考えられる高木性木本種の存

在も大きく異なっている。すなわち、ヒノキ・ヒサカキ型では下層にアラカシ、シラカシが非常に多くみられ、また、夏緑広葉高木種としても、コナラ、クマシデ、ヤマザクラがみられる。モミ、アカマツなどの自生の針葉樹もヒノキ・ヒサカキ型で多い。ヒノキ・ヒサカキ型を伐採すると、これらの樹種の成長が促され、比較的早く森林が形成されると考えられるが、現在の下層の樹種構成から考えると、夏緑広葉樹が形成される可能性はそれほど高くはなく、アラカシ、シラカシなどの常緑広葉樹とコナラ、ヤマザクラなどの夏緑広葉樹の混交した森林が形成されると推測される。種組成からみると樽沢に現存するコナラ・クリ群集に類似した組成の森林の発達が期待される。

一方、スギ・ミゾシダ型ではアラカシ、シラカシが下層にみられるが、優占度、常在度ともに低く、クサギ、ウリノキなどの亜高木性の樹木以外に伐採後に優占すると考えられる樹種が非常に少なくなっている。このため、スギ・ミゾシダ型の植林を伐採した跡では、地中に埋土種子を持つ、カラスザンショウ、アカメガシワなどの木本種の発芽・定着や、種子散布によって周辺から種子が供給される可能性も考えられる。形成される森林はアカメガシワ・コクサギ群落の組成に近くとなると推測される。

伐採が行われれば、下層の樹木も下刈りや上木の伐採の影響で、現在の状態のままではなくなるため、伐採前の林の状態が続くわけではないが、このような潜在的な木本樹種の出現状況の違いは、おそらくその後の森林発達に大きな影響を及ぼすと考えられる。今後、伐採後の森林の発達を調査することで、その推移を見守りたい。

(4) 樽沢における植生分布

植物社会学的表操作で抽出された群落を、組成による下位区分、相観の違い、群落間の漸変の程度等を考慮に入れ、8つの凡例に区分あるいは統合した。これに土地利用区分である道路敷・擁壁を加えた9つの凡例で現地の植生を区分、地形図上に示した(図1)。

図1に現存植生図によると、調査地で最も広い面積を占めるのがスギ・ヒノキ植林ヒノキ・ヒサカキ型(凡例5)で、集水域の尾根筋(分水嶺)から斜面中部にかけて分布している。その一部は支尾根にそって本沢近くまで生育している。また、沢筋から斜面下部にはもう一つのスギ・ヒノキ植林であるスギ・ミゾシダ型(凡例6)が広く分布している。両タイプを合わせたスギ・ヒノキ植林で調査地のだいたい3分の2を占めている。

調査地水系の最奥部に比較的大面積に分布するのが、主にスギ・ヒノキ植林の伐採跡地である凡例8である。この伐採跡地(ヒノキ新植地)は調査を開始した2002年にはすでに見られたが、2003年からの更なる伐採の進行でその面積を拡大している。

琴平神社近くの尾根上岩地にはモミ群落(凡例1)がごく小面積に1林分残存している。このモミ群落は本調査地では最も自然植生に近く、シラカシ群集モミ亜群集の断片と思われる。

一方、夏緑広葉樹林ではコナラ・クリ群集に属する3凡例(凡例2, 3, 4)が、いずれも小面積の林分として1ないし2箇所ずつが分水嶺に沿って見られる。最も「コナラ林らしい」コナラ・クリ群集主部(凡例2)の植分は金比羅公園近くに1林分が残存している。面積的にはコナラ・クリ群集の低木林(凡例4)がコナラ・クリ群集中では最大で、縊岩近くの斜面上部に1箇所分布している。なお、アカマツ優占部(凡例3)はいずれも断片的な林分である。

もう一つの夏緑広葉樹林、フサザクラ・タマアジサイ群集は、沢沿いの岩礫地や急斜面の崩壊地などで、小面積の植分を4箇所確認した。2003年までは上流部の沢筋にさらに数箇所分布していたが伐採に伴い消失している。

(5) 植生分布の変化

最も大きい変化は流域最上部の伐採がさらに進み伐採跡地・ヒノキ新植地群落が増加し、スギ・ヒノキ植林(壮齢林)が減少したことである(写真1, 2)。台風影響に関しては調査地のアプローチ林道沿いには崩落が見られたものの(写真3)調査地内ではそのような植生基盤の崩壊は生じていない。また、立木にある程度、倒伏や幹・枝等の損傷が見られたが、一部の構成木に限られ、群落全体に及ぶようなものではなかったようである(写真4, 5)。

また、2003年には一部のスギ・ヒノキ植林で間伐が行われた。間伐後約1年後の2004年にはすでにヒノキ(スギ)の枝が伸長し、樹冠が拡大した結果、速やかに林冠が閉鎖してしまった(写真6: 2003年、写真7: 写真6林分の2004年の状況)。従って林床の明るさは間伐以前とさほど変化がないように感じられる。また、林床への樹木実生や林床草本の進出も格段に増えたとはいえないようである(写真8)。50%程度の間伐ではコナラ林等の構成種を林内に導入するには不十分であるかもしれない。さらに、林内の一部にクズの侵入をみた(写真9)。これが間伐によるものか、周辺林分の伐採、あるいは台

風影響によるものかは明らかではないが、林種転換を目的として強度の間伐を行う際にはクズのようなツル植物や、アズマネザサ等のササの侵入により遷移が変更しないよう留意する必要があると考える。

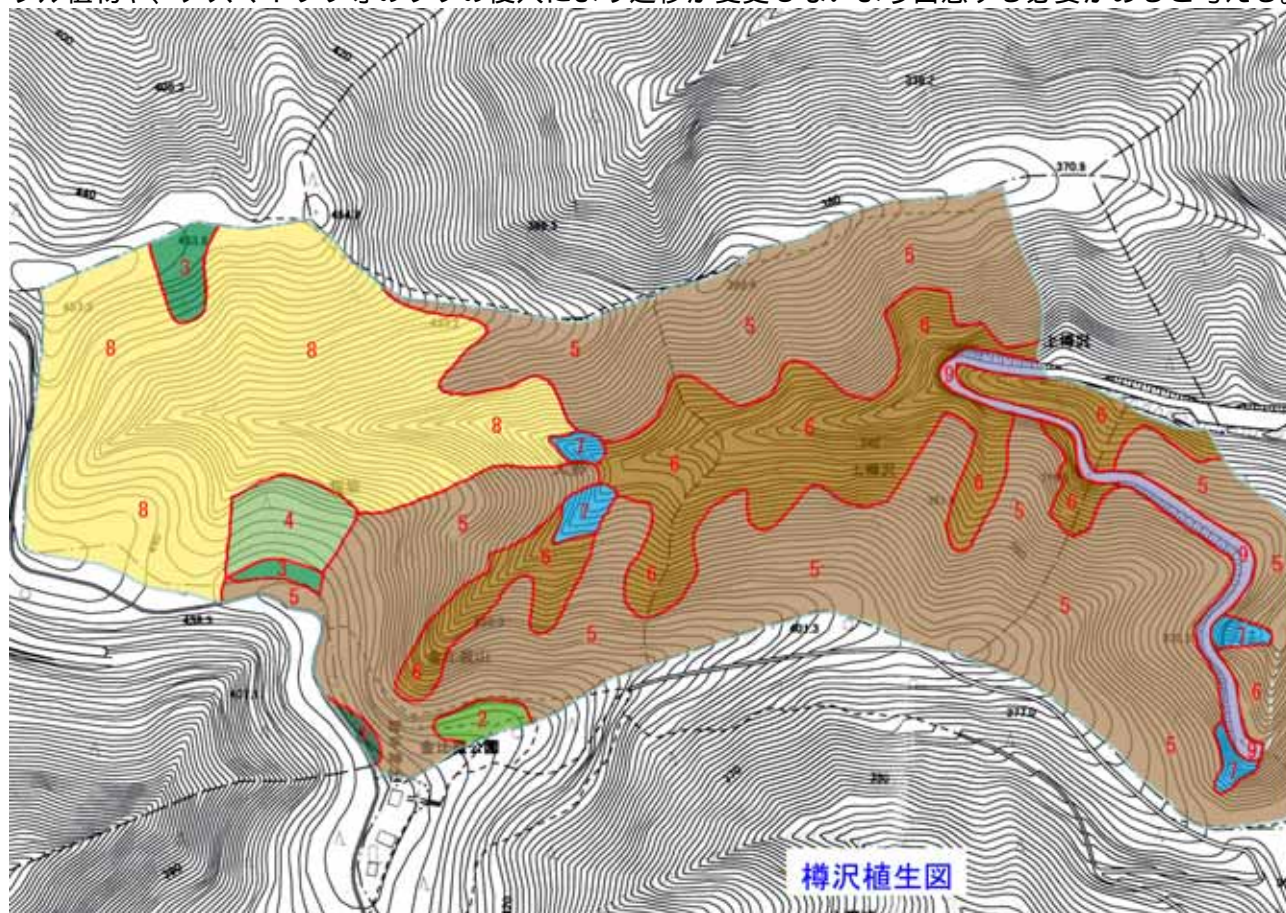


図1．樽沢植生図（凡例は本文参照のこと）

- | | | |
|----|---|---|
| 凡例 | 1 | モミ群落 |
| | 2 | コナラ - クリ群集：主部 |
| | 3 | コナラ - クリ群集：アカマツ優占部 |
| | 4 | コナラ - クリ群集：低木林 |
| | 5 | スギ - ヒノキ植林：ヒノキ - ヒサカキ型 |
| | 6 | スギ - ヒノキ植林：スギ - ミゾシダ型 |
| | 7 | フサザクラ - タマアジサイ群集 |
| | 8 | タラノキ - クサイチゴ群集または
ダンドボロギク - ベニバナボロギク群集（伐採跡地及びヒノキ新植地） |
| | 9 | 道路敷・擁壁 |

（5）樽沢の植物相

樽沢の調査地内で確認された植物種は 97 科 4 1 2 種類（亜種以下の分類群を含む）であった。出現種は森林生や林縁生の植物が多い。調査地のうち南尾根の金毘羅神社参道の一部にはスズサイコ、カセンソウ、アヤメ、オガルカヤ、チョウセンガリヤスなど減少傾向にある草原生の植物が産することが特記される。この場所はサクラ類、ツツジ類などの園地となっており、定期的な刈り取りが行われていること、土壌が薄く岩が露出している部分があるなど、植物の生育にとって特異な生育環境となっている。

確認された植物種のうち、国および東京都の絶滅危惧植物は以下の 4 種であった。

- | | | |
|----|--------------|---------------|
| 1) | エビネ(ラン科) | 国V U、東京都A ランク |
| 2) | スズサイコ(ガガイモ科) | 国V U、東京都B ランク |
| 3) | ヤマホロシ(ナス科) | 東京都C ランク |
| 4) | カセンソウ(キク科) | 東京都C ランク |



写真1. スギ - ヒノキ植林地を伐採



写真2 伐採地の様子



写真3 台風によるのり面の崩落



写真4 台風の被害をほとんど受けていない植林地



写真5 沢筋のスギ - ヒノキ植林 (スギーミゾシダ型)



写真6 間伐直後のスギ - ヒノキ植林の様子



写真7 間伐後1年を経過したスギ - ヒノキ植林(2004年)



写真8 間伐林の林床の様子



写真9 クズが侵入したスギ・ヒノキ植林

引用文献

- 奥富清・辻誠治・小平哲夫(1976)南関東の二次林植生 - コナラ林を中心として - . 東京農工大学演習林報告 13:56 - 66 .
- 奥富清・奥田重俊・星野義延・辻誠治(1986)東京都の植生 . 東京都自然環境基礎調査報告書 . p23 249 . 東京都 .
- 宮脇昭・藤原一絵・原田洋・楠直・奥田重俊(1971)逗子市の植生 . 151pp . 逗子市教育委員会 .
- 宮脇昭・大場達之・村瀬信義(1964)丹沢山塊の植生 . 丹沢大山学術調査報告書 . P53 102 . 神奈川県 .

ヒカゲイノコズチ	.....	+++	.....
シノミスヒキ	.....	+ + +	+ .....
ガクウツキ	.....	1 2 + 2 +	+ + 2
ミヤマフユイチゴ	..... + + +	+ 1	1
キヨタキシダ	.....	+ +	.....
ハシカグサ	.....	+ +	.....
マツカゼソウ +	+ +	+

フサザクラ - タマアジサイ群集標徴種・識別種			
コクサキ	.....	2 + + 1	.....
ミツデカエデ	..... +	2	.....
アオイスミレ	.....	1	.....
マタビ	..... +	1	1

森林群落(対伐採跡地群落)識別種			
ジャルヒゲ	1 + + 1 2 1 1 2 + 2 + 2 1 1 + 2 2 2 1 2 1 1 + 1 3 + 1 + 1 + + + + + + + +	.....	.....
イヌツゲ	+ 1 + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	.....	.....
オトココ	..... + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	.....	.....
キツタ	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	.....	.....
ヤマウルシ	..... 1 1 + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	.....	.....
ヤブコウジ	+ 1 1 1 + 1 + + + + + 1 + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	.....	.....
ハナイカダ	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	.....	.....
ツルウメモドキ	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	.....	.....
コバノガマズミ	1 1 2 ..... + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	.....	.....
コアジサイ	+ 1 1 + + + + + + + + + + + + + + + 1 1 + + 1 + 2 + + 1 + 1 1 +	.....	.....
マルバウツキ	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	.....	.....

タラノキ - クサイチゴ群集標徴種・識別種			
ニガイチゴ	+	1 2 1 2 2 1	.....
タラノキ	..... + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	2 2 + 1 1	.....
タケニグサ	..... +	2 3 + + 1 1 +	.....
クマイチゴ	..... +	1 1 + + +	.....
ヌルデ	..... 1 +	1 + + + 1	.....
ヒヨドリショウコ	.....	+ 2 * .....	.....
ヤクシソウ	..... + .....	+ + + + +	.....
カラスザンショウ	..... 2 +	+ + + + 2	.....
ヒヨドリバナ	..... + .....	+ + + 1	.....
ススキ	.....	+ + +	.....
セイヨウタンポポ	.....	+ +	.....
コセンダングサ	.....	+ +	.....

ベニバナボロギク - ダンドボロギク標徴種・識別種			
ベニバナボロギク	.....	+ + + + + * 4 2	.....
ダンドボロギク	.....	+ +	.....
ヨウシュヤマゴボウ	.....	+ +	.....
その他の種			

ヒノキ	+ .. 1 2 2 1 3 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 + 4 5 5 5 5 5 5 5 1 5 1 3 5 5 3 4 2 .. 2 1 1 1 1 2 1 1 +		
スギ	..... + + 1 1 1 1 + + + .. + 1 1 + 2 1 + 2 .. + 2 5 1 4 + 3 2 3 4 2 + ..		
アカメガシワ	+ + 2 + + + 1 .. + .. + 1 1 .. + 1 3 4 1 1 + + + + +		
クサイチゴ + .. + .. + .. + .. + .. + .. + .. + .. + .. + .. + .. + .. + .. + ..		
キフシ	+ + + + + + + 1 2 .. + + + + + +		
シロダモ	+ + + + + + .. 1 .. 1 + + .. + + .. 1 + +		
アスマイハラ	..... 1 + + + + + + + +		
ミゾシダ	+ + + + + .. 1 + + 1 1 + + 1 1 + + + + 1 1 + 2 1 + + 2 1 2 2 1 1 2 + + + + +		
エコノキ	+ 1 + + + + + + + + + + + +		
カラムシ + + + + + + + + +		
サネカスラ	+ +		
ヒメカンスゲ	..... + + 1 + 1 + 1 + + .. + + 1 + + 1 + + .. + + + + + + + + + +		
ミヤマシキミ	1 .. + .. + + + + + .. 1 + ..		
ヤマイタチシダ +		
ヤマジノホトキス	+ + + + + * .. +		
カヤ	..... + .. 1 + + + + + + +		
コルリノアザミ	.....	

ウワミス'サ'クラ	.....+.....+.....+.....+.....+.....1.....
カラスウリ+.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....
クロウメト'キ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
クス'	.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....1.....
ノガ'リヤス+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ナガ'バ'ジャ'ルヒゲ'	.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....2.....
イノテ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヒメガ'ンク'ビ'ソウ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
アキノ'キリン'ソウ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
トリア'シショウ'マ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
コウゾ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヒメコウゾ'	.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....1.....
チャ'ノキ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
シオ'テ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
メキ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ミツ'ハ'ツチ'クリ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ホ'オ'ノ'キ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ユス'	.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....1.....
ワ'ラ'ビ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ハリ'キ'リ	.....1.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヒメ'ワ'ラ'ビ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ケ'ヤ'ブ'ハ'キ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ゲ'シ'ゲ'シ'シ'ダ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
キカ'ラスウ'リ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
オカ'トラ'ノ'オ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
キ'ハ'キ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヤマ'ト'ア'オ'ダ'モ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
クマ'ノ'ミス'キ	.....1.....+.....+.....+.....+.....+.....
カ'キ'ノ'キ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヤマ'カ'モ'シ'グ'サ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
タツ'ナ'ミ'ソウ'sp.+.....+.....+.....+.....+.....+.....
オ'ニ'カ'ナ'ワ'ラ'ビ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ホ'ド'イ'モ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ス'ス'メ'ウ'リ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヤ'ブ'ツ'ル'ア'ズ'キ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヤ'ブ'ハ'キ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヤマ'コ'ウ'ハ'シ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
サ'サ'ク'サ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
カ'マ'ツ'カ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
オ'オ'ツ'ク'ハ'ネ'ウ'ツ'キ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヤ'ブ'ソ'テ'ツ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
サル'ナ'シ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
マ'ツ'ブ'サ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ミ'ス'ヒ'キ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
シャ'ガ'	.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....1.....
ケ'チ'チ'ミ'サ'サ	.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....1.....
オ'オ'カ'モ'メ'ツ'ル+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ヤマ'ヤ'ブ'ソ'テ'ツ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ネ'コ'ハ'キ'	.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....1.....
ク'ワ'ク'サ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
フ'ユ'ザ'ン'シ'ョ'ウ+.....+.....+.....+.....+.....+.....*
ア'キ'ノ'ゲ'シ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
オ'ニ'タ'ビ'ラ'コ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ト'ウ'コ'ク'シ'ダ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
エ'ノ'キ	.....+.....+.....+.....+.....+.....+.....11-15.....
ア'サ'ダ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....*
ノ'キ'シ'ノ'ブ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....
ダ'ン'コ'ウ'ハ'イ+.....+.....+.....+.....+.....+.....
タ'チ'シ'オ'テ'+.....+.....+.....+.....+.....+.....

エノキ+.....+.....
アサダ	+...*.....
ノキシノブ	+...+.....
ダンコウハイ	+...+.....
タチシオデ+.....+
キンラン*.....+
ホソハ'ヒカゲ'スゲ'+.....
ヤマユリ+.....
シラヤマキ'ク+.....
コマユミ+.....
ハルシ'オン+.....
アキノタムラソウ+.....
トダ'シハ'+.....
モチノキ+.....
ネス'ミモチ+.....
ヤツテ'+.....
イタビ'カス'ラ+.....
ミヤマナルコユリ+.....
タラヨウ+.....
イチョウ+.....
エビ'ヅル+.....
ミヤマウス'ラ+.....
ヤマハッカ+.....
ヒ'ワ+.....
サカキ+.....
ナツハセ'+.....
オオシ'ンヨウイチヤクソ'+.....
タチガ'シワ+.....
トウゲ'シハ'+.....
テンナンショウsp.+.....
トキリマメ+.....
カタイノテ'?+.....
シュウフ'ンソウ+.....
ムカゴ'イラクサ+.....
ヒナタイノコス'チ+.....
ミツハ'ウツキ'+.....
サワ'ラ+.....
オクモミシ'ハグ'マ+.....
ノイハ'ラ+.....
イワガ'ネソウ+.....
ホソハ'シケシダ'+.....
ノキ'リシダ'?+.....
ヤブ'テマリ+.....
シダ'sp.+.....
シダ'sp.2+.....
オニイ'タヤ	.....1.....
ヤブ'タヒ'ラコ	.....r.....
オオハ'タネツケハ'ナ+.....
コナス'ビ'+.....
イタ'ドリ+.....
イワガ'ネセ'ンマイ+.....
ヤマブ'キ+.....
ネコノメソウsp.+.....
アス'マヤマアサ'ミ+.....
ミヤマシケシダ'+.....
ツユク'サ+.....
ホ'タンツ'ル+.....
ナワシロ'イチコ'+.....
キハ'ダ'+.....

ミヤマシケシダ+
ツクサ+
ホ'タンツル+
ナワシロイチゴ+
キハダ+
ヤマハキ+
ヤマホロシ	.....1
ナキリスゲ+
アキノエノコロク'サ+
ヤブ'ミョウガ+
メシハ+
ツリフネソウ+
コホ'タンツル+
ノゲ'シ+
サワフタキ+
ニガ'キ+
ツクシハキ+
カニクサ+
ヤマホ'ウシ+
エビ'ネ+
ナルユリ+
ウマノミツハ+
ヤワラシダ+
ヤマホトキ'ス+
ミサキカグ'マ+
ヤマオオイトスゲ'?+
ウメモト'キ+
ヤマルリソウ+
フサザ'クラ+
ウラゲ'エンコウカエテ	.....1
スイカス'ラ+
イホ'タノキ+
リョウメンシダ+
ハナタテ+
イワホ'タン+
ツルニガ'クサ+

付表2 樽沢のフロラ

科名	和名	学名
ヒカゲノカズラ科 Lycopodiaceae	トウゲシバ	<i>Huperzia serrata</i>
イワヒバ科 Selaginellaceae	カタヒバ クラマゴケ	<i>Selaginella involvens</i> <i>Selaginella remotifolia</i>
ゼンマイ科 Osumundaceae	ゼンマイ	<i>Osmunda japonica</i>
カニクサ科 Schizaeaceae	カニクサ	<i>Lygodium japonicum</i>
ウラジロ科 Gleicheniaceae	ウラジロ	<i>Gleichenia japonica</i>
イノモトソウ科 Pteridaceae	イワガネゼンマイ イワガネソウ フモトシダ ワラビ	<i>Coniogramme intermedia</i> <i>Coniogramme japonica</i> <i>Microlepia marginata</i> <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>
オシダ科 Dryopteridaceae	オオバノイノモトソウ オニカナワラビ リョウメンシダ イヌワラビ ヤマイヌワラビ ヤブソテツ ヤマヤブソテツ ホソバシケシダ ミヤマシケシダ キヨタキシダ ヤマイタチシダ ミサキカグマ ベニシダ トウゴクシダ オオベニシダ クマワラビ ミゾシダ ヒメワラビ ヤワラシダ ハリガネワラビ ゲジゲジシダ イノデ	<i>Pteris cretica</i> <i>Arachniodes simplicior</i> var. <i>major</i> <i>Arachniodes standishii</i> <i>Athyrium niponicum</i> <i>Athyrium vidalii</i> <i>Cyrtomium fortunei</i> <i>Cyrtomium fortunei</i> var. <i>clivicola</i> <i>Deparia conilii</i> <i>Deparia pycnosorum</i> <i>Diplazium squamigerum</i> <i>Dryopteris bissetiana</i> <i>Dryopteris chinensis</i> <i>Dryopteris erythrosora</i> <i>Dryopteris erythrosora</i> var. <i>dilatata</i> <i>Dryopteris hondoensis</i> <i>Dryopteris lacera</i> <i>Leptogramma mollissima</i> <i>Macrothelypteris torresiana</i> var. <i>calvata</i> <i>Metathelypteris laxa</i> <i>Parathelypteris japonica</i> <i>Phagopteris</i> <i>decursive-pinnata</i> <i>Polystichum polyblepharum</i>
ウラボシ科 Polypodiaceae	ノキシノブ	<i>Lepisorus thunbergianus</i>
イチョウ科 Ginkgoaceae	イチョウ(逸出)	<i>Ginkgo biloba</i>
イチイ科 Taxaceae	カヤ	<i>Torreya nucifera</i>
イヌガヤ科 Cephalotaxaceae	イヌガヤ	<i>Cephalotaxus harringtonia</i>
マツ科 Pinaceae	モミ	<i>Abies firma</i>

スギ科 Taxodiaceae ヒノキ科 Cupressaceae	アカマツ	<i>Pinus densiflora</i>
	スギ	<i>Cryptomeria japonica</i>
	ヒノキ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>
	サワラ	<i>Chamaecyparis pisifera</i>
イネ科 Gramineae	ヤダケ	<i>Pseudosasa japonica</i>
	アズマネザサ	<i>Pleiblastus chino</i>
	ヒメノガリヤス	<i>Calamagrostis hakonensis</i>
	ノガリヤス	<i>Calamagrostis arundinacea</i> var. <i>brachytricha</i>
	ヤマカモジグサ	<i>Brachypodium sylvaticum</i>
	スズメノチャヒキ	<i>Bromus japonicus</i>
	トボシガラ	<i>Festuca parvigluma</i>
	ミゾイチゴツナギ	<i>Poa acroleuca</i>
	スズメノカタビラ	<i>Poa annua</i>
	ヤマミゾイチゴツナギ	<i>Poa hisauchii</i>
	ギ	
	ササクサ	<i>Lophatherum gracile</i>
	カゼクサ	<i>Eragrostis ferruginea</i>
	チョウセンガリヤス	<i>Cleistogenes hackelii</i>
	ネズミノオ	<i>Sporobolus fertilis</i>
	トダシバ	<i>Arundinella hirta</i>
	チカラシバ	<i>Pennisetum alopecuroides</i>
	アキノエノコログサ	<i>Setaria faberi</i>
	キンエノコロ	<i>Setaria glauca</i>
	ヌカキビ	<i>Panicum bisulcatum</i>
	メヒシバ	<i>Digitaria adscendens</i>
	アキメヒシバ	<i>Digitaria violascens</i>
	ケチヂミザサ	<i>Oplismenus undulatifolius</i>
	コチヂミザサ	<i>Oplismenus undulatifolius</i> var. <i>japonicus</i>
	アブラスキ	<i>Eccoilopus cotulifer</i>
	スキ	<i>Miscanthus sinensis</i>
	ササガヤ	<i>Microstegium japonicum</i>
	アシボソ	<i>Microstegium vimineum</i> var. <i>polystachyum</i>
	コブナグサ	<i>Arthraxon hispidus</i>
	オガルカヤ	<i>Cymbopogon tortilis</i> var. <i>goeringii</i>
	メガルカヤ	<i>Themeda japonica</i>
	アオスゲ	<i>Carex breviculmis</i>
	カヤツリグサ科 Cyperaceae	ミヤマカンスゲ	Carex dolichostachya var. glaberrima
ヒメカンスゲ		<i>Carex conica</i>
カンスゲ		<i>Carex morrowii</i>
ホソバヒカゲスゲ		<i>Carex nanella</i>
オオイトスゲ		<i>Carex sachalinensis</i> var. <i>alterniflora</i>

	タマツリスゲ	Carex filipes
	コジュズスゲ	Carex parciflora var. macroglossa
	シラコスゲ	Carex rhizopoda
	エナシヒゴクサ	Carex aphanolepis
	ナキリスゲ	Carex lenta var. enta
サトイモ科 Araceae	ミミガタテンナンショウ	Arisaema limbatum
	ウ	
	マムシグサ	Arisaema japonicum
ツユクサ科 Commelinaceae	ヤブミョウガ	Pollia japonica
	ツユクサ	Commelina communis
イグサ科 Juncaceae	クサイ	Juncus tenuis
	イ	Juncus effusus var. decipiens
ユリ科 Liliaceae	ヤマジノホトトギス	Tricyrtis affinis
	ヤマホトトギス	Tricyrtis macropoda
	オオバギボウシ	Hosta montana
	ヤマユリ	Lilium auratum
	ミヤマナルコユリ	Polygonatum lasianthum
	ナルコユリ	Polygonatum falcatum
	ホウチャクソウ	Disporum sessile
	チゴユリ	Disporum smilacinum
	ヒメヤブラン	Liriope minor
	ヤブラン	Liriope platyphylla
	オオバジャノヒゲ	Ophiopogon planiscapus
	ジャノヒゲ	Ophiopogon japonicus
	ナガバジャノヒゲ	Ophiopogon ohwii
	タチシオデ	Smilax nipponica
	シオデ	Smilax riparia var. ussuriensis
	サルトリイバラ	Smilax china
	ヤマカシュウ	Smilax sieboldii
ヤマノイモ科 Dioscoreaceae	ヤマノイモ	Dioscorea japonica
	タチドコロ	Dioscorea gracillima
	オニドコロ	Dioscorea tokoro
	ヒメドコロ	Dioscorea tenuipes
アヤメ科 Iridaceae	アヤメ	Iris sanguinea
	シャガ	Iris japonica
ラン科 Orchidaceae	キンラン	Cephalanthera falcata
	ミヤマウズラ	Goodyera schlechtendalina
	エビネ	Calanthe discolor
	シュンラン	Cymbidium goeringii
ドクダミ科 Saururaceae	ドクダミ	Houttuynia cordata
センリョウ科 Chloranthaceae	フタリシズカ	Chloranthus serratus
カバノキ科 Betulaceae	アカシデ	Carpinus laxiflora
	クマシデ	Carpinus japonica

	アサダ	<i>Ostrya japonica</i>
	ツノハシバミ	<i>Corylus sieboldiana</i>
ブナ科 Fagaceae	シラカシ	<i>Quercus myrsinaefolia</i>
	アラカシ	<i>Quercus glauca</i>
	コナラ	<i>Quercus serrata</i>
	クリ	<i>Castanea crenata</i>
ニレ科 Ulmaceae	ケヤキ	<i>Zelkova serrata</i>
	エノキ	<i>Celtis sinensis</i> var. <i>japonica</i>
クワ科 Moraceae	クワクサ	<i>Fatoua villosa</i>
	ヤマグワ	<i>Morus bombycis</i>
	コウゾ	<i>Broussonetia kazinoki</i>
	イタビカズラ	<i>Ficus sarmentosa</i> var. <i>nipponica</i>
イラクサ科 Urticaceae	ムカゴイラクサ	<i>Laportea bulbifera</i>
	アオミズ	<i>Pilea mongolica</i>
	カテンソウ	<i>Nanocnide japonica</i>
	カラムシ	<i>Boehmeria nipononivea</i>
	アオカラムシ	<i>Boehmeria nipononivea</i> var. <i>concolor</i>
	コアカソ	<i>Boehmeria spicata</i>
	クサコアカソ	<i>Boehmeria tricuspis</i> var. <i>unicuspis</i>
ウマノスズクサ科 Aristolochiaceae	カンアオイ	<i>Asarum kooyanum</i> var. <i>nipponicum</i>
	ウマノスズクサ	<i>Aristolochia debilis</i>
タデ科 Polygonaceae	ミズヒキ	<i>Polygonum filiforme</i>
	シンミズヒキ	<i>Polygonum filiforme</i> var. <i>neo-filiforme</i>
	ミゾソバ	<i>Polygonum thunbergii</i>
	アキノウナギツカミ	<i>Polygonum sieboldii</i>
	ヤナギタデ	<i>Polygonum hydropiper</i>
	ポントクタデ	<i>Polygonum pubescens</i>
	ハナタデ	<i>Polygonum posumbu</i> var. <i>laxiflorum</i>
	イヌタデ	<i>Polygonum longisetum</i>
	イタドリ	<i>Polygonum cuspidatum</i>
ヒユ科 Amaranthaceae	ヒカゲイノコズチ	<i>Achyranthes japonica</i>
	ヒナタイノコズチ	<i>Achyranthes fauriei</i>
ヤマゴボウ科 Phytolacaceae	ヨウシュヤマゴボウ	<i>Phytolacca americana</i>
ナデシコ科 Caryophyllaceae	ミミナグサ	<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>angustifolium</i>
	ウシハコベ	<i>Stellaria aquatica</i>
	ミドリハコベ	<i>Stellaria neglecta</i>
フサザクラ科 Eupteleaceae	フサザクラ	<i>Euptelea polyandra</i>
キンポウゲ科 Ranunculaceae	ハンショウヅル	<i>Clematis japonica</i>
	ボタンヅル	<i>Clematis apiifolia</i>

	コボタンヅル	<i>Clematis apiifolia</i> var. <i>biternata</i>
	センニンソウ	<i>Clematis terniflora</i>
	キツネノボタン	<i>Ranunculus silerifolius</i>
アケビ科 <i>Lardizabalaceae</i>	ミツバアケビ	<i>Akebia trifoliata</i>
メギ科 <i>Berberidaceae</i>	メギ	<i>Berberis thunbergii</i>
	ナンテン	<i>Nandina domestica</i>
ツツラフジ科	アオツツラフジ	<i>Cocculus orbiculatus</i>
<i>Menispermaceae</i>		
モクレン科 <i>Magnoliaceae</i>	ホオノキ	<i>Magnolia obovata</i>
	コブシ	<i>Magnolia kobus</i>
	マツブサ	<i>Schisandra repanda</i>
	サネカズラ	<i>Kadsura japonica</i>
クスノキ科 <i>Lauraceae</i>	タブノキ	<i>Persea thunbergii</i>
	ダンコウバイ	<i>Lindera obtusiloba</i>
	ヤマコウバシ	<i>Lindera glauca</i>
	クロモジ	<i>Lindera umbellata</i>
	アブラチャン	<i>Parabenzoin praecox</i>
	シロダモ	<i>Neolitsea sericea</i>
ケシ科 <i>Papaveraceae</i>	ムラサキケマン	<i>Corydalis incisa</i>
	タケニグサ	<i>Macleaya cordata</i>
アブラナ科 <i>Cruciferae</i>	ジャニンジン	<i>Cardamine impatiens</i>
	オオバタネツケバナ	<i>Cardamine scutata</i>
	イヌガラシ	<i>Rorippa indica</i>
ユキノシタ科	アカショウマ	<i>Astilbe thunbergii</i>
<i>Saxifragaceae</i>		
	トリアシショウマ	<i>Astilbe thunbergii</i> var. <i>congesta</i>
	ネコノメソウ	<i>Chrysosplenium grayanum</i>
	イワボタン	<i>Chrysosplenium</i> <i>macrostemon</i>
	タマアジサイ	<i>Hydrangea involucrata</i>
	ヤマアジサイ	<i>Hydrangea macrophylla</i> var. <i>acuminata</i>
	コアジサイ	<i>Hydrangea hirta</i>
	ガクウツギ	<i>Hydrangea scandens</i>
	マルバウツギ	<i>Deutzia scabra</i> var. <i>scabra</i>
バラ科 <i>Rosaceae</i>	コゴメウツギ	<i>Stephanandra incisa</i>
	ヤマブキ	<i>Kerria japonica</i>
	ヤブヘビイチゴ	<i>Duchesnea indica</i>
	ミツバツチグリ	<i>Potentilla freyniana</i>
	ダイコンソウ	<i>Geum japonicum</i>
	ミヤマフユイチゴ	<i>Rubus hakonensis</i>
	フユイチゴ	<i>Rubus buergeri</i>
	ニガイチゴ	<i>Rubus microphyllus</i>
	クマイチゴ	<i>Rubus crataegifolius</i>
	モミジイチゴ	<i>Rubus palmatus</i> var. <i>coptophyllus</i>
	クサイチゴ	<i>Rubus hirsutus</i>

	ナワシロイチゴ	<i>Rubus parvifolius</i>
	キンミズヒキ	<i>Agrimonia japonica</i>
	ノイバラ	<i>Rosa multiflora</i>
	アズマイバラ	<i>Rosa luciae</i>
	ヤマザクラ	<i>Prunus jamasakura</i>
	ウワミズザクラ	<i>Prunus grayana</i>
	ビワ(逸出)	<i>Eriobotrya japonica</i>
	カマツカ	<i>Pourthiaea villosa</i> var. <i>laevis</i>
マメ科 Leguminosae	ネムノキ	<i>Albizia julibrissin</i>
	キハギ	<i>Lespedeza buergeri</i>
	ヤマハギ	<i>Lespedeza bicolor</i> f. <i>acutifolia</i>
	ツクシハギ	<i>Lespedeza homoloba</i>
	ネコハギ	<i>Lespedeza pilosa</i>
	フジカンゾウ	<i>Desmodium oldhamii</i>
	ヌスビトハギ	<i>Desmodium oxyphyllum</i>
	ケヤブハギ	<i>Desmodium fallax</i>
	ヤブハギ	<i>Desmodium fallax</i> var. <i>mandshuricum</i>
	ノアズキ	<i>Dunbaria villosa</i>
	オオバタンキリマメ	<i>Rhynchosia acuminatifolia</i>
	ヤブツルアズキ	<i>Vigna angularis</i> var. <i>nippoensis</i>
	ホドイモ	<i>Apios fortunei</i>
	ノササゲ	<i>Dumasia truncata</i>
	クズ	<i>Pueraria lobata</i>
	ヤブマメ	<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>japonica</i>
	フジ	<i>Wisteria floribunda</i>
	ゲンゲ	<i>Astragalus sinicus</i>
	シロツメクサ	<i>Trifolium repens</i>
フウロウソウ科 Geraniaceae	ゲンノショウコ	<i>Geranium thunbergii</i>
カタバミ科 Oxalidaceae	カタバミ	<i>Oxalis corniculata</i>
ミカン科 Rutaceae	フユザンショウ	<i>Zanthoxylum armatum</i> var. <i>subtrifoliatum</i>
	サンショウ	<i>Zanthoxylum piperitum</i>
	イヌザンショウ	<i>Zanthoxylum schinifolium</i>
	カラスザンショウ	<i>Zanthoxylum ailanthoides</i>
	コクサギ	<i>Orixa japonica</i>
	マツカゼソウ	<i>Boeninghausenia japonica</i>
	キハダ	<i>Phellodendron amurense</i>
	ミヤマシキミ	<i>Skimmia japonica</i>
ニガキ科 Simaroubaceae	ニガキ	<i>Picrasma quassioides</i>
ヒメハギ科 Polygalaceae	ヒメハギ	<i>Polygala japonica</i>
トウダイグサ科 Euphorbiaceae	アカメガシワ	<i>Mallotus japonicus</i>
ウルシ科 Anacardiaceae	ツタウルシ	<i>Rhus ambigua</i>
	ヤマウルシ	<i>Rhus trichocarpa</i>

モチノキ科 Aquifoliaceae	ヌルデ アオハダ ウメモドキ イヌツゲ モチノキ タラヨウ(逸出)	<i>Rhus javanica</i> <i>Ilex macropoda</i> <i>Ilex serrata</i> <i>Ilex crenata</i> <i>Ilex integra</i> <i>Ilex latifolia</i>
ニシキギ科 Celastraceae	ツルウメモドキ コマユミ	<i>Celastrus orbiculatus</i> <i>Euonymus alatus</i> f. ciliato-dentatus <i>Euonymus oxyphyllus</i>
ミツバウツギ科 Staphyleaceae	ツリバナ ミツバウツギ	<i>Staphylea bumalda</i>
カエデ科 Aceraceae	ゴンズイ コハウチワカエデ イロハモミジ オオモミジ エンコウカエデ オニイタヤ ウラゲエンコウカエ デ ウリカエデ ミツデカエデ ツリフネソウ	<i>Euscaphis japonica</i> <i>Acer sieboldianum</i> <i>Acer palmatum</i> <i>Acer palmatum</i> var. amoenum <i>Acer mono</i> f. <i>dissectum</i> <i>Acer mono</i> var. <i>ambiguum</i> <i>Acer mono</i> var. <i>connivens</i> <i>Acer crataegifolium</i> <i>Acer cissifolium</i> <i>Impatiens textori</i>
ツリフネソウ科 Balsaminaceae		
クロウメモドキ科 Rhamnaceae	クロウメモドキ	<i>Rhamnus japonica</i> var. <i>decipiens</i>
ブドウ科 Vitaceae	エビヅル サンカクヅル ノブドウ	<i>Vitis ficifolia</i> var. <i>lobata</i> <i>Vitis flexuosa</i> <i>Ampelopsis</i> <i>brevipedunculata</i> <i>Parthenocissus tricuspidata</i>
ツタ		
シナノキ科 Tiliaceae	カラスノゴマ	<i>Corchoropsis tomentosa</i>
マタタピ科 Actinidiaceae	サルナシ	<i>Actinidia arguta</i>
マタタピ科 Actinidiaceae	マタタピ	<i>Actinidia polygama</i>
ツバキ科 Theaceae	チャノキ ヤブツバキ サカキ ヒサカキ	<i>Thea sinensis</i> <i>Camellia japonica</i> <i>Cleyara japonica</i> <i>Eurya japonica</i>
スミレ科 Violaceae	アオイスミレ アカネスミレ タチツボスミレ ニオイタチツボスミ レ ツボスミレ	<i>Viola hondoensis</i> <i>Viola phalacrocarpa</i> <i>Viola grypoceras</i> <i>Viola obtusa</i> <i>Viola verecunda</i>
キブシ科 Stachyuraceae	キブシ	<i>Stachyurus praecox</i>
グミ科 Elaeagnaceae	ツルグミ	<i>Elaeagnus glabra</i>
ウリノキ科 Alangiaceae	ウリノキ	<i>Alangium platanifolium</i> var. <i>trilobum</i>

アカバナ科 Onagraceae	ミズタマソウ	<i>Circaea mollis</i>
ウコギ科 Araliaceae	タラノキ	<i>Aralia elata</i>
	ウド	<i>Aralia cordata</i>
	キツタ	<i>Hedera rhombea</i>
	ヤツデ	<i>Fatsia japonica</i>
	ハリギリ	<i>Kalopanax pictus</i>
セリ科 Umbelliferae	オオチドメ	<i>Hydrocotyle ramiflora</i>
	ノチドメ	<i>Hydrocotyle maritima</i>
	ツボクサ	<i>Centella asiatica</i>
	ウマノミツバ	<i>Sanicula chinensis</i>
	ミツバ	<i>Cryptotaenia japonica</i>
ミズキ科 Cornaceae	アオキ	<i>Aucuba japonica</i>
	ハナイカダ	<i>Helwingia japonica</i>
	ミズキ	<i>Cornus controversa</i>
	クマノミズキ	<i>Cornus brachypoda</i>
	ヤマボウシ	<i>Cornus kousa</i>
リョウブ科 Clethraceae	リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i>
イチヤクソウ科 Pyrolaceae	マルバノイチヤクソウ	<i>Pyrola nephrophylla</i>
ツツジ科 Ericaceae	ウ	
	バйкаツツジ	<i>Rhododendron semibarbatum</i>
	ヤマツツジ	<i>Rhododendron kaempferi</i>
	アセビ	<i>Pieris japonica</i>
	ナツハゼ	<i>Vaccinium oldhamii</i>
ヤブコウジ科 Myrsinaceae	ヤブコウジ	<i>Ardisia japonica</i>
	マンリョウ	<i>Ardisia crenata</i>
サクラソウ科 Primulaceae	コナスビ	<i>Lysimachia japonica</i>
	オカトラノオ	<i>Lysimachia clethroides</i>
カキノキ科 Ebenaceae	カキノキ	<i>Diospyros kaki</i>
ハイノキ科 Symplocaceae	サワフタギ	<i>Symplocos chinensis</i> var. <i>leucocarpa</i> f. <i>pilosa</i>
エゴノキ科 Styracaceae	エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>
モクセイ科 Oleaceae	ネズミモチ	<i>Ligustrum japonicum</i>
	イボタノキ	<i>Ligustrum obtusifolium</i>
	ヒイラギ	<i>Osmanthus heterophyllus</i>
	ヤマトアオダモ	<i>Fraxinus longicuspis</i>
	マルバアオダモ	<i>Fraxinus sieboldiana</i>
リンドウ科 Gentianaceae	ツルリンドウ	<i>Tripterospermum japonicum</i>
キョウチクトウ科	テイカカズラ	<i>Trachelospermum asiaticum</i>
Apocynaceae		var. <i>intermedium</i>
ガガイモ科	スズサイコ	<i>Cynanchum paniculatum</i>
Asclepiadaceae		
	タチガシワ	<i>Cynanchum magnificum</i>
	オオカモメヅル	<i>Tylophora aristolochioides</i>
ムラサキ科 Boraginaceae	ヤマハリソウ	<i>Omphalodes japonica</i>
	ハナイバナ	<i>Bothriospermum tenellum</i>
	キュウリグサ	<i>Trigonotis peduncularis</i>
クマツヅラ科 Verbenaceae	ムラサキシキブ	<i>Callicarpa japonica</i>
	ヤブムラサキ	<i>Callicarpa mollis</i>

シソ科 Labiatae	クサギ	<i>Clerodendron trichotomum</i>
	キランソウ	<i>Ajuga decumbens</i>
	ツルニガクサ	<i>Teucrium viscidum</i> var. <i>miquelianum</i>
	ニガクサ	<i>Teucrium japonicum</i>
	コバナタツナミ	<i>Scutellaria indica</i> var. <i>parvifolia</i>
	カキドオシ	<i>Glechoma hederacea</i> var. <i>grandis</i>
	ウツボグサ	<i>Prunella vulgaris</i> var. <i>lilacina</i>
	アキノタムラソウ	<i>Salvia japonica</i>
	イヌコウジュ	<i>Mosla punctulata</i>
	トウバナ	<i>Clinopodium gracile</i>
ナス科 Solanaceae	ヤマハッカ	<i>Plectranthus inflexus</i>
	ヤマホロシ	<i>Solanum japonense</i>
	ヒヨドリジョウゴ	<i>Solanum lyratum</i>
ゴマノハグサ科 Scrophulariaceae	ミゾホオズキ	<i>Mimulus nepalensis</i> var. <i>japonica</i>
ハエドクソウ科 Phrymaceae	ハエドクソウ	<i>Phryma leptostachya</i> var. <i>asiatica</i>
	ナガバハエドクソウ	<i>Phryma leptostachya</i> var. <i>asiatica</i> f. <i>oblongifolia</i>
オオバコ科 Plantaginaceae	オオバコ	<i>Plantago asiatica</i>
アカネ科 Rubiaceae	ハシカグサ	<i>Hedyotis lindleyana</i> var. <i>hirsuta</i>
	ヘクソカズラ	<i>Paederia scandens</i> var. <i>mairei</i>
	ヤエムグラ	<i>Galium spurium</i> var. <i>echinospermon</i>
	ヨツバムグラ	<i>Galium trachyspermum</i>
スイカズラ科 Caprifoliaceae	ニワトコ	<i>Sambucus sieboldiana</i>
	ヤブデマリ	<i>Viburnum plicatum</i> var. <i>tomentosum</i>
	ガマズミ	<i>Viburnum dilatatum</i>
	ミヤマガマズミ	<i>Viburnum wrightii</i>
	コバナガマズミ	<i>Viburnum erosum</i>
	オトコヨウゾメ	<i>Viburnum phlebotrichum</i>
	ツクバネウツギ	<i>Abelia spathulata</i>
	オオツクバネウツギ	<i>Abelia tetrasepala</i>
	スイカズラ	<i>Lonicera japonica</i>
	ウグイスカグラ	<i>Lonicera gracilipes</i> var. <i>glabra</i>
オミナエシ科 Valerianaceae	オトコエシ	<i>Patrinia villosa</i>
ウリ科 Cucurbitaceae	キカラスウリ	<i>Trichosanthes kirilowii</i> var. <i>japonica</i>
	カラスウリ	<i>Trichosanthes cucumeroides</i>
	スズメウリ	<i>Melothria japonica</i>

キク科 Compositae

アマチャヅル	<i>Gynostemma pentaphyllum</i>
ハハコグサ	<i>Gnaphalium affine</i>
ヤマハハコ	<i>Anaphalis margaritacea</i>
カセンソウ	<i>Inula salicina</i> var. <i>asiatica</i>
ヒメガンクビソウ	<i>Carpesium rosulatum</i>
ガンクビソウ	<i>Carpesium divaricatum</i>
センボンヤリ	<i>Leibnitzia anandria</i>
コウヤボウキ	<i>Pertya scandens</i>
ナガバコウヤボウキ	<i>Pertya glabrescens</i>
カシワバハグマ	<i>Pertya robusta</i>
キッコウハグマ	<i>Ainsliaea apiculata</i>
オクモミジハグマ	<i>Ainsliaea acerifolia</i> var. <i>subapoda</i>
ブタクサ	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> var. <i>elatior</i>
ヒヨドリバナ	<i>Eupatorium chinense</i> var. <i>simplicifolium</i>
アキノキリンソウ	<i>Solidago virga-aurea</i> var. <i>asiatica</i>
セイトカアワダチソウ	<i>Solidago altissima</i>
ユウガギク	<i>Kalimeris pinnatifida</i>
ハルジオン	<i>Erigeron philadelphicus</i>
ヒメジョオン	<i>Erigeron annuus</i>
ヒメムカシヨモギ	<i>Erigeron canadensis</i>
シラヤマギク	<i>Aster scaber</i>
ノコンギク	<i>Aster ageratoides</i> var. <i>ovatus</i>
シロヨメナ	<i>Aster ageratoides</i> var. <i>harae</i> f. <i>leucanthus</i>
シュウブソウ	<i>Rhynchospermum verticillatum</i>
ダンドボロギク	<i>Erechtites hieracifolia</i>
ベニバナボロギク	<i>Crassocephalum crepidioides</i>
モミジガサ	<i>Cacalia delphiniifolia</i>
ヤブレガサ	<i>Syneilesis palmata</i>
オトコヨモギ	<i>Artemisia japonica</i>
ヨモギ	<i>Artemisia princeps</i>
ノブキ	<i>Adenocaulon himalaicum</i>
アメリカセンダングサ	<i>Bidens frondosa</i>
コセンダングサ	<i>Bidens pilosa</i>
オケラ	<i>Atractylodes japonica</i>
ノアザミ	<i>Cirsium japonicum</i>
ノハラアザミ	<i>Cirsium tanakae</i>
アズマヤマアザミ	<i>Cirsium microspicatum</i>
ハバヤマボクチ	<i>Synurus excelsus</i>
ハキダメギク	<i>Galinsoga ciliata</i>

ヤブタビラコ	<i>Lapsana humilis</i>
コウゾリナ	<i>Picris hieracioides</i> var. <i>glabrescens</i>
オオヂシバリ	<i>Ixeris debilis</i>
セイヨウタンポポ	<i>Taraxacum officinale</i>
ニガナ	<i>Ixeris dentata</i>
ヤマニガナ	<i>Lactuca raddeana</i> var. <i>elata</i>
ムラサキニガナ	<i>Lactuca sororia</i>
アキノノゲシ	<i>Lactuca indica</i> var. <i>laciniata</i>
ノゲシ	<i>Sonchus oleraceus</i>
オキノゲシ	<i>Sonchus asper</i>
オニタビラコ	<i>Youngia japonica</i>
ヤクシソウ	<i>Youngia denticulata</i>

科数 97 科

種数 412 種

第12章 底生動物群集

(大野 正彦)

12-1 はじめに

五日市樽沢ではスギ・ヒノキが植えられ生長するにつれ、その流量が減少傾向にあるという。この減少はスギ・ヒノキ人工林土壌の浸透能力・保水力の小ささ(自然林・広葉樹との比較)¹⁾と、その樹冠の降雨遮断作用²⁾及び森林自体の蒸散作用²⁾によるものといわれている。流量の減少はそこに生息する肉眼的底生動物(以下底生動物という)の群集にも影響を及ぼしていると考えられる。しかし、スギ・ヒノキ人工林(以下、人工林と称す)内の河川の底生動物群集についてほとんど知られていない。今回、人工林内の底生動物群集の把握を試み、流量増加を目的とした人工林伐採前後の群集を比較したので報告する。

12-2 調査地点

五日市樽沢において、間伐が進まず林相が良いとはいえない人工林(標高 320~420m)内の溪流約 400mを調査地として選んだ。山間の傾斜の急な谷を流れる溪流で、全体として蛇行部に多数の淵と瀬が存在するAa型の河川形態³⁾を示した。

流量観測堰の近くの3箇所を調査地点とした(図12-1)。上流から下流にかけてSt.1、2、3とした。調査地点間に汚濁物質の流入はなかった。その環境を以下に記す。

源流部のSt.1では小礫の上に細泥と広葉樹・草本落葉が堆積し、水が表面をわずかに流れている程度であった。流量の変化は少ないように思われた。この地点を含め西側斜面は人工林であったが、2001年に約0.7haが皆伐されヒノキ幼樹が植えられていた。光が当たるものの採集部の表層は泥・砂のため付着藻類の著しい繁殖はみられなかった。

St.2、3は人工林内の溪流であった。その底質は砂・砂利で小礫が沈み石状に堆積し、有機物としてスギ落葉落小枝とわずかなヒノキ落葉が見られる程度であった。St.2、3の小礫表面でも付着藻類がほとんどみられなかった。2003年11月から2004年2月にかけて流域の人工林1.85haをSt.2の流畔まで皆伐し、広葉樹の幼樹を植栽した。



図12-1 調査地点概要図

12-3 調査時期・方法

各地点で2002年6、10月、2003年1、6、12月、2004年5、11月、2005年4月の計8回、底生動物

を採集した。

調査時に環境要因（採集場所の流速、水深、川幅、水質等）を測定した。なお、St.2、3では流れが分かれており、川幅は採集箇所を計った。25×25 cm²枠付きサーベネット（網目 0.35 mm）を河床に置き、枠内の細泥・砂・砂利及び落葉等を採集した。採集したものを広口ポリ瓶に入れ、ホルマリンが全量の5%になるように加え固定した。各地点で3回採集した（3試料）。なお、今回はその内の1試料を調べた結果を報告する。

実験室で試料をバットに開け、バットに水道水を加えて3連の篩（網目 1、0.25、0.07 mm）に流し込み、ホルマリンを除いた。網目 1 mm及び 0.25 mm篩上の物を取り、実体顕微鏡下で拾い出し・計数・同定を行った。なお、0.07 mm上の物はホルマリンを再び加え保存した。形態の細部を調べる時はプレパラートを作成し生物顕微鏡で観察した。

1 2 - 4 結果と考察

(1)環境要因

調査時の採集箇所の流速等を表 1 2 - 1 に示した。調査した3地点は流量が少なく、特に最上流部 St.1 は前記したようにきわめて浅く、ほとんど流れていなかった。St.2、3も浅く（St.1 に比べれば水深がある）湯水時には河床一部に分岐した流れがみられるだけであった。

調査時に現場で測定した水質要因を図 1 2 - 2 に示した。St.1 では St.2、3 に比べ水温の変化が小さかった。電気伝導度は 70 ~ 130 μ S/cm と低く水質が良好さを示しており、St.2、3 の値は St.1 より低かった。流下に伴う電気伝導度の減少は St.1 と St.2 の間に流入する支川によるものであろう。溪流の水はほとんど濁りがなく、無味・無臭であった。水質が底生動物群集の制限要因になっているとは思われなかった。

人工林伐採後の流量及び水質の変化については第九、十章を参照のこと。

(2)底生動物群集

ア)調査地の底生動物群集

調査で採集された底生動物（主に水生昆虫幼虫）を表 1 2 - 2 に示した。ムカシトンボ（中生代に栄えた種類の遺存種で学問的に貴重）カタツムリトビケラ（我が国では1科1属1種、絶滅が心配される⁴⁾）、オビカゲロウ（我が国固有種）等貴重な種が生息していた。今回、採集された代表的な種について成書⁵⁻⁹⁾に記述されている生息環境を表 1 2 - 3 に示した。表 1 2 - 2 ではカクツツトビケラ科として示したが、この中にオオカクツツトビケラ幼虫と思われる種が存在したので表 1 2 - 3 にはこの種の生息環境を記した。山地溪流特に源流域の群集であることがわかる。なお、St.3（2004年5月調査）でゲンジボタル幼虫が採集され、ホタルが生息していることがわかった（餌となるカワニナは採集されず）。

網、目視観察では調査全域で魚類はみられなかった。また、タゴガエルの生息が確認された。

イ)地点間比較

St.1 の底生動物の個体数は下流部の St.2、3 に比べ多かった（現存量は計っていないが、個体数と同様 St.1 が多かった）。これは St.1 の河床に多量に堆積している広葉樹・草本の落葉等を底生動物の多くが餌として利用しているためと考えられる。一方、St.2、3 では個体数が少ないのは、次の理由が考えられる。

河床上にスギ落葉（広葉樹と比べ利用価値が劣ると思われる）が見られるものの、St.1 に比べ餌となる有機物量が少ない。

土壌の浸透能力が低い降った雨がすぐ表面流出するので、St.2、3 は雨天時に流量が急激に増加し、平水時には涸渇する。

分類群数（Taxa数）も St.1 が St.2、3 より大きかった。これも餌の多さと環境の安定性に関係しているといえる。しかし、種の多さと各種個体数の均等性を示す多様性指数（Shannon-Wiener関数¹⁰⁾）では St.2、3 が St.1 より大きい傾向にあった。これは、St.1 ではユスリカ幼虫（多数の種が存在する）が総個体数の約 6 割と優占するため低い値となった。

次に各種の分布を述べる。St.1 でのみ採集された種としてミズムシとオニヤンマ、フタツメカワゲラ、ヤマトクロスジヘビトンボ、コエグリトビケラ、ヨツメトビケラ各幼虫が挙げられる。マメシジミの一種、ミヤマシマトビケラ幼虫は St.1 に多く、St.2、3 で僅かに採集されただけであった。ミヤマシマトビケラ幼虫は河床の石の間に網を張って流下する付着藻類や落葉を捕獲してそれを餌としている。St.2、3 においては不安定な流量または餌の欠乏のためミヤマシマトビケラ幼虫が少ないのであろう。一方、St.2、3 で採集されたムカシトンボ、マルヒラタドロムシ各幼虫は St.1 ではみられず、これらは流水中の礫表面を生息の場としている種である。上記の St.1 に多い種は穏やかな流れを好む種で、St.2、

3で採集された種は溪流性の種である。

表 1 2 - 1 底生動物採集箇所の環境要因

2002年6月7日									
	St.1			St.2			St.3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
流速(cm/秒)	-	-	-	13	28	29	21	27	0
水深(cm)	0.5	0.2	0.2	2.2	2.3	3.5	2.3	3.9	8.0
川幅(cm)	25	30	40	30	25	35	40	95	45
底質	泥	泥	泥	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利
各地点で25cm×25cm平方枠で3回採集 - 測定できず									
2002年10月12日									
	St.1			St.2			St.3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
流速(cm/秒)	13			16	16		13		
水深(cm)	3.2			4.8	3.5		3.8		
川幅(cm)	17			38	30		88		
底質	泥	泥	泥	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利
各地点で25cm×25cm平方枠で3回採集									
2003年1月26日 気温4.7°C									
	St.1			St.2			St.3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
流速(cm/秒)	測定不能			12			8		
水深(cm)	測定不能			2.9			4.5		
川幅(cm)	測定不能			17			40		
底質	枯葉・泥	枯葉・泥	枯葉・泥	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利
各地点で25cm×25cm平方枠で3回採集									
2003年6月8日									
	St.1			St.2			St.3		
	①	②	③	流れが二つに分かれる 右岸側 右岸側 左岸側			①	②	③
流速(cm/秒)		測定不能		①	②	③	16	36	11
水深(cm)		1			15			3	
川幅(cm)		16			3			3-4	
底質	小礫・砂利	枯葉・泥	枯葉・泥	小礫・砂利	小礫・砂利	小礫・砂利	礫・砂利	礫・砂利	礫・砂利
各地点で25cm×25cm平方枠で3回採集									
2003年12月23日									
	St.1			St.2			St.3		
	①	②	③	流れが二つに分かれる 右岸側 右岸側 分岐前			①	②	③
流速(cm/秒)	測定不能	-	-	①	②	③	16	5	9
水深(cm)	1	-	-	25	20	27	4	7	3
川幅(cm)	14	-	-	2	4	3	40	35	39
底質	枯葉・泥	-	-	49	48	20	礫・砂利	礫・砂利	礫・砂利
St.1で25cm×25cm平方枠で1回採集 St.2、3で25cm×25cm平方枠で3回採集									
2004年5月12日									
	St.1			St.2			St.3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
流速(cm/秒)	測定不能	-	-	18	8	15	24	12	10
水深(cm)	0.5	-	-	1	3	2	2	2	1
川幅(cm)	30	-	-	20	48	16	25	28	40
底質	枯葉・泥	-	-	砂利・堆積	砂利・堆積	砂利・堆積	礫・砂利	礫・砂利	礫・砂利
St.1で25cm×25cm平方枠で1回採集 St.2、3で25cm×25cm平方枠で3回採集									
2004年11月24日									
	St.1			St.2			St.3		
	①上	②中	③	①上	②中	③下	①上	②中	③下
流速(cm/秒)	測定不能	5	-	3	4	8	32	7	13
水深(cm)	2	2	-	5	8	6	5	6	2
川幅(cm)	27	23	-	34	40	44	43	38	35
底質	枯葉・泥	枯葉・泥	-	砂利・木片	礫・木片	礫	礫・砂利	礫・砂利	礫・砂利
St.1で25cm×25cm平方枠で2回採集 St.2、3で25cm×25cm平方枠で3回採集									
2005年4月24日									
	St.1			St.2			St.3		
	①	②	③	①下	②中	③上	①下	②中	③上
流速(cm/秒)	測定不能	-	-	5	-	-	0	12	10
水深(cm)	1	-	-	5	2	3	7	2	2
川幅(cm)	28	-	-	48	30	44	44	40	33
底質	枯葉・泥	-	-	礫・砂利	礫・砂利	礫・砂利	礫・砂利	礫・砂利	礫・砂利
St.1で25cm×25cm平方枠で1回採集 St.2、3で25cm×25cm平方枠で3回採集									

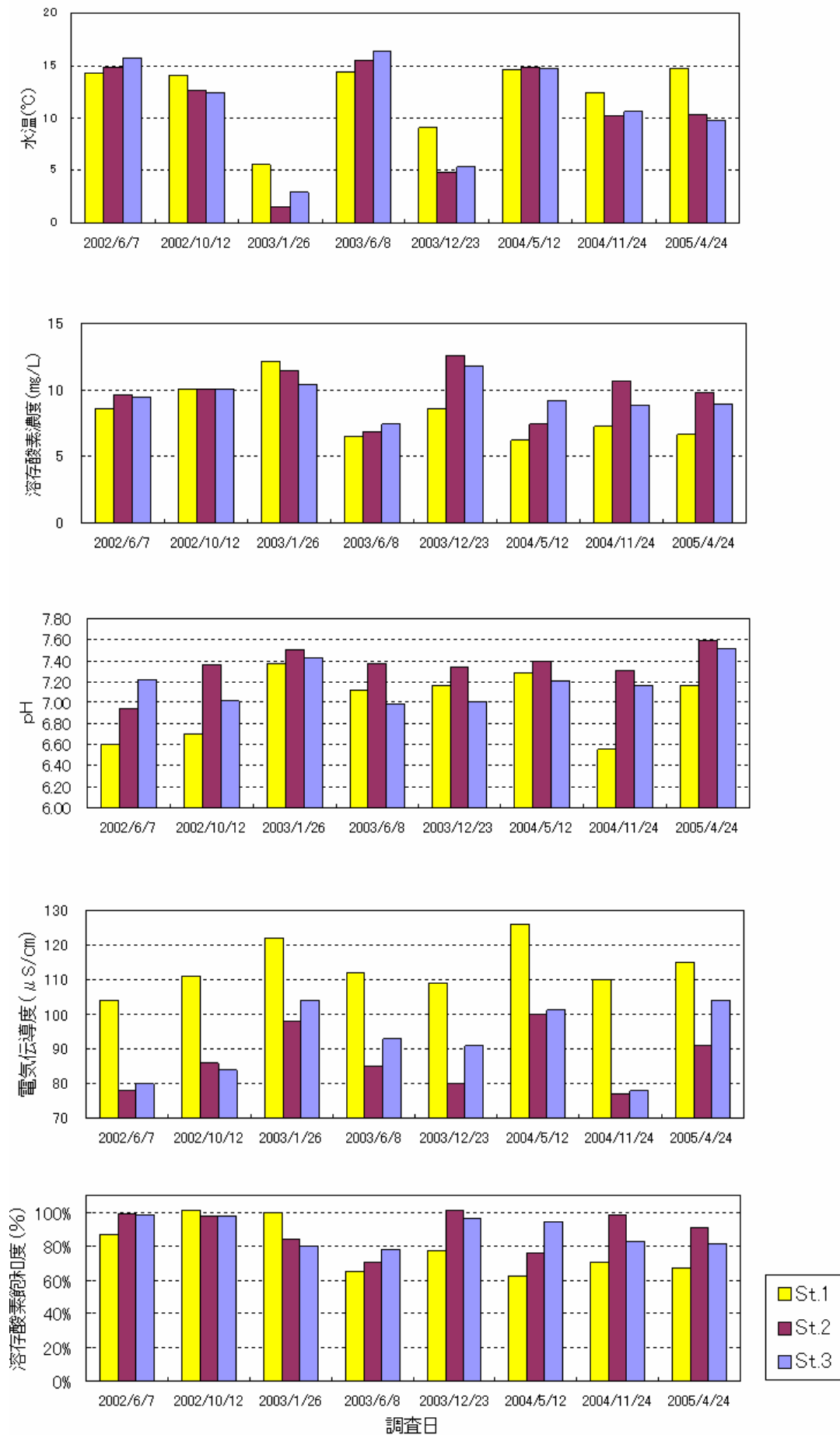


図 1 2 - 2 各調査地点の水質

表 1 2 - 3 五日市樽沢で採集された底生動物各種の生息環境

和名	学名	生息環境
ミズムシ	<i>Asellus hilgendorffii</i>	湖沼、地溝、河川、湧泉などに普通 ^{a)} 。
サワガニ	<i>Geothelphusa dehaani</i>	清水の小川・谷川に産する ^{b)} 。
オビカゲロウ	<i>Bleptus fasciatus</i>	小谷や滝などの水の飛沫を浴びる石上にはい上がって生活 ^{c)} 。山地や丘陵地の源流域に生息 ^{d)} 。
トゲトビロカゲロウ	<i>Paraleptophrebia spinosa</i>	上流域に生息 ^{c)} 。山地溪流から河川中流域に分布 ^{d)} 。
フタスジモンカゲロウ	<i>Ephemera japonica</i>	上・中流域の比較的清冽な水域の砂泥底に生息 ^{c)} 。山地丘陵地域の河川上流部に普通 ^{d)} 。
カワトンボ	<i>Mnais pruinosa</i>	山間の溪流。平地の水生植物が繁茂する流れ ^{c)} 。平地から山地までの清流に生息 ^{d)} 。
ムカシトンボ	<i>Epiophlebia superstes</i>	山間の森林に囲まれた溪流、特に源流の早瀬 ^{c)} 。山間の森林に囲まれた流畔に柔らかい組織をもつ植物が生育する水温の低い溪流に生息 ^{d)} 。
ヒメクロサナエ	<i>Lanthus fujiacus</i>	山間の森林に囲まれた細かい砂底(さらさらした細砂質)の溪流に生息 ^{d)} 。緩やかな流れの植物性沈殿物のある淀みに棲む ^{d)} 。
オニヤンマ	<i>Anotogaster sieboldii</i>	平地から山地に至る小川や湧水・湿地滞水等を含めてきわめて広範な陸水域に生育 ^{c,d)} 。
ヤマトクロスジヘビトンボ	<i>Parachauliodes japonicus</i>	流れ幅の狭い谷にすむ ^{e)} 。
カワトビケラ	Philopotamidae sp.	上流・源流の石礫下面、あるいは細流の岩盤上に生息 ^{c)} 。
ミヤマシマトビケラ	<i>Diplectronea</i> sp.	湧泉流に生息 ^{c)} 。源流から山地溪流に分布 ^{d)} 。
ツメナガナガレトビケラ	<i>Apsilochorema sutshanum</i>	山地溪流に普通 ^{c)} 。
オオカクツトビケラ	<i>Lepidostoma crassicorne</i>	山地細流の落葉堆積部に生息 ^{c)} 。細流や湧水に多い ^{d)} 。
ヨツメトビケラ	<i>Perissoneura paradoxa</i>	山地溪流や細流に多産 ^{d)} 。
カタツムリトビケラ	<i>Helicopsyche yamadai</i>	山地細流に生息 ^{c,d)} 。

- a) 日本淡水生物学(1973)
 b) 新日本動物図鑑(中)(1965)
 c) 日本産水生昆虫検索図説(1985)
 d) 日本産水生昆虫(2005)
 e) 原色日本昆虫図鑑(下)(1977)

ウ)伐採による変化

人工林伐採後でも3地点ともそれぞれほぼ同じ種(分類群)が出現しており、総個体数もほぼ同様であった。源流域の多様な種が伐採後に下部に定着することはなかった。伐採後 St.2、3 で河床にスギ落枝・落葉が増加したが、種の多様化には結びつかなかった。上記したようにスギ落枝・落葉は底生動物の餌として適当でないのかもしれない。伐採によって底生動物群集が変化したとはいえなかった。

伐採後に流量の増加が認められるという調査結果もあり、植生・陸生昆虫相も変化したといわれる(第九、十一、十三章)。しかし、河川の底生動物群集は伐採後約1年という短さでは大きく変化しなかった。その変化は遅れて発現するかもしれない。

なお、St.2、3 調査時に付着藻類も採集した(礫上の5×5 cm²内の藻類をブラシで擦り落とした)。また、一部の試料の落葉等を保存している。今後の底生動物群集の変化を検討する上で重要な項目となるであろう。

12-5 おわりに

2002年6月から2005年4月にかけて五日市樽沢において底生動物について8回の調査を行い、以下のことがわかった。

平水時は流量が少なかった。水が著しく涸渇する時期には流路の河床一部に流れがみられるだけであった。水質が底生動物群集の制限要因になっているとは思われなかった。

Aa型の河川形態で、山地溪流特に源流域の底生動物群集がみられた。

源流部 St.1 の底生動物の個体数、分類群数は下流部の St.2、3 に比べ大きかった。これは餌の多さと環境の安定性が関与していると考えられた。

St.1 に多い種は穏やかな流れを好む種で、St.2、3 で採集された種は流水中の礫表面を生息の場としている種であった。

流域の人工林伐採前と約1年経過後の底生動物群集を比較した。3地点とも大きな変化はみられなかった。

源流部に底生動物の大きな供給源があることから、下部 St.2、3 の環境が良くなれば多くの種は容易に分布を拡げるであろう。人工林に替わり広葉樹が多くなれば、土壌の保水力が増して流量が安定・増加すると予想できる。この流量の安定・増加は底生動物の餌(広葉樹落葉)の増加と伴って底生動物群集の個体数・現存量・多様性の増加をもたらすと予想される。現在は伐採後間もないため、まだ効果が現れていないように思われる。今後も調査を継続する必要がある。

参考文献

- 1) 福岡克也(1987): 森と水の経済学、東洋経済新聞社。
- 2) 四手井綱英(1985): 森林、法政大学出版会。
- 3) 可児藤吉(1970): 可児藤吉全集、全一卷、思索社。
- 4) 朝比奈正二郎編著(1993): 滅びゆく日本の昆虫50種、築地書館。
- 5) 上野益三編著(1973): 日本淡水生物学、北隆館。
- 6) 岡田要他編著(1965): 新日本動物図鑑(中)、北隆館。
- 7) 川合禎次編著(1985): 日本産水生昆虫検索図説、東海大学出版会。
- 8) 川合禎次他編著(2005): 日本産水生昆虫、東海大学出版会。
- 9) 伊藤修四郎他編著(1977): 原色日本昆虫図鑑(下)、保育社。
- 10) Shannon, C.E. and W.Wiener (1949): The Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press.

第13章 昆虫

(樽 良平)

13-1 概要

あきる野市五日市入野樽沢流域は、東西に細長い地形で、標高は200-460mである。

この地はスギ、ヒノキの植林がなされた所で、落葉広葉樹林は琴平神社西北の金毘羅尾根に僅かにのこっている。よって昆虫相は極めて貧弱であった。

調査は、2002年5月から1年目は西部山岳部を中心に行った。この地域は、スギ、ヒノキの植林地帯で、沢に沿って巾4mの未舗装林道が通っている。スギ、ヒノキの林は樹齢60年から70年で全体に日当たりが悪く、林道に僅かばかり日があたる程度である。そのため下草には、シヤガ、ホクチャクソウが一面に生えている。他はタマアジサイが優位を占めている。林道の端には、ヒメコウゾ、コゴメクツギ、マルバクツギ等の灌木が有り、イタドリ、カラムシ等も生えている。よってマルバクツギの他は目立った花もない。今回の調査では、「上樽」とした。

2003及び2004年は主に東部を行った。ここは、舗装された道路を中心に10数軒人家が畑の間に点在し、のどかな桃源郷と言った感じの集落である。家々は、どこも立派な庭があり、植木も豊富で花が絶えない。よって昆虫相は豊富である。こちらを「下樽」とした。

調査方法はピーティング、スイーピングによる採集を実施した。1種2体採集を基本としたが、種によって多数採ったものも多く、2004年末現在で108科364種1005体となっている。

西部山岳部はスギ、ヒノキ林であり、東部は里地で雑木林、畑、庭付き民家が多い地域である。

西部山岳部と東部では昆虫の密度が異なり、採集数でも西部山岳部の方が少なく、1対10の割合であった。

地球温暖化のためか、生息域が南方系の昆虫も見られた。

2008年11月から西部山岳部の伐採の影響で、直射日光が当たるようになった事もあって、越冬種の蝶などが数多く見られ、今後期待がもてそうである。

13-2 調査の内容

今までに採集した昆虫の中で幾つかを述べる。

ヒガシカワトンボ

日本特産のカワトンボの東日本亜種。体は金属光沢の緑色。

翅は透明なものと鮮やかな橙色のものがある。平地から山地の清流で普通に見られるトンボである。

ミヤマカワトンボ

山地の溪流に生息し、均翅亜目では日本一大きい。体は金属光沢の緑色。

翅は赤褐色で後翅の先端近くには濃い帯があるQ

タカネトンボ

丘陵地や低山地の木陰の多い池沼に生息する。

体は緑色の金属光沢をしていて美しいトンボである。

ルリボシャンマ

北方系のトンボで、今までは秋川流域では見ることのあまりなかった種。

黒褐色に黄緑色や瑠璃色の斑紋がある綺麗なトンボである。

アオマツムシ

体はチンチロリンと鳴くマツムシに似ているが、鮮緑色をしていて、樹上で大声でりりり・・・と鳴き、他の虫の声をかき消してしまう賑やかな虫である。

原産地が熱帯アジアで植木の苗木に卵が付いて、明治年間に東京に入ったと言われている帰化昆虫である。

昭島、福生市あたりでは1970年頃から増え始めたが、多摩川でさえぎられ、秋川流域には1976年に入った。そしてその後、爆発的に分布を広げている。

ヨコヅナサシガメ

黒くて大きく光沢があり、目立つサシガメである。

戦後九州で発見されてから分布を広げている虫である。

多摩地区での採集記録は比較的少ないが、最近は特に目が付くほど、数を増している虫の一つである。

ハルゼミ

アカマツの林などに生息するのでマツゼミの名で知られている。

マツの高い細い枝に止まって鳴き、一つが鳴くとそれに合わせ他のセミも鳴きだす。人が近づくと鳴くのを止め、非常に見つけにくいセミである。

今回の調査では、金比羅尾根に僅かに残っているアカマツ林で、鳴き声を確認する事が出来たのみだった。

シマアメンボ

沢の小さなよどみに教頭で群れをなしている小型のアメンボ。

淡黄色に黒いすじがあり、普通ははねが無く飛ぶことが出来ないが、たまに有翅型の個体を見る事もある。

ネグロセンブリ

センブリ属は、あまり馴染みのない虫であるが、ヤマトセンブリがあきる野市横沢に於いて確認されてから、ようやく脚光を浴びるようになった。

センブリは平地の低湿地や池沼に生息する虫で、当地にはかつて田圃だったところが休耕田として残っており、こうした所に生息していると考えられる。

今回の調査では、ネグロセンブリが採集された。

モンキアゲハ

南方系のチョウで、大きく美しい。以前は珍しいチョウの一つであったが、ここ20年前頃からは極普通に見られるようになった。

黒い翅で、後翅の前方外縁寄りに黄白色の紋が目立つ。

ムラサキシジミ

南方系のチョウ。黒地に輝く紫色があり美しい。幼虫はアラカシなどを食べる。

成虫で越冬するため、春かなり早い時期から晩秋まで普通に見られる。

初めて採集した当時は、珍しく手先が震えた程だった。

オオムラサキ

タテハチョウ科で日本一大きく、「国蝶」の名にふさわしい紫色の美しいチョウである。幼虫はエノキの葉を食べ、冬はエノキの根元に降り、落葉の裏で過ごす。

成虫は、カブトムシ、スズメバチ、カナブンなどに混じって樹液を吸いに集まって来る。

ツマグロヒョウモン

南方系のチョウで、以前は「迷蝶」として関東に北上してきた珍しいチョウである。雌の翅紋が特徴で「ツマの黒い豹紋蝶」と名がついている。このチョウも当地で普通に採集出来るようになったのも、温暖化の影響であろうか。

ミスジチョウ

当地では、あまり多くない種である。黒翅に白い点の帯が3本有ることで名がつけられている。幼虫はカエデ類を食べ、冬はその葉を巻いて、その中で越冬する。

アサギマダラ

薄いあさぎ色で優雅で大型のチョウである。ふわりふわりと飛び、花に吸蜜にくる。

ヤマトタマムシ

日本の甲虫類で最も美しい虫である。この翅を張り合わせて作った、法隆寺の玉虫厨子は有名である。

幼虫は、サクラ、エノキ、ケヤキ、カシ等の衰弱木の材を食害する。

ゲンジボタル

平地から低山地の清らかな流れに生息する日本最大のホタルである。

幼虫は、カワニナを主体とする淡水性巻貝を捕食する。

成虫は、年1回6月に発生する。

夜間照明と水質汚染により、生息範囲が狭まっている。

ヘイケボタル

ゲンジボタルに似ているが小型。生態もゲンジボタルに似ているが、止水域に生息する。ヘイケボタルは、かつて何処にでも見られたが、水田の減少と共に生息地を減らし、今では、ゲンジボタルより数が減っている。

ドウボソカミキリ

5、6月頃、山道を歩いていると、タマアジサイの新芽が先の方で折れているのを良く見かける。これはドウボソカミキリの仕業である。

ドウボソカミキリは、タマアジサイの新芽に卵を産むため、このような光景が見られる。成虫は、体長1cm前後で、長い触角をしていて、慣れないと見つけるのが難しい。

ラミーカミキリ

体は黒く、自青色の模様が付いた綺麗な南方系のカミキリである。

ここ10年ばかりで多摩地区に急速に分布を広げている。

ラミーに集まるところから名付けられたが、当地ではカラムシを捕食している。

ルリボシカミキリ

体全体が瑠璃色で黒い星模様があり、美しいカミキリである。

サクラ、ケヤキ、カエデ等の倒木や、切り倒した木などに集まる。

ニワハンミョウ

山道を歩いている時、足元から小さな虫がパッと飛び出す。少し歩くと、又飛び出し前の方に降りる。そして又近づくと再び飛び出して、人の先へ先へと飛んで逃げる。この様子が人に道を教えているようなのでミチオシュと呼んでいる。青、赤、白の模様のある綺麗な虫、ハンミョウである。

ハンミョウは、道路が舗装される前、普通に見られた虫であるが、最近急に数が減って見つけにくい昆虫になった。

ニワハンミョウは、ハンミョウより少し山に入った所にいるので生き残っている。どちらも幼虫は、地表に丸い小さな穴を掘り、アリやクモ等を食べている。

13-3 調査の結果

地域内で採集し標本を作成した昆虫は、108科364種1005個体である。目別の科数及び種数そして個体数の内訳は、下記のとおりである。

目 別	科 数	種 数	個 体 数
イシノミ目	1	1	1
カゲロウ目	3	3	3
トンボ目	6	22	74
ゴキブリ目	1	1	3
カワゲラ目	1	1	8
バッタ目	4	9	12
カメムシ目	17	42	87
シリアゲムシ目	1	3	8
アミメカゲロウ目	4	4	6
トビゲラ目	1	1	2
チョウ目(ガ類)	12	33	55
チョウ目(チョウ類)	8	43	186
コウチュウ目	28	164	500
ハエ目	8	8	16
ハチ目	12	28	42
アリ目	1	1	2
合計	108科	364種	1005個体

あきる野市樽の昆虫
(資料)
目名または科名コード

原尾目(カマアシムシ目)		毛細目(トビゲラ目)	・ 26
線尾目(シミ目)		鱗翅目(チョウ目)	27-34
双尾目(コムシ目)・・・		メイガ科	27
紡脚目(シロアリモドキ目)		シヤクガ科	28
隠翅目(ノミ目)・・・		シヤチホコガ科	29
等翅目(シロアリ目)I・・・		ヤガ科	30
食毛目(ハジラミ目)・・・		ヤママコ科	31
乳目(シラミ目)・・・		スズメガ科	32
総翅目(アザミウマ目)		その他のガ類	33
絶翅目(ジュズヒゲムシ目)		チョウ類	34
イシノミ目	3	鞘翅目(コウチュウ目)	35-45
粘管目(トビムシ目)	4	オサムシ科	35
蝉蝦目(カゲロウ目)	5	ゴミムシ科	36
晴蛤目(トンボ目)	6	クワガタムシ科	37
蛮れん目(ゴキブリ目)	7	コガネムシ科	38
せき細目(カワゲラ目)	8	タマムシ科	39
非翅目(ガロアムシ目)	9	コメツキムシ科	40
蟻蛾目(カマキリ目)	10	ホタル科	41
革翅目(ハサミムシ目)	11	テントウムシ科	42
竹節虫目(ナナフシ目)	12	カミキリムシ科	43
直翅目(バッタ目)	13	ハムシ科	44
嚙虫目(チャタテムシ目)	16	その他	45
半翅目(カメムシ目)	21-23	双翅目(ハエ目)	46
カメムシ類	21	撚翅目(ネジレバネ目)	18
セミ科	22	膜翅目(ハチ目)	49-50
その他	23	アリ科以外	49
長翅目(シリアゲムシ目)	24	アリ科	50
脈翅目(アミメカゲロウ目)	25		

樽の昆虫

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
3	イシノミ	イシノミ	1	2004/7/12	上樽
5	カワカゲロウ	キイロカワカゲロウ	1	2002/7/8	下樽
5	ヒラタカゲロウ	シロタニガワカゲロウ	1	2004/4/26	上樽
5	モンカゲロウ	フタスジモンカゲロウ	1	2004/5/7	下樽
6	アオイトトンボ	アオイトトンボ	1	2003/7/5	下樽
6	アオイトトンボ	オオアオイトトンボ	1	2002/10/16	下樽
6	アオイトトンボ	オオアオイトトンボ	1	2003/10/10	下樽
6	アオイトトンボ	オツネトンボ	1	2004/5/7	上樽
6	アオイトトンボ	コバネアオイトトンボ	1	2003/9/20	下樽
6	オニヤンマ	オニヤンマ	1	2002/8/7	上樽
6	オニヤンマ	オニヤンマ	1	2002/8/15	上樽
6	オニヤンマ	オニヤンマ	1	2002/9/22	下樽
6	オニヤンマ	オニヤンマ	1	2003/8/12	上樽
6	オニヤンマ	オニヤンマ	1	2003/8/7	下樽
6	オニヤンマ	オニヤンマ	2	2003/8/12	下樽
6	オニヤンマ	オニヤンマ	1	2004/8/2 1	上樽
6	カワトンボ	ハグロトンボ	1	2002/7/21	下樽
6	カワトンボ	ヒガシカワトンボ	2	2002/5/14	上樽
6	カワトンボ	ヒガシカワトンボ	2	2002/5/3	下樽
6	カワトンボ	ヒガシカワトンボ	4	2003/5/20	下樽
6	カワトンボ	ヒガシカワトンボ	1	2004/5/7	上樽
6	カワトンボ	ヒガシカワトンボ	1	2004/5/12	上樽
6	カワトンボ	ヒガシカワトンボ	2	2004/5/25	下樽
6	カワトンボ	ヒガシカワトンボ	3	2004/5/26	上樽
6	カワトンボ	ヒガシカワトンボ	1	2004/6/12	下樽
6	カワトンボ	ヒガシカワトンボ	1	2004/6/13	下樽
6	カワトンボ	ミヤマカワトンボ	1	2003/5/29	上樽
6	カワトンボ	ミヤマカワトンボ	1	2003/6/30	下樽
6	カワトンボ	ミヤマカワトンボ	1	2003/8/12	下樽
6	カワトンボ	ミヤマカワトンボ	2	2003/8/12	下樽
6	サナエトンボ	ダビドサナエ	1	2004/5/26	上樽
6	サナエトンボ	ヒメクロサナエ	1	2004/5/26	上樽
6	トンボ	アキアカネ	1	2002/8/31	上樽
6	トンボ	アキアカネ	2	2002/8/27	下樽
6	トンボ	アキアカネ	1	2003/8/12	下樽
6	トンボ	アキアカネ	3	2004/10/2	上樽
6	トンボ	ウスバキトンボ	1	2002/8/27	下樽
6	トンボ	クスバキトンボ	2	2004/7/30	下樽
6	トンボ	オオシオカラトンボ	2	2002/8/15	下樽
6	トンボ	オオシオカラトンボ	1	2003/6/30	下樽
6	トンボ	オオシオカラトンボ	2	2003/7/27	下樽
6	トンボ	オオシオカラトンボ	1	2004/6/13	下樽
6	トンボ	シオカラトンボ	1	2004/8/21	上樽
6	トンボ	シオヤトンボ	1	2003/6/19	下樽
6	トンボ	シオヤトンボ	1	2004/5/7	下樽
6	トンボ	タカネトンボ	1	2003/7/18	下樽
6	トンボ	ナツアカネ	2	2002/8/31	上樽
6	トンボ	マユタテアカネ	1	2003/9/28	下樽
6	トンボ	マユタチアカネ	1	2004/8/7	下樽
6	トンボ	ミヤマアカネ	1	2002/8/15	下樽
6	トンボ	ミヤマアカネ	1	2002/8/27	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
6	トンボ	ミヤマアカネ	1	2004/8/26	上樽
6	トンボ	ミヤマアカネ	1	2004/8/4	上樽
6	トンボ	ミヤマアカネ	1	2004/8/21	上樽
6	トンボ	リスカアカネ	1	2003/8/6	下樽
6	ヤンマ	ミ/レンヤンマ	1	2002/9/22	下樽
6	ヤンマ	ミルンヤンマ	2	2002/9/23	下樽
6	ヤンマ	ミルンヤンマ	1	2003/10/5	下樽
6	ヤンマ	ミルンヤンマ	1	2003/8/12	上樽
6	ヤンマ	ルリボシヤンマ	1	2002/9/11	下樽
7	ゴキブリ	クロゴキブリ	1	2004/7/31	下樽
7	ゴキブリ	クロゴキブリ	1	2004/8/9	下樽
7	ゴキブリ	クロゴキブリ	1	2004/8/13	下樽
8	オナシカワゲラ	オナシカワゲラ	2	2002/6/7	上樽
8	オナシカワゲラ	オナシカワゲラ	1	2002/11/29	下樽
8	オナシカワゲラ	オナシカワゲラ	1	2003/5/4	下樽
8	オナシカワゲラ	オナシカワゲラ	2	2004/4/8	下樽
8	オナシカワゲラ	オナシカワゲラ	2	2004/4/26	下樽
13	キリギリス	アシグロツユムシ	1	2002/8/27	上樽
13	キリギリス	アシグロツユムシ	1	2004/8/26	上樽
13	キリギリス	ウマオイ	1	2002/11/10	下樽
13	キリギリス	ツユムシ	1	2002/8/27	上樽
13	コオロギ	アオマツムシ	1	2003/9/29	下樽
13	バッタ	イボバッタ	1	2004/7/12	上樽
13	バッタ	ショウリョウバッタ	1	2003/8/29	下樽
13	バッタ	ショウリョウバッタ	1	2004/10/2	上樽
13	バッタ	ダイミョウバッタ	1	2004/9/12	上樽
13	バッタ	マダラバッタ	2	2002/8/3	上樽
13	ヒシ バッタ	ヒシバック	1	2002/5/24	上樽
21	カメムシ	エビイロカメムシ	1	2003/6/30	上樽
21	カメムシ	クサギカメムシ	2	2002/11/29	上樽
21	カメムシ	トゲカメムシ	1	2003/7/21	下樽
21	カメムシ	ヒメチャバネアオカメムシ	1	2003/9/4	下樽
21	カメムシ	ヒメナガメ	1	2004/8/22	下樽
21	カメムシ	マルシラホシカメムシ	1	2002/5/15	下樽
21	サシガメ	アカシマサシガメ	1	2003/5/5	下樽
21	サシガメ	アカヘリサシガメ	1	2003/7/5	下樽
21	サシガメ	アカヘリサシガメ	1	2003/8/2	下樽
21	サシガメ	オオトピサシガメ	1	2004/9/10	下樽
21	サシガメ	クビアカサシガメ	1	2003/7/11	下樽
21	サシガメ	クビグロアカサシガメ	1	2004/4/17	上樽
21	サシガメ	シマサシガメ	1	2002/6/7	上樽
21	サシガメ	シマサシガメ	1	2002/7/25	下樽
21	サシガメ	シマサシガメ	2	2004/7/21	下樽
21	サシガメ	ヤニサシガメ	1	2003/7/24	下樽
21	サシガメ	ヤニサシガメ	1	2004/5/11	上樽
21	サシガメ	ヨコヅナサシガメ	1	2003/6/9	下樽
21	ツノカメムシ	エサキモンキツノカメムシ	1	2003/8/18	下樽
21	ナガカメムシ	オオメダカナガカメムシ	1	2003/8/12	上樽
21	ナガカメムシ	シロヘリナガカメムシ	6	2004/6/17	下樽
21	ナガカメムシ	ムラサキナガカメムシ	1	2002/6/7	上樽
21	ヒラタカメムシ	オオヒラタカメムシ	1	2004/5/26	上樽
21	ヘリカメムシ	オオクモヘリカメムシ	2	2004/8/26	上樽
21	ヘリカメムシ	オオツマキヘリカメムシ	2	2002/5/24	上樽
21	ヘリカメムシ	オオツマキヘリカメムシ	1	2004/5/1	上樽
21	ヘリカメムシ	オオツマキヘリカメムシ	1	2004/5/14	下樽
21	ヘリカメムシ	クモヘリカメムシ	1	2003/7/16	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
21	ヘリカメムシ	ハラビロヘリカメムシ	1	2003/8/18	下樽
21	ヘリカメムシ	ヒメハリカメムシ	1	2003/6/7	下樽
21	ヘリカメムシ	ヒメハリカメムシ	1	2003/7/23	下樽
21	ヘリカメムシ	ホシハラビロヘリカメムシ	1	2003/8/6	下樽
21	マキバサシガメ	アカマキバサシガメ	1	2004/4/26	下樽
21	マキバサシガメ	アカマキバサシガメ	1	2004/5/7	上樽
21	マキバサシガメ	ペニモンマキバサシガメ	1	2002/5/24	上樽
21	マキバサシガメ	ペニモンマキバサシガメ	1	2002/6/7	上樽
21	マルカメムシ	マルカメムシ	2	2002/11/29	上樽
21	マルカメムシ	マルカメムシ	1	2003/7/31	下樽
22	セミ	アブラゼミ	3	2002/8/7	下樽
22	セミ	アブラゼミ	1	2003/8/1	下樽
22	セミ	アブラゼミ	1	2003/8/2	下樽
22	セミ	アブラゼミ	1	2004/7/13	下樽
22	セミ	ニイニイゼミ	1	2002/8/20	下樽
22	セミ	ヒグラシ	1	2002/7/14	下樽
22	セミ	ヒグラシ	1	2002/8/7	下樽
22	セミ	ヒグラシ	1	2003/7/23	下樽
22	セミ	ヒグラシ	1	2003/7/31	下樽
22	セミ	ヒグラシ	1	2003/8/10	下樽
22	セミ	ヒグラシ	1	2004/7/7	下樽
22	セミ	ミンミンゼミ	1	2002/8/7	下樽
22	セミ	ミンミンゼミ	1	2002/9/10	下樽
22	セミ	ミンミンゼミ	1	2003/8/11	下樽
22	セミ	ミンミンゼミ	1	2003/8/12	下樽
22	セミ	ミンミンゼミ	1	2003/9/27	下樽
23	アメンボ	シマアメンボ	2	2002/10/12	上樽
23	アワフキムシ	テングアワフキ	1	2002/6/7	上樽
23	アワフキムシ	チングアワフキ	1	2002/6/19	上樽
23	オオヨコバイ	ツマグロオオ・ヨコバイ	2	2002/5/24	上樽
23	オオヨコバイ	ツマグロオオヨコバイ	2	2003/9/29	下樽
23	ノ、ゴロモ	スケバハゴロモ	2	2003/8/17	下樽
23	ノ、ゴロモ	ベッコウハゴロモ	2	2003/8/12	下樽
23	ハゴロモ	ベッコウハゴロモ	2	2004/8/26	上樽
23	ハネナガウンカ	アカハネナガウンカ	1	2003/8/13	下樽
23	マルウンカ	カタビロクサビウンカ	1	2004/6/3	下樽
23	マルクンカ	マルクンカ	2	2002/6/7	上樽
23	マルウンカ	マルクンカ	1	2003/6/30	上樽
23	ミミズク	ミミズク	1	2003/10/1	下樽
23	メミズムシ	メミズムシ	1	2004/4/8	下樽
24	シリアゲムシ	シバカワシリアゲ	1	2004/4/26	上樽
24	シリアゲムシ	シリアゲムシ	1	2002/5/28	下樽
24	シリアゲムシ	シリアゲムシ	1	2002/6/3	下樽
24	シリアゲムシ	シリアゲムシ	2	2003/5/24	下樽
24	シリアゲムシ	シリアゲムシ	1	2004/5/30	下樽
24	シリアゲムシ	シリアゲムシ	1	2004/6/13	下樽
24	シリアゲムシ	ベッコウシリアゲ	1	2003/9/2	下樽
25	ウスバカゲロウ	クスバカゲロウ(幼)	1	2002/10/12	上樽
25	カマキリモドキ	カマキリモドキ	1	2002/7/24	上樽
25	カマキリモ・ドキ	カマキリモドキ	1	2003/9/24	下樽
25	センブリ	ネグロセンブリ	1	2004/4/22	下樽
25	セロバカゲロウ	スカシヒロバカゲロウ	1	2004/6/16	上樽
25	ヒロバカゲロウ	スカシヒロバカゲロウ	1	2002/5/24	上樽
26	フトヒゲトビケラ	ヨツメトビケラ	1	2003/5/29	上樽
26	フトヒゲトビケラ	ヨツメトビケラ	1	2004/5/30	下樽
28	シヤクガ	アシプトチズモンアオシヤク	1	2004/8/26	上樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
28	シヤクガ	ウスキツバメエダシヤク	1	2003/9/15	下樽
28	シヤクガ	クスキツバメユダシヤク	1	2003/9/23	下樽
28	シヤクガ	オオアヤシヤク	1	2003/6/16	下樽
28	シヤクガ	カギバアオシヤク	1	2003/9/6	下樽
28	シヤクガ	キガシラオオナミシヤク	1	2002/6/19	上樽
28	シヤクガ	ギンスジアオシヤク	1	2004/6/3	下樽
28	シヤクガ	シロオビクロナミシヤク	1	2002/5/24	上樽
28	シヤクガ	シロオビクロナミシヤク	1	2003/6/3	下樽
28	シヤクガ	シロツバメユダシヤク	1	2002/9/15	上樽
28	シヤクガ	シロツバメエダシヤク	1	2002/10/8	下樽
28	シヤクガ	シロホソオビタロナミシヤク	3	2002/9/15	上樽
28	シヤクガ	シロホソオビクロナミシヤク	2	2004/5/26	上樽
28	シヤクガ	ユウマグラニダシヤク	1	2002/5/16	下樽
28	シヤクガ	ユウマダラエダシヤク	1	2003/9/6	下樽
29	シヤチホコガ	モンクロシヤチホコ	1	2002/8/29	下樽
30	ヤガ	アケピコノハ	1	2004/5/12	上樽
30	ヤガ	クロキシタアツパ	1	2002/6/7	上樽
30	ヤガ	トモエガ	1	2004/9/27	下樽
30	ヤガ	フクラスズメ	1	2004/7/10	下樽
30	ヤガ	ムクゲコノハ	1	2004/7/10	下樽
32	スズメガ	オカースカシバ	1	2002/8/15	下樽
32	スズメガ	オオスカシバ	1	2004/7/27	下樽
32	スズメガ	オオスカシソミ	1	2004/7/15	下樽
32	スズメガ	ベニスズメ	1	2003/7/29	下樽
32	スズメガ	ホシヒメホクジャク	1	2004/4/22	下樽
33	イカリ・モンガ	イカリモンガ	1	2003/6/22	下樽
33	カギバ	ウスギヌカギバ	1	2004/5/25	下樽
33	カギバ	オオカギバ	1	2002/6/7	上樽
33	カギバ	オオカギバ	1	2003/9/2	下樽
33	カギバ	オオ・カギバ	1	2004/6/12	下樽
33	カギバ	クロスジカギバ	1	2003/9/13	下樽
33	カノコガ	カノコガ	2	2003/8/28	下樽
33	カノコガ	カノコガ	1	2004/6/3	下樽
33	トラガ	コトラガ	1	2004/6/16	下樽
33	ヒトリガ	スジモ・ンヒトリ	1	2004/6/9	下樽
33	ヒトリガ	マエキクロホソバ	1	2004/5/30	下樽
33	ヒトリガ	マユキクロホソバ	1	2004/6/3	下樽
33	ヒトリガ	ヨツボシホソバ	1	2002/10/12	下樽
33	フタオガ	キンモ・ンガ	1	2003/6/3	下樽
33	フタオガ	キンJモンガ	1	2003/9/14	下樽
33	マダラガ	キスジホソマダラ	1	2002/6/3	下樽
33	マダラガ	キスジホソマダラ	1	2004/6/3	下樽
33	マダラガ	ホタルガ	1	2003/6/30	上樽
33	マダラガ	ホタルガ	1	2003/9/11	下樽
33	マダラガ	ホタルガ	1	2003/9/13	下樽
33	マダラガ	ホタルガ	1	2004/6/16	下樽
33	マダラガ	ホタルガ	1	2004/9/15	下樽
33	マダラガ	ヤホシホソマダラ	1	2004/9/12	下樽
33	マドガ	マドガ	1	2002/5/24	上樽
33	マドガ	マドガ	1	2003/5/30	下樽
34	アゲハチョウ	アオスジアゲハ	1	2002/5/24	上樽
34	アゲハチョウ	アオスジアゲハ	2	2002/9/22	下樽
34	アゲハチョウ	アオスジアゲハ	1	2003/5/20	下樽
34	アゲハチョウ	クスバシロチョウ	1	2002/5/3	下樽
34	アゲハチョウ	ウスバシロチョウ	3	2002/5/15	下樽
34	アゲハチョウ	ウスバシロチョウ	2	2003/5/20	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
34	アゲハチョウ	ウスバシロチョウ	1	2003/5/30	下樽
34	アゲハチョウ	オナガアゲハ	1	2003/9/1	下樽
34	アゲハチョウ	カラスアゲハ	2	2002/8/27	上樽
34	アゲハチョウ	カラスアゲハ	1	2003/4/26	下樽
34	アゲハチョウ	カラスアゲハ	1	2003/7/19	下樽
34	アゲハチョウ	カラスアゲハ	1	2003/8/6	下樽
34	アゲハチョウ	キアゲハ	1	2002/8/27	下樽
34	アゲハチョウ	キアゲハ	1	2003/8/27	下樽
34	アゲハチョウ	キアゲハ	1	2004/6/5	下樽
34	アゲハチョウ	キアゲハ	1	2004/7/27	下樽
34	アゲハチョウ	クロアゲハ	1	2003/6/3	下樽
34	アゲハチョウ	クロアゲハ	1	2003/8/27	下樽
34	アゲハチョウ	クロアゲハ	2	2003/9/2	下樽
34	アゲハチョウ	クロアゲハ	1	2003/9/6	下樽
34	アゲハチョウ	ナミアゲハ	1	2002/6/7	上樽
34	アゲハチョウ	ナミアゲハ	1	2003/5/30	下樽
34	アゲハチョウ	ナミアゲハ	1	2003/6/9	下樽
34	アゲハチョウ	ナミアゲハ	1	2003/6/8	下樽
34	アゲハチョウ	ナミアゲハ	1	2003/8/1	下樽
34	アゲハチョウ	ナミアゲハ	1	2003/9/17	下樽
34	アゲハチョウ	ナミアゲハ	1	2004/9/12	上樽
34	アゲハチョウ	モンキアゲハ	1	2002/8/31	上樽
34	アゲハチョウ	モンキアゲハ	1	2003/6/8	下樽
34	アゲハチョウ	モンキアゲハ	1	2003/8/12	上樽
34	シジミチョウ	ウラギンシジミ	2	2002/10/8	上樽
34	シジミチョウ	ウラギンシジミ	1	2003/9/2	下樽
34	シジミチョウ	ウラギンシジミ	1	2004/7/11	下樽
34	シジミチョウ	ツバメシジミ	1	2002/6/19	上樽
34	シジミチョウ	ペニシジミ	1	2003/7/5	下樽
34	シジミチョウ	ペニシジミ	1	2003/9/2	下樽
34	シジミチョウ	ペニシジミ	1	2004/9/14	下樽
34	シジミチョウ	ムラサキシジミ	1	2002/8/7	上樽
34	シジミチョウ	ムラサキシジミ	1	2002/9/23	下樽
34	シジミチョウ	ムラサキシジミ	1	2004/10/2	上樽
34	シジミチョウ	ムラサキシジミ	1	2004/11/27	下樽
34	シジミチョウ	ヤマトシジミ	1	2002/8/7	上樽
34	シジミチョウ	ヤマトシジミ	1	2002/8/27	上樽
34	シジミチョウ	ヤマトシジミ	1	2002/9/15	上樽
34	シジミチョウ	ヤマトシジミ	1	2002/8/15	下樽
34	シジミチョウ	ルリシジミ	1	2002/5/14	上樽
34	ジャノメチョウ	クロヒカゲ	1	2002/5/14	上樽
34	ジャノメチョウ	クロヒカゲ	1	2002/8/27	上樽
34	ジャノメチョウ	クロヒカゲ	1	2002/7/21	下樽
34	ジャノメチョウ	クロヒカゲ	1	2002/8/29	下樽
34	ジャノメチョウ	クロヒカゲ	1	2003/5/29	上樽
34	ジャノメチョウ	クロヒカゲ	1	2003/6/1	下樽
34	ジャノメチョウ	クロヒカゲ	1	2003/6/30	下樽
34	ジャノメチョウ	クロヒカゲ	1	2004/7/20	下樽
34	ジャノメチョウ	コジャノメ	1	2002/5/14	上樽
34	ジャノメチョウ	コジャノメ	1	2002/6/19	上樽
34	ジャノメチョウ	コジャノメ	1	2004/5/7	下樽
34	ジャノメチョウ	サトキマダラヒカゲ	1	2002/5/15	下樽
34	ジャノメチョウ	サトキマダラヒカゲ	1	2003/5/30	下樽
34	ジャノメチョウ	ヒメウラナミジャノメ	1	2002/6/3	下樽
34	ジャノメチョウ	ヒメウラナミジャノメ	1	2002/8/15	下樽
34	ジャノメチョウ	ヒメウラナミジャノメ	1	2004/8/27	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
34	シロチョウ	キチョウ	1	2002/6/7	上樽
34	シロチョウ	キチョウ	1	2002/6/2	下樽
34	シロチョウ	キチョウ	1	2002/6/7	下樽
34	シロチョウ	キチョウ	1	2002/7/2	下樽
34	シロチョウ	キチョウ	1	2002/7/18	下樽
34	シロチョウ	キチョウ	1	2002/10/16	下樽
34	シロチョウ	キチョウ	1	2003/7/25	下樽
34	シロチョウ	キチョウ	1	2004/5/26	上樽
34	シロチョウ	スジグロチョウ	2	2002/6/7	上樽
34	シロチョウ	スジグロチョウ	1	2003/3/19	下樽
34	シロチョウ	ツマキチョウ	1	2002/5/27	下樽
34	シロチョウ	ツマキチョウ	1	2004/5/1 1	上樽
34	シロチョウ	ツマキチョウ	1	2004/5/22	下樽
34	シロチョウ	モンキチョウ	2	2002/6/7	下樽
34	シロチョウ	モンキチョウ	1	2004/5/29	下樽
34	シロチョウ	モンシロチョウ	1	2002/5/1	下樽
34	シロチョウ	モンシロチョウ	1	2002/5/23	下樽
34	シロチョウ	モンシロチョウ	2	2002/6/7	下樽
34	シロチョウ	モンシロチョウ	1	2003/3/4	下樽
34	シロチョウ	モンシロチョウ	2	2003/4/24	下樽
34	セセリチョウ	アオバセセリ	1	2003/5/13	下樽
34	セセリチョウ	アオバセセリ	1	2004/4/26	下樽
34	セセリチョウ	イチモンジセセリ	1	2002/8/15	上樽
34	セセリチョウ	イチモンジセセリ	1	2002/8/27	下樽
34	セセリチョウ	イチモンジセセリ	1	2002/9/22	下樽
34	セセリチョウ	イチモンジセセリ	1	2003/8/25	下樽
34	セセリチョウ	イチモンジセセリ	3	2003/9/2	下樽
34	セセリチョウ	イチモンジセセリ	1	2004/8/26	上樽
34	セセリチョウ	イチモンジセセリ	1	2004/8/25	下樽
34	セセリチョウ	オオチャバネセセリ	1	2004/9/13	下樽
34	セセリチョウ	ダイミョウセセリ	1	2002/5/24	上樽
34	セセリチョウ	ダイミョウセセリ	1	2002/5/21	下樽
34	セセリチョウ	ダイミョウセセリ	1	2002/5/28	下樽
34	セセリチョウ	ダイミョウセセリ	1	2002/6/4	下樽
34	セセリチョウ	ダイミョウセセリ	1	2003/5/30	下樽
34	セセリチョウ	ダイミョウセセリ	1	2003/7/25	下樽
34	セセリチョウ	ダイミョウセセリ	1	2003/7/18	下樽
34	セセリチョウ	ダイミョウセセリ	1	2004/5/25	下樽
34	セセリチョウ	ダイミョウセセリ	1	2004/9/12	下樽
34	セセリチョウ	ヘリグロチャバネセセリ	2	2002/6/7	上樽
34	セセリチョウ	ヘリグロチャバネセセリ	1	2003/8/17	下樽
34	セセリチョウ	ヘリグロチャバネセセリ	1	2003/8/18	下樽
34	セセリチョウ	ヘリグロチャバネセセリ	1	2004/8/26	上樽
34	タテハチョウ	アカタテハ	1	2002/5/14	上樽
34	タテハチョウ	アカタテハ	1	2002/9/11	下樽
34	タテハチョウ	アカタテハ	1	2003/3/24	下樽
34	タテハチョウ	アカタテハ	1	2003/4/26	下樽
34	タテハチョウ	アカタテハ	1	2003/10/20	下樽
34	タテハチョウ	イチモンジチョウ	1	2002/6/2	上樽
34	タテハチョウ	イチモンジチョウ	1	2002/6/7	上樽
34	タテハチョウ	イチモンジチョウ	1	2002/8/31	上樽
34	タテハチョウ	イチモンジチョウ	1	2003/5/29	上樽
34	タテハチョウ	イチモンジチョウ	1	2003/6/1	下樽
34	タテハチョウ	イチモンジチョウ	1	2003/7/18	下樽
34	タテハチョウ	イチモンジチョウ	1	2003/8/21	下樽
34	タテハチョウ	イチモンジチョウ	2	2004/5/26	上樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
34	タテハチョウ	イチモンジチョウ	1	2004/6/20	下樽
34	タテハチョウ	オオムラサキ	1	2004/7/7	下樽
34	タテハチョウ	キタテハ	1	2002/9/23	下樽
34	タテハチョウ	キタテハ	1	2002/11/20	下樽
34	タテハチョウ	キタテハ	1	2003/3/27	下樽
34	タテハチョウ	キタテハ	1	2003/9/15	下樽
34	タテハチョウ	キタテハ	1	2003/10/19	下樽
34	タテハチョウ	キタテハ	1	2004/5/27	下樽
34	タテハチョウ	キタテハ	1	2004/5/12	上樽
34	タテハチョウ	キタテハ	1	2004/9/14	下樽
34	タテハチョウ	コムスジ	2	2002/5/14	上樽
34	タテハチョウ	コムスジ	1	2003/9/6	下樽
34	タテハチョウ	コムスジ	1	2004/5/26	上樽
34	タテハチョウ	コムスジ	1	2004/8/25	下樽
34	タテハチョウ	サカハチチョウ	2	2002/5/24	上樽
34	タテハチョウ	サカハチチョウ	1	2002/7/14	上樽
34	タテハチョウ	サカハチチョウ	1	2002/8/7	上樽
34	タテハチョウ	サカハチチョウ	1	2003/5/29	上樽
34	タテハチョウ	サカハチチョウ	1	2003/9/11	下樽
34	タテハチョウ	サカハチチョウ	1	2004/4/23	下樽
34	タテハチョウ	サカハチチョウ	1	2004/5/25	下樽
34	タテハチョウ	サカハチチョウ	1	2004/5/26	上樽
34	タテハチョウ	サカハチチョウ	1	2004/6/21	下樽
34	タテハチョウ	スミナガシ	1	2003/5/8	下樽
34	タテハチョウ	スミナガシ	1	2003/8/30	下樽
34	タテハチョウ	ツマグロヒョウモン	1	2002/6/10	下樽
34	タテハチョウ	ツマグロヒョウモン	1	2002/7/21	下樽
34	タテハチョウ	ツマグロヒョウモン	1	2003/9/10	下樽
34	タテハチョウ	ツマグロヒョウモン	1	2003/9/17	下樽
34	タテハチョウ	ツマグロヒョウモン	1	2003/9/20	下樽
34	タテハチョウ	ヒメアカタテハ	1	2003/9/28	下樽
34	タテハチョウ	ヒメアカタテハ	1	2004/9/13	下樽
34	タテハチョウ	ミスジチョウ	1	2002/5/21	下樽
34	タテハチョウ	ミスジチョウ	1	2002/6/9	下樽
34	タテハチョウ	ミドリヒョウモン	2	2003/9/17	下樽
34	タテハチョウ	ミドリヒョウモン	2	2003/9/6	下樽
34	タテハチョウ	ミドリヒョウモン	1	2003/9/13	下樽
34	タテハチョウ	ミドリヒョウモン	1	2004/9/12	下樽
34	タテハチョウ	ミドリヒョウモン	2	2004/9/16	下樽
34	タテハチョウ	メスグロヒョウモン	1	2004/9/12	下樽
34	タテハチョウ	ルリタテハ	1	2003/3/26	下樽
34	テングチョウ	テングチョウ	1	2002/10/12	下樽
34	テングチョウ	テングチョウ	1	2003/3/24	下樽
34	テンダチョウ	テンダチョウ	1	2003/10/20	下樽
34	マダラチョウ	アサギマダラ	1	2003/9/24	下樽
34	マダラチョウ	アサギマダラ	1	2003/10/1	下樽
34	マダラチョウ	アサギマダラ	1	2004/5/21	下樽
34	マダラチョウ	アサギマダラ	1	2004/10/2	上樽
35	オサムシ	アオオサムシ	1	2002/5/24	上樽
35	オサムシ	アオオサムシ	1	2002/5/15	下樽
35	オサムシ	アオオサムシ	1	2004/5/12	上樽
35	オサムシ	アオオサムシ	2	2004/7/9	下樽
35	オサムシ	エサキオサムシ	1	2004/6/16	上樽
35	オサムシ	ヒメマイマイカブリ	1	2004/5/1 1	下樽
36	ゴミムシ	アトボシアオゴミムシ	1	2002/5/24	上樽
36	ゴミムシ	アトボシアオ・ゴミムシ	2	2002/6/7	上樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
36	ゴミムシ	オオゴミムシ	1	2003/5/25	下樽
36	ゴミムシ	マルガタゴミムシ	4	2003/6/2 7	下樽
36	ゴミムシ	マルガタゴミムシ	1	2004/4/17	下樽
37	クワガタムシ	コクワガタ	1	2002/6/10	下樽
37	クワガタムシ	コクワガタ	1	2002/8/10	下樽
37	クワガタムシ	コクワガタ	1	2002/8/15	下樽
37	クワガタムシ	コクワガタ	2	2003/9/4	下樽
37	クワガタムシ	コクワガタ	1	2004/7/8	下樽
37	クワガタムシ	スジクワガタ	1	2004/7/7	上樽
37	クワガタムシ	スジクワガタ	1	2004/7/12	下樽
38	コガネムシ	オオスジコガネ	1	2002/8/15	上樽
38	コガネムシ	オオスジコガネ	1	2002/7/31	下樽
38	コガネムシ	オオスジコガネ	1	2002/8/15	下樽
38	コガネムシ	オオスジコガネ	1	2004/7/6	下樽
38	コガネムシ	カナブン	1	2002/7/12	下樽
38	コガネムシ	カナブン	1	2002/7/14	下樽
38	コガネムシ	カブトムシ	1	2003/8/29	下樽
38	コガネムシ	カブトムシ	3	2004/7/8	下樽
38	コガネムシ	カブトムシ	3	2004/7/9	下樽
38	コガネムシ	クロコガネ	1	2003/5/7	下樽
38	コガネムシ	クロコガネ	1	2003/7/3	下樽
38	コガネムシ	クロコガネ	1	2003/7/7	下樽
38	コガネムシ	クロハナムグリ	1	2004/5/26	上樽
38	コガネムシ	クロハナムグリ	1	2004/5/26	下樽
38	コガネムシ	クロマルエンマコガネ	1	2003/5/3	下樽
38	コガネムシ	クロマルエンマコガネ	1	2003/6/16	下樽
38	コガネムシ	クロマルエンマコガネ	1	2004/7/14	下樽
38	コガネムシ	コアオハナムグリ	2	2002/5/14	上樽
38	コガネムシ	コアオハナムグリ	1	2002/7/7	下樽
38	コガネムシ	コアオハナムグリ	1	2003/5/4	下樽
38	コガネムシ	コアオハナムグリ	2	2003/9/6	下樽
38	コガネムシ	コアオハナムグリ	1	2004/5/21	下樽
38	コガネムシ	コカブト	1	2004/6/1 7	下樽
38	コガネムシ	シラホシハナムグリ	1	2003/6/12	下樽
38	コガネムシ	セマダラコガネ	1	2002/6/22	下樽
38	コガネムシ	セマダラコガネ	1	2003/7/19	下樽
38	コガネムシ	セマダラコガネ	1	2003/7/21	下樽
38	コガネムシ	セマダラコガネ	1	2004/7/8	下樽
38	コガネムシ	センチコガネ	1	2002/11/1	下樽
38	コガネムシ	センチコガネ	1	2003/9/13	下樽
38	コガネムシ	センチコガネ	1	2004/9/10	下樽
38	コガネムシ	ドゥガネブイブイ	1	2002/7/14	上樽
38	コガネムシ	ナガチャコガネ	1	2003/7/7	下樽
38	コガネムシ	ナガチャコガネ	1	2004/7/3	下樽
38	コガネムシ	ヒゲナガヒロウドコガネ	1	2003/6/27	下樽
38	コガネムシ	ヒメコエンマコガネ	1	2003/5/30	下樽
38	コガネムシ	ヒメスジコガネ	1	2002/7/14	上樽
38	コガネムシ	ヒメスジコガネ	1	2002/7/18	上樽
38	コガネムシ	ヒメヒロウドコガネ	1	2002/6/3	下樽
38	コガネムシ	ヒラタハナムグリ	1	2004/4/29	下樽
38	コガネムシ	ヒラタハナムグリ	3	2004/5/21	下樽
38	コガネムシ	ヒロウドコガネ	1	2003/7/7	下樽
38	コガネムシ	マメコガネ	1	2002/7/14	上樽
38	コガネムシ	マメコガネ	1	2002/7/18	上樽
38	コガネムシ	マメコガネ	1	2002/7/31	下樽
38	コガネムシ	マメコガネ	2	2003/7/21	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
38	コガネムシ	マルエンマコガネ	1	2002/7/13	下樽
38	コガネムシ	マルエンマコガネ	1	2004/5/30	下樽
39	タマムシ	ウバタマムシ	1	2004/4/8	下樽
39	タマムシ	クロタマムシ	1	2002/8/7	下樽
39	タマムシ	クロタマムシ	1	2004/7/16	下樽
39	タマムシ	トゲフタオタマムシ	1	2003/5/6	下樽
39	タマムシ	ヒシモンナガタマムシ	4	2004/4/29	下樽
39	タマムシ	マダクロホシタマムシ	1	2002/6/7	上樽
39	タマムシ	ヤノナミガタチビタマムシ	1	2002/7/14	上樽
39	タマムシ	ヤノナミガタチビタマムシ	1	2002/8/27	上樽
39	タマムシ	ヤマトタマムシ	1	2002/7/14	上樽
39	タマムシ	ヤマトタマムシ	1	2002/7/21	下樽
39	タマムシ	ヤマトタマムシ	1	2002/8/27	下樽
39	タマムシ	ヤマトタマムシ	1	2002/8/28	下樽
40	コメッキムシ	アカコメッキ	1	2004/5/12	上樽
40	コメッキムシ	オオクシヒゲコメッキ	1	2003/9/3	下樽
40	コメッキムシ	オオナガコメッキ	1	2004/4/30	下樽
40	コメッキムシ	クシコメッキ	1	2003/7/17	下樽
40	コメッキムシ	シモ・フリコメッキ	1	2002/6/20	下樽
40	コメッキムシ	シモフリコメッキ	1	2003/4/4	下樽
40	コメッキムシ	シモフリコメッキ	1	2003/5/4	下樽
40	コメッキムシ	ヒゲコメッキ	1	2004/6/22	下樽
40	コメッキムシ	ペニコメッキ	2	2003/4/29	下樽
40	コメッキムシ	ペニコメッキ	1	2004/5/7	下樽
40	コメッキムシ	ペニコメッキ	1	2004/6/16	上樽
41	ホタル	オバボタル	1	2002/7/14	上樽
41	ホタル	オバボタル	3	2002/8/1	下樽
41	ホタル	オバボタル/レ	1	2003/7/8	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2003/7/10	下樽
41	ホタル	オバボタル	3	2003/7/17	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2003/7/3	下樽
41	ホタル	オバボタル	2	2003/7/26	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2003/7/31	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2003/8/6	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2004/5/25	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2004/6/8	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2004/6/27	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2004/6/30	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2004/7/8	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2004/7/14	下樽
41	ホタル	オバボタル	1	2004/7/10	下樽
41	ホタル	クロマドボタル	1	2003/7/5	下樽
41	ホタル	クロマドボタル	1	2003/7/7	下樽
41	ホタル	クロマドボタル	1	2004/6/20	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	4	2003/6/23	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	2	2003/6/25	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	2	2003/6/29	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	2	2003/6/30	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	2	2003/7/1	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	1	2003/7/4	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル/レ	2	2003/7/5	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	2	2003/7/9	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	1	2003/7/3	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	1	2004/6/30	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	1	2004/7/4	下樽
41	ホタル	ゲンジボタル	2	2004/7/7	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
41	ホタル	ヘイケボタル	1	2003/6/15	下樽
41	ホタル	ヘイケボタル	1	2003/6/17	下樽
41	ホタル	ヘイケボタル	1	2003/6/21	下樽
41	ホタル	ヘイケボタル	1	2003/6/25	下樽
41	ホタル	-イケボタル	1	2003/9/8	下樽
41	ホタル	ヘイケボタル	2	2004/7/7	下樽
41	ホタル	ムネクリイロボタル	1	2003/6/30	上樽
41	ホタル	ムネクリイロボタル	1	2003/6/11	下樽
41	ホタル	ムネクリイロボタル	1	2004/5/20	下樽
41	ホタル	ムネクリイロボタル	2	2004/6/2	下樽
42	テントウムシ	オオニジュウヤホシテントウ	1	2002/7/14	上樽
42	テントウムシ	オオニジュウヤホシテントウ	2	2003/6/30	上樽
42	テントウムシ	キイロテントウ	1	2002/5/4	下樽
42	テントウムシ	テントウムシ	2	2002/5/24	上樽
42	テントウムシ	テントウムシ	2	2003/7/31	下樽
42	テントウムシ	トホシテントウ	1	2003/7/25	下樽
42	テントウムシ	トホシテントウ	1	2003/8/12	上樽
42	テントウムシ	ナナホシテントウ	1	2002/5/24	上樽
42	テントウムシ	ヒメアカボシテントウ	1	2003/5/29	上樽
43	カミキリムシ	アカハナカミキリ	1	2002/7/14	上樽
43	カミキリムシ	アカハナカミキリ	1	2002/7/13	下樽
43	カミキリムシ	アカハナカミキリ	2	2002/7/20	下樽
43	カミキリムシ	アカハナカミキリ	2	2002/7/23	下樽
43	カミキリムシ	アカハナカミキリ	2	2002/7/25	下樽
43	カミキリムシ	アカハナカミキリ	1	2002/8/1	下樽
43	カミキリムシ	アカハナカミキリ	2	2003/7/16	下樽
43	カミキリムシ	アカハナカミキリ	1	2003/9/9	下樽
43	カミキリムシ	アトジロサビカミキリ	1	2003/6/30	下樽
43	カミキリムシ	アトジロサビカミキリ	1	2003/7/7	下樽
43	カミキリムシ	アトジロサビカミキリ	1	2003/7/3	下樽
43	カミキリムシ	クスイロトラカミキリ	1	2002/6/7	上樽
43	カミキリムシ	エグリトラカミキリ	1	2004/6/18	下樽
43	カミキリムシ	カタジロゴマフカミキリ	1	2002/7/30	下樽
43	カミキリムシ	カタジロゴマフカミキリ	1	2002/8/1	下樽
43	カミキリムシ	カタジロゴマフカミキリ	3	2003/7/5	下樽
43	カミキリムシ	カタビロハナカミキリ	1	2002/5/31	下樽
43	カミキリムシ	キクスイカミキリ	1	2003/5/29	上樽
43	カミキリムシ	クスジトラカミキリ	1	2002/6/7	下樽
43	カミキリムシ	クスジトラカミキリ	1	2003/5/29	上樽
43	カミキリムシ	クスジトラカミキリ	1	2004/5/21	下樽
43	カミキリムシ	クスジトラカミキリ	1	2004/5/25	下樽
43	カミキリムシ	キバネニセハムシハナカミキリ	8	2004/4/26	下樽
43	カミキリムシ	キボシカミキリ	1	2002/10/4	下樽
43	カミキリムシ	キボシカミキリ	1	2003/9/13	下樽
43	カミキリムシ	キボシカミキリ	1	2003/11/6	下樽
43	カミキリムシ	キボシカミキリ	1	2004/9/1	下樽
43	カミキリムシ	キボシカミキリ	1	2004/11/26	下樽
43	カミキリムシ	クロハナカミキリ	1	2004/5/21	下樽
43	カミキリムシ	クワカミキリ	1	2003/8/12	下樽
43	カミキリムシ	クワカミキリ	3	2004/8/11	下樽
43	カミキリムシ	コウヤホソハナカミキリ	1	2002/7/14	上樽
43	カミキリムシ	コウヤホソハナカミキリ	1	2002/7/18	上樽
43	カミキリムシ	コウヤホソハナカミキリ	1	2003/7/12	下樽
43	カミキリムシ	コウヤホソハナカミキリ	4	2004/7/12	上樽
43	カミキリムシ	コウヤホソハナカミキリ	1	2004/7/7	上樽
43	カミキリムシ	ゴマダラカミキリ	1	2002/7/7	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
43	カミキリムシ	ゴマダラカミキリ	1	2002/7/12	下樽
43	カミキリムシ	ゴマダラカミキリ	1	2003/7/19	下樽
43	カミキリムシ	ゴマダラカミキリ	1	2003/7/28	下樽
43	カミキリムシ	ゴマダラカミキリ	1	2004/7/21	下樽
43	カミキリムシ	ゴマダラカミキリ	1	2004/7/28	下樽
43	カミキリムシ	ゴマダラカミキリ	1	2004/8/13	下樽
43	カミキリムシ	ゴマフカミキリ	1	2003/5/29	上樽
43	カミキリムシ	シナノタロフカミキリ	1	2004/6/6	下樽
43	カミキリムシ	シラホシカミキリ	1	2002/6/22	下樽
43	カミキリムシ	シロスジカミキリ	2	2003/8/12	下樽
43	カミキリムシ	シロスジカミキリ	1	2004/6/18	下樽
43	カミキリムシ	シロスジカミキリ	1	2004/7/9	下樽
43	カミキリムシ	シロスジカミキリ	1	2004/7/27	下樽
43	カミキリムシ	シロスジカミキリ	1	2004/8/30	下樽
43	カミキリムシ	スギカミキリ	2	2003/5/4	下樽
43	カミキリムシ	チャボヒゲナガカミキリ	1	2002/6/7	上樽
43	カミキリムシ	ツヤケシハナカミキリ	5	2004/5/21	下樽
43	カミキリムシ	ツヤケシハナカミキリ	1	2004/5/26	下樽
43	カミキリムシ	ドゥボソカミキリ	3	2002/5/24	上樽
43	カミキリムシ	ニイジマトラカミキリ	1	2004/7/7	上樽
43	カミキリムシ	ノコギリカミキリ	1	2003/8/2	下樽
43	カミキリムシ	ノコギリカミキリ	1	2003/8/12	下樽
43	カミキリムシ	ノコギリカミキリ	1	2004/7/6	下樽
43	カミキリムシ	ノコギリカミキリ	1	2004/7/13	下樽
43	カミキリムシ	ハネビロハナカミキリ	1	2002/5/24	上樽
43	カミキリムシ	ヒメスギカミキリ	1	2004/5/7	下樽
43	カミキリムシ	ヒメヒゲナガカミキリ	1	2004/7/7	上樽
43	カミキリムシ	ヒメヒゲナガカミキリ	1	2004/7/5	下樽
43	カミキリムシ	ピロウドカミキリ	1	2002/7/13	下樽
43	カミキリムシ	ピロウドカミキリ	2	2003/8/17	下樽
43	カミキリムシ	ペニカミキリ	2	2002/6/7	下樽
43	カミキリムシ	ペニカミキリ	3	2004/5/2 1	下樽
43	カミキリムシ	ペニカミキリ	1	2004/5/26	下樽
43	カミキリムシ	ペニカミキリ	1	2004/6/18	下樽
43	カミキリムシ	-リグロペニカミキリ	1	2002/7/13	下樽
43	カミキリムシ	ヘリグロリンゴカミキリ	1	2002/7/18	上樽
43	カミキリムシ	ヘリグロリンゴカミキリ	1	2002/6/22	下樽
43	カミキリムシ	ヘリグロリンゴカミキリ	1	2003/7/10	下樽
43	カミキリムシ	ヘリグロリンゴカミキリ	1	2003/7/15	下樽
43	カミキリムシ	ホソカミキリ	1	2002/7/13	下樽
43	カミキリムシ	ホソカミキリ	1	2003/6/7	下樽
43	カミキリムシ	ホソトラカミキリ	1	2004/4/26	下樽
43	カミキリムシ	ホソトラカミキリ	1	2004/5/21	下樽
43	カミキリムシ	ホソトラカミキリ	2	2004/5/26	下樽
43	カミキリムシ	ホタルカミキリ	1	2004/5/21	下樽
43	カミキリムシ	ホタルカミキリ	1	2004/5/26	下樽
43	カミキリムシ	ホタルカミキリ	1	2004/5/25	下樽
43	カミキリムシ	ムナクボカミキリ	1	2002/8/7	下樽
43	カミキリムシ	ヤツメカミキリ	1	2002/8/2	下樽
43	カミキリムシ	ヨツスジハナカミキリ	1	2002/7/25	下樽
43	カミキリムシ	ヨツスジハナカミキリ	1	2003/7/26	下樽
43	カミキリムシ	ヨツスジハナカミキリ	1	2003/7/3 1	下樽
43	カミキリムシ	ヨツスジハナカミキリ	1	2004/7/12	上樽
43	カミキリムシ	ヨツスジハナカミキリ	2	2004/7/7	上樽
43	カミキリムシ	ラミーカミキリ	4	2002/7/14	上樽
43	カミキリムシ	ラミーカミキリ	2	2003/6/30	上樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
43	カミキリムシ	ラミーカミキリ	2	2003/7/17	下樽
43	カミキリムシ	ラミーカミキリ	1	2003/7/23	下樽
43	カミキリムシ	ラミーカミキリ	1	2003/7/27	下樽
43	カミキリムシ	ラミーカミキリ	1	2003/8/12	上樽
43	カミキリムシ	ラミーカミキリ	1	2004/7/20	下樽
43	カミキリムシ	リンゴカミキリ	1	2003/5/30	下樽
43	カミキリムシ	ルリボシカミキリ	1	2002/7/23	下樽
43	カミキリムシ	ルリボシカミキリ	1	2003/6/30	下樽
43	カミキリムシ	ルリボシカミキリ	1	2003/7/25	下樽
44	ハムシ	アカガネサルハムシ	1	2002/5/24	上樽
44	ハムシ	アカガネサルハムシ	1	2002/6/10	下樽
44	ハムシ	アカガネサルハムシ	1	2003/7/12	下樽
44	ハムシ	アカガネサルハムシ	1	2003/7/17	下樽
44	ハムシ	アカクビナガハムシ	1	2004/5/30	下樽
44	ハムシ	アトボシハムシ	2	2002/6/7	上樽
44	ハムシ	アトボシハムシ	1	2003/6/30	上樽
44	ハムシ	イタドリハムシ	1	2004/4/26	上樽
44	ハムシ	ウリハムシ	1	2002/8/15	上樽
44	ハムシ	ウリハムシ	1	2002/8/27	上樽
44	ハムシ	クロウリハムシ	1	2002/5/24	上樽
44	ハムシ	クロウリハムシ	1	2002/8/31	上樽
44	ハムシ	クロウリハムシ	1	2003/5/24	下樽
44	ハムシ	クロウリハムシ	2	2003/7/31	下樽
44	ハムシ	クロボシツツハムシ	1	2002/5/14	上樽
44	ハムシ	クロボシツツハムシ	1	2002/5/24	上樽
44	ハムシ	クロボシツツハムシ	1	2004/5/1	下樽
44	ハムシ	ジュウシホシクビナガ-ムシ	4	2003/8/2	下樽
44	ハムシ	セモンジンガサハムシ	1	2004/4/26	上樽
44	ハムシ	ハラグロヒメハムシ	1	2003/7/31	下樽
44	ハムシ	フキサルハムシ	1	2004/4/26	下樽
44	ハムシ	ムネアカサルハムシ	1	2003/7/11	下樽
44	ハムシ	ヤマイモハムシ	1	2003/8/12	上樽
44	ハムシ	エリクビナガハムシ	1	2002/5/24	上樽
44	ハムシ	ヨモギハムシ	1	2004/5/30	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	1	2002/5/15	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	1	2003/4/26	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	1	2003/4/28	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	1	2003/4/29	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	1	2003/5/6	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	1	2003/5/3	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	1	2003/5/5	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	1	2003/5/8	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	2	2004/4/18	下樽
45	アカハネムシ	アカハネムシ	2	2004/4/22	下樽
45	アカハネムシ	ヒメアカハネムシ	3	2003/4/28	下樽
45	アカハネムシ	ヒメアカハネムシ	1	2003/4/24	下樽
45	アカハネムシ	ヒメアカハネムシ	1	2004/4/26	下樽
45	アカハネムシ	ヒメアカハネムシ	2	2004/5/20	下樽
45	エンマムシ	オオヒラタエンマムシ	1	2003/9/27	下樽
45	エンマムシ	コニニンマムシ	1	2004/7/4	下樽
45	オトシブミ	クスモンオトシブミ	1	2002/7/14	上樽
45	オトシブミ	クスモンオトシブミ	1	2003/5/29	上樽
45	オトシブミ	オトシブミ	1	2003/5/29	上樽
45	オトシブミ	ヒメクロオトシブミ	1	2002/5/24	上樽
45	オトシブミ	ヒメクロオトシブミ	1	2002/7/14	上樽
45	オトシブミ	ヒメクロオトシブミ	2	2003/7/24	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
45	オトシブミ	ヒメコブオトシブミ	2	2002/7/14	上樽
45	オトシブミ	ヒメコブオトシブミ	1	2003/5/29	上樽
45	オトシブミ	ヒメコブオトシブミ	1	2003/6/30	上樽
45	オトシブミ	ペニホシハマキチョッキリ	1	2004/4/26	上樽
45	カツコウムシ	イガラシカッコウムシ	1	2003/7/1	下樽
45	カッコウムシ	イガラシカッコウムシ	1	2003/7/21	下樽
45	カミキリモドキ	アオカミキリモドキ	1	2003/5/30	下樽
45	カミキリモドキ	アオカミキリモドキ	1	2003/7/11	下樽
45	カミキリモドキ	アオカミキリモドキ	1	2004/6/20	下樽
45	カミキリモドキ	アオグロカミキリモドキ	2	2002/6/7	上樽
45	カミキリモドキ	アオグロカミキリモドキ	2	2004/4/29	下樽
45	カミキリモドキ	キアシカミキリモドキ	2	2004/4/26	下樽
45	カミキリモドキ	キアシカミキリモドキ	1	2004/5/25	下樽
45	カミキリモドキ	キイロカミキリモドキ	1	2002/7/8	下樽
45	カミキリモドキ	キイロカミキリモドキ	1	2003/6/22	下樽
45	カミキリモドキ	クロアオカミキリモドキ	1	2004/5/21	下樽
45	カミキリモドキ	モモプトカミキリモドキ	1	2003/6/3	下樽
45	カミキリモドキ	モモプトカミキリモドキ	2	2002/5/24	上樽
45	クチキムシ	クスイロクチキムシ	2	2002/5/24	上樽
45	クチキムシ	オオクチキムシ	1	2002/7/20	下樽
45	クチキムシ	オオクチキムシ	1	2004/6/25	下樽
45	クチキムシ	オオクチキムシ	1	2004/7/11	下樽
45	ケシクスイムシ	ヨツボシケシクスイ	1	2004/7/12	下樽
45	ケシクスイムシ	ヨツボシケシクスイ	1	2004/7/15	下樽
45	ゴミムシダマシ	キマワリ	2	2002/7/20	下樽
45	ゴミムシダマシ	キマワリ	1	2002/7/23	下樽
45	ゴミムシダマシ	キマワリ	1	2002/8/4	下樽
45	ゴミムシダマシ	キマワリ	1	2003/6/28	下樽
45	ゴミムシダマシ	キマワリ	2	2003/6/28	下樽
45	ゴミムシダマシ	キマワリ	1	2003/7/4	下樽
45	ゴミムシダマシ	ゴミムシダマシ	2	2002/11/29	上樽
45	シバンムシ	トサカシバンムシ	1	2004/6/19	下樽
45	ジョウカイボン	アオジョウカイ	1	2004/4/29	上樽
45	ジョウカイボン	アオジョウカイ	1	2004/5/26	下樽
45	ジョウカイボン	アオジョウカイ	4	2004/5/21	下樽
45	ジョウカイボン	クスチャジョウカイ	1	2004/4/17	上樽
45	ジョウカイボン	クスチャジョウカイ	1	2004/4/23	下樽
45	ジョウカイボン	ウスチャジョウカイ	1	2004/4/26	下樽
45	ジョウカイボン	キンイロジョウカイ	2	2004/5/21	下樽
45	ジョウカイボン	ジョウカイボン	1	2002/6/7	上樽
45	ジョウカイボン	ジョウカイボン	1	2002/6/3	下樽
45	ジョウカイボン	ジョウカイボン	1	2003/5/6	下樽
45	ジョウカイボン	ジョウカイボン	1	2003/5/19	下樽
45	ジョウカイボン	ジョウカイボン	2	2003/5/20	下樽
45	ジョウカイボン	ジョウカイボン	1	2003/5/25	下樽
45	ジョウカイボン	ジョウカイボン	2	2004/5/21	下樽
45	ジョウカイボン	ジョウカイボン	1	2004/5/26	上樽
45	ジョウカイボン	セボシジョウカイ	1	2003/4/24	下樽
45	ジョウカイボン	セボシジョウカイ	1	2003/4/26	下樽
45	ジョウカイボン	セボシジョウカイ	1	2004/6/9	下樽
45	ジョウカイボン	ヒメクビボソジョウカイ	1	2004/5/26	上樽
45	ジョウカイボン	ヒメジョウカイ	2	2004/4/22	下樽
45	ジョウカイボン	ムネアカクロジョウカイ	1	2002/7/14	上樽
45	ゾウムシ	アカタビナガオトシブミ	1	2004/5/7	下樽
45	ゾウムシ	アカクビナガオトシブミ	1	2004/5/11	上樽
45	ゾウムシ	オオゾウムシ	1	2002/8/1	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
45	ゾウムシ	オオゾウムシ	1	2003/5/7	下樽
45	ゾウムシ	オオゾウムシ	1	2003/6/17	下樽
45	ゾウムシ	オオゾウムシ	2	2003/6/27	下樽
45	ゾウムシ	オオゾウムシ	1	2003/7/23	下樽
45	ゾウムシ	オジロアシナガゾウムシ	1	2004/7/12	上樽
45	ゾウムシ	オトシブミ	1	2004/5/7	上樽
45	ゾウムシ	カシルリオトシブミ	2	2004/5/7	上樽
45	ゾウムシ	コフキゾウムシ	1	2003/7/31	下樽
45	ゾウムシ	コフキゾウムシ	1	2004/6/13	下樽
45	ゾウムシ	シロオビアカアシナガゾウムシ	2	2004/4/26	上樽
45	ゾウムシ	シロオビアカアシナガゾウムシ	2	2004/5/7	上樽
45	ゾウムシ	シロコブゾウムシ	1	2003/7/20	下樽
45	ゾウムシ	ハスジカツオゾウムシ	2	2002/5/24	上樽
45	ゾウムシ	ハスジカツオゾウムシ	1	2004/5/30	下樽
45	ゾウムシ	フライアナアキゾウムシ	2	2002/6/19	下樽
45	ゾウムシ	モモモチョコッキリ	1	2004/7/1	下樽
45	ツチハンミョウ	ヒメツチハンミョウ	1	2003/11/9	下樽
45	ナガクチキムシ	オオクロホソナガクチキムシ	1	2003/6/12	下樽
45	ナガクチキムシ	オオクロホソナガクチキムシ	1	2003/6/12	下樽
45	ナガクチキムシ	オオナガクチキムシ	1	2003/6/30	下樽
45	ナガハナノミ	エダヒゲナガハナノミ	1	2002/7/18	上樽
45	ナガハナノミ	ユダヒゲナガハナノミ	1	2002/6/3	下樽
45	ナガハナノミ	ヒゲナガハナノミ	1	2003/6/12	下樽
45	ナガハナノミ	ヒゲナガハナノミ	1	2003/6/12	下樽
45	ハムシダマシ	アオハムシダマシ	1	2002/5/24	上樽
45	ハムシダマシ	アオハムシダマシ	1	2003/5/6	下樽
45	ハムシダマシ	アオハムシダマシ	1	2003/5/19	下樽
45	ハムシダマシ	アオハムシダマシ	1	2003/5/29	上樽
45	ハムシダマシ	アオハムシダマシ	1	2004/5/7	下樽
45	ハムシダマシ	ツヤナガハムシダマシ	1	2003/5/6	下樽
45	ハンミョウ	ニワハンミョウ	1	2004/5/12	上樽
45	ハンミョウ	ニワハンミョウ	1	2004/6/5	下樽
45	ハンミョウ	ヒメハンミョウ	3	2002/7/25	下樽
45	ハンミョウ	ヒメハンミョウ	2	2003/7/15	下樽
45	ペニボタル	クシヒゲペニボタル	1	2002/5/24	上樽
45	ペニボタル	クシヒゲペニボタル	1	2003/4/26	下樽
45	ペニボタル	クシヒゲペニボタル	1	2003/5/6	下樽
45	ペニボタル	スジアカペニボタル	1	2002/7/13	下樽
45	ペニボタル	ヒシペニボタル	1	2003/4/17	下樽
45	ペニボタル	ペニボタル	1	2004/4/22	下樽
45	マノレハナノミ	ヒメマルハナノミ	1	2003/7/27	下樽
45	マルハナノミ	ヒメマルハナノミ	3	2004/4/26	下樽
46	アブ	ウシアブ	1	2003/6/1	下樽
46	アブ	ウシアブ	1	2004/7/10	下樽
46	アブ	ウシアブ	1	2004/8/11	下樽
46	ガガンボ	ベッコウガガンボ	1	2004/9/9	下樽
46	ケバエ	ヒメセアカケバエ	1	2003/5/5	下樽
46	ケバエ	ヒメセアカケバエ	1	2003/5/6	下樽
46	ケバコニ	ヒメセアカケバエ	1	2003/9/4	下樽
46	ケバコニ	ヒメセアカケバエ	1	2004/9/14	下樽
46	シギアブ	クロモンシギアブ	1	2003/8/18	下樽
46	ツリアブ	ホシツリアブ	1	2003/8/5	下樽
46	ヒラタアブ	ホソヒラタアブ	2	2002/11/29	下樽
46	ミスアブ	ネグロミスアブ	1	2004/5/22	下樽
46	ムシヒキアブ	シオヤアブ	2	2002/7/14	上樽
46	ムシヒキアブ	シオヤアブ	1	2003/6/8	下樽

目名	科	種	数	採集年月日	採集地
49	キバチ	オナガキバチ	1	2003/7/15	下樽
49	キバチ	クロヒラアシキバチ	1	2002/6/7	上樽
49	コハナバチ	ニッポンコハナバチ	1	2003/7/5	下樽
49	コマエバチ	マツムラベッコウコマユバチ	1	2002/8/15	上樽
49	コマユバチ	マツムラベッコウコマユバチ	1	2002/8/2 7	上樽
49	ジガバチ	コクロアナバチ	1	2003/7/27	下樽
49	ジガバチ	ミカドジガバチ	1	2003/5/30	下樽
49	ジガバチ	ルリジガバチ	1	2003/7/15	下樽
49	スズメバチ	オオフトオビドロバチ	1	2003/7/15	下樽
49	スズメバチ	キアシナガバチ	2	2002/7/30	下樽
49	スズメバチ	キアシナガバチ	1	2003/7/29	下樽
49	スズメバチ	クロスズメバチ	1	2002/11/29	下樽
49	スズメバチ	コアシナガバチ	1	2003/6/5	下樽
49	スズメバチ	コガタスズメバチ	1	2003/9/4	下樽
49	スズメバチ	コガタスズメバチ	1	2004/8/26	上樽
49	スズメバチ	スズメバチ	1	2003/6/7	下樽
49	スズメバチ	スズメバチ	1	2003/6/4	下樽
49	スズメバチ	セグロアシナガバチ	2	2002/8/27	下樽
49	スズメバチ	ホソアシナガバチ	2	2003/7/17	下樽
49	セイボウ	ツマアカヨツバセイボウ	1	2003/7/1	下樽
49	セイボウ	ツمامラサキヨツバセイボウ	1	2003/7/19	下樽
49	トックリバチ	トックリバチ	1	2002/8/15	下樽
49	トックリバチ	トックリバチ	1	2002/8/27	下樽
49	ハバチ	セリシマハバチ	1	2003/4/24	下樽
49	ハバチ	セリシマハバチ	1	2003/4/29	下樽
49	ハバチ	フトコシジロハバチ	1	2004/5/20	下樽
49	ヒメバチ	アメバチ	1	2003/6/13	下樽
49	ヒメバチ	クロコブフシセメバチ	1	2003/6/7	下樽
49	ヒメバチ	クロハラボソヒメバチ	1	2002/6/7	上樽
49	ベッコウバチ	フタモンベッコウ	1	2003/7/17	下樽
49	ミツバチ	オオマ レハナバチ	1	2003/8/12	下樽
49	ミツバチ	コマルハナバチ	1	2003/7/26	下樽
49	ミツバチ	トラマルハナバチ	2	2002/7/14	下樽
49	ミツバチ	トラマルハナバチ	2	2003/6/25	下樽
49	ミフシハバチ	ルリチュウレンジ	1	2003/7/15	下樽
49	ミフシハバチ	ルリチュウレンジ	1	2003/7/16	下樽
49	ミフシハバチ	ルリチエクレンジ	1	2003/8/1	下樽
50	アリ	ムネアカオアリ	2	2002/5/14	上樽

第14章 樽の動物

(樽 良平)

14-1 現状

調査を始めてから現在までに確認できたものだけをここに挙げたが、哺乳類は夜行性のものが多く足跡、糞などの生活痕で確認した。特にネズミはかなりの種類が確認できる筈だが、実際にはカヤネズミの営巣とネズミを見ただけであった。

ヘビ類についても生息数や種類はもっと多いと思ったが、見掛けた数は少なかった。これは昆虫がすくないことに起因しているようだ。

鳥類は確認できただけをここに挙げたが、野鳥の観察数がめっきり減った中で、ガビチョウがこんな山奥に在来種を押しつけてたくさん繁殖しているのには驚かされた。

タゴカエルがここ樽沢で数多く発見されたのは今回の調査の収穫であった。

1 哺乳動物

ヒメネズミ	上流堰で5匹確認。
カヤネズミ	カンスゲの葉を細かく割いて丸い巣を造る。
コウモリ	種類不明
モグラ	道穴を数多くみる。
リス	ドングリなど、実のなる木がないので著しく減少。
モモンガ	巣穴用の木洞も餌も少ないために減少。
ムササビ	巣、採餌痕をみる。
ヤマウサギ	雪上に足跡、昔は数が多かったが、今は数匹。
イタチ	糞をどこにでもする。沢辺に多い。
テン	糞を切り株や石の上など高い所へする。
タヌキ	溜め糞、便所を決めて一カ所へする習性がある。
イノシシ	足跡、山芋などの深い掘り跡、雪上の足跡をみる。

2 鳥類

ミソサザイ	姿、鳴き声
ウグイス	声のみ
シジュウカラ	姿、鳴き声
ウソ	姿、鳴き声
モズ	姿、鳴き声
カシラダカ	姿、鳴き声
キセキレイ	姿、鳴き声
ヒヨドリ	姿、鳴き声
ジョウビタキ	姿、鳴き声
カケス	姿、鳴き声
ガビチョウ	姿、鳴き声
トビ	姿、鳴き声
ヤマドリ	姿、羽音
カラス	姿、鳴き声

3 爬虫類

カナヘビ	小道脇をカサカサと数匹
シマヘビ	1匹
アオダイショウ	1匹、口をあけ、向かってくる。
ジモグリ	1匹、中流堰。

4 両生類

タゴカエル	5月産卵のため岩や石下で鳴く。30か所くらい確認
トウキョウサンショウウオ	4月始め林道脇水溜りに1匹

5 甲殻類

サワガニ	夏 沢の中至る所
------	----------

14-2 報告

極めて短期間の所見ではあるが、針葉樹を伐採後1年経過した2005年、2006年にかけて樽沢

最奥部では、日溜り場が広がり暖かく明るくなって、特にアゲハチョウなどの昆虫類の数と種類が急に増えたことを報告する。

14-3 多摩川水系の今後について

多摩川源流域の山々は過去60年近く、先人たちは杉や檜の針葉樹の森にするために営々と努力を重ねてきた。それによって得た経済的利益も人によっては計り知れないと思う。しかし、そのために失ったものは大きく、長い年月をかけて蓄積された自然や豊かな生態系は単純化され消滅した。豊かであった自然は歪み破壊されて源流域の減水や汚染を招き水循環は劣化したが、まだ、それに気付かず、あるいは気付かぬふりをしているのか？ 昔の面影をなくした多摩川はそこそこで河床をあらわにして流れている。

昔、五日市水道の水源としてミネラル豊富な水を供給していた樽沢も、今、流れる水量は極端に減じてしまった。早期の樹種転換により、昔のように「多様性に富んだ植物、動物を育むミネラルをタップリ含んだ豊かな水」を供給したいものである。そして樽沢の林相が多摩の、いや全国の林相の目標となることを望むものである。

第15章 水循環の変化とその影響に関する総合的考察(その一): 観測流域の特徴

(新藤 静夫)

15-1 地形

観測流域の樽沢は図15.1に示したようにJR五日市駅の西、約2kmのところであり、東西に細長いかたちをしている。最高点の標高は468mで、流域の出口にあたる樽集落付近は220m前後である。図15.2は東京都2,500デジタルマップから引用した観測流域とその周辺の詳細図であるが、これによると源流部(谷頭部)はカール状の比較的なだらかな地形が展開しているのと対比的に下流部はV字型に深く切りこまれた谷が形成されており、両者の地形的対応が顕著である。(写真15.1,2)また谷底の縦断形は図15.3,図15.4に示した立体図に示されているように一様ではなく、緩やかなところと、急なところが階段状をなして下流へと続いている。これらの特徴は地形発達過程を復元する手がかりとなる。すなわち谷頭部から尾根部にかけてのカール状のなだらかな地形と下流部の谷地形との間には地形発達上の不整合とも言うべきものがあり、田村俊和(1998)のいう「多元地形」がこの地域にも存在することが推定されて興味深い。周辺流域をこのような視点で調査し、地形形成プロセスを明らかにすることが今後の課題である。

山頂部は丸みをおびたなだらかな地貌を呈し、(写真15.3)場所によっては厚さ4m前後の関東ローム層の一次堆積がみられ、地形的に安定傾向の指標ともいえるアカマツの大木が自生している。これに対して溪流に面した斜面末端部は崩壊、侵食、堆積等による攪乱を常に受け、それに適合した植生(ヤマアジサイなどの低木や傾倒木などからの萌芽更新がなされている高木類など)が目立つ。

15-2 土壌

水文地形的観点から流域の土壌特性をみると次のようになる。

稜線部

山頂部、あるいは稜線上の突出部には関東ローム層の一次堆積がみられることがあり、その他の部分には基盤岩石の風化物からなる残積土が存在する。これらは土壌化が進行し、乾性褐色森林土を構成する。

斜面上部

素材は上記とほぼ同一であるが、重力による下方への移動によって攪乱を受け、いわゆる匍行土を構成する。この部位までは全般的に凸型斜面となっている。

傾斜変換部

いわば侵食最前線ともいえる部位で土壌は一般に薄い。崩壊による土壌の除去のため、基盤が直接露出しているところや、それが瓦礫状化しているところもみられ、様々である。これより下位の斜面型は凹形となる。

斜面下部

運積土、あるいは崩積土からなる。上方から運搬された石礫や土壌が堆積して緩斜面を形成している部分や、その末端部が水流によって削られて急崖になり、基盤が露出しているところもある。この部位の土壌は地中水分が集積して常に飽和に近い状態にあり、湿性褐色森林土壌、またはそれらが変質してグライ化している部分もある。(写真15.4)谷頭部斜面下部のように特に地中水分が集積しやすいところではこのグライ土壌が厚く堆積している場合が多く、これがこの部位での水循環に重要な役割を演じている。

15-3 斜面地中水

斜面地中水の詳細な観測結果については別に記述されているので、ここでは上記に関連してその概要を述べる。図15.5はこの流域にみられる斜面地中水の動態を模式化して示したものである。図示のように稜線部では基盤風化部(C層上部付近)は常に飽和に近い状態にあり、その水分は鉛直下方へ移動する成分が多い。斜面中央部から斜面下部にかけての部位は一般に土壌層が薄く、土壌水分の乾湿が他の部位に比べて顕著である。筆者が以前行った室内実験によれば、降雨時にこの部分から浸透した地中水はいち早く飽和帯を形成し、その水分はC層部分を通して斜面下方に比較的早く移動し、降雨時の河川流量の増加に寄与しているようである。

斜面末端部では斜面上部から地中深く浸透した地中水がこの部位で湧き上がるかたちで集積して飽和帯を形成していることが多く、時にグライ化した土壌が一種のキャップロックの役割を演じて被圧性の地下水を存在させている場合がある。その水頭は降雨直後には急上昇して自噴することが観測されている。これについても後に述べる。

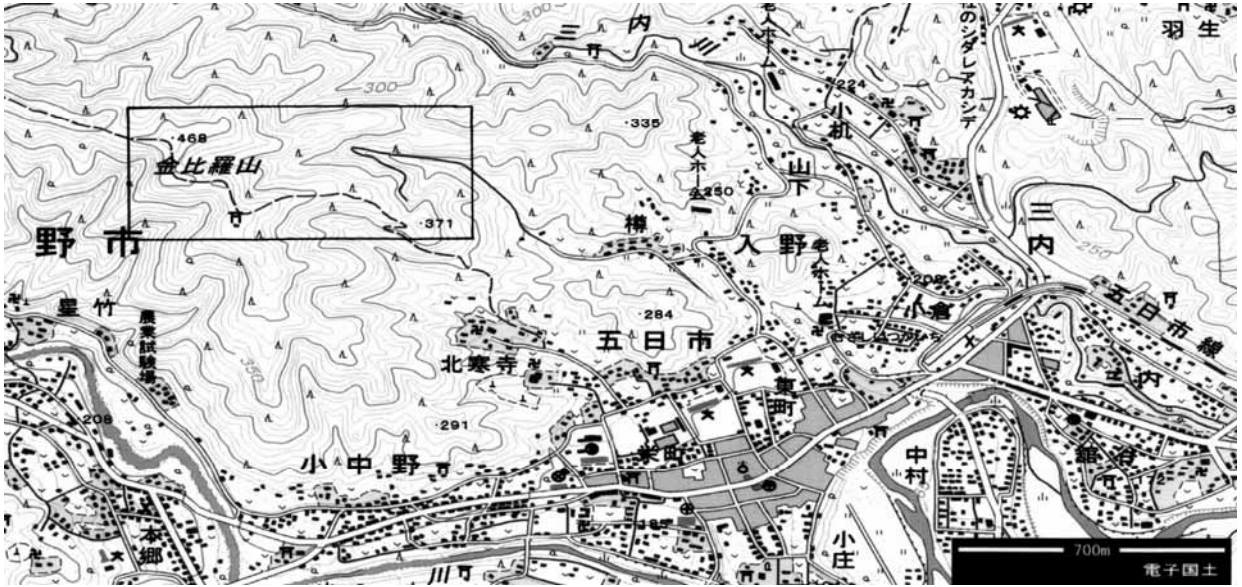


図 15.1 観測流域（樽沢）の位

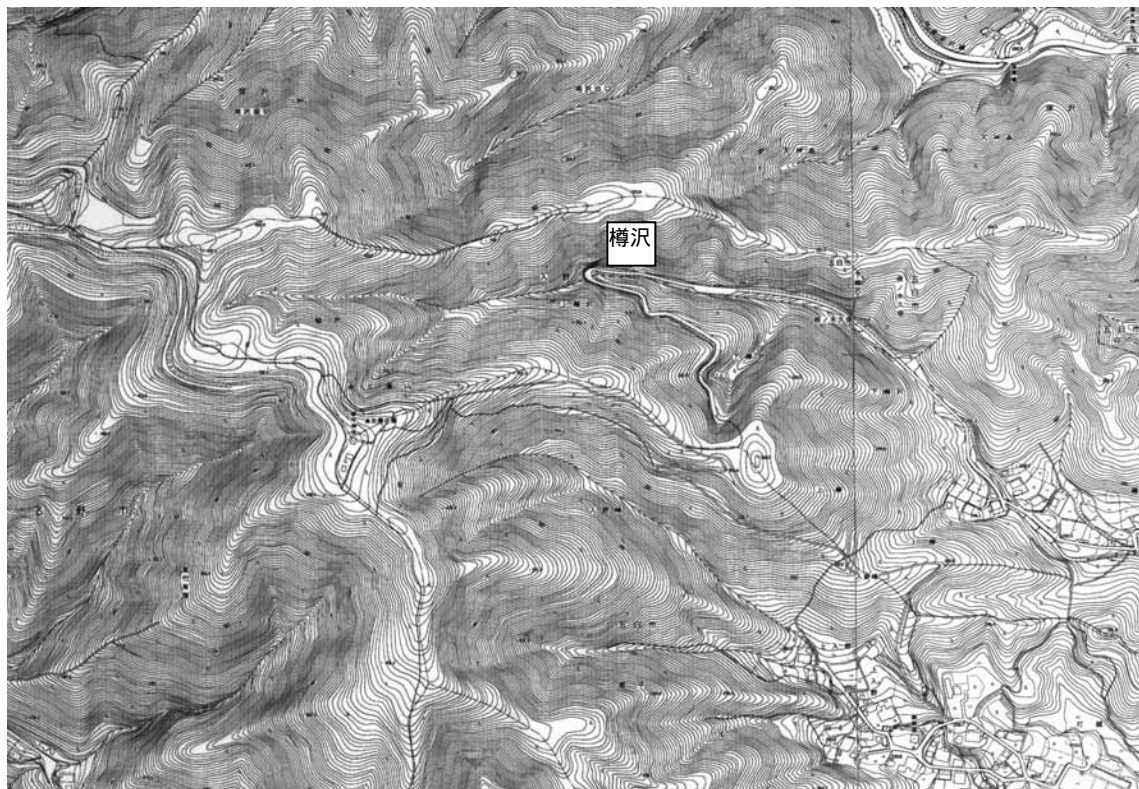


図 15.2 観測流域とその周辺の詳

Tarusawa

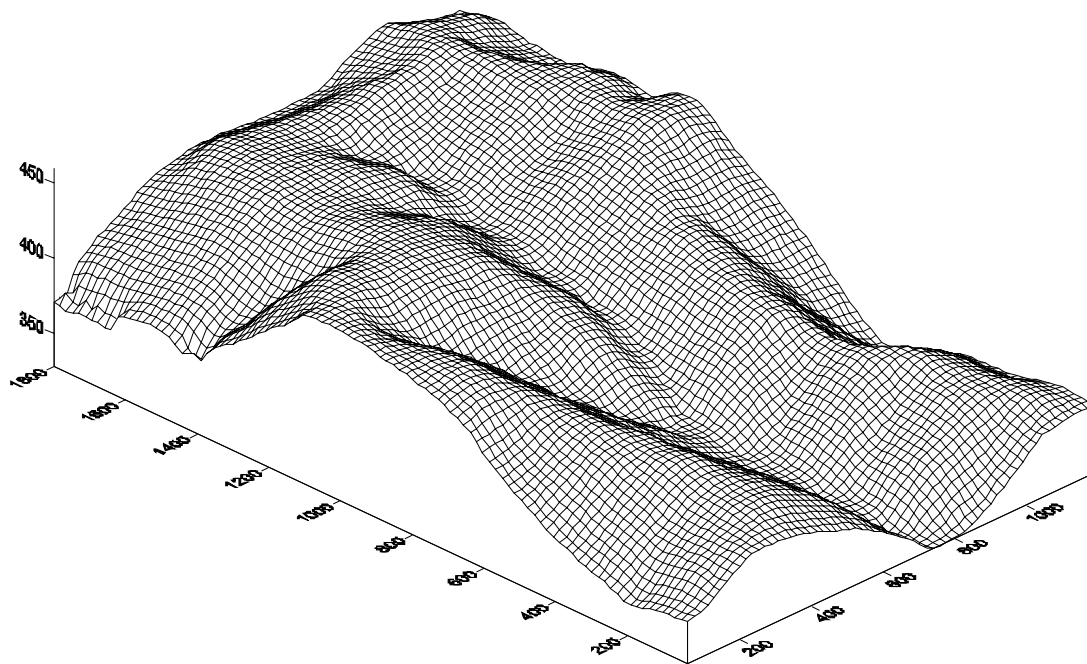
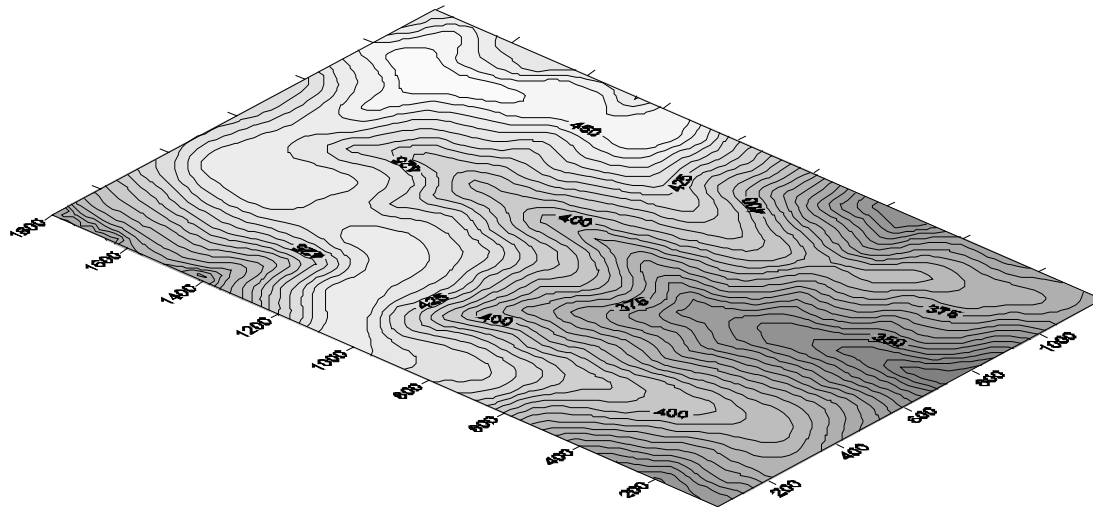


図 15 . 3 樽沢の地形の特徴(1)

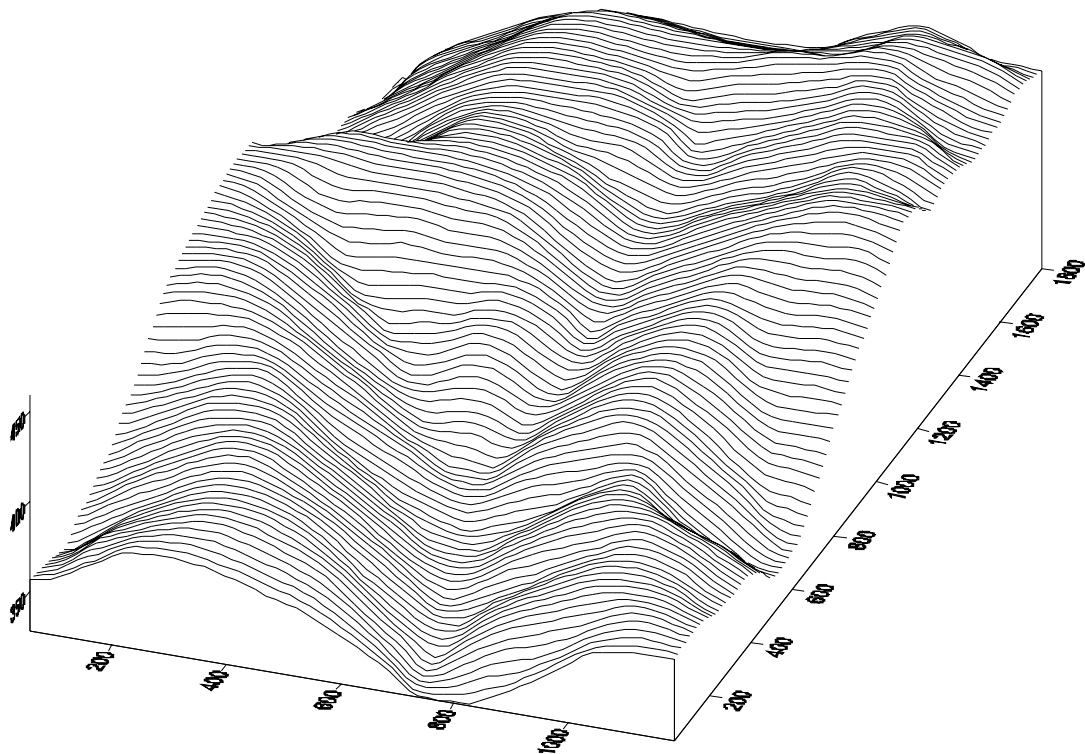


図4 樽沢の地形の特徴

上流部はカール状の緩やかな地形を呈しているのに対してその下流側ではV字型の谷になる。また谷勾配の急変部が数箇所に認められる。

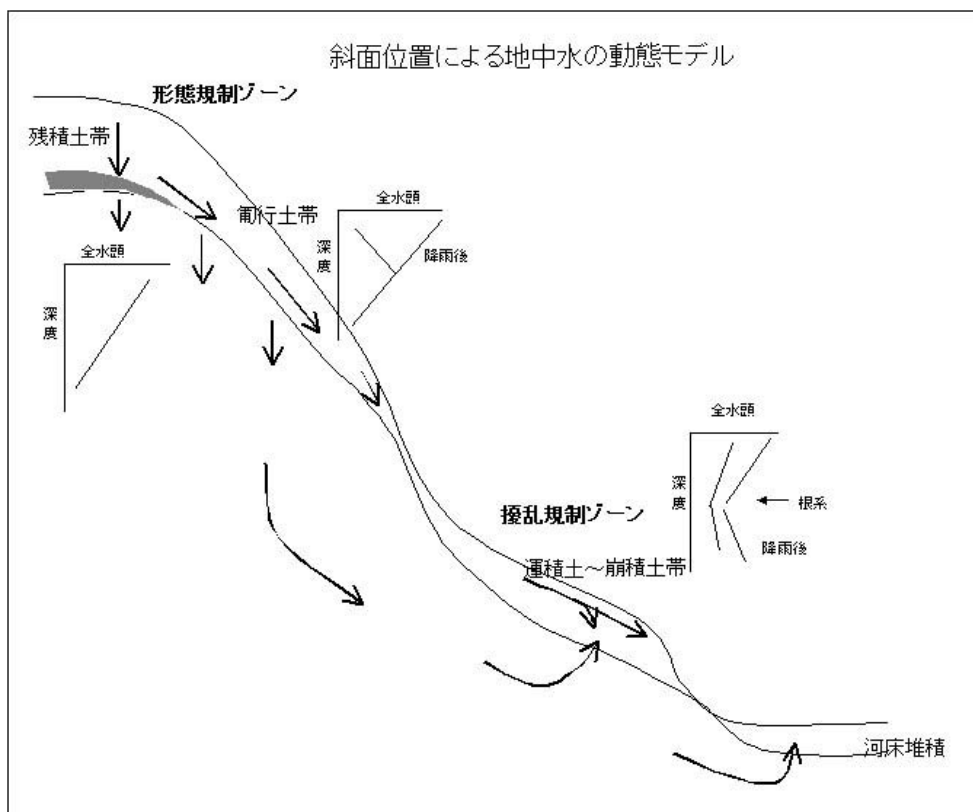


図5 斜面位置による地中水の動態モデル



写真 15.1 樽沢の谷頭凹



写真 15.2 樽沢下流部の V 字



写真 15.3 山頂部の地



写真 15.4 斜面末端部のグライ化した崩積

15 - 4 渓流水と地下水の水温

源流域表流水の水温は流出成分の特徴を検討する際に有効と思われる。そこで地表気温が 2 以下の厳冬期における河川水の水温分布を調べた。図 15.6 はその一例である。源流部が 6 以上を示すのに対して中流部で地表気温に近い値が示され、その違いの顕著な点が注目される。このことは後者が主として低い気温の影響を受けた浅い地中水によって維持されているのに対して、前者が水温の高い深い部分の地下水によって維持されていることを示唆している。図 15.7 は源頭部地下水の年間変動であるが、厳冬期でも 7 を下回ることはない。なお下流部で河川水温がやや高くなる傾向が指摘されるが、この部分に設置されている観測井の水温が高いことから、ここでは地表水は再び深い地下水の補給を受けていることが推察される。

15 - 5 渓流水と地下水の硝酸態窒素

森林伐採後、流域からの硝酸態窒素の流出が多くなることが知られている。これは樹木による消費が無くなったこと、また放置された枝葉が腐り、それから供給されるものが加わったことによると説明されている。この流域でも源流域は伐採されてから 4 年ほど経過しているがその流出水の濃度は図 15.8 に示したように、他に比べて高い値を示している。

植林した樹木が生長するに従い、樹木による窒素の吸収が多くなり、流出水の濃度は減少して、いずれは内部循環状態になる。それを追跡するのも研究目的の一つである。このことに関しては研究グループが詳しく追及しているので、ここではこの流域の全般的な特徴を述べるに留める。

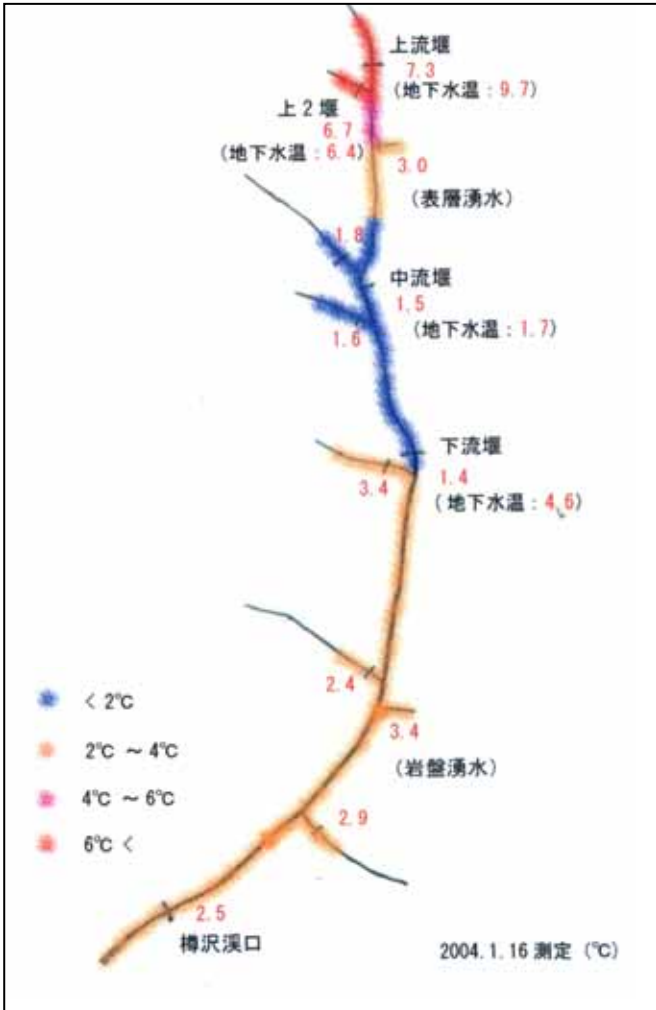


図 15.6 表流水・地下水・湧水の水溫
 中流堰から下流堰にかけてのゾーンで水溫が低下しているのが注目される。この部分は基岩が浅く、表層の冷やされた地中水が表流水に加わっているためである。一方下流部で再び上昇傾向を示すのは周辺の地下水の影響によるものと思われる。

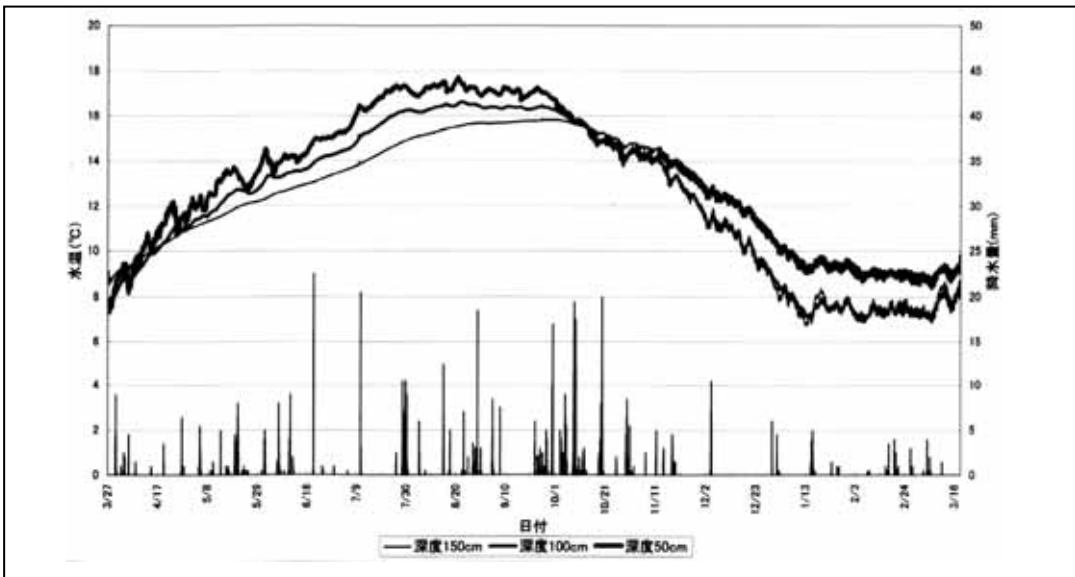


図 15.7 源流域地下水の年間水溫変化
 ('04.3-'05.3)

源流水を維持している地下水の硝酸態窒素の濃度は図 15.9 に示したように深度 40~80cm 以深で急減するので、ここでは還元環境にある微生物による脱窒作用が行われていることが推定される。図で濃度が急減する深度が時期によって変動していることが認められるが、これは地下水位の変動と連動していることが確認されている。すなわち同一地点での深度別の地下水位の変動を示した図 15.10 に示されているよう、大降雨後の地下水位の上昇とともに濃度の低い部分も上昇してくるという特徴がある。このことから源流域の湧水に源を有する表流水の硝酸態窒素は平常時では主に斜面表層の地中水を通して運搬されており、大降雨時では深い部分の地下水のポテンシャルが浅い部分の地下水のポテンシャルを上回るようになり、地下水の上向きのフローとともに硝酸態窒素濃度の低い地下水が排出されてくるものと判断される。

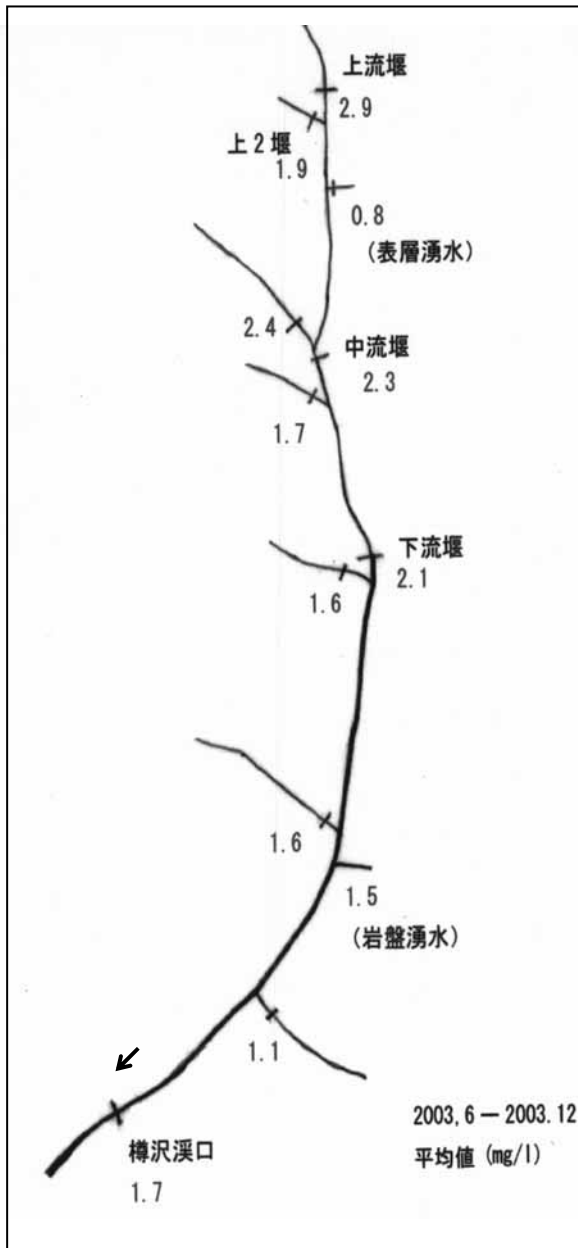


図 15.8 表流水、地下水のNO₃-N濃度

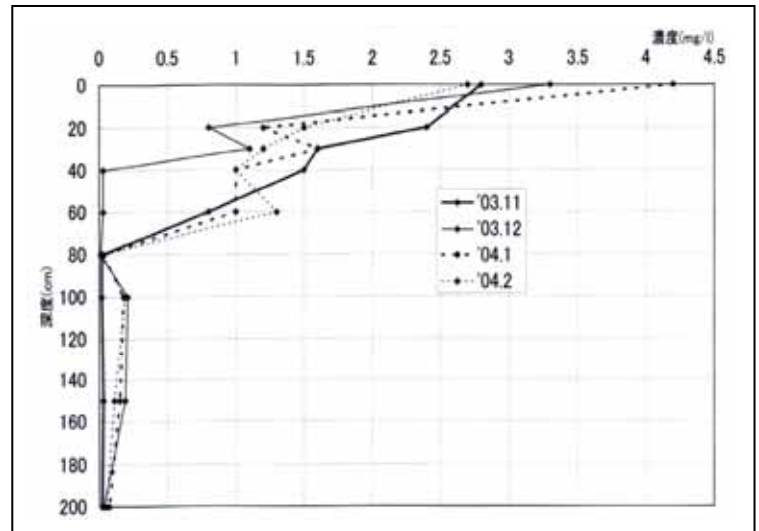


図 9 硝酸態窒素の深度分布

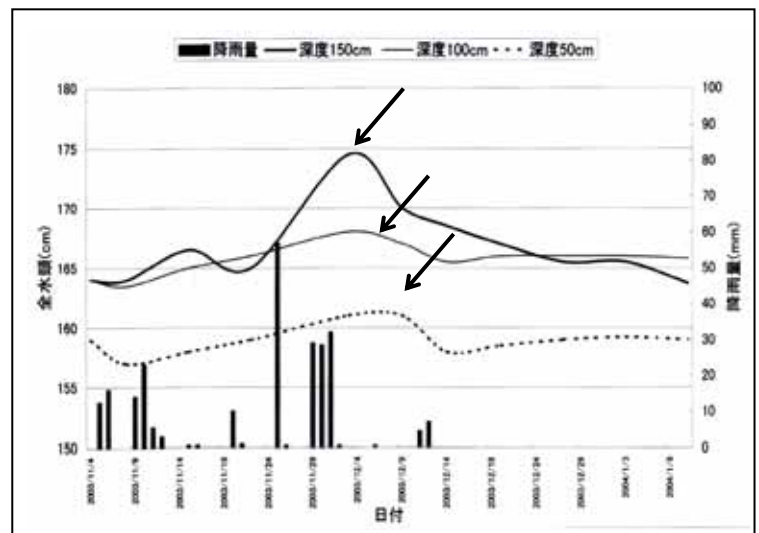


図 15.10 源流域地下水の深度別全水頭変化
 図中の矢印で示した時点は図 9 の矢印の時点に対応
 降雨後深部地下水の上昇と共に硝酸性窒素濃度の低い
 地下水が押し上げるかたち上昇してくる。

調査結果の概要

全国の山地の森林の実態をしらべると、1950年代後半に、大規模な樹種転換があった。それまでの、雑木林を伐採し、スギ・ヒノキを全国規模で植林していることが分かった。

樹種転換により、各地で水量が激減した原因を探るべく、都内の溪流河川、県外の山地河川及び海外のデータから、特に水量を収集し、針葉樹の森林と落葉樹の森林における河川の流量の違いを（第3章研究の背景）調べた。都内の水源涵養林のある流域では1日当たり、3mm/ha/dを超えていた。スギ・ヒノキ林のある流域の流出高は1~2mm/ha/d程度で、水源涵養林の流出高はスギ・ヒノキ林の比流量の概ね2倍であった。

調査のベースとして、伐採植林をテーマとして樽の流域調査を行っている。伐採後の樽流域では、普段の水量は順調に増えている。

15-1 目的

樽沢流域における本調査は、スギ・ヒノキ放置林を伐採し、水源涵養林に変えていくことを評価する調査である。したがって、伐採前、伐採後、植林、成長期の各過程の調査が長期間必要である。樽沢のふだんの水量をみるために、筆者らは伐採後の晴天時流量の観測を行い、流量が増加することを明らかにすることとした。

なお、現況のスギ・ヒノキ林と水源涵養林（雑木林、2次林、自然林をも含む）における流量の違いを調査収集することにより、樽流域の将来予測に用いることができるため、他流域の調査を実施した。

15-2 森林に関する基本調査

山林に関する伝承には、「風が吹くと沢の水が減る。昼より夜のほうが沢の水が多い。」などがある。植林に関しては、「マツは頂、ヒノキは中腹、スギは沢筋」などが植林の適地とされている。スギは沢筋、沼地を好むなど、降雨量の多い地域が適している。東京の平均降雨量は年1500mm程度とスギの名産地と比較するとかなり雨の少ない地域である。

表 15-1 スギの産地と適正気候

	東京青梅	屋久島	吉野スギ	秋田スギ	スギ適正気候
降雨量 mm	1,500	10,000	2000 >	2,300	3000 >
気温	13.6	14 (標高 1000m)	14	8 (標高 650m)	10 ~ 14

スギ

スギは日本の特産で全国各地に自生するが、普通は植林されたものが多い。天然生のスギは北海道、沖縄には見られず、水平分布の北限地は青森県西津軽郡矢倉山、南現地は屋久島の南部山地である。本州、四国、九州に広く分布している。

天然林として秋田スギ、吉野スギは有名である。鹿児島県屋久島の原生林には高さ65mにも及ぶ縄文杉があり、樹齢数千年といわれる。植栽地は年平均気温が10~14℃、年間降雨量が3,000mm以上の土地が気候上最適といわれる。

ヒノキ

東京農工大学の生原喜久雄農学部教授¹⁾によると、「ヒノキの天然分布は、福島県以南、四国、九州の暖帯から温帯にわたっている。九州では少ない。広葉樹林に混じって生育する。ヒノキの天然林の多くが、山地の山腹や尾根など、やや乾燥した立地に生育しているのは、良好な環境下では他の樹種の成長が旺盛で、競争に勝てないためである。ヒノキの最適年平均気温は10℃で、年降水量はスギよりも少なくてもよい。ヒノキは耐陰性が強い

で、下層への透過光量は少ないため、下層植生が少なく、地表面が裸出し、林内の浸食が起きやすい。特に間伐遅れのヒノキ人工林は、林内の植生が極端に乏しく、土壌表層に落葉落枝層がなく、真っ暗な林内になっている。木材の低価格化のため、手入れ不足によるヒノキ林の地力低下が危惧されている」としている。

東京の場合には、60%がスギ・ヒノキの人工林となっている。密集植林をし、間伐を繰り返すのが、通常的林業である。しかし、林業家とはいえない1ヘクタール以下の零細地主が多く、木材価格の下落等により、間伐などの手入れが出来ない状態で放置されたままの森林が多い。また、現在はまったく使われない丸太用のスギが残されており、外に転用しにくいスギが多数あることが分かった。

注文のとりの製品が届かなかったことが原因で、ユーザーは外材を頼るようになった。商社ルートができると国産材は見向きもされなくなったと言うのが真相である。悪徳商法が山を滅ぼしたようである²⁾。

通常 4000 本/ha 以上を植林し間伐を繰り返すが、外国産の木材の輸入による木材価格の低下から 30 年から 40 年以上も手入れせず、そのままである。雪崩防止林でも、300 本/ha である。10mの高木なら 300 本/ha 程度で十分地表は枝葉で覆われる。放置林が如何に植え過ぎの状態か理解できる。樽沢では、スギが 2,900 本/ha、ヒノキが 3,900 本/ha もあった。

針葉樹の放置林が水循環を阻害する理由は、年間を通じて樹冠遮断があり、大雨以外の通常の降雨ではほとんど遮断すること。下草が生えず、雨水が浸透しにくいこと、スギは、沢筋、沼地を好み、水を特に消費する木である。

拡大増林政策によるスギ・ヒノキの植林のあと、全国各地の水量は激減した。

「過ぎたるは及ばずが如く」で、放置林ならむしろ草生地の方がよいくらいである。民有地のほとんどが放置林である。写真は典型的な放置林である。

表 15-2 地表の雨水浸透能力

林地			伐採跡地		草生地		裸地		
針葉樹		広葉樹	軽度攪乱	重度攪乱	自然草地	人口草地	崩壊地	歩道	畑地
天然林	人口林	天然林							
221.4	260.2	271.6	212.2	49.6	143.0	107.0	102.3	12.7	89.3

岩手、宮城、最終浸透レート mm/hr。 出典：森と水のサイエンス p 50, 村井宏ほか 1975



写真 15-1 放置林の実態 1



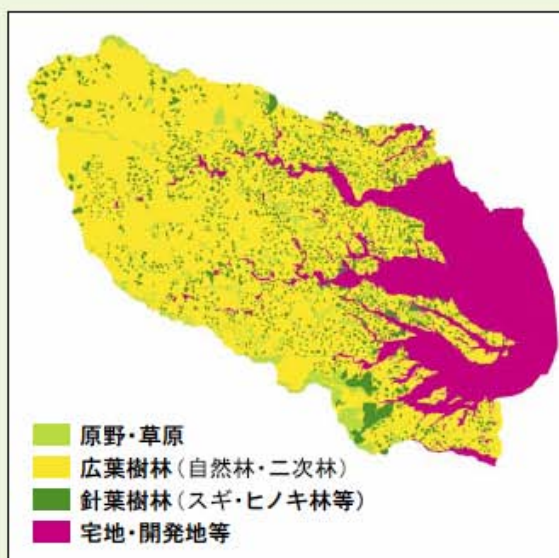
写真 15-1 放置林の実態 2

●約100年前(明治40年頃)の森の姿

この頃は、大半が広葉樹林で、植林地は集落の周辺に点在していました。

広葉樹林は、薪炭やたい肥を供給する場所として利用されていました。

※旧版地形図(1906~1910年測図)より作成

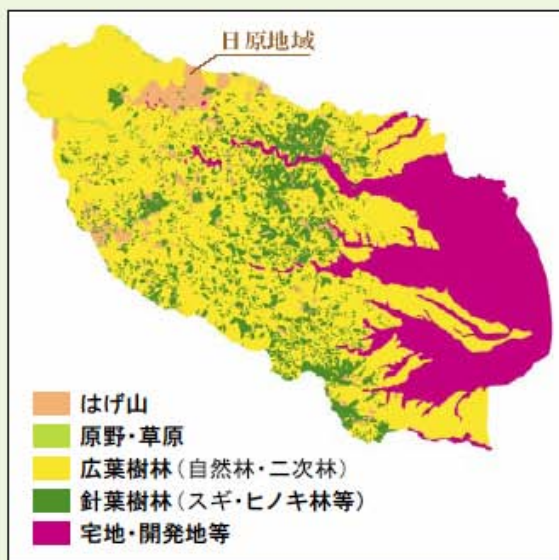


●終戦直後(昭和22年頃)の森の姿

戦時中に軍事物資として木材が大量に切り出されたことから、各地にはげ山が出現しました。

日原地域などにはげ山が広がっているのが確認できます。

※空中写真(1947年撮影)より作成



●現在(平成8年頃)の森の姿

戦後復興期や高度経済成長期に木材需要が増大したため、天然林が大量に伐採され、その跡地にスギやヒノキが植えられました。

その結果、現在では、多摩地域の約60%がスギやヒノキの人工林となっています。

※ランドサット(1995・96年撮影)より作成

※高海拔地などの針葉樹林は、シラビソ、コマツガなどの天然林も含まれる

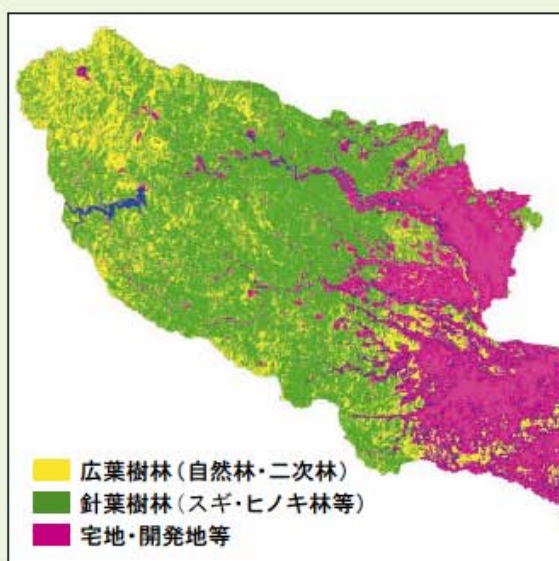


図 15-1 東京の森林の推移³⁾

表15-3 民有林樹種別森林資源表 (東京都 2003年) (単位:面積 ha)

区 分		多 摩		
		面 積		
合 計		51,911		
立木地	計	計	51,239	
		針葉樹	小計	31,942
			スギ	20,715
			ヒノキ	8,646
			マツ	809
			その他	1,772
		広葉樹	小計	19,298
			クヌギ	46
			その他	19,252
		竹 林		55
無 立 木 地		617		

樽沢での樹冠遮断調査では、スギは 560.6 mm (23.1%) であった。ヒノキは 781.5 mm (32.2%) であった。

八王子の年間降雨量は 1572mm であり、2003 年は 2028mm であり、樽では 2428mm と非常に雨の多い時の調査である。遮断比率はもっと多いと予想される。

東京も、日本全体も山地は急峻であるので、根っこの深く、崩落を起こさない樹種が望ましい。スギやヒノキはこの点で、必ずしも十分ではない。利用目的のない針葉樹が 31,942 ヘクタールもある。森林の土砂崩壊防止機能の観点からも、深根性の樹種が望ましい。防災上も危険な状態である。

今回、植林した樹種には下線を引いてあるが、これ以外にも根の深いヤマ柿を植林した。なお、ブナは気候的気温が高く無理があるが、水源涵養を特に目的として実験的に植えた。

表 15-4 深根性の木と浅根性の木

	深根性の木
針葉樹	アカマツ、クロマツ、モミ、アオモリトドマツ、ヒメコマツ
広葉樹	ケヤキ、カシワ、クヌギ、カツラ、ミズナラ、コナラ、トネリコ、トチ
	オニグルミ
	浅根性の木
針葉樹	ヒノキ、ヒバ、サワラ、カラマツ、ツガ、コメツガ、エゾマツ、トウヒ
広葉樹	ミズキ、ニセアカシア、 <u>ブナ</u> 、ヤマハンノキ、カバ、ノグルミ、イヌシデ、
	ムクノキ、エンジュ

(「川口武雄：森林の公益機能解説シリーズ6 - 森林の土砂崩壊防止機能 - , 社団法人日本治山治水協会, 1987年(昭和62年)3月」より引用) 注; スギの根の深さを標準にする。

15-3 都内の調査結果

都内では、東京都環境局発行の公共用水域の水質測定結果⁶⁾のデータを中心に調べた。この結果、都内の河川の水量は減少傾向にあり、山地においても流量の減少が進んでいるのが判明した(図15-1 北秋川、養沢川、日原川)。秋川は昭1970年代後半から、養沢川、北秋川は1997年からのデータである。

東京地域の降雨量は増加傾向にあるが、秋川、浅川、多摩川本川も流量は減少傾向にある。山地の河川は都市河川と異なり被覆率が変らないことから、水量が減った要因が何かを確かめるのには適した河川である。

流量の減っていない都内唯一の例外が多摩川流域における都水道局の水源涵養林のある日原川であった。流量は増加傾向にあり、3 mm/ha/d 以上の流出高があった。2004年(平成16年)度は流域面積が2倍近くある秋川の流量(東秋川橋)を初めて超えている。他の養沢川、北秋川には水源涵養林はなく、流域の90%がスギ・ヒノキの人口林で、今なお水量が減っている。秋川と日原川の水量の推移を東京都水質測定結果のデータで作成した。2004年度にはじめて、面積の少ない日原川が流域面積の大きい秋川の流量を逆転した。

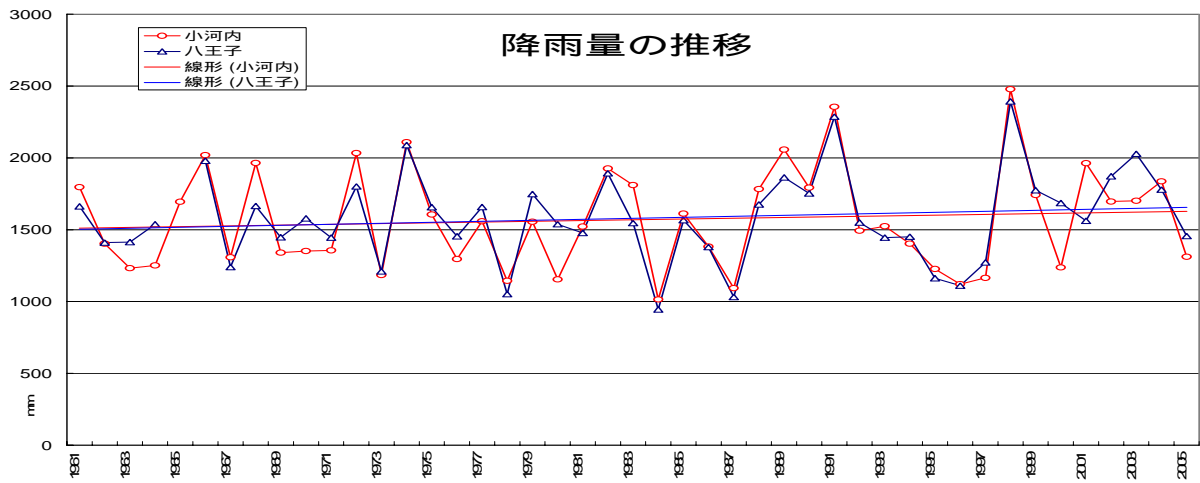


図 15-2 降雨量の推移

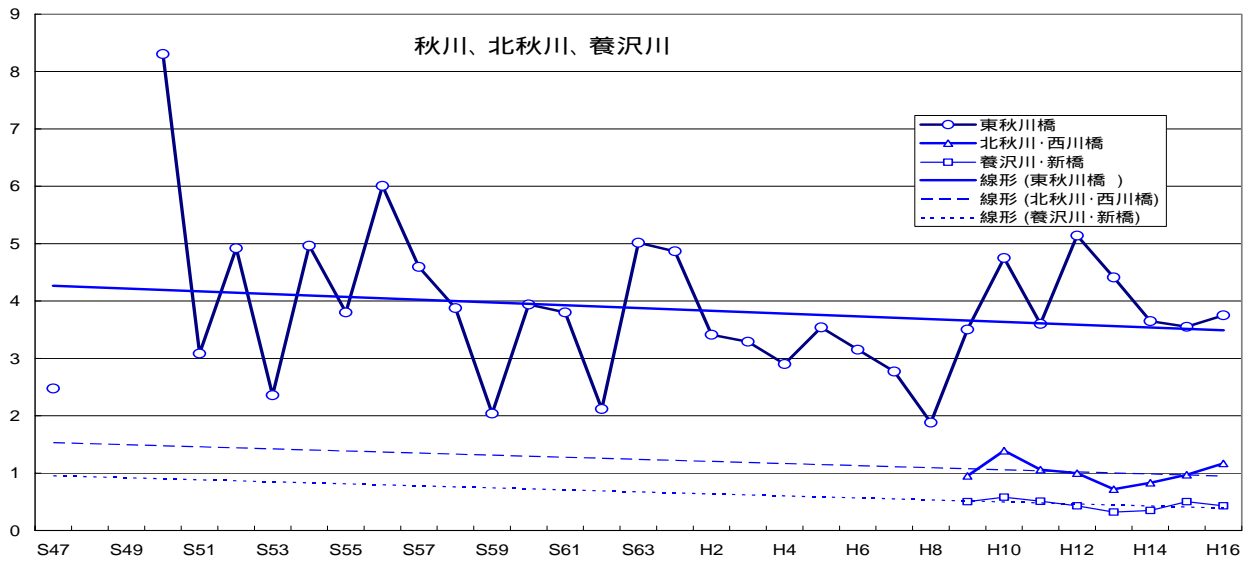


図 15-3 北秋川、養沢川、秋川

注 東京都環境局は雨水の影響のない晴天時に採水測定（月 1 回午前午後の 2 回）

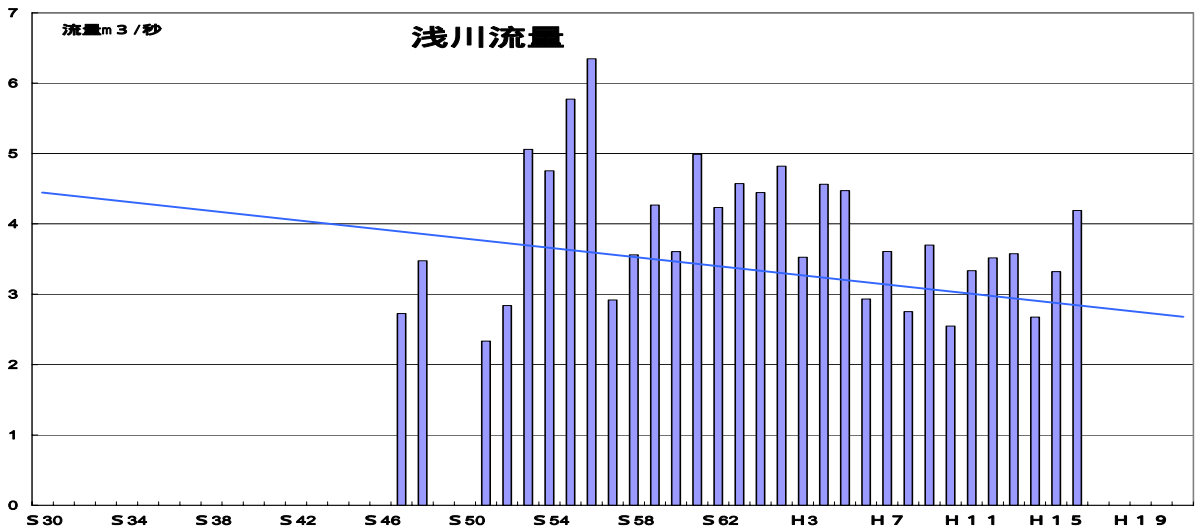
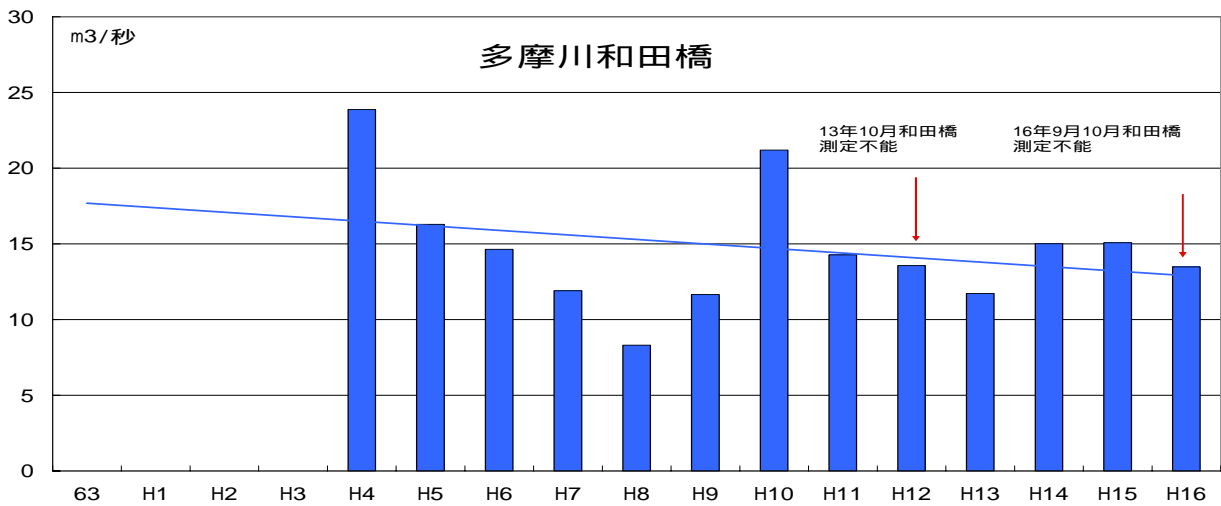


図 15-4 浅川 高幡橋図



15-5 多摩川 和田橋

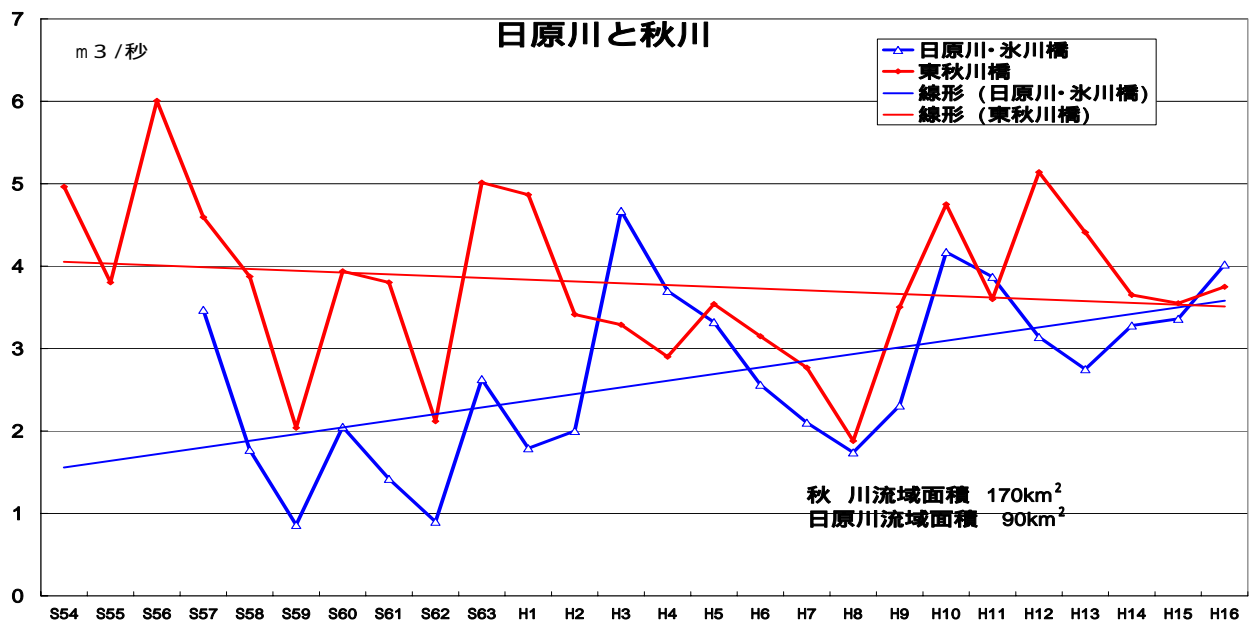


図 15-6 秋川と日原川

表 15-6 都内の山地河川

河川	年度	1999	2000	2001	2002	2003	2004	平均	備考
日原川	流域面積								水源涵養林 50%以上 2001年度豊水期 10月、11月欠測
	9306ha								
北秋川	流域面積								スギ・ヒノキ 90%
	5061ha								
養沢川	流域面積								スギ・ヒノキ 90%
	2245ha								

さらに、東京都水道局小河内貯水池管理年報⁷⁾によると、水源涵養林主体の丹波川、後山川、小菅川、峰谷川の4河川ではおおむね3 mm/ha/d以上の流出高であった。

表 15-7 水道局小河内貯水池管理年報

年		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	平均	備考
丹波川	流域面積									
	流量 m^3/s 12797ha	3.10	6.9	4.7	7.7	3.99	4.34	4.48	5.03	2002年累積流量 4.79 m^3/s
後山川	流域面積									
	流量 m^3/s 3089ha	0.9	2.1	1.4	1.8	1.06	1.15	1.14	1.36	2002年累積流量 1.22 m^3/s
小菅	流域面積									
	流量 m^3/s 4234ha	1	2.8	2.0	1.4	1.52	1.54	1.63	1.70	2002年累積流量 1.71 m^3/s
峰谷川	流域面積									
	流量 m^3/s 1550ha	0.32	0.96	0.65	0.47	0.51	0.54	0.52	0.57	
	流出高 mm/ha/d	1.78	5.35	3.62	2.62	2.84	3.01	2.90	3.16	

また、典型的な自然林のある秋川流域逆沢川とスギのみの森林流域である養沢川支流宝沢川において、流量調査を実施した。スギ林の流域では 1.6mm/ha/d 程度で、水源涵養林の流出高は 3mm/ha/d でスギ・ヒノキ林の流出高の概ね 2 倍であった（表 3）。水質もかなりの差があり、伝導度が著しく異なる。詳しい化学分析はしなかったが、見た目のきれいさは写真のとおり、水の青さがまったく違う。また、日原川上流でも水の青さは見られるが、合流する多摩川本川には見られない青さである。

表 15-8 自然林のある秋川流域逆沢川とスギのみの流域の宝沢川

項目	逆沢川金剛の滝	養沢川支流宝沢
調査時 2004/12/8	11:10	13:40
流量 / 秒	28.79	7.72
流域面積 ha	78	41.6
流出高 mm/ha/d	3.19	1.60
pH	7.08	8.15
電気伝導度 ($\mu S/cm$)	58	108
溶存酸素濃度 (mg/)	11.18	10.31
水温 ()	8.7	9.5
流域の森林現況	広葉樹	スギ

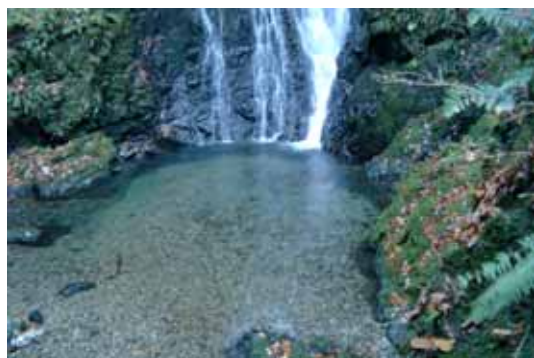


写真 15-2 逆沢川金剛の滝



写真 15-3 養沢川支流宝沢

15-4 樽沢での調査

降雨量により流量は変化する。八王子管内の降雨の状況は、2004年は1779mmと多く、2005年は1456mmとやや雨量が少なく、2006年も同様にやや少ないが、安定した降雨があるのが特徴である。

伐採終了後の2004年1月から流量の実測調査を開始した。晴天時の流量がどのように変化し、回復していくかをみることにした。連続測定データの参考になるので、測定場所は観測堰4か所において重量法で実測定を行った。

流量は伐採後年々増加の傾向があり、5年～6年で水源涵養林と同様の回復が可能であるようにデータからは推測される。

水質では伝導度が著しく低下し、水源涵養林の伝導度に近づいており、やはり6年～7年で回復しそうである。

樽流域において、伐採後に植林はしたが、まだ木は小さく植林の効果はない。しかし、草が生え始め、草刈が必要になっているほどである。自然の草地の浸透能力は100mm/hr以上と十分あることが知られている。雨水の浸透が始まり、保水能力が向上し、水量が増え、水質が向上するなど、各地のデータを裏づける結果がえられつつある。

Bosch & Hewlett(1982)の「植生の減少に伴う年流出量の増加」が、一般的に使用されている⁸⁾。この図を見ると、針葉樹の伐採は水量の増大につながる事が理解される。

表 15-9 伐採前後の樽の森林種類の面積変化

全体変化	2003	2004
ヒノキ幼令林	0.9	0.9
伐採		1.85
雑木林	0.8	0.8
スギ/ヒノキ林	7.2	5.35
合計(林道下観測堰までの面積)	8.9	8.9

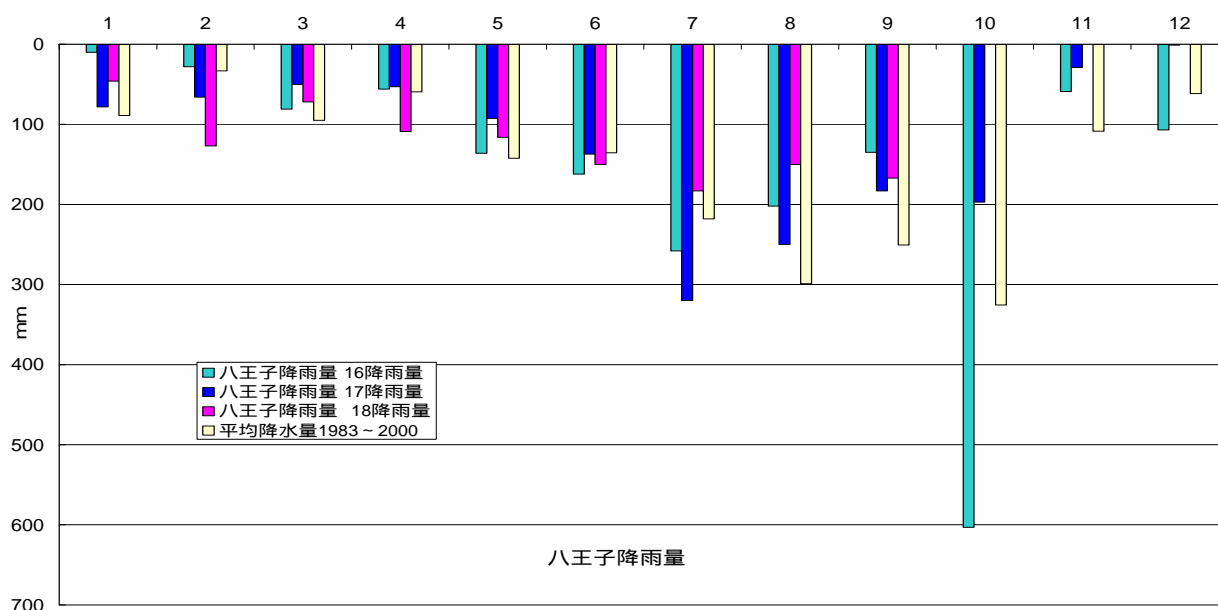


図 15-7 八王子の降雨量

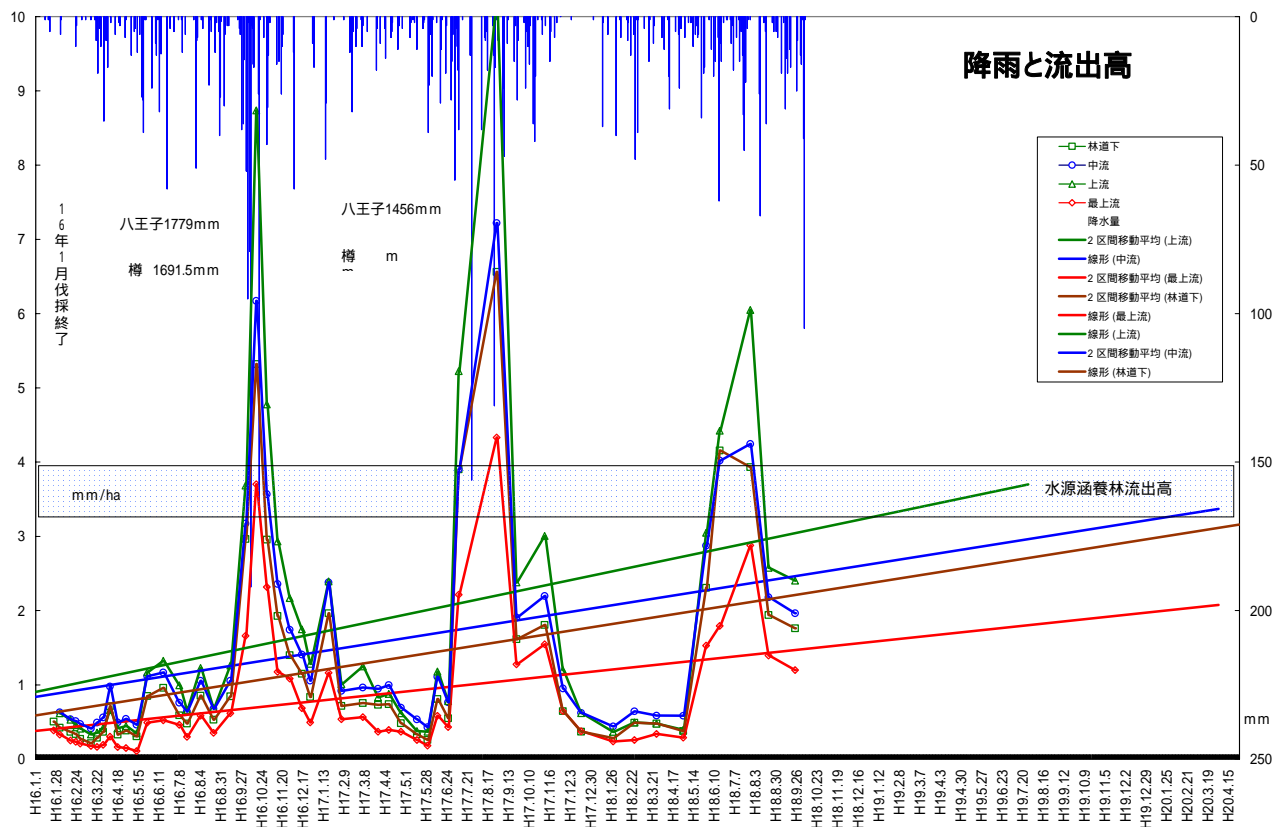


図 15-8 伐採後の流量の推移

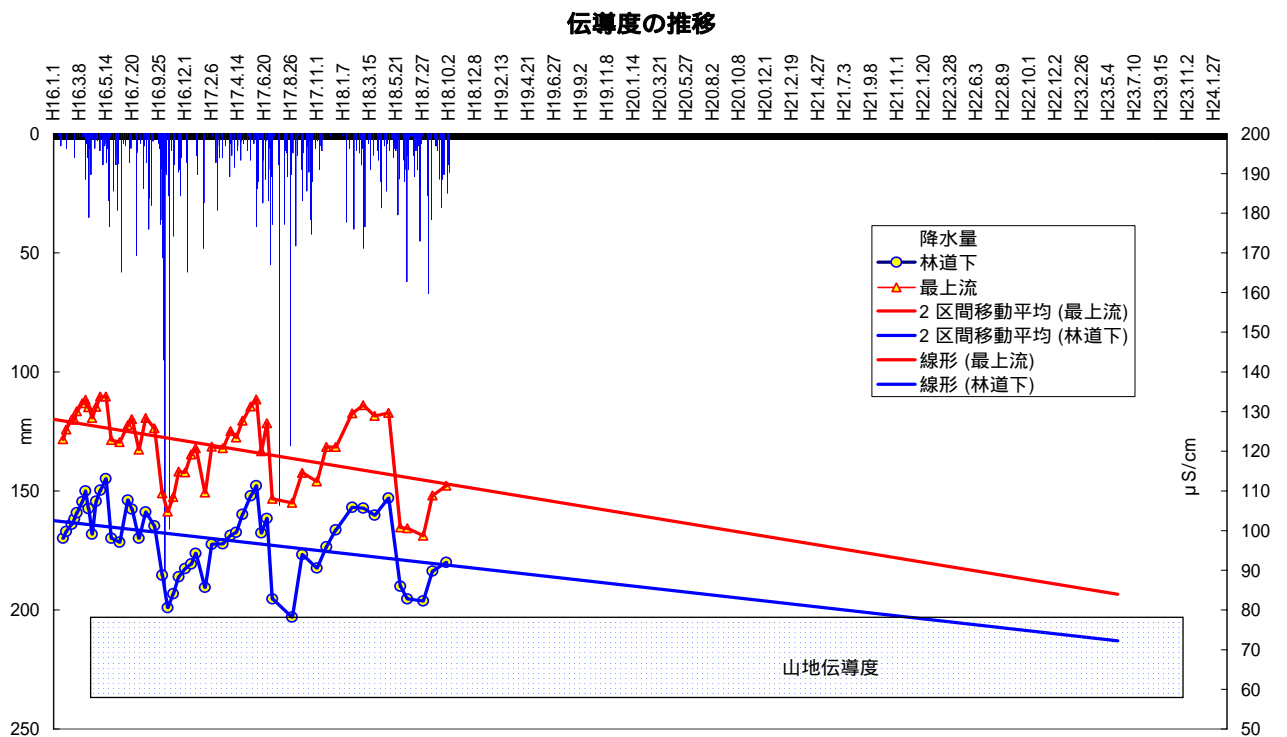
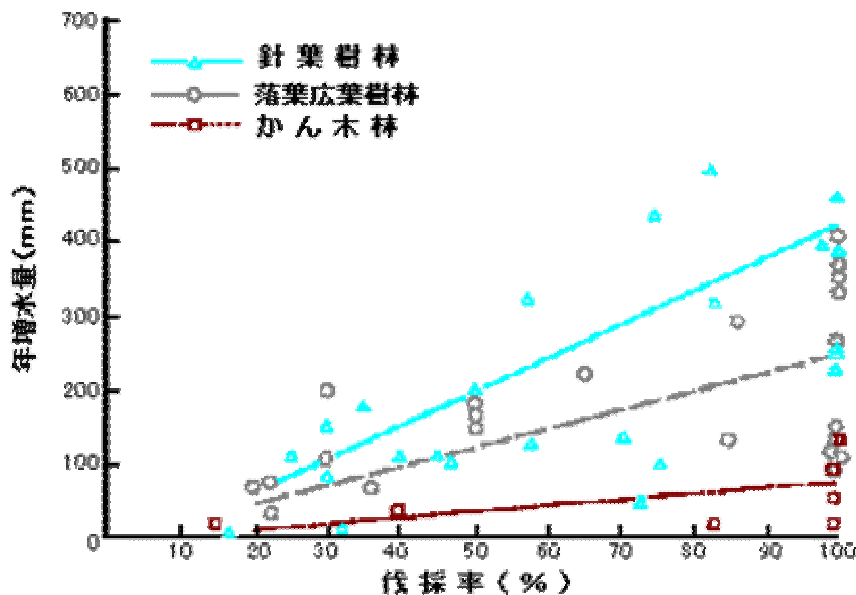


図 15-9 伐採後の伝導度の推移



伐採率と年流出量の増加量との関係
(Bosch and Hewlett, 1982)

図 15-10 伐採率と年増水量

おわりに

水道用の水源涵養林等とスギ・ヒノキの放置林では流量が2倍の差があった。樽の調査でも伐採後1年でも樹幹遮断の減少と雨水の浸透があり、流量が増加傾向にある。また、水質も向上しつつある。水量・水質ともに伐採後短期間で回復すると予想される。

都内には5万2千ヘクタールの森林があり、このうち、人口林である3万1千ヘクタールを新たに水源涵養林とすると流域面積2万6千ヘクタールの小河内ダムよりも大きな緑のダムを手に入れることになる。湧水や河川等の等環境用水の減少に悩む大都市東京では身近な流域に新たな水源を作ることが可能である。そして、東京湾への清浄な水源を確保することができる。

参考文献

- 1) ヒノキの特徴、東京農工大学の生原喜久雄農学部教授（森林生態学）
- 2) 「日本の森はなぜ危機なのか」平凡社、田中敦夫、p47
- 3) 東京の森林の推移 東京と環境局ホームページ、自然環境。
- 4) 「多摩川流域森林機能の計量・評価に関する調査報告書」財団法人林業科学技術振興所平成4年6月発行p10
- 5) 有林樹種別森林資源表(東京都2003年)、東京都ホームページ
- 6) 東京都環境局公共用水域の水質測定結果
- 7) 小河内貯水池管理年報平成9,10,11,12,12,14,15(1997~2003)年
- 8) Bosch, J.B. and Hewlett, J.D. (1982): A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration, J. Hydrol., 55, 3-23.

第16章 樽沢の変遷と水文環境の変化

(飯田 輝男・樽 良平)

16-1 はじめに

多摩地域で最初の水道ができたのがここ五日市町の樽沢である。写真はその水道取水跡である。この水は山のトンネルを掘って、市街地へ導水していた。写真は調査する6年前である。現状の水量は非常に少なく、ここに五日市の水道があったとは信じられなかった。水道跡の堰をオーバーフローするのはほとんど見られなかったからである。

この堰は1939年1月1日に多摩地区で初めて敷かれた五日市水道の取水のための堰で、ここから北寒寺の浄水場へパイプで自然通水されていた。

その後、この樽沢の水もスギ・ヒノキの植林のため沢水が枯減し、それに加えて、使用人口が増えたこともあって水不足となり、秋川本流から北寒寺の浄水場へ汲み上げて補ったりしたが、ついに樽からも秋川本流からの取水もやめて、この小さい浄水場は閉じられてしまった。この後、盆堀川なども利用されたが、秋川からの取水によって五日市水道が本格的に布設された。



図 16-1 樽調査位置図



写真 16-1 調査前のうっそうとした森林



写真 16-2 調査前の五日市町水道跡

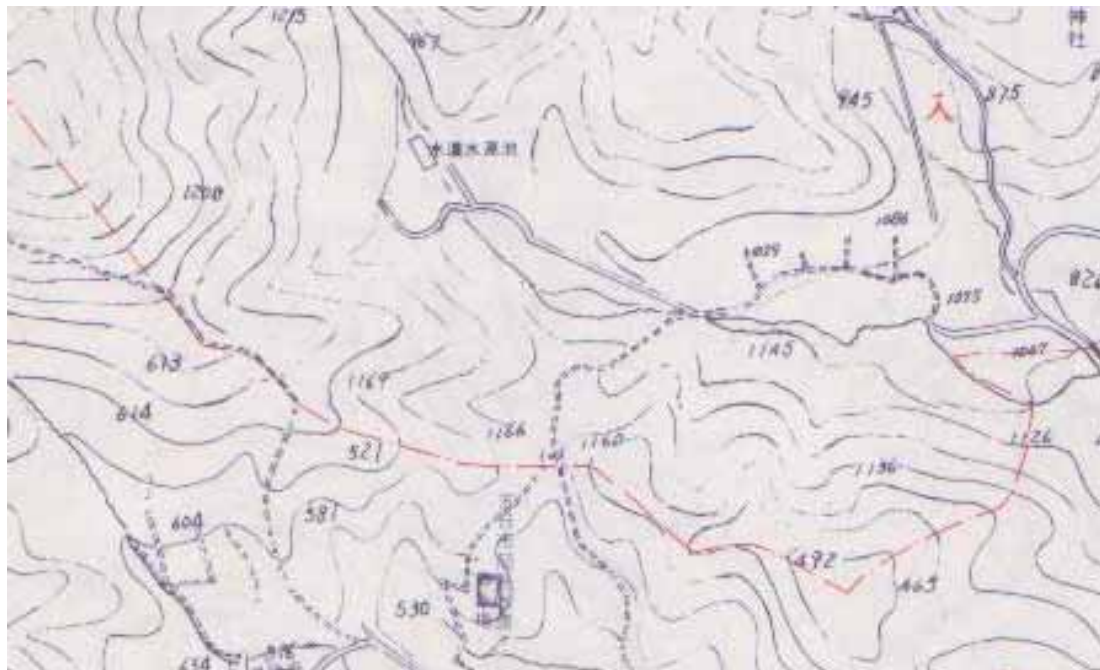


図 16-2 水道の載っている地図（水道水源池と五日市簡易水道浄水場が記載されている。）

古来 周囲を山で囲まれた小広い場所に樽という字が当てられている例はあるが、ここあきる野市樽についてはどうであろうか。江戸時代の中頃につくられた新編武蔵風土記稿の入野村の項に、「秋川の支流にして樽沢というところあり、その沢の奥に「くくり岩」という岩ありてそこから滴り落ちる水を、樵、山に入りて飲むと酩酊した」云々とある。

「くくり岩」とは樽沢の源流にあるチャートの大きな岩で、あたかもこの岩が谷を跨いで源流を括っているように見えることから、この名が付けられた。樽沢の名は酩酊した酒、つまり酒樽に由来するようだが定かではない。また、昔からある酒にからんだ話としては“猿酒”のことがある。マタタビやサルナシの実が、木や岩の窪みに落ちてうまい具合に自然発酵すると“猿酒”ができると言われている。くくり岩の周囲には今も、マタタビやサルナシの木が見られるので、これもこの風土記稿の記述につながる話ではある。

また、酒にかかわる話と切り離れた考え方として、“樽”の発音には足る、垂る、などがあるが、このうち、地形にかかわる名前として“垂る”がある。万葉集の歌に出てくる「垂水の水」の“垂水”は“滝”の

意を表わしている。

樽沢の源流は金比羅山の北側にはじまり凡そ 2 km で秋川に流れ込むが、この間に高さ 10m ばかりの滝が 3 段落ちているところから樽沢と言う名が付けられたとも考えられる。樽と言う地名は滝のある地名として全国的にみられることから考えられることである。

樽の印象は、鬱蒼としていて、近づきがたいスギ・ヒノキの森林であった。林道より上には、容易には行けなかった。藪こぎを覚悟しないと歩けなかった。また、餌になるものが何もなく、虫、鳥等の生き物の極端に少ない森林であった。

水道堰から上の流域は 20 ヘクタールあり、豊水期に比流量 10mm 流れていたとすると、2,000 トン/日である。渇水期に 1 mm 流れたとすると 200 トン/日である。水源涵養林にある河川では平均 3 mm から 4 mm の比流量があるので、当時は平均 600 トンから 800 トン/日は流れていたと思われる。



図 16-3 樽の調査図

Bosch & Hewlett, 1982 の「植生の減少に伴う年流出量の増加」¹⁾が、一般的に知られている。この図を見ると、針葉樹の伐採は水量の増大につながる事が理解される。反対に落葉広葉樹を伐採し、針葉樹を植えると、水量は減少することが理解される。樽では、まさにこれをやったわけである。今回の調査は、針葉樹を植えて、水量が激減したところで、再び落葉広葉樹に変えたら水量が増えることを明らかにすることである。

16-2 樹林の変遷

拡大造林政策にのり、足場用の丸太の生産、建築用の柱、板の生産用にスギ、ヒノキを植林する前は、典型的な里山の雑木林で、薪や炭を生産していた。クヌギ。コナラの 2 次林で、どんぐり等の実がなり、表層土も豊かで、水源涵養林となっていたと推測される。樽は狭い区域なので、大正 12 年の地図では、詳しくは記載されていない部分であった。

また、樽には、特殊な土があり、染物用の土を大量に取っていた形跡があり、一部地域は地形が大きく変わっている。江戸末期から明治期に黒八丈と言う織物が「五日市」の商品名で日本全国に出回ったことがあった。黒八丈は裾染めの絹織物で、混に含まれた鉄分とハンノキの実や皮を反応させて黒色に染め上げるが、鉄分を大量に含んだ泥を大量に使用した。

林道入口から 200m ほど奥の右側の窪地は「梅の木窪」と言い、「五日市の飛地」となっている。この窪地は石ばかりで土砂崩れの後の如く、掘り採ったように泥がなくなっているのがいかにも不自然に見える。

「五日市」の商品名の黒八丈と、泥を掘り取ったような地形、「五日市の飛地」を合わせ考えると、単なる土砂崩れではなく黒八丈を染める泥を掘った跡、つまり人為的なものと考えざるを得ない。

特に他にも泥を採掘したと思われる箇所がいくつかみられ、そこはすべて五日市湖の堆積物(鉄分を含んだ黑色粘土層)が存在したとみられるところである。

広葉樹の地域は樽沢の尾根部にも全く残っていない。しかし、秋川対岸の板沢川に広葉樹林の森林(今熊神社²⁾)が残っており、生態系、水量ともに豊かであることから、表層土も残っていると見られる。今熊神社周辺には、大正 12 年の地図にも広葉樹が記載されている。今熊山は海拔 505 メートルで、今でもツバキ、モミ、ブナ(イヌブナ)などの貴重な植生を有している。

図 16-3 は樽における観測図である。図 16-6 樽調査位置詳細図は、樽の観測の場所を理解する上で、必要な詳細地図である。尾根部、谷等の地形が一目瞭然である。また、この地図には標高も記載されている。

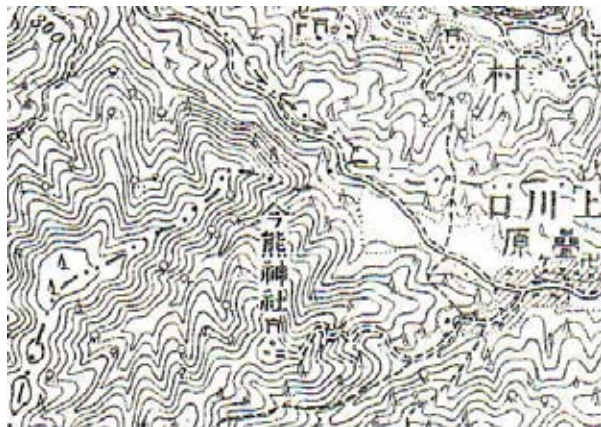


図 16-4 今熊神社(大正 12 年地図)



図 16-5 樽地域(大正 12 年地図)

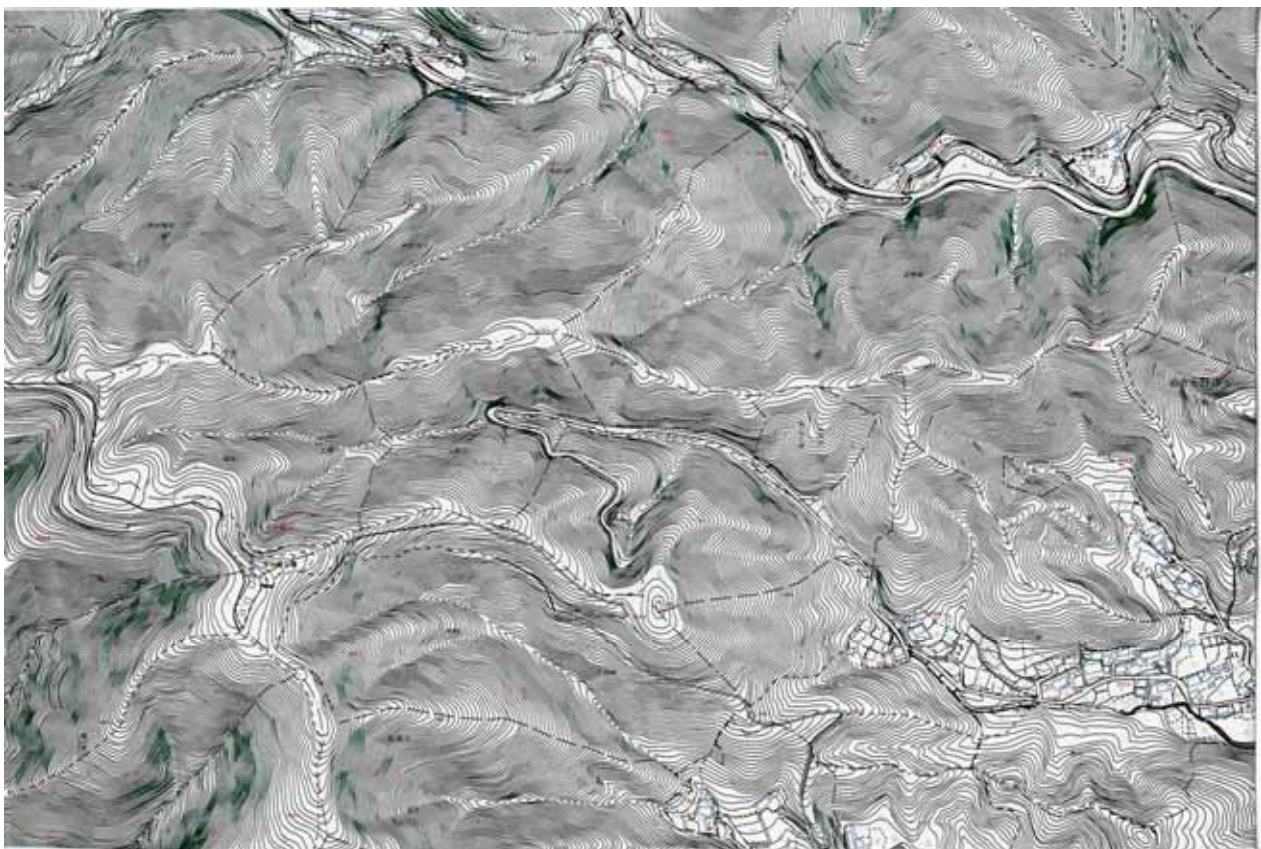


図 16-6 樽調査位置詳細図

約 20 ヘクタール観測域における土地の所有者は零細規模のものが多く、単独で 1 ヘクタール以下が

ほとんどである。共有地も多く、それらが、放置森林の原因ともなっている。観測道路設置、観測施設の設置に際しては、過去の雪害のための倒木が多く、中流部より上流域では溪流が倒木に覆われての流水がほとんど見えない状態であった。



写真 16-3 倒木で埋もれてみえない溪流



写真 16-4 倒木だらけの新設時の上流堰

森林の実態をたしかめるため、次ページには五日市町の大正年代の写真と現在の写真を掲載した。



写真 16-5 旧五日市全図



写真 16-6 現五日市全図



写真 16-7 旧五日市入口高尾山



写真 16-8 現五日市入口高尾山



小机の急坂を登るC11型蒸気機関車 [昭和28年頃]

写真 16-9 旧五日市駅周辺



写真 16-10 現五日市駅周辺

16-3 樽の調査

樽沢流域における本調査は、スギ・ヒノキ放置林を伐採し、水源涵養林に変えていくことを目的として、それを評価するための調査である。したがって、伐採前、伐採後、植林、成長期の各過程の調査が長期間必要である。

(1) 観測網の整備(1年目、2001年)

2001年から研究費の助成を受け調査を開始した。観測堰の設置(流量の連続測定+全量測定)三角堰、パーシャルフリューム3台、下流堰(2回流出)最後に上流第2堰を加えた。

雨量観測関係では、林内雨、林外雨、樹幹流、蒸発散、樹冠遮断量の計算

その他、土壌水分計、テンションメータ、水位計、水質測定、生態調査(森林、溪流、昆虫)

(2) 観測の開始(データの取り込み)

下流の樽邸横の観測堰が2回流出し、中断した。林道下の堰が流出したので、大きいものに変えた。2001年9月から観測を開始した。

(3) 伐採

観測3年目後半に伐採を実施した。場所は樽上流域で、面積は1.85ヘクタールを2003年1月から2004年2月に実施した。植林は2005年2月から2005年4月に実施した。

(4) 水量データの要約

本観測では最も重要な観測は流量観測である。現在、2002年、2003年、2004年がまとまっている。

流出率は伐採前が、79.2%、79.3%で、伐採後1年目が65.1%であった。

伐採前の樽沢の溪流は都市河川と変わらない流出率であった。観測堰の流出(計3回)は、想定外ではあったが、十分ありうる河川であった。放置林は水害の起き易い森林であるといえる。

2005年ではさらに、雨水浸透が促進され、一時流出が減ってきており、普段の流量は増加傾向にある。また、降雨と流出のタイムラグが伐採後1年目で現れた。我々が森林について持っていた知識とまったく異なる結果であった。

(5) 樹冠遮断量 スギ 560.6mm (23.1%) ヒノキ 781.8mm (32.2%)

(年間降雨量 2428mm 2001.9.1 - 2002.8.31)

(6) 栄養塩等 ヒノキ林ではスギ、裸地と比較するとNO₃、SO₄の流入が大きい。伐採前後の水質測定中。雑木林ではNO₃は減少中である。

(7) 森林植生では、伐採前の状況を把握し植生図を作成しており、今後どう変わるかは今後の課題である。一方、観測中に間伐があったが、間伐の効果は1年で、スギ樹冠が拡大した結果、速やかに林冠が閉鎖した。森林の中で下草が各段に増えたとはいえない。

(8) 生態系にも変化

伐採の影響を最も受ける最上部の大野のポイントでは生物層が豊かになった。源氏蛭の幼虫が2005年始めて上樽(林道より上流)で採取された。蝶やトンボ、鳥も伐採後下草が繁茂し、水流が見られるようになってから増えてきている。昔トンボを幼虫と成虫で採取できた。タゴカエルの鳴き声が聞こえ、

サワガニが増えたように見える。

(9) 地質・地層

表層土から岩盤までの厚さを流域全体で測っている。各森林の土壤飽和係数、N 値を測定。土壤が厚いのは山頂部、斜面中腹である。山頂部には立川ローム層がある。斜面中腹は崖錘である。チャート、泥岩、砂岩がある。縊岩から下は急に標高が下がっている。



写真 16-11 伐採したスギの年輪 (切り株の年輪は 60 年であった。)

16-4 樽沢で晴天時流量調査

河川の普段の流量を見るために、晴天時流量の観測を行った。

2003 年 11 月から、2004 年 1 月までに、上流部の 1.7 ヘクタールの伐採を終了し、1 年たったところである。最上流、上流、中流、林道下の 4 箇所、2004 年 1 月から、晴天時における気温、水温、伝導度、流量の 4 測定をおこなった。面積は、東京都都市整備局の市販地図を利用して積算した。期間が短い伐採の影響が把握できた。伐採の影響は、上流部、中流、林道下、最上流部の順で、予想のとおりであった。2004 年の流出高は、1.48mm/ha/d、1.26mm/ha/d、0.96mm/ha/d、0.63mm/ha/d であった。2005 年の流出高は 2004 年よりも降雨量が少ないが、2.43mm/ha/d、1.94mm/ha/d、1.66mm/ha/d、1.14mm/ha/d と増加している。一番水量の少ない冬季である 2005 年 2 月の比流量と 2004 年 2 月の流出高を比較すると、概ね 2 倍を超えていた。

表 16-1 樽流量の月別流出高

	上流部 19,627 m ²			最上流部 9,446 m ²			林道下 89,660 m ²			中流 58,340 m ²		
	16 年	17 年	18 年	16 年	17 年	18 年	16 年	17 年	18 年	16 年	17 年	18 年
1 月		2.39	0.37	0.39	1.16	0.24	0.51	1.96	0.28		2.38	0.44
2 月	0.50	1.01	0.62	0.28	0.54	0.37	0.29	0.72	0.37	0.54	0.92	0.62
3 月	0.39	1.04	0.48	0.18	0.47	0.34	0.29	0.74	0.48	0.49	0.96	0.59
4 月	0.51	0.75	0.39	0.20	0.38	0.29	0.47	0.61	0.38	0.67	0.85	0.58
5 月	0.76	0.37	3.05	0.30	0.22	1.53	0.58	0.30	2.31	0.79	0.48	2.87
6 月	1.33	0.98	4.42	0.52	0.51	1.79	0.96	0.68	4.16	1.17	0.94	4.02
7 月	0.83	5.23	6.05	0.38	2.21	2.88	0.53	3.90	3.93	0.70	3.90	4.24
8 月	0.96	10.22	2.58	0.47	4.33	1.40	0.69	6.56	1.94	0.87	7.22	2.18
9 月	1.26	2.38	2.40	0.62	1.28	1.20	0.85	1.62	1.76	1.06	1.91	1.96
10 月	5.73	3.01	2.80	2.56	1.55	1.32	3.75	1.81	1.82	4.30	2.20	2.09
11 月	2.55	1.22	1.17	1.13	0.65	0.64	1.66	0.65	0.73	2.05	0.95	1.01
12 月	1.52	0.62	1.23	0.59	0.37	0.63	0.99	0.37	0.83	1.23	0.62	1.08
平均	1.48	2.43	2.13	0.63	1.14	1.05	0.96	1.66	1.58	1.26	1.94	1.81
最大	5.73	10.22	6.05	2.56	4.33	2.88	3.75	6.56	4.16	4.30	7.22	4.24
最小	0.39	0.37	0.37	0.18	0.22	0.24	0.29	0.30	0.28	0.49	0.48	0.44
最大最小比	14.84	27.40	16.58	14.38	19.86	12.19	12.98	22.21	14.69	8.83	14.98	9.64

最上流部は伝導度が高く、雨水が地下水となって湧出しているが、土壤の質の差と地下水のダムがあると思われる。水温も冬でも高い。地質、地盤の違いなどによりかなりのばらつきあるのは十分予想される。詳しくは本報告の千葉大学の水量データを参考にされたい。伐採後の樽流域の流量は安定し、増加傾向にあると思われる。流出高の月変化を表 16-1 と図 16-7 にまとめている。順調に水量が増

加しつつあるのがわかる。この水量の増大に伴い、風倒木に覆われていた溪流が見えるようになってきている。

伝導度は伐採後、図16-8のように順調に下がってきており、水源涵養林のそれに近づいている。雨水が地下に浸透を始めていることを示している。降雨量に応じて水量が多くなると図16-9のように伝導度が著しく低くなる傾向にある。

ただし、都会の湧水では雨水浸透ますによる保全施策を行っても、このような伝導度は低下はみられなかった。



写真 16-12 伐採前の写真

写真 16-13 伐採後の写真

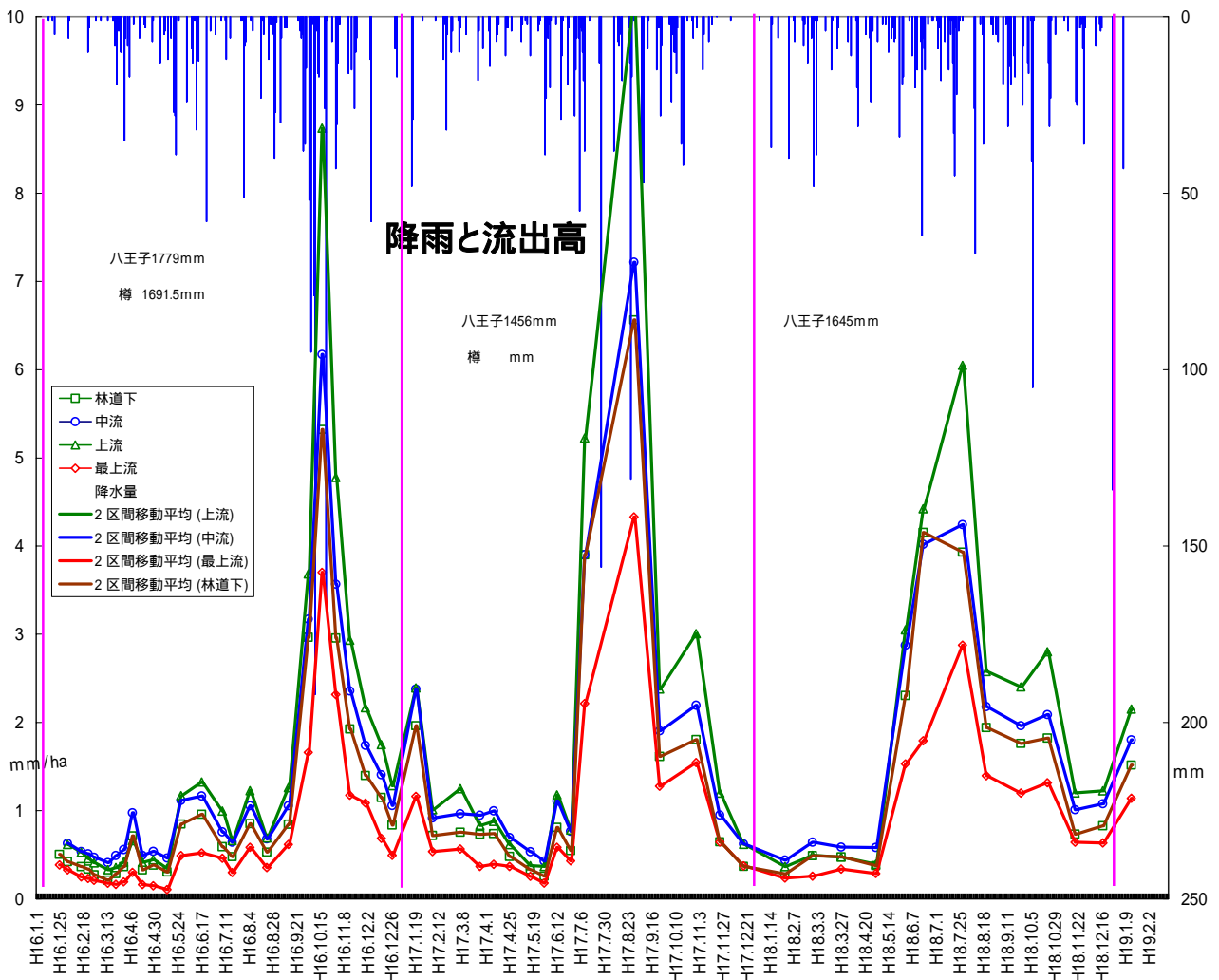


図16-7 櫛の降雨と流出高（比流量、晴天時流量）

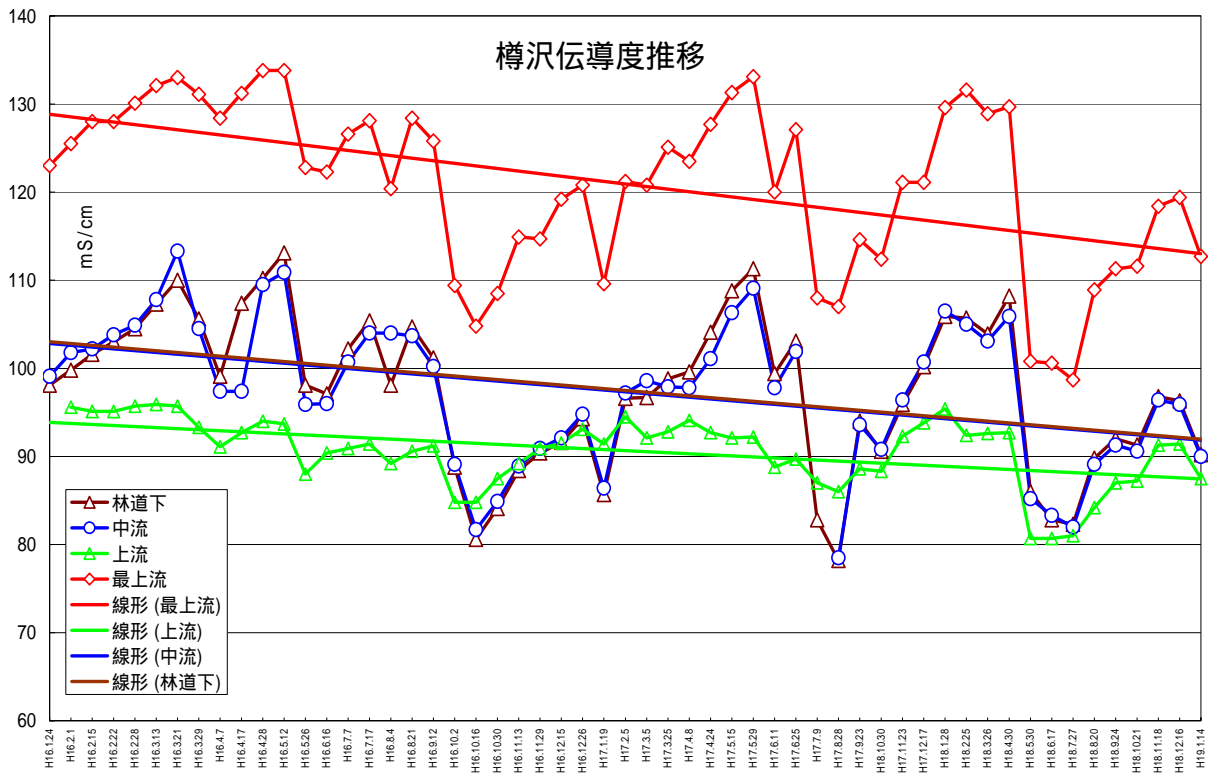


図16-8 樽沢川の伝導度の推移

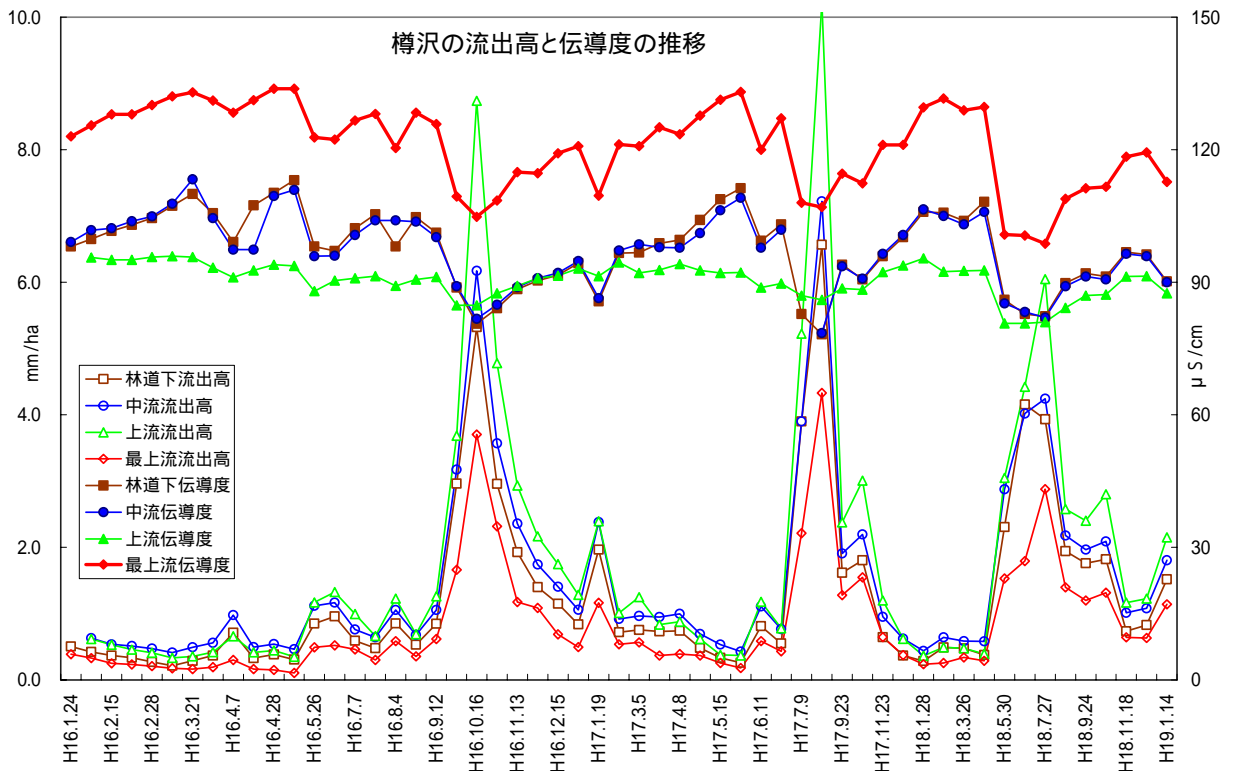


図 16-9 樽沢川の流出高と伝導度の推移

降雨量により流量は一般的に変化する。1961年から2006年の八王子の平均降雨量は1582mmであった。最近の過去5年間の2月、3月、4月、6月の平均は30年間の平均降雨量よりも少ないが、秋は非常に降雨量が多くなっているが、梅雨が梅雨らしくなくなっている。このため、年初から秋までの流量は少ない状態となっている。

樽流域における 2004 年の前半の流量は少なく、比流量が 1mm /ha を超えたのは、2004 年 9 月後半からであった。2004 年は 9 月前半まではまれに見る渇水であったが、10 月の八王子の雨量は 757.5mm と異常に多い降雨で、1 年の半分もの降雨量がわずか一月に集中した。結果として 2004 年は 1770mm と豊水年となった。

2005 年の降雨量は 1456mm と 126mm 少なかったが、7 月 8 月に降雨が多く、樽沢の 8 月の水量が著しく多かった。

2006 年は 1645mm と 63mm だけ平均降雨量を超えており、さらに、各月安定して降雨があり、それに伴って樽沢の水量も安定して増えてきた。

表 16-4 八王子の平均降雨量の比較表 (mm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
1983 ~ 2000	42	51	110	122	108	192	177	220	260	144	83	32	1540
2001 ~ 2005	89	33	95	59	142	136	218	299	251	326	109	62	1825
差	47	-17	-15	-63	34	-56	41	79	-9	182	26	29	285

注：2005年は4月までのデータを使用している

参考文献

- 1) Bosch & Hewlett, 1982 の「植生の減少に伴う年流出量の増加」*Bosch, J.B. and Hewlett, J.D. : A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration, J. Hydrol, 55,*
- 2) 今熊神社、〒192-0151 八王子市上川町19、JR中央線「八王子駅」より西東京バス「今熊」(川口廻り) 徒歩20分

第17章 東京都の水事情

(飯田 輝男)

17-1 水循環の現状

東京では、はるかかなたから水道用水はくるものの、都市化の進行（被覆率の増大）による雨水浸透不足のために中小河川に水源がなく、雨天時には一時に雨水と汚水が河川、東京湾へ流出している。かつての水の都を造った玉川上水路網の恩恵も既に消えうせてしまった。東京は今も砂漠化が進行し、気候の悪化だけでなく環境の悪化も進行しつつある。また、頼みとする山地の河川までも水量が減少している。

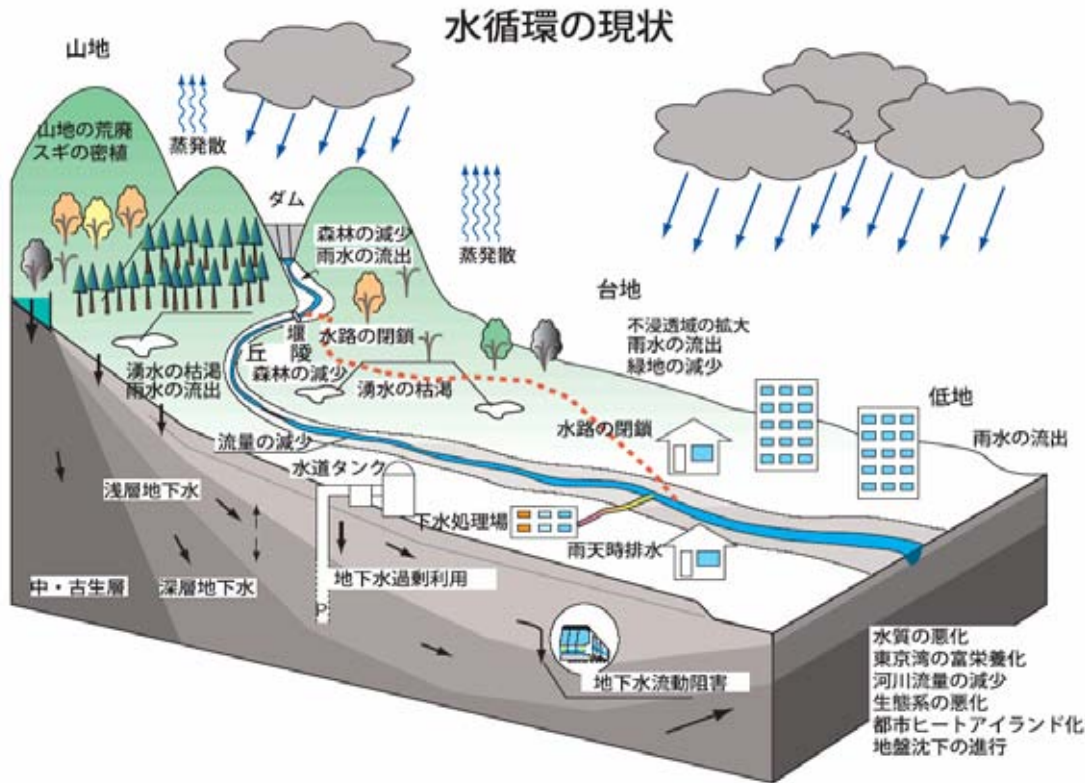


図 17-1 水循環の現状

17-1-1 都市化の進行（被覆率の変化）

区部では道路や建物が地面を覆う被覆率が80%を初めて超えてしまった。多摩地域も、大幅な被覆率の上昇が見られる。多摩ニュータウンの発展、駐車場規制(平成4年)、秋留台地の開発は中止にはなったものの、今後も多摩地域の都市化が大規模に進行し、被覆率がさらに増大し、区部で1%程度、多摩地域で3%程度は平成16年度までには増加が予想される。

表 17-1 被覆率の変化と水収支

	区 部			多摩地域		
	昭和43年	昭和61年	平成3年	昭和43年	昭和61年	平成3年
被覆率	73.9%	79.3%	81.8%	29.6%	49.0%	52.5%

17-1-2 雨水浸透量等の推移

道路や建物などの建設が進むなど被覆率の増大にともなって、降雨量に対する、雨水浸透量が明らかな減少傾向にある。昭和43年と平成3年を比較すると区部も多摩地域も同様に雨水浸透量が半減している。しかし、現在平成18年になっており、調査年から既に15年も経過している。図17-2 雨水浸透量の推移のとおり、近い将来にも、雨水浸透量と日量50万トンの地下水揚水量が拮抗し、雨水浸透量が不足すると予想される。

さらに、雨水浸透の不足のために蒸発散が減少しているにもかかわらず、建物、道路からの輻射熱そして、自動車や事業所からの排熱が増加して、東京のヒートアイランド化を促進する結果となっている。

都内の晴天時の河川水質は向上している。特に下水処理場の放流先のない河川の水質は各段に向上している。

しかし、各河川とも流量が少なく渇水時には瀬切れが起きる。逆に、雨天時には汚水も雨水とともに排水され、河川から東京湾に大量に流出している。都内では合流式下水道が多く、下水道の普及率の向上にもかかわらず、赤潮の発生回数は減少せず、東京湾の水質は思ったほどには向上していない。

しかし、近年、多摩川のアユの遡上も増えつつあり、東京湾の水質も若干改善の兆しが見え始めている。



写真 17-1 小河内ダムアオコ



写真 17-2 田園調布堰の遡上アユ

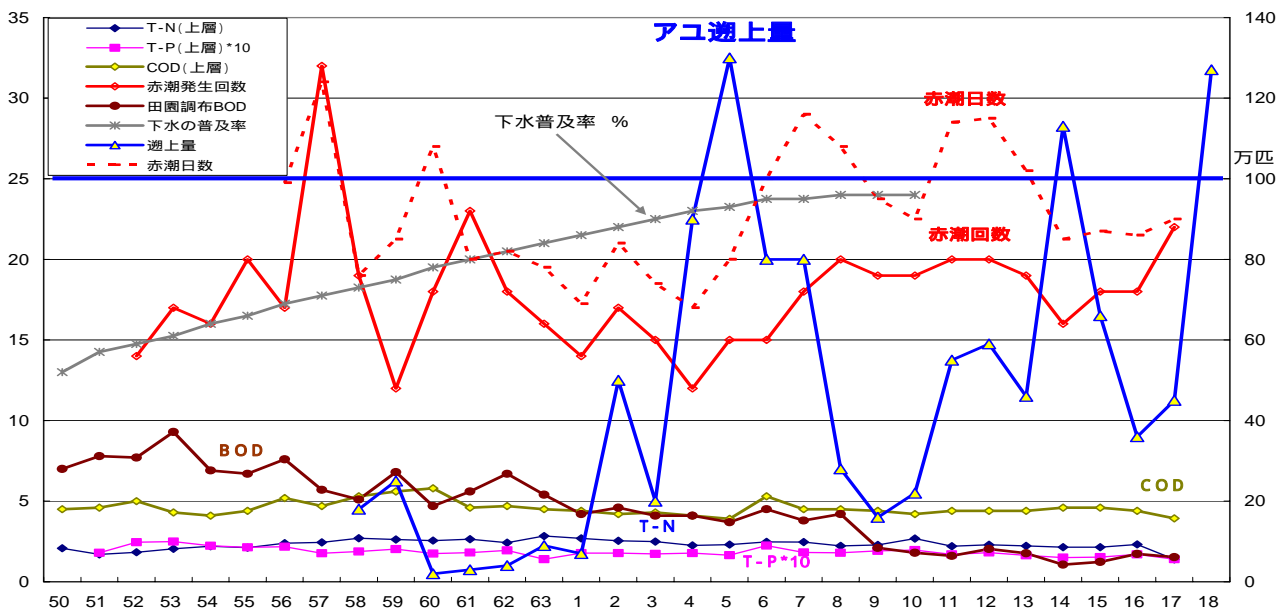


図 17-4 東京湾の水質とアユの遡上

一方、都民の水がめである小河内ダムは COD が増加傾向にあるなど、水質悪化が進みアオコの被害を受けることが多くなった。上の写真は 16 年の小河内ダムで、アオコ対策のシートが設置されています。下層の冷たい水と流入する接触させアオコ類の発生を抑制しています。アオコが発生するようになった原因は、鹿の食害により、森林が荒れ、土砂が流入している。三宅島の噴火の影響を受けている、国内外の大気汚染、酸性雨の影響を受けている、などが考えられます。

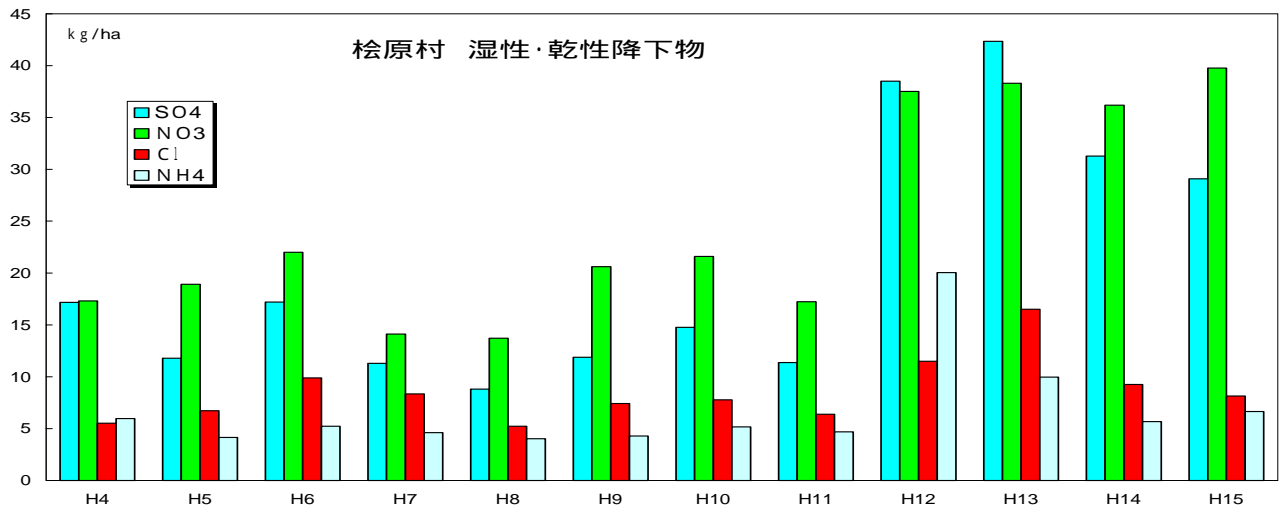


図 17-6 桧原村 湿性・乾性降下物

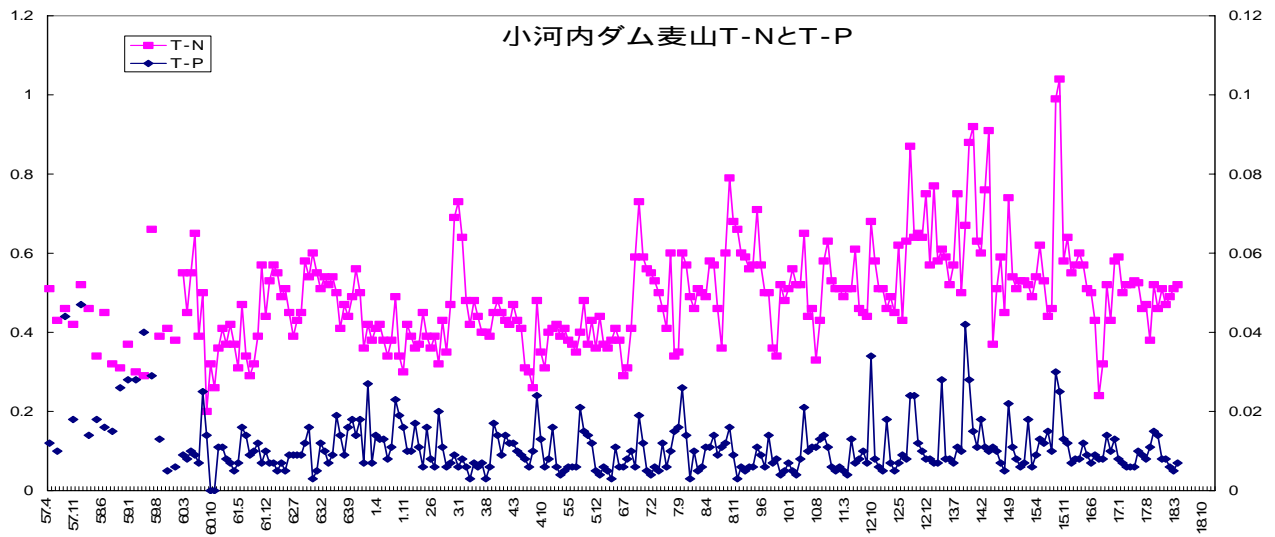


図 17-6 小河内ダム麦山T-NとT-P

小河内ダム麦山CODと透明度

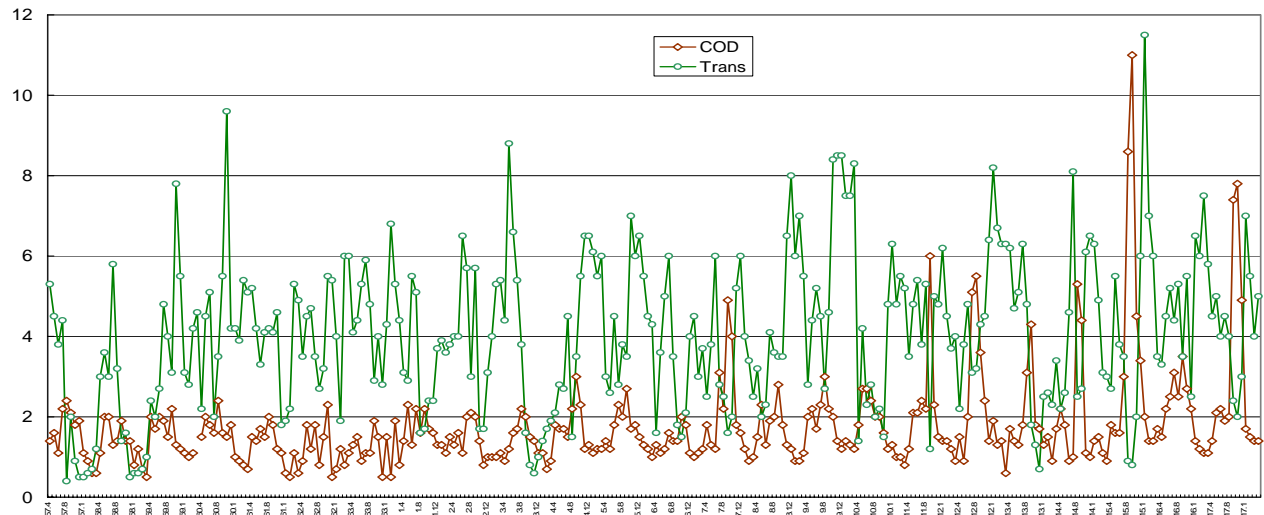


図 1 7 - 6 小河内ダム麦山 COD と透明度

1 7 - 1 - 4 水道と漏水

東京都の水源は、ほとんどが河川水で、地下水の比率は 0.2% となっています。河川水は、78% が利根川・荒川水系、19% が多摩川水系です。

これまでの東京水道の歴史は、増加し続ける水道需要を懸命に支える 100 年間でしたが、これは、水源についても同様です。

昭和 30 年代までは、水源の多くを多摩川水系に依存してきましたが、その後、急激な需要の増加に対応するため、利根川水系の水資源開発に合わせて、利根川水系への依存度を高めてきました。現在、東京都の保有する水源量は日量 623 万 m^3 となっています。通常は主に利根川及び荒川の水を利用して需要をまかなうようにして、小河内貯水池など多摩川系貯水池の貯水に努めています。

そして、最も水道需要の多い夏期や利根川又は荒川の事故時及び渇水時などに、多摩川の水を使用するなど、原水の効率的な運用を図っています。

これまで、漏水防止対策を局の最重要施策の一つとして位置づけ積極的に取り組んできた結果、20 年前の昭和 55 年には 15.4% であった漏水率を平成 12 年度には 7.1% まで減少させることができました。

1 7 - 1 - 5 下水道の普及と下水道、洞道等への浸出水

下水道の普及率は、区部では平成 7 年以来 100%、多摩部では平成 11 年度 91% である。

下水管は地下深く埋設されているので、下水への地下水の浸出量は大きく、水道使用量の約 2 割といわれているので、今後の対策として考える必要がある。

1 7 - 1 - 6 地盤沈下

地盤沈下は安定しているものの、渇水期に地下水を過剰に汲み上げると地盤沈下が発生しやすい。渇水対策で地下水を利用した結果、地盤沈下が起きている。地下水の涵養が減少する中で、地下水の揚水量が現状のまま推移すると、地下水水位が低下し、都内では地盤沈下が再発する。埼玉県に近い区市側から地盤沈下が起る。低地では地下水の揚水が始まると即地盤沈下が起る。東京都土木技術研究所の調査では、地盤沈下は安定しているが、渇水時には埼玉県側の地区、清瀬、東久留米、東村山の各市、北区、板橋区、練馬区の各区で地盤沈下が見られる。

東京には、広大な地盤沈下地帯があり、地球温暖化による海面上昇もあることから、今後も厳しい監視や指導を続ける必要がある。

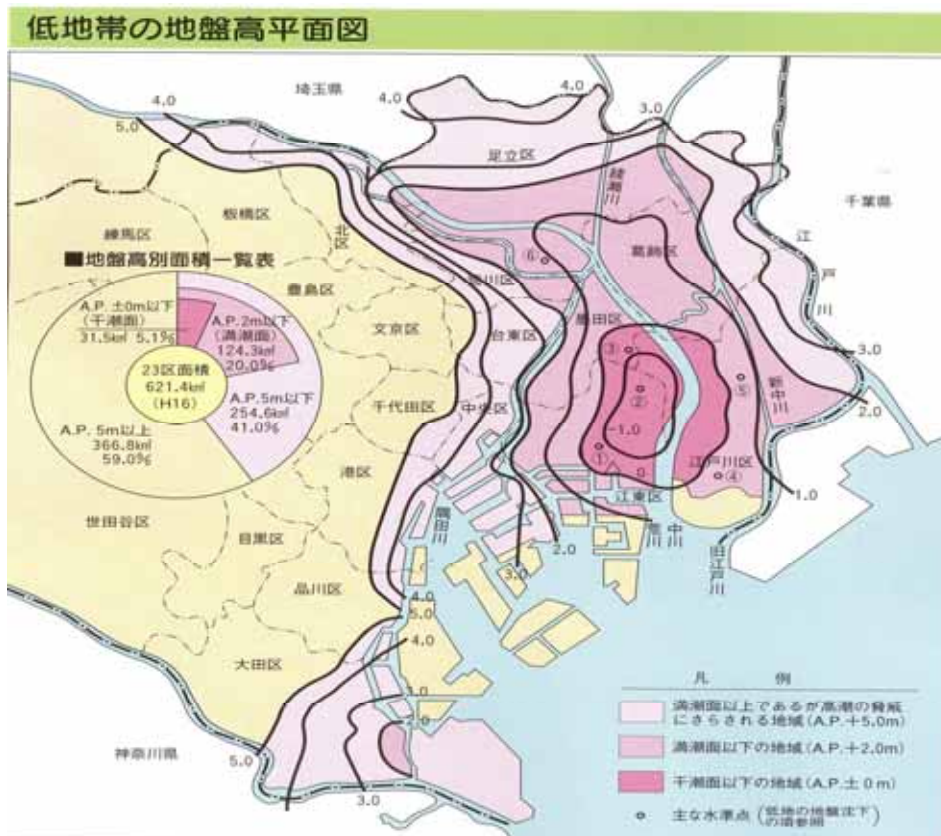


図 17-5 低地帯の地盤高平面図

17-1-7 地下水

涵養域である多摩地域における被覆率の上昇が著しく、雨水の浸透、地下水の涵養はますます減少している。平成6年から9年の湧水には地下水が低下した。地下水汚染は改善の兆しがみられない。東京の都市化はさらに進行し、被覆率は増大する。人為的水収支がプラスからマイナスに転換するとともに、雨水浸透が確実に減少する。地下水の涵養が減少し、全体の水収支も近い将来マイナスになる。地下水の揚水量は図17-2のとおり、昭和61年から60万トン台で安定的に推移している。

なお、地下水の水質は、下水のない時代のかつての生活排水の吸い込み汚染は解消し、かわって有機塩素化合物の汚染へ推移しており、横ばいの状況である。

17-2 東京の湧水の現状（減少しつつある湧水）

都内の湧水は、平成15年度の区市町村へのアンケート結果によると、区部に280カ所、多摩部に426カ所、計706カ所が確認されています。706カ所も湧水があるとたくさんあるように思えますが、平成12年度の調査と較べると、11カ所の湧水が消失しています。湧水は、国分寺市や昭島市のように半減しているところが多い。また、湧水量の多いものはわずかです。

湧水の減少は、建物の建設や土地の造成などによる湧水地点の消失や、都市化の進展に伴い、地表が建物やアスファルトで覆われ、雨水が地下に浸透しにくくなっていることなどが原因です。これは現在も進行しているのです。東京全体の地下水涵養量は減少しているのです。

東京の湧水は多摩川が作った武蔵野台地の湧水と、多摩川の支川である秋川、浅川流域の湧水が主なものです。開発の進んだ多摩丘陵の湧水はごくわずかになりました。しかし、今なお湧水の多くは山地、丘陵、台地にある崖や谷間から湧き出てきます。また、付近の河川に直接流れ出るものもあります。

江戸、明治、大正、昭和40年代初頭までの水道水源であった玉川上水の恩恵を受け、東京の湧水は非常に豊富だったといわれています。

表 17-2 都内の代表的な湧水池の揚水時期と揚水量

池名	揚水時期と揚水量
井の頭池	昭和38年9月から45年1月の間で5本、平成5年から8年の間に3本揚水。 3287m ³ /日
善福寺池	昭和41年12月上池、昭和37年9月下池 1988 m ³ /日 水道用揚水 3810 m ³ /日
三宝寺池	昭和46年から揚水 3085m ³ /日
妙正寺池	昭和44年9月から揚水 216m ³ /日

昭和40年の玉川上水の送水停止に前後して、東京の三大湧水である井之頭池、善福寺池、三宝寺池の湧水が枯れ、地下水を汲み上げるようになったのです。同時期に他の湧水も減少枯渇が進み、池や河川の水が減り、多くの池は埋め立てられ、小河川や水路は暗渠化されていきました。身近な水がなくなったことが、東京のヒートアイランド化の一因となっており、生態系悪化し、ついには東京全体の環境悪化を招くなど惨憺たる経過を辿っているのです。

17-3 都における水循環の再生について

自然の水循環を回復するためには、山地においては森林の保全、表層土の確保、保水能力の向上を図ること。丘陵・台地においては、森林の保全、雨水浸透等の施策を積極的に展開する必要があります。

都市域においては雨水浸透ますを中心とする雨水浸透施設の積極的設置の推進が必要であり、山地においては、スギ・ヒノキの放置林を水源涵養林に変えていくことが必要である。このようにして、得られる水源をかつての「用水路を利用した水系ネットワークの整備」により、山地と都会を結ぶことができれば、東京の水循環の回復を図ることができる。

このほかにも、井戸枯れや湧水の枯渇、局地的な地盤沈下の原因となる地下構築物による流動阻害を防止し、地下水、湧水を守る続ける必要もある。



図 17-6 水循環の再生構想（東京都水環境保全計画 図 2 将来像）

17-3-1 湧水保全の取り組み

湧水は健全な水循環のシンボルであり、その地域の水循環が優れているかどうかのメルクマークです。都市化の進んだ東京では、湧水は最後に残された自然の贈り物です。今、残っている湧水をまもるために、雨水浸透が大切ですし、湧水の水脈を確保しておくことも大事です。湧水が多ければ、川の魚、昆虫や水草が豊かになり、湧水の蒸発による気温低下によりヒートアイランド化を防ぐことになります。さらに、湧水を守るために積極的に雨水浸透を推進すると都市水害がおきにくくなります。湧水は大都市東京にとって最も必要な自然の恵みであるといえます。

野川流域の区市の取り組み

湧水保全事業として平成 2 年度からスタートし、国分寺市から三鷹市へと雨水浸透ますの設置補助を行ってきており、湧水涵養域の調査 34 か所の調査、さらに野川流域全体の水循環再生事業へと進んできました。

国分寺市は昭和 30 年代に埋め立られ、消滅した姿見の池を平成 10 年、11 年で再生し、さらに、姿見の池周辺の恋ヶ窪用水の復活を J R 東日本㈱の協力を得て行い、平成 14 年 3 月 30 日姿見の池と恋ヶ窪用水に J R 武蔵野線引き込み線トンネル湧水の導水を行い、野川に接続しました。

湧水地区と武蔵野線及び国立支線国分寺トンネル

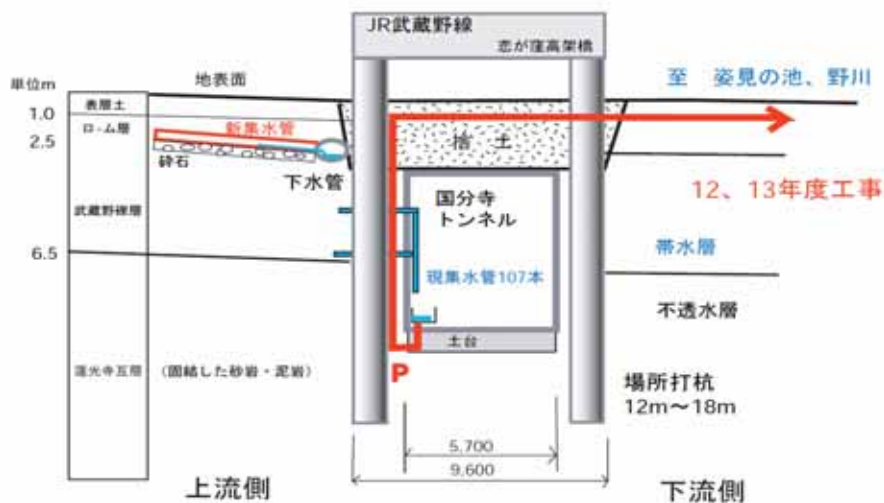


図 17-7 恋ヶ窪 3 丁目集水管設置図

同時に、恋ヶ窪3丁目の住宅への地下水上昇を防止するため、水位コントロール用の集水管を設置し、地表以下2mまでには水位が上昇しないように整備しております。このような水位制御事例は全国でも初めてのケースと思われます。

この地域では、昭和49年、平成3年に地下水位が上昇し、民家の床下浸水事故が起きています。恋ヶ窪3丁目周辺の地下水位はJR東日本が観測を続けています。

雨水浸透の効果

野川流域では流域の国分寺市、小金井市、三鷹市、調布市、世田谷区が雨水浸透施策を積極的に行っている。ようやく野川の水量も増加傾向が見えるようになってきている。

神田川流域でも、井の頭池に平成16年、17年連続して湧水がみられ、透明度が上がり、流量も大幅に増えていました。平成16年10月に神田川下流の湧水調査のときに神田川の水量が豊富でまさに平成3年以来の清流となっていたので、井の頭池の調査をし、プレス対応も行っていきます。流域の三鷹市、武蔵野市も積極的に雨水浸透ますを設置してきたこともあって、神田川上流の水量が秋には豊富となってきている。井の頭池の下流神田橋は三鷹市のデータを掲載している。写真は水が大量に出始めた平成18年10月8日の井の頭池出口と井の頭池弁天付近の噴水で、透明度が上昇しつつあるところ。

都市化の進んだ都会でもやれば何とかなるとい証拠である。三宝寺池も16年秋には透明度が上がりましたが、善福寺池は「遅の井」の井戸のところのみ透明度が上がっていました。

野川と空堀川

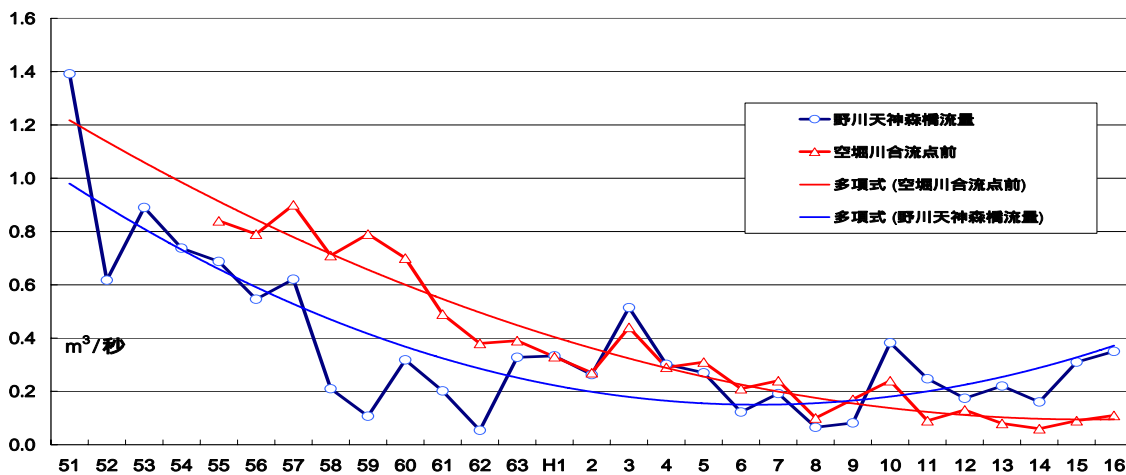


図 17-8 野川と空堀川

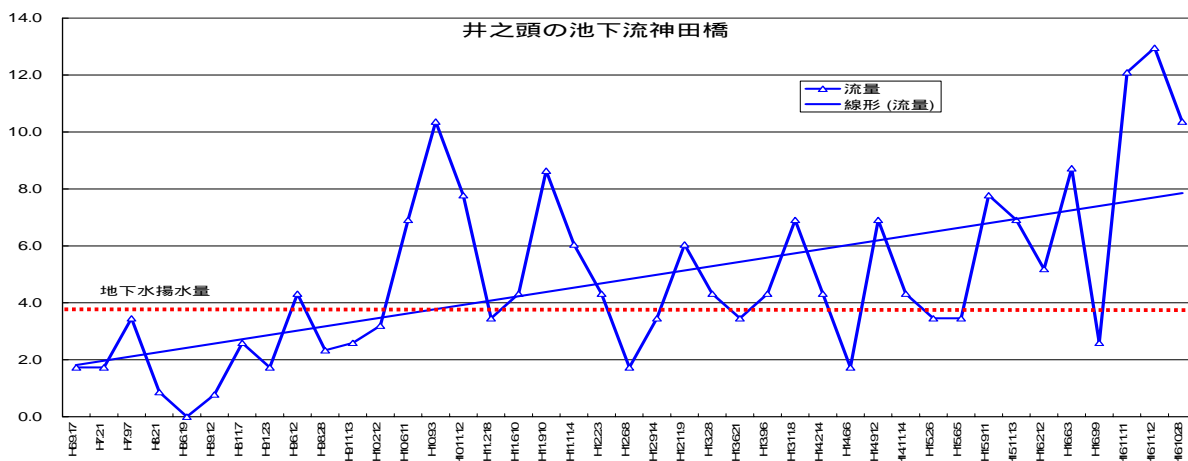


図 17-9 神田川上流神田橋の流量推移



写真 17-3 井の頭池出口



写真 17-4 井の頭池弁天付近噴水

水を守る条例制定の動き

自然が身近なもの出なくなっている東京では、湧水は大変貴重なものとなっています。そこで、この湧水を守る動きが起きています。

東京都では、各地のマンション建設事業が進むと崖地で湧水の枯渇の恐れが予想されたため、貴重な湧水の保全が図れるよう地下水の流れの確保の条文を策定し、建築物その他の工作物の新築等をしようとする者は、地下水の流れを妨げ、地下水の保全に支障を及ぼさないように、必要な措置を講じるように努めることと規定されています。(環境確保条例第 142 条)

平成 16 年 3 月 8 日、小金井市議会は「小金井市の地下水と湧水を保全する条例」を議員立法で可決しました。

平成 17 年 6 月、東久留米市は議員提出議案第 1 号「東久留米市の湧水等の保護と回復に関する条例」を可決しました。

他に関連するものとして平成 15 年 3 月 26 日制定のあきる野市清流保全条例、平成 13 年 3 月 22 日制定の小平市用水路条例などがあります。

日野市では 16 年度より市民参画で進めてきている清流条例の改正や湧水・地下水に関する条例を制定する予定があります。

17 - 3 - 2 東京都の水に関連する計画

緑の東京計画(平成 12 年 12 月)

- ・湧水や水路などの水辺環境については、地元自治体と連携しながら、保全を図っていきます(湧水などの水辺環境の再生。p69)。
- ・旧上水や中小河川において、地元自治体との役割分担をはかりながら、清流の復活など進めていきます(清流の復活、中小河川の水量の回復。p69)。
- ・山地において放置され荒廃している植林地は、混交林化を進めるなど適正な管理を行い、生物の生存基盤を回復していきます(自然保護条例に基づく森林環境の保全。p78)。

東京都水循環マスタープラン(平成 11 年 4 月)

東京都水循環マスタープランは水資源対策、浸水対策を重点としているが、重点施策のうち、水循環に関連するものをあげると

- ・地下水の適正な利用
- ・森林、農地、樹林地等の保全
- ・雨水浸透施設の整備
- ・水系ネットワークの整備

東京都水環境保全計画(平成 10 年 6 月)

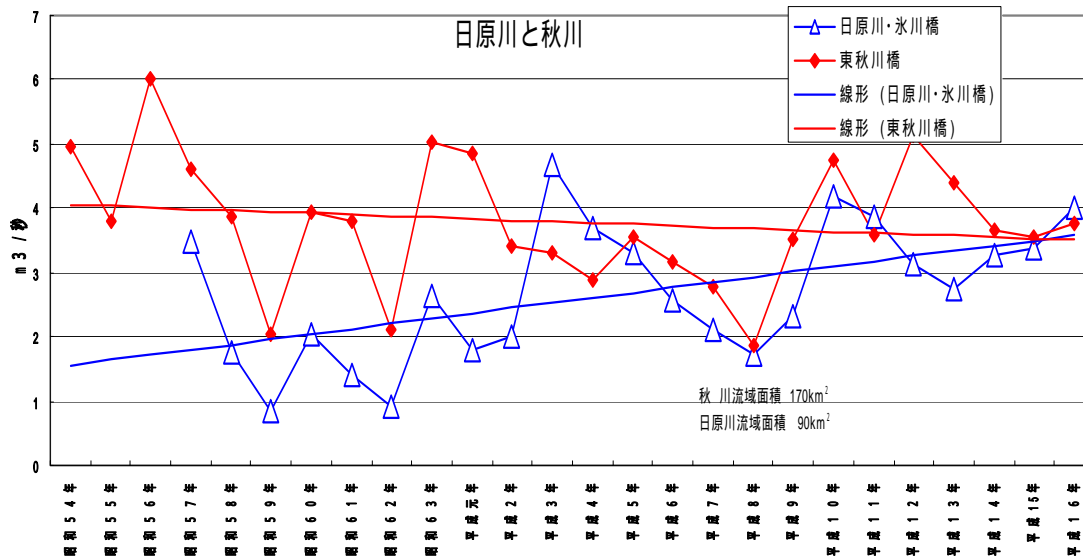
・水の流れを豊かにする。(河川水量や地下水・湧水を増やすことにより、自然の水循環系を保全・再生する。雨水の地下浸透の促進(重点施策の 1)、緑地の保全(重点施策の 2)、地下水の用水規制、湧水の保全・回復 = 水循環再生事業の推進)

17-4 おわりに

日原川では、都水道局が森林整備拡大を進めており、その結果、水量が増え、流域面積の大きな秋川の水量を平成16年度初めて超えている。

都内の40%を占める山地の広大な森林において、水の消費の多いスギから水の消費の少ない広葉樹への樹種の変更等により、保水能力の大きな水源涵養林を確保することが極めて重要である。

環境用水が極端に不足している東京では、多摩川上水網等を利用して、森林再生で得られた水源を利用することが避けられない。このため、水源涵養を目的とした森林再生の実現を早急に進める必要があります。



17-10 日原川と秋川の流量推移

第18章 全体の総括

(佐倉 保夫)

18-1 本研究の意義と目的

1950年代後半から始まる高度経済成長の影響は多摩流域の中小河川の水環境にも大きく及び、流域の正常な水循環は阻害されていった。そして、それに起因するビオトープの衰退は、さらなる人間の介入により、生物的要素、種数、個体数の減少などの現象として、拍車がかけてきた。現在、人の社会システムを持続性のある社会に近づける視座をえることが急務となっている。その持続性は循環によって支えられ、その循環は水の運動と生物の多様性によって支えられている。現在までこのような観点から行われてきた学際的な研究は殆どなかった。そこで、本研究は典型的なスギ・ヒノキの密集放置人工林流域を選び、水分、土壌、地質、地形、水質等の生態系の基盤、及び植生、動物、微生物から構成される共存体の時空間分布を明らかにし、更に森林伐採による攪乱に対する生態系の反応、変化する水循環に対応する生態系の維持のメカニズムを解明し、望ましい循環系の回復のための基礎的な知見を得ることにねらいを定めた研究を行ってきた。

18-2 樽沢での調査結果のまとめ

樽沢流域における調査は、スギ・ヒノキ放置林を伐採し、水源涵養林に変えていくことを目的として、それを評価するための調査であった。したがって、伐採前、伐採後、植林、成長期の各過程の調査が長期間必要となった。当初の計画では2001年から2003年であったが、上記の理由のため更に3年間の延長を行った。当初の目的達成のためには、更に今後のデータの継続的な取得が必要であることを痛感している。

2001年から研究費の助成を受け調査を開始した。つぎの流量観測堰の設置を行った。三角堰、パーシャルフリューム3台、下流堰(2回流出)、最後に上流第2堰を加えた。雨量観測関係では、林内雨、林外雨、樹幹流、蒸発散などの測定、樹冠遮断量の計算を行った。また、土壌水分、土壌水の圧力水頭、地下水の水位、水質などの測定や生態調査(森林、溪流、昆虫)などを行った。下流の樽邸横の観測堰が2回流亡し、中断した。林道下の堰が流亡したので、大きいものに変え、2001年9月から観測を開始した。

観測3年目後半に伐採を実施した。場所は樽上流域で、面積は1.85ヘクタールを2003年1月から2004年2月に実施した。植林は2005年2月から2005年4月に実施した。

以下に、観測の結果得られた新しい知見を示す。

1) 河川流量の測定結果

本観測では最も重要な観測は流量観測である。現在、2002年、2003年、2004年がまとまっている。流出率は伐採前が、79.2%、79.3%で、伐採後1年目が65.1%であった。

流量の総量も流出率も減少傾向を示しているが、平水時の流量は増加傾向を示している。河川の普段の流量を見るために、晴天時流量の観測を行っている。2003年11月から、2004年1月までに、上流部の1.7ヘクタールの伐採を終了し、1年たったところである。最上流、上流、中流、林道下の4箇所、2004年1月から、晴天時における気温、水温、伝導度、流量の4測定をおこなった。伐採の影響は、上流部、中流、林道下、最上流部の順で、流量の増加を示した。2005年の流出高は2004年よりも降雨量が少ないが、増加している。最も流量の少ない冬季、2005年2月の比流量と2004年2月の流出高を比較すると、概ね2倍を超えていた。伐採後の樽流域の平水時の流量は安定し、増加傾向を示している。

流量の連続観測の結果からは、2002年から2004年の3年間の観測で、年間の流出率と総流量は減少傾向を示したが、平水時の2004年から2006年の2年間の観測からは、流量の増加傾向が認められた。現時点では、それらのデータ間の同期間での比較が十分ではないため断定はできないが、どちらも観測事実として正しいとすると、連続観測結果からも今後のデータからは流量増加に転じるものと考えられる。また、ピーク流量などの変動成分を除いた平水流量の蓄積は、長期間の人間の観察経験に基づく流量減少傾向の把握と一致する可能性がある。

2) 樹冠遮断量

2001.9.1 - 2002.8.31の年間降水量は2428mmであったが、林外雨、林内雨、樹幹流などの降雨観測の結果、樹冠遮断量はスギ林では560.6mm(23.1%)、ヒノキ林では781.8mm(32.2%)と、葉の構造の違いが遮断量の違いとなっていた。雑木林ではこれらの値より小さいことが推定された。

3) 化学成分の変動

ヒノキ林ではスギ、裸地と比較すると降水としての硝酸イオン、硫酸イオンの流入が大きい。落葉広葉樹林ではイオンの負荷はそれほど見られなかった。土壌中の硝酸イオン濃度は、スギ・ヒノキ林で大きく、裸地、落葉広葉樹林の順に濃度は小さくなり、落葉広葉樹林ではほとんど含まれなかった。河川水と土壌水の硝酸イオン濃度のデータからスギ林とヒノキ林は硝酸イオンを土壌水中に保持するが、裸地は硝酸イオンを土壌水中に保持できず地下水へと流出させてしまうことが分かった。そして、本研究の結果よりスギ・ヒノキ林を伐採し落葉広葉樹林へと植生が変化していく過程で土壌水成分が次のように変化していくことが推測された。スギ・ヒノキ林では土壌水中に保持されていた硝酸イオンが伐採による裸地化によって流出していく。その後落葉広葉樹林となり年月を経ると土壌水中に硝酸イオンはほとんど存在しなくなる。

また、平水時の河川水の伝導度では、伐採後、低下傾向が認められ、他流域での水源涵養林の値に近づく傾向を示した。

4) 植生の変遷

伐採前の状況を把握し植生図を作成しており、今後どう変わるかは今後の課題である。一方、観測中に間伐があったが、間伐の効果は1年で、スギ樹冠が拡大した結果、速やかに林冠が閉鎖した。森林の中で下草が各段に増えたとはいえない。

5) その他の生態系の変化

伐採の影響を最も受ける最上部では生物層が豊かになった。源氏蝨の幼虫が2005年始めて林道より上流の上樽で採取された。蝶やトンボ、鳥も伐採後下草が繁茂し、水流が見られるようになってから増加傾向を示している。

6) 地質・地形

表層土から岩盤までの厚さを流域全体で測っている。各森林の土壌飽和係数、N値を測定。土壌が厚いのは山頂部、斜面中腹である。山頂部には立川ローム層がある。斜面中腹は崖錘である。チャート、泥岩、砂岩がある。縊岩からは急に標高が下がっている。

さらに、本地域の地形を概観すると、源流部（谷頭部）はカール状の比較的なだらかな地形が展開しているのと対比的に下流部はV字型に深く切りこまれた谷が形成されており、両者の地形的対応が顕著である。また谷底の縦断形は一様ではなく、緩やかなところと、急なところが階段状をなして下流へと続いている。これらの特徴は地形発達過程を復元する手がかりとなる。すなわち谷頭部から尾根部にかけてのカール状のなだらかな地形と下流部の谷地形との間には地形発達上の不整合とも言うべきものがあり、地形形成プロセスを明らかにすることが今後の課題である。

18-3 今後の課題

本研究は、スギ・ヒノキ放置林の伐採、さらには落葉広葉樹に変えていくことにより流域の水循環特性がどのように変化するのか、また生態系にどのような影響を及ぼすのかということの解明を目的とした研究であった。しかし、森林の多様性、多機能性により単純化した条件での実験が不可能であったこと、伐採が皆伐ではなく、時間的にも空間的にも部分的であったことなどにより、多くの多様性、複雑性を包含したものであったため、一部を除いて未だに明白な解答が得られていないのが実情である。しかし、伐採、植林により改編した効果は、いずれは明らかとなるが、その答えをえるまでには今しばらくの観測の継続が必要である。

われわれの長期間継続した研究を暖かく見守ってくださった、とうきゅう環境浄化財団の関係者にお礼を申し上げます。

「せい態系い維持い基盤きばんとしてのりゅう流域いき特性とくせいとみず水循環じゆんかん特性とくせいに関するかん研究するけんきゆう」

—スギ・ヒノキほう放置林ちりん伐採ばっさい前後ぜんごにおけるひかく比較—

(研究助成・学術研究 VOL. 35-N0. 264)

著者 さくら佐倉 やすお保夫

発行日 2007年3月31日

発行者 財団法人 とうきゅう環境浄化財団

〒150-0002

東京都渋谷区渋谷1-16-14 (渋谷地下鉄ビル内)

TEL (03) 3400-9142

FAX (03) 3400-9141