

多摩川上支流域の土壤生態学的 比較に関する研究

2000年

福田 直

埼玉県立所沢緑ヶ丘高等学校教頭

Soil Ecological Studies in the upper reaches of the Tamagawa River Watershed

Representative researcher
Fukuda Tadashi
The joint research person
Sakagami Kan-ichi
Hirayama Ryouji
Ozaku Akinori

Key words:

The upper reaches of the Tamagawa river watershed, Soil ecology, River water, Soil thin section description, Soil ion, Vegetation, Soil organisms, Soil education

Abstract:

The Nipparagawa river and the Akikawa river in the branch region of Tamagawa river are dotted with the limestone, the chart, and sand-mudstone ground.

I investigated each soil characteristic (soil ion distribution and soil section minute form), soil organisms (soil animal and microorganisms), vegetation, river water, and aquatic organisms etc. in the various places approved on the rock quality of each ground.

And I pursued the mutual relationship between the rock quality and the soil, the organisms, and the water's overall quality. As a result, I checked that the development of the soil was reflected in each rock quality, I obtained a soil section minute form, and checked the soil ion distribution characteristic, and checked that the approval of vegetation corresponding to each soil ecology and the water quality, etc., was clear.

In particular, peculiarly a lot of plants were confirmed to live in just one place of the limestone soil parent material on the limestone ground. Moreover, various ion distribution of the soil solutions important for knowing the part of most revitalization in the soil ecosystem. Natural factors which affected this ion distribution are geographical features, moisture, and vegetation.

I clarified that vegetation, animals, and micro-organisms were strongly related to circulating the material from the analytical results of the water quality of rainfall, the soil water, and the river water.

I introduced the result and the soil monolith which had been obtained through this research in the outdoor observation of the Saitama Museum of Natural History.

I investigated the soil from overall aspects such as the life, geological features, and water by this research. The case study researched by such aspects are extremely little. Researching from the ecological point of view that the soil is generated under the influences such as the rock quality (parent material), vegetation, geographical features, and climate is very important.

Moreover, the branch region on Tamagawa river has a natural soil ecology which the influence of human work hardly reaches. I think the pursuit of the soil generation in such area by the effect of the rock quality, investigations from overall effects such as vegetation and the river water, and consideration in respect of the material circulation to be meaningful. In addition, I was able to make the deep effect of the rock quality, the soil, and the vegetation from the comparison and consideration of the soil ecology in the Arakawa river source region which had been generated on the rock quality was like to the Tamagawa river source region well mutually and suitable clear.

The branch region of the Tamagawa river is the Kanto's most eminent forest ground and it is important as the cultivation area of the headwaters. I think that the influence of deforestation on the soil ecology and the function of retaining water, the living thing existence are extremely large from the difference of the soil respiration and the infiltration of water in the deforestation ground and the woods.

I think that it is a pressing need to stem the tide of forest deforestation to improve green house effect known to be environmental destruction of today's earth, and to protect and to maintain the forest.

目 次

1	はじめに	1
2	研究目的	2
3	調査地	3
4	調査項目・時期と調査方法	8
	(1) 土壌溶液及び地中水、河川水、降水の採取	8
	(2) 各種イオン分析	9
	(3) 土壌断面形態及び土壌微細形態	9
	(4) 植 生	11
	(5) 土壌呼吸	11
	(6) 土壌水の浸透速度	11
	(7) 地温及び照度	11
	(8) 土壌生物	11
	①土壌動物	11
	②土壌微生物	12
	(9) 水生昆虫	12
	(10) リターフォール量	12
5	調査地点の概況	12
	(1) 地質・地形	12
	(2) 気 候	13
	(3) 植 生	13
	(4) 多摩川の水質	14
	(5) 秩父多摩国立公園	14
	(6) 奥多摩の農林業	14
6	調査・分析の結果及び考察	14
	(1) 土壌溶液量	14
	(2) 土壌溶液のイオン濃度	16
	①岩質別土壌のイオン濃度分布	16
	②土壌イオンの垂直分布	20
	③土壌イオン濃度と植生との関係	26
	④溶存主要カチオン濃度と溶存主要アニオン濃度との関係	27
	⑤落葉からのイオン溶脱	32
	(3) 降水の物質濃度	35

(4) 降水及び土壌溶液、河川水中の各種イオン濃度	36
(5) 多摩川水系の水質及び水生昆虫	38
(6) 多摩川流域の水質及び水生昆虫	43
(7) 土壌断面	46
①土壌断面形態と土壌型	46
②土壌断面微細形態学的特徴	48
(8) 植生	51
(9) 土壌生物	51
①植生と土壌微生物	51
②土壌生物の種類と数	54
7 森林伐採地と樹林地の土壌特性の比較	60
(1) 森林伐採地と樹林地における土壌呼吸	60
(2) 森林伐採地と樹林地における水の浸透	61
8 博物館における土壌モノリス展示	64
9 総合考察	67
(1) 多摩川上支流の土壌生態	67
(2) 森林における物質循環	68
(3) 地球環境に対する森林の果たす役割	74
10 まとめ	76
11 謝辞	80
12 文献	80
13 Appendix 1～4	86
14 写真資料	91

研究組織

研究代表者 福田 直¹⁾
 研究協力者 坂上寛一²⁾・平山良治³⁾・小作明則⁴⁾

- 1) 埼玉県立所沢緑ヶ丘高等学校（埼玉県所沢市三ヶ島2-695-1）
 平成7年度 埼玉県立自然史博物館
 平成8、9年度 埼玉県立入間高等学校
- 2) 東京農工大学農学部（東京都府中市幸町3-5-8）
- 3) 国立科学博物館筑波研究資料センター筑波実験植物園
 （茨城県つくば市天久保4-1-1）
- 4) 獨協医科大学臨床共同研究施設
 （栃木県下都賀郡壬生町北小林800）

1. はじめに

太陽が誕生して約50億年経ち、その惑星である地球は約46億年前に誕生したと言われている。誕生当初は熱球であり、やがてその表面が冷えて水溜まりができ原始の海が形成された。十数億年を経てそこに生命が誕生し、その生命が進化して多様な生物が増加していった。彼らの仲間には光合成により酸素をつくるものが現れ、水中の酸素濃度が高まっていった。やがて、大気中にも酸素が増えはじめ、上空にオゾン層が形成され、生命にとって有害な紫外線が遮断された。そして、今から約4億年前には生物が陸上に進出しはじめ、地表には少しずつ土壌生成が進んでいった。その後、土壌生成が進むに連れて大型の植物が繁茂し、大森林が広がってさらに土壌生成が進んでいった。やがて、陸上の生物進化が急速かつ多様に進み、様々な生物が生息するようになった。最後の最も進化した人類が出現したのは、約2百万年前である。彼らは、大脳が発達し、手を自由に使うことが可能な二足歩行をする極めて特異な生物であった。

現在、地球には多種多様な生物が生存しているが、太陽系の惑星の中でこのように生命体に溢れた惑星は地球だけであると考えられている。また、この地球の地表面は土壌に覆われており、土の惑星と言われている。そして、少なくとも太陽系惑星には他に土のある惑星はない。この土壌の存在が豊かな生命体の営みを可能にしている。しかし、わずか数百年の人間活動により、地球環境は大きく変化しはじめ、生命体の生存危機が心配されている。オゾン層が破壊され、酸性雨が森林を脅かしている。熱帯林の乱伐などにより、毎年かなりの森林面積が喪失してしまっている。化石燃料の消費により、大気中の二酸化炭素濃度が上昇し、深刻な地球温暖化をもたらしたり、気象異変の原因ともなっている。この他、砂漠化や土壌破壊、海洋汚染など実に様々な環境破壊や汚染が地球を蝕みはじめており、それらの複合的な影響によって数多くの生物種が絶滅の危機に追い込まれている。特に、熱帯地方では種の多様性の存続が危ぶまれており、その確保が強く望まれている。それほど、森林伐採による野生生物の絶滅は深刻な事態にあると言っても過言ではない。

地球環境は微妙なバランスのうえに成り立っており、そのバランスは数十億年という長い時間をかけてつくり出されたものである。地球環境を構成する大気や水、土、太陽光、生物などのかかわり合いの中でつくられたバランスが大きく崩れてしまうと、その修復が極めて困難になると考えられている。この問題解決は人類に課せられた21世紀最大の課題となることは疑う余地もないことである。様々な地球環境課題を解決していくためには自然の成り立ちやつくりを正しく知ったり、捉えることが必要であり、自然と人類の共生の道を探る努力をしていかなければならないと考えている。

土壌は大気圏や水圏、地圏、生物圏の全てと接しており、様々な生物を生み出す基盤あるいは物質循環の要として大変重要な役割を担っている。また、土壌は養分や水分を保持したり、自然を浄化するなどの機能を持っている。この土壌の形成には膨大な時間がかかっており、土壌流出などによる喪失は貴重な資源を失うばかりでなく同時にそこに生息する多くの生命を失うことになり、被害は想像以上に甚大なものとなる。

この度、「とうきゅう環境浄化財団」の研究助成を受けることができ、研究する機会を得ること

ができた。多摩川の上流域には石灰岩地とチャート・砂岩泥岩地が分布しており、現地調査に基づいて石灰岩地とチャート・砂岩泥岩地の土壤生態について明らかにするとともに生態系における土壤機能や役割などについて物質循環の観点から岩質と土壤、植生との関係を追求することができた。また、この研究を通して得られた成果を野外観察会や講演、モノリス展示などで報告・解説してきたが、多くの参加者に自然における土壤の役割の重要性から貴重な土壤資源の保全の必要性や特異な石灰岩地土壤を守っていかねばならないことなどについて強い関心を持っていただいた。

調査地は、東京都西部の奥多摩地域であり、秩父多摩国立公園に指定されている森林地帯である。また、水源函養地域として極めて重要である。奥多摩を源流とする多摩川は人間はもちろん、多くの動植物たちの極めて貴重な水源となっている。この水源確保には奥多摩の豊かな森林や土壤の保全の継続が欠かせない。また、この地域の一部には石灰岩地が点在していることから、特有の生態系が成立しており、数多くの貴重な生物が生存していることが今回の調査を通して明らかになった。

2. 研究目的

自然生態系における水循環の概要を見ると、山間部に降った雨水などが土壤に浸透し、浸出水や地下水の一部が河川となって流出して海洋に流れ込み、上昇気流に乗って生じた雲が移動して再び山間地域に降雨や降雪をもたらしている。土壤は岩石や火山灰の風化物に生物遺体や排泄物が加わって生成される。それ故、土壤水や河川水の水質は岩質に強く影響されることが考えられる。また、土壤と植生との関係は密接であり、これらの関係を報告する論文は数多く見られるが、石灰岩地での土壤と水質あるいは植生との関係を調査した報告は少ない。

筆者らは、これまで荒川流域の源流域に分布する石灰岩地で土壤生態に関する調査を実施し、報告してきた(福田・坂上, 1993; 1994)。そこでは石灰岩質を反映した土壤断面形態、土壤イオン濃度と分布が確認され、石灰岩上に様々な好アルカリ性の植物が観察された。また、地形や植生の違いが土壤イオン分布に反映しており、それらに対応した土壤型が発達していること、荒川の水質がカルシウムなどのアルカリ分に富んでいることなどが明らかとなった。

土壤溶液の各種イオン分布は、生態系の最も活性化部分を知るうえで重要である。このイオン分布にかかわる自然因子の主たるものは地形と水分、それに植生である。すでに、土壤溶液中のイオン動態については論文が多数報告されている(井上・岩川, 1970、岩坪, 1967、岩坪・堤, 1968、Bourgeois & Lavkulich, 1972、Core & Gessel, 1965、Carlisle et al., 1967、Eaton Likens et al., 1973、Tsutsumi et. al., 1983、戸田ほか, 1987、後藤・佐々, 1989、図子ほか, 1992、大類ほか, 1992、大類, 1994)。

本研究では、荒川上流域と類似した地質分布を示す多摩川上流域の石灰岩地と非石灰岩地における土壤生態や河川水質を調査し、両地域の様々なデータから比較考察を試みた。また、森林に降水がもたらされると、その一部は蒸発散するが他は林内に入り、樹幹を通して地表に達する。その一部は地表水として流出するが、他は土壤中に浸透して行き、やがて地下水となる。土壤浸透水は途中で地表に出たり、地下水から渓流水・河川水として流出していくプロセスで様々な養分動態が

生じる(川添・吉本, 1975、生原・相場, 1983、川添, 1990、佐藤ほか, 1990、和田ほか, 1999)。そこで、石灰岩地と非石灰岩地での降水、土壤溶液とそれらが流出する河川水のそれぞれについて各種イオン濃度を季節別に調べ、水の動きに伴う養分動態について追求することとした。

さらに、これらの調査に加えて土壤生成に深くかかわる土壤生物を調査した。特に、土壤中に生息する節足動物を中心とした動物群は生物遺体の破碎において重要な役割を担っている。多摩川流域の各種植生下の土壤において土壤動物相の調査研究が行われている(鈴木, 1978; 1979a; 1979b; 1984、原田, 1991、佐藤, 1979)。これらの調査研究では原田(1991)を除いて群集生態学的手法での調査研究は少ない。また、上流地域での大型、小型土壤動物群集を研究対象とした調査研究も少ない。本研究では多摩川上流域のうち、日原川上流の岩盤が石灰岩である地域と秋川上流の砂岩である地域で、生物的多様度の高いと考えられるコナラ林と多様度の低いと考えられるスギ植林の2植生を対象とし、土壤基盤の違いがそこに生息する土壤動物相に影響を与えるかを知ることが目的として調査を行った。

土壤微細形態学は、土壤を何らかの物質で固め数十マイクロンの厚さのものを作り出し、肉眼で観察できない土壤に関する初期の現象や微小な現象を研究する分野である。現在世界的に行われている方法は、合成樹脂で未攪乱の土壤を含浸して固め、岩石薄片と同様に固化ブロックから薄片を作り出し、偏光顕微鏡などを使用して研究に供試している。本研究では、多摩川上流域の岩盤が石灰岩地域と砂岩地域で、コナラ林とスギ植林の2植生地点を対象とし、母岩や植生の違いがどのように土壤に反映しているかを知ることである。土壤微細形態の調査に際して、土壤モノリス標本作製したが、この標本は埼玉県立自然史博物館及び国立科学博物館筑波実験植物園で展示した。また、両館で土壤観察会を実施し、土壤モノリスを紹介するとともに土壤教育の普及に努めた。

なお、本研究は平成7～9年度の3年間に渡り「とうきゅう環境浄化財団」の研究助成(代表研究者: 福田 直)を受けて行ったものである。

3. 調 査 地

土壤及び植生、河川水の調査地は、多摩川上支流の日原川流域(東京都青梅市)の2地点と秋川流域(東京都西多摩郡檜原村白倉・下元郷)の2地点とし(図1-1、図1-2、表1)、それぞれの地点について数カ所を調査した。また、土壤生物の調査地点は図1-3とした。これらの調査地点は多摩川上流の日原鍾乳洞周辺の石灰岩上に発達したコナラ林、スギ植林と秋川流域五日市町の砂岩上に発達したコナラ林、スギ植林の合計4地点とした。それぞれの調査地点の概要は次の通りであった(写真資料参照)。なお、調査は主に平成7年度及び平成8年度に実施した。

ア. Pt. 1地点(A)

多摩川上流の日原鍾乳洞周辺を過ぎて山間に入り、やや登った石灰岩上に階層構造の発達したコナラ林で、南東向きの急傾斜地であった。土壤は薄く小礫を多量に含み、表土の発達はかなり不良であった。

日本列島

東京都西多摩郡奥多摩町日原

(北緯139° 01'、東経 35° 50')

東京都西多摩郡檜原村

(北緯139° 00'、東経 35° 42')

河川名	流域面積 (km ²)	流路延長 (km)
多摩川	1,249	139
荒川	2,940	169

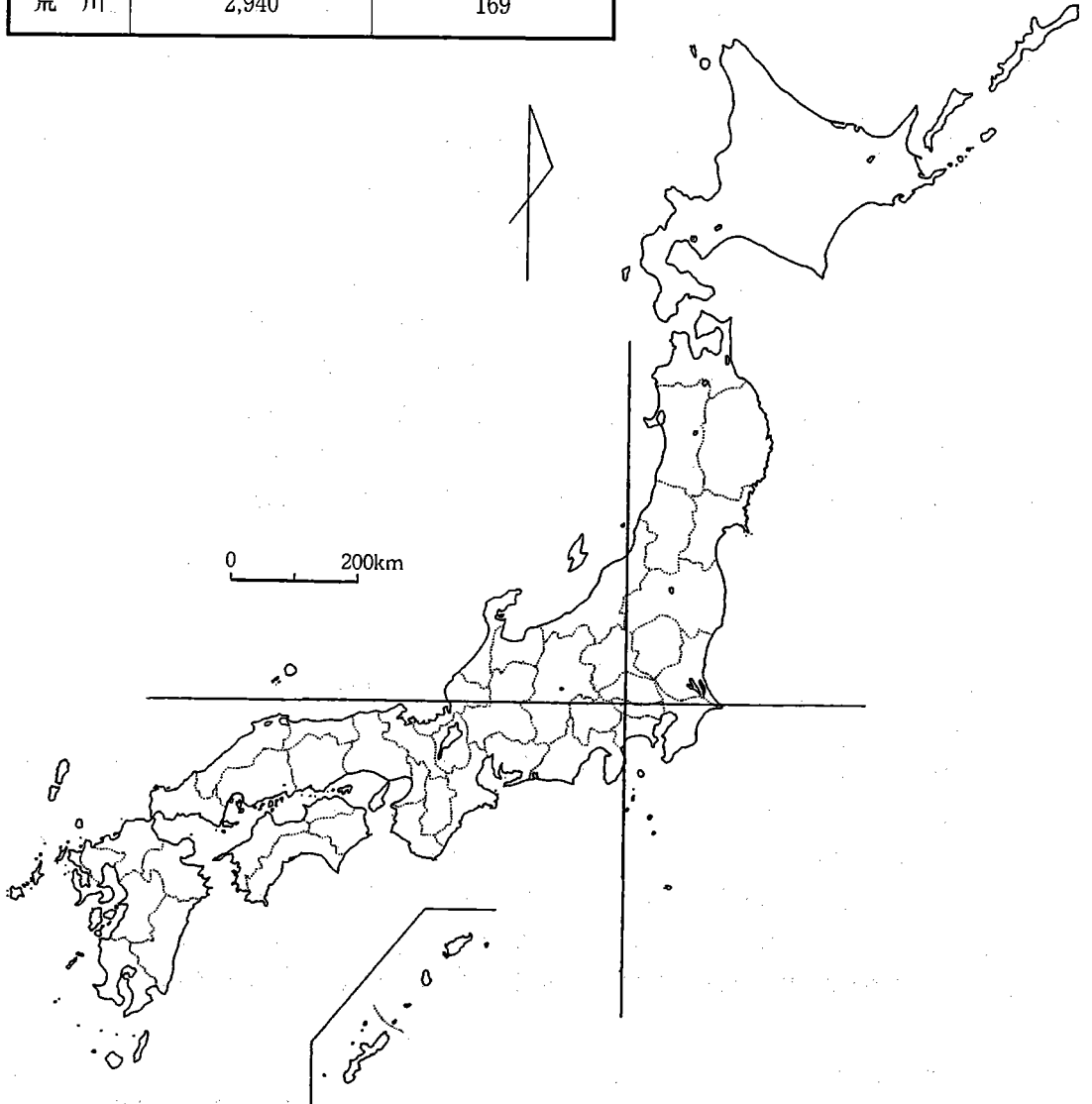


図1-1 多摩川上支流の日原川流域及び秋川流域の調査地点

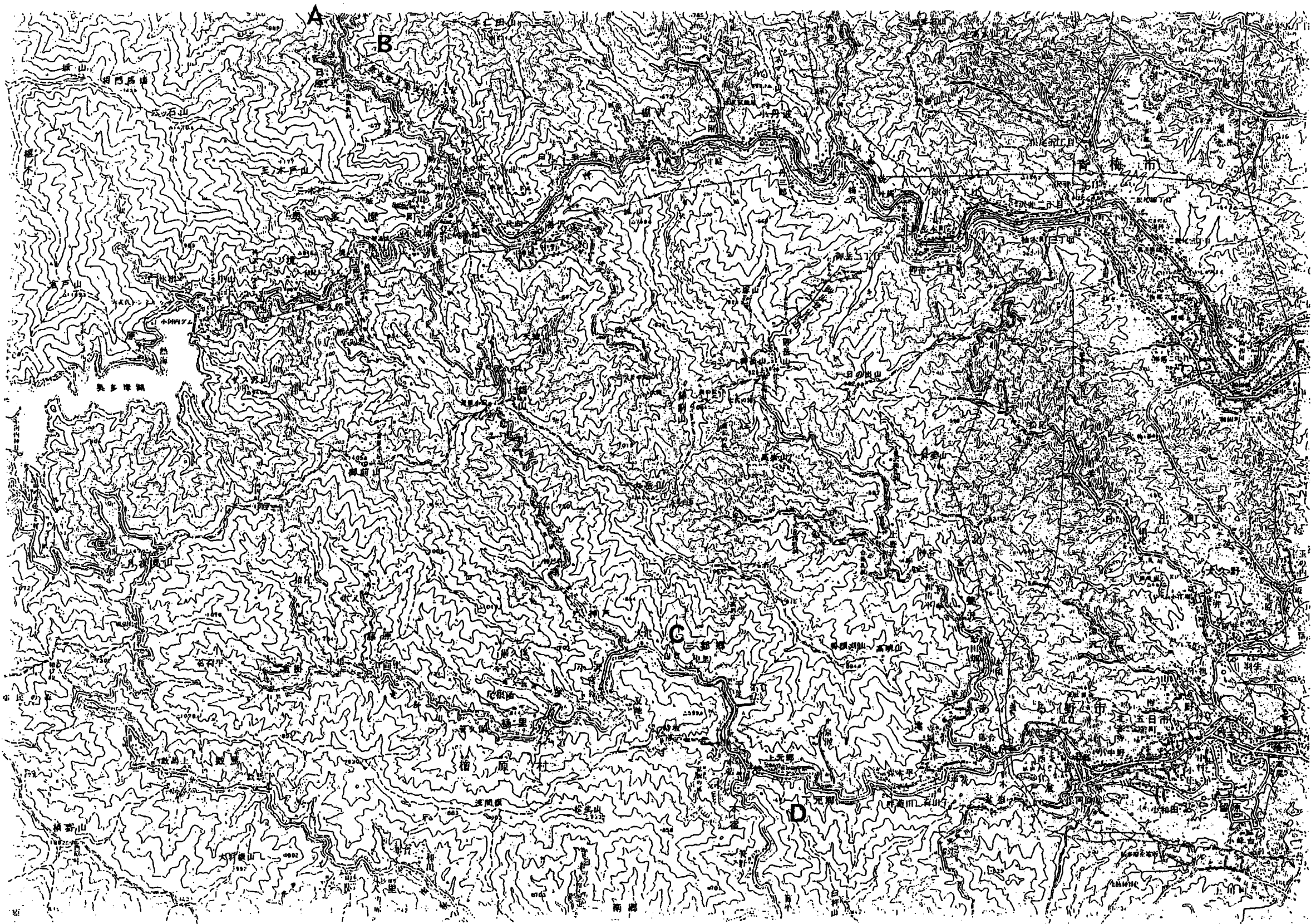


図1-2 多摩川上支流の日原川流域及び秋川流域の調査地点

Pt. 1 日原地点 (A) Pt. 2 川乗地点 (B)
 Pt. 3 白倉地点 (C) Pt. 4 下元郷地点 (D)

表1 調査地点の所在地と標高

調査番号	調査地点	所在地	標高 (m)
P t. 1	日原川日原 (タワ屋根の頭中腹)	奥多摩町日原	790
P t. 2	日原川川乗 (蕎粒山中腹)	奥多摩町川乗	560
P t. 3	秋川白倉 (大岳山山裾)	西多摩郡檜原村	420
P t. 4	秋川下元郷 (大岳山山裾)	西多摩郡檜原村	380

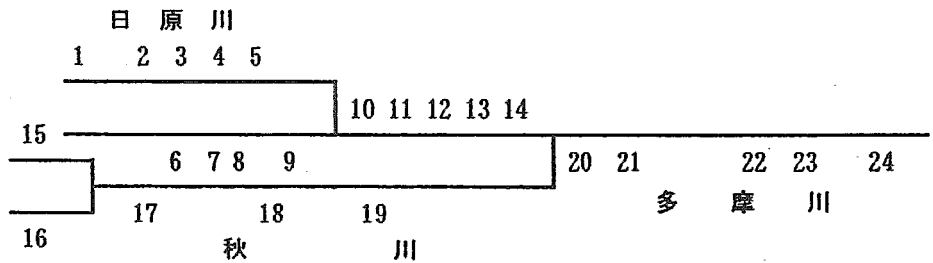
タワ屋根の頭：標高1,720m

蕎粒山：標高1,473m

大岳山：標高1,266m

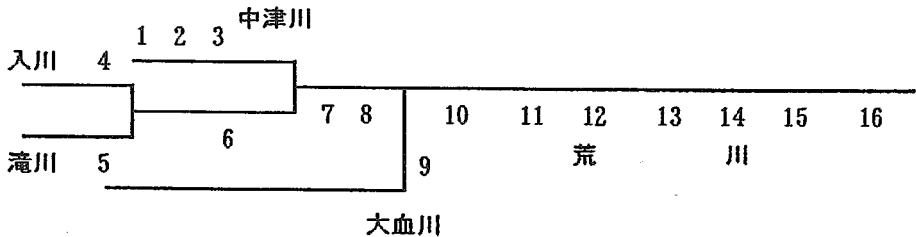
■ 河川水及び水生生物

【多摩川流域】



- 1：日原鍾乳洞前 2：川乗 3：大沢 4：栃久保 5：氷川大橋 6：境橋 7：弁天橋
 8：南水川橋 9：長畑橋 10：昭和橋 11：海沢橋 12：鳩の巣 13：軍畑橋 14：柳閣橋
 15：白倉橋 16：本宿橋 17：落合橋 18：高尾橋 19：五日市橋 20：拝島橋 21：是正橋
 22：新双子橋 23：大師橋 24：丸子橋

【荒川流域】



- 1：塩沢 2：遊仙橋 3：水神橋 4：入川橋 5：久渡沢 6：三十槌橋 7：神岡橋
 8：大輪 9：大血川橋 10：猪鼻橋 11：三峰橋 (白川橋) 12：皆野橋 13：長瀬親鼻橋
 14：正喜橋 15：玉淀大橋 16：熊谷大橋

■ 土壌生物

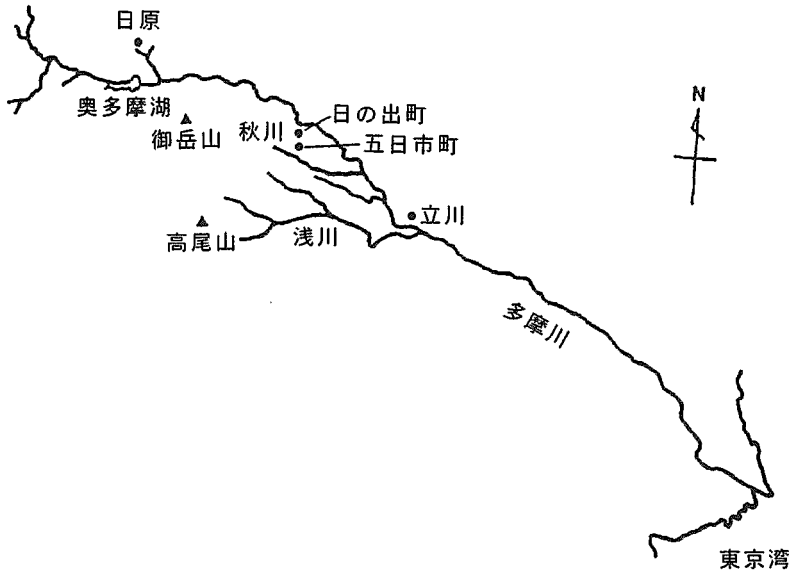


図1-3 多摩川及び荒川流域の各調査地点

イ. Pt. 2 地点 (B)

多摩川上流の日原溪谷から東方の川乗谷に入った南東に面した緩斜面のヒノキ人工林で、林内は日中でも暗かった。表土には落葉落枝が未分解のまま堆積しており、腐植土層が厚く発達していた。

ウ. Pt. 3 地点 (C)

秋川流域檜原村白倉の砂岩上に発達したコナラ林で南西向き緩斜面地でリター層はよく発達しており、林分は林床から高木層にいたるまで階層構造がよく発達していた。

エ. Pt. 4 地点 (D)

秋川流域檜原村下元郷の南西向き緩斜面に植林されたスギ林で林床は未分解の落葉落枝で覆われていた。林床植物が乏しい林分であった。

4. 調査項目・時期及び調査方法

調査項目は土壌溶液及び河川水・降水の各種イオン濃度、土壌断面形態、土壌微細形態、植生、土壌呼吸、地温及び照度、土壌生物、水生昆虫、土壌水の浸透速度、リターフォール量とした。土壌溶液及び河川水の各種イオン濃度の調査時期は各年度とも2月、5月、8月、11月とした。各項目の調査方法は以下の通りであった。

(1) 土壤溶液及び土壤水、河川水、降水の採取

a. 土壤溶液及び土壤水の採取

土壤溶液の採取は、日原川コナラ林地及びヒノキ林地と秋川スギ林地の各土壤について行った。生土試料を秤量済みの採土管に詰め、採土量を測定した。また、深さ50cm以下の土壤水はポーラスカップにより採取した。この採土管の下端に0.45 μ m-membrane filterを設置し、5 $^{\circ}$ C、12,000r.p.m.で30分間遠心分離した。採取された土壤溶液を10ml注射器に取り、再び0.2 μ m-membrane filterで濾過した。土壤溶液は、ポリエチレン容器に入れ、低温保存した。

b. 河川水の採取

各調査地点より河川水を500ccポリ容器に採取し、冷蔵保存した。

c. 降水の採取

定容のポリ容器の一部を地中に埋め、大型漏斗を口に差し込んで採水した。

(2) 各種イオン分析

① Cl \cdot NO $_3$ \cdot SO $_4$

塩素、硝酸、硫酸の各イオンの分析は、イオンクロマト法（日本分析化学会，1988）によった。カラムはShodex IC-1-521Aを用い、溶離液（流量1.0ml/min）は2.5mMフタル酸水溶液（pH 4.0）を用いた。また、カラムの温度は40 $^{\circ}$ Cに設定した。

② Ca \cdot Mg \cdot K \cdot Na \cdot NH $_4$

カルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウム、アンモニアの各イオンの分析はイオンクロマト法によった。カラムはShodex IC-1-524Aを用いた。1価のカリウム、ナトリウム、アンモニアの溶離液（流量1.0ml/min）は4.0mM硝酸、2価のカルシウム、マグネシウムの溶離液（流量1.0ml/min）は2.0mMエチレンジアミン-4.0mM酒石酸（pH4.0）を用いた。また、カラムの温度は40 $^{\circ}$ Cに設定した。

③ 炭素・窒素

炭素及び窒素はC \cdot Nコーダーによった。

④ 土壤pH

土壤10gに対して25mlの純水を加えて攪拌し、30分静置後pHメーターにより測定した。

⑤ COD

過マンガン酸カリウム法によった。

(3) 土壤断面形態及び土壤微細形態

① 土壤断面形態

調査地では土壤断面形態・植生・地形調査を行った。土壤断面形態の調査は、各調査地について検土杖による予備調査を行った後、1地点につき1～3ヶ所試坑を作って実施した。層位区分は土色（農水省水産技術会議事務局・財団法人日本色彩研究所，1967）・土性・石レキ・構造・粗密・水分状況・植物根などにより行った（ペドロジスト懇談会，1984）。

調査後、断面モノリスを作製した。まず、土壤断面に接着剤を十分に塗布し、サラネットを

一面に張り付け、さらに接着剤を塗布した。一昼夜放置した後、このフィルムをはぎ取り、木枠に納めてモノリス標本とした（作製文献：土壤調査法編集委員会，1978、永塚，1971）。

② 土壤試料の採取・保存方法

各土壤層位より試料を採取し、ビニール袋に密封した後低温保存した。風乾用試料は、数日間乾燥後孔径2mmの円孔篩でふるい、得られた風乾細土は300ccポリ容器に保存した。また、その時コアサンプラーによる採取も行い、密封後低温保存した。

③ 土壤微細形態

多摩川上流域の調査地点は日原鍾乳洞近辺の石灰岩上に発達した土壤で、落葉広葉樹林地とヒノキ植林地であった。落葉広葉樹林地は褐色森林土、ヒノキ植林地は黒ボク土であった。一方、秋川上流域の調査地点は檜原村の砂岩上に発達した落葉広葉樹林地とスギ植林地であった。落葉広葉樹林地は褐色森林土、スギ植林地は黒ボク土であった。各土壤のA層からクビエナボックスで未攪乱土壤を採取した。薄片作成法は、クビエナボックスで採取してきた試料を以下の作業を経て薄片化した。

ア. 水分除去

樹脂を含浸させるため試料中の水分を除去する必要がある。除去法には種々あるが、根や堆積腐植など多い森林土壤では急冷真空凍結乾燥法が適している（平山，1991）。採取ボックスから壊れないように取り出して、専用の治具を使用し液体窒素で -190°C に急冷し予備凍結した。これは水の結晶の成長が土壤中の堆積腐植などの高含水物質を破壊しないよう、非晶質の状態にするためである。真空凍結乾燥機でなるべく低温状態（ 0°C ）に保ち、有機成分の気化を防ぎながら乾燥した。

イ. 樹脂含浸

脱水した試料に、真空含浸装置で樹脂および試料中の空気を除きながら樹脂を含浸した。樹脂は不飽和ポリエステル樹脂（商品名：ポリライトTC-241、大日本インキ（株）製）を使用した。樹脂の固化が完了するまで数ヶ月間放置した。

ウ. 1次切断

ダイヤモンド切断機で固化試料を正6面体に切り出した。大きさは $10 \times 8 \text{ cm}$ 、切り出し面の一面は薄片を作るための面である。

エ. 1次研磨

平面の研磨は金属加工用の平面研削盤を使用し、砥石は#120のグリーンカーボラダム（GC）を使用した。薄片にする面を上にして試料を電磁チャックで固定するが、正6面体なので試料のがたつきはなく平面性を保てて作業がスムーズに進んだ。全面に研削がおよんでから、さらに約 $50 \mu\text{m}$ 研削を行った。研削終了後は超音波洗浄機で洗浄した。

オ. スライドガラス貼り付け

スライドガラスは、大きさ $10 \times 8 \times 0.16 \text{ cm}$ で貼り付け面と反対の面で試料に関係ない部位にダイヤペンで情報データを記述しておいた。研削が終わって乾燥した試料は、アセトンでスライドガラス、試料共にゴミをふき取った。貼り付け面を上にして台の上に置き、エポキシ樹脂（商品名：エポキシ樹脂低粘性タイプ、硬化剤50分型、国際ケミカル（株）製）でスライドガ

ラスを上から貼り付けた。その後、スライドガラス上に2 kgの鉛の重石を置き、エポキシ樹脂が均質になるようにし、約1昼夜放置した。

カ. 2次切断

スライドガラスに約500 μm 試料を残して切断した。

キ. 2次研磨

スライドガラスをチャック面に置き固定し、マイクロメータで残りの試料の厚さを測定し、約100 μm になるまで5 μm の切り込みで自動研削した。100 μm 以下はマイクロメータで計りながら50 μm の厚さまで1 μm の切り込みで仕上げ、さらに薄片を観察しながら最終仕上げまで0.5 μm の切り込みで研削した。最終的に超音波洗浄機で洗浄した(研磨文献:平山, 1983; 1992a; 1992b)。

(4) 植生

植生調査は土壤断面調査地点の周辺5 m四方を行い、Braun-Blanquet法により被度階級を算出し(生態学実習懇談会, 1967)、種名・学名は植物図鑑(牧野, 1961; 大井, 1953; 長田, 1976; 笠原, 1968)や樹木図鑑(北村・村田, 1971; 1979)によった。標高、傾斜・方向の調査は、高度計、クリノメーターを用いて実施した。

(5) 土壤呼吸

土壤呼吸はWalter (1952) のアルカリ溶液密閉吸収法に従った。測定場所にシャーレ台を設置し、その上に0.5N水酸化ナトリウム溶液を20cc入れたシャーレを置き容器で覆った。24時間放置後にシャーレ内の水酸化ナトリウム溶液を回収し、3 N塩化バリウム溶液を加え、フェノールフタレインを数滴滴下後、0.1N塩化アンモニウム溶液で逆滴定し、二酸化炭素の排出速度(土壤呼吸速度とする)を算出した。

(6) 土壤水の浸透速度

各地点における各層位の土壤をサンプルコアで採取し、コアの下面に濾紙(東洋濾紙: No. 5)を装着し、上面にはコアと同じ径の塩ビ管を接続して上部から水200ccを注入して、水の減少速度を測定した。

(7) 地温及び照度

地温は地中3 cmの深さに温度計を差し込み、3ヶ所で測定して平均値を算出した。また、照度は照度計により測定した。

(8) 土壤生物

①土壤動物

土壤動物の定量採集は1997年2月25日に行った。土壤動物の定量採集は調査地点とした4つの林分においてそれぞれの林分ごとに10×10×5 cmの金属製採土缶を1地点3個ずつ表土に打ち

込み、試料土壌の採集を行った。採集された試料土壌は4地点合計12個であった。以上のようにして採集した試料土壌は短時間内に研究室に持ち帰り直径約30cm、5mmメッシュのツルグレン装置に投入し、72時間、40w白熱燈により加温し、土壌中の動物を80%エチルアルコール中に分離抽出した。抽出された動物標本中、ダニ、トビムシを中心とした小型土壌動物は実体顕微鏡下で拾い出した後、集合プレパラートを作成し、生物顕微鏡下で同定とそれぞれの動物群ごとに個体数の算定を行った。また大型動物については実体顕微鏡下で動物群の同定と個体数の算定を行った(小作ほか, 1994)。

なお、1996年11月に実施した土壌動物調査では25cm方形枠内、深さ5cmの土壌中の肉眼で確認された全ての動物の種類と個体数を測定した。

②土壌微生物

土壌資料1gを滅菌水9mlの入った試験管に採りマイクロミキサーで5分間攪拌した。この懸濁液から1mlをメスピペットで採り、滅菌水9mlの入った試験管に加え、マイクロミキサーで3分間攪拌した。それ以降は1分間の攪拌により5次～6次希釈液を調整した。これらの調整液をそれぞれ1mlづつペトリ皿に採り42～45℃のアルブミン寒天培地を加えよく混合した後、28℃の恒温器内で培養した。培養7日後に取り出し、コロニー数をカウントした。このコロニー数から菌数を算出した。

(9) 水生昆虫

調査地点で25cm四方の鉄製コドラートを沈めてその中に棲息する全ての水生昆虫をサーバーネットで捕らえてそれらの種数及び個体数を調査した。その際、イオン電極pHメーターにより、河川水のpHを測定した。

(10) リターフォール量

各林分の林床の3ヶ所に1㎡の大きさのロート状のネットを設置し、9～12月の3カ月間のリターを採集した。採集後、105℃の通風乾燥器で乾燥後、リターフォール量として測定した。

5. 調査地点の概況

(1) 地形・地質

調査地点は奥多摩にあり、秩父多摩国立公園に指定された一角にある。この地帯にある山々にはV字溪谷が発達しており、それらの山を水源に持つ河川が多数見られる。奥多摩の地質は秩父中古生層(堀口, 1980; 1986)に属しており、その岩石は主にチャート、砂岩、粘板岩、石灰岩などからなっている。

多摩川は、その全長が138.6km、流域面積が1,248.6km²である(建設省, 1994)。笠取山(標高1,941m、山梨県塩山市)を水源として、東京都と神奈川県の間境を通って東京湾に注いでいる。上流は丹波川と呼ばれ、小菅川、日原川、秋川などいくつかの支流が合流して本流となっている。

いる。かつては水量が豊富な川で、流域では洪水が頻繁し、肥沃な土壌を運搬する一方で、住民を悩ましてきた。昭和初期に完成した小河内ダム（奥多摩湖）や玉川上水により、水量の激減とその後の人口増加に伴う生活雑排水や工場排水の混入で汚れた都市河川となっていた。

多摩川は最上流地帯にジュラ紀と白亜紀の付加体（花崗岩類）が分布しており（安江、1994）、その地帯を通して青梅市やあきる野市の平地部に流れ出ている。日原川（流路延長約23.2km、流域面積約90.8km²）は丹波川が流れ込む奥多摩湖から流出する多摩川に合流する。日原川沿いには石灰岩地が点在しており、採石場がある。その上流には日原鍾乳洞があり、この鍾乳洞と道路を挟んで反対側には燕岩や竜岩、梵天岩と呼ばれる岩壁が見られる（写真資料参照）。

多摩川支流の日原川の調査地点である日原鍾乳洞付近あるいは川乗山（標高1,363m）麓の地質は秩父中・古生層から成り、「ジュラ紀の砂岩や泥岩の中にチャートや石灰岩あるいは緑色岩が混在する複雑な地質体（安江、1994）」である。また、多摩川支流の秋川渓谷に位置する檜原村一帯の地質は「四万十帯に属し、白亜紀から古第三紀のおもに砂岩と泥岩からなる地質体（安江、1994）」である。

秋川（流路延長約46.2km、流域面積約168.8km²）は、三頭山（標高1,527m）の南東斜面と風張峠（標高1,160m）の東側山腹に源を發したそれぞれ南秋川と北秋川の合流よりなっており、中山峠を経て五日市町に流下している。

菅野・新井（1983）は、五日市周辺が第三系を構成する地形からなることを報告している。また、酒井（1987）によれば日原川の日原地点と川乗地点、秋川の白倉地点ともに秩父累帯の二畳系－白亜系の南帯に分類され、前者は「氷川層」で砂岩及び砂岩泥岩互層、後者は「御前山層」で砂岩及び砂岩泥岩互層、含礫泥岩を伴っている。

日原川流域では砂岩泥岩互層を挟んで石灰岩岩体が發達しており、川乗谷下流では泥岩や砂岩の礫や岩塊あるいはチャート岩塊を含んでいる。一方、秋川白倉の地質は主に含礫泥岩・砂岩からなる。川乗層は砂岩・頁岩互層で、砂岩を主とし礫岩、輝緑凝灰岩、チャート、石灰岩を伴っている。北秋川はチャートを主とし、頁岩や砂岩、輝緑凝灰岩、石灰岩を含んでいる（猪郷ほか、1980）。日原川中～上流域では河川による侵食が進んでおり、山地には40度以上の急傾斜地が点在しており、崩壊地が多く見られる。概して、奥多摩町、檜原村とも極めて起伏に富んだ急峻な地形のところが多く、河川は急峻な山地を流下する急流である。

(2) 気 候

奥多摩町、檜原村の気候は温帯性の気候で、小河内観測所（西多摩郡奥多摩町）の測定では年平均降水量は1,800mm前後であり、年平均気温は12℃前後である。

(3) 植 生

我が国はユーラシア大陸の東側の太平洋に位置しており、弧状に細長く連なっている。中央部には急峻で起伏の大きい山脈がある。降水量が多く、湿潤な温帯性気候であり、原植生は大半が森林である。奥多摩の気候区分は、山地の標高の低いところから高くなるに連れて中間温帯、冷温帯、亜寒帯となっている。永野（1980；1984）は埼玉県内の森林帯を気候区分に対応させてそ

れぞれ暖温帯林、中間温帯林、冷温帯林、亜寒帯林とした。この区分を奥多摩の森林帯にも対応させることができる。点在する石灰岩地の植生には石灰岩標徴種が出現しており、奥多摩ではブコウマメザクラやイチョウシダ、イワウラジロ、チチブミネバリなどが報告されている。

(4) 多摩川の水質

多摩川の水質はその源流域が石灰岩を包含する第三系の秩父累帯南帯に属することから、炭酸カルシウムなどの塩基性物質に富んでいる。

(5) 秩父多摩国立公園

奥秩父から奥多摩にまたがる地域は、昭和25年に秩父多摩国立公園に指定され、甲武信岳や雲取山、三頭山などの山々の中で最高峰は金峰山（標高2,599m）である。国立公園の総面積は121,600haである。コメツガやシラビソなどの原生林が多く、また石灰岩地が多いことでも知られている。東京都区域の北西部の山域の大部分は東京都水道局が所有する水源林となっており、その山麓には奥多摩湖がある。

(6) 奥多摩の産業

奥多摩町は総面積の約94%、檜原村は約93%が山林であり、主要な産業は林業である。林業に適している人工林地はスギ、ヒノキが中心であり、林業に適さないところには落葉広葉樹などが残っており、自生林となっている。そのため、森林の保全や育成に対する関心が著しく高まっている（東京都労働経済局農林水産部農地課編，1994）。

奥多摩町、檜原村とも石灰岩などの採石が盛んに行われており、産業の一端を担っている。また、観光シーズンには奥多摩湖や渓谷、山岳などを行楽客が多数訪れており、大きな収益となっている。

6. 調査・分析の結果及び考察

(1) 土壌溶液量

土壌溶液はコアにより採取した土壌をコアごと遠心分離にかけて採取した。土壌溶液量は調査地点あるいは季節によって異なっていた（表2）。また、土壌溶液量は土壌の表層から下層に向かって増加する傾向が認められた。川乗地点、白倉地点では分析に供する量が1個のコアで得られたのに対して、日原地点では分析に供する量を確保するためには数個のコアから遠心分離によって溶液を集める必要があった。

土壌溶液量は各調査地点とも8月が最も多く、次いで5月、11月と続き、2月が最も少なかった。このような季節別土壌溶液量の相違は月別降水量（表3）の変化と似た傾向を示していた。また、各地点ともシーズンにかかわらず下層に行くに連れて土壌溶液量が多くなる傾向が認められた。日原地点は川乗地点・白倉地点に較べて土壌溶液量は各シーズンとも少なかった。これは、日原地点が石灰岩地であり、土壌層が薄く、レキに富んでいたため、雨水の浸透がよかった

表2 多摩川上支流の日原川及び秋川流域各調査地点における
層位別土壤溶液量の季節変化 (1997年)

河川名	調査地点	層位	土壤溶液量(ml/100gsoil)			
			2月	5月	8月	11月
日原川	日原	A	1.6	3.7	5.2	3.0
		AB	2.1	3.9	5.4	4.8
		B	2.6	4.4	5.9	5.3
	川乗	A	4.4	7.5	14.2	6.9
		AB	5.2	11.6	15.5	10.4
		B	7.9	13.1	16.8	14.5
秋川	白倉	A	3.8	4.6	12.6	5.9
		AB	6.6	9.3	15.9	11.4
		B	8.2	12.9	17.3	14.2

表3 東京都西部地区の月別降水量 (1997年)

調査月	2月	5月	8月	11月
降水量 (mm)	58	110	189	78

ことによると推定される。さらに、日原地点では傾斜地が約21度であり、傾斜度10度前後の他地点と大きく異なっていた。

川乗地点や白倉地点では土壤溶液が比較的多かった。川乗地点は黒ボク森林土でヒノキの植林地、白倉地点は褐色森林土でコナラ林であった。表層土壤のA層で5月より11月の方が少なかったが、下層土壤のB層では多くなっていたのは10月の秋雨による降水が相当量浸透した結果と考えられる。日原川流域には落葉広葉樹が多く、そこで見られる土壤は落葉層が厚く、草本層が豊かで保水力が高く貴重な水資源涵養地帯となっている。また、多摩川源流域にはコメツガやシラビソ、ブナなどの自然林が広がっており、そこに降り注いだ雨は浸透して豊かな土壤に貯留され、やがて渓流水として流出している。近年、異常気象が原因となる僅少降水年があり、渇水対策が大きな問題となってきている。今後ともその危険に脅かされる機会が増大していく傾向にあると言われており、奥多摩一帯の森林保全の重要性が増している。

自然林は火災や病原菌の蔓延が最も深刻なダメージとなるが、特に人為が入らない限り水源涵養能は高く維持される。そのため、保全を要するのは人工林となる。しかし、近年輸入外材の需要増加に伴い、木材需要の様相は一変したことから林業従事者が減少し、それに加えて高齢化が追い打ちをかける形で森林管理が極めて難しい状態となってきている。そのため、多摩川中・下

流域の自治体が費用分担して上流域の森林造成や育成などの整備事業や保全事業に積極的に協力していくことが大事である。森林は「緑のダム」と言われている。人工的なダムとは異なり、自然破壊が全く心配されない天然のダムである。多摩川上流には奥多摩湖があり、小河内ダムが設置されている。荒川上流には秩父湖があり、二瀬ダムがあるが、近年浦山ダムや合角ダムなどが新設された。上流域にダムが建設されると、中・下流域の河川水が減少し、河川生態に大きな打撃を与えてしまうことになる。荒川では渇水した箇所があり、大きな話題となった。

(2) 土壤溶液中のイオン濃度

土壤は固相、液相、気相の三相から構成されている。固相の結晶鉱物や粘土、腐植などに吸着されている各種イオンは液相間で吸着、溶解、置換、沈澱などによって平衡に達している。土壤水中に溶解、放出された各種イオンは土壤溶液をつくり、植物根に吸収されたりする。土壤溶液中の陽イオンは土壤膠質（コロイド：粘土、腐植など）に吸着・保持されている。一方、陰イオンは土壤に吸着されにくいため他の陽イオンと結合するが、降雨に伴って溶出するため、流亡しやすい。

① 岩質別土壤のイオン濃度分布

多摩川上支流の日原川及び秋川の各調査地点における土壤溶液中の各種イオン濃度（ PO_4 、 NO_3 、 Cl 、 SO_4 、 Na 、 NH_4 、 K 、 Ca 、 Mg ）を季節別に分析した結果を、Appendix 1 に示した。これから、石灰岩地の点在する奥多摩地域で特に石灰岩体が多く分布し、石灰岩を大量に産出している日原地点では他地点と比べて各シーズンとも各種イオン濃度が高い傾向にあった。特に、陽イオン元素のカルシウム濃度と陰イオン元素の硝酸濃度が突出して高い傾向が認められた。一方、砂岩あるいは砂岩泥岩主体の秋川流域の白倉地点では土壤溶液中のカルシウム濃度は低く、硝酸濃度も低かった。また、日原地点から下流にある母材がチャート主体の川乗地点では白倉地点と同様にカルシウム、硝酸濃度も低い傾向にあって、白倉地点より各シーズンとも各濃度はやや大きかった。これは川乗地点が日原川流域にあって、その上流域に石灰岩体を包含した地帯から運搬された石灰岩を土壤中に有していたことに起因している。

各種イオン濃度は概して11月に最も高く、2月が最も低くなる傾向を示していた。このような傾向は日原地点で最も顕著であった。11月にはカルシウム以外の陽イオン、硝酸以外の陰イオンにおいてもそれぞれの濃度が他の時期より高まる傾向が認められた。特に、カリウムは植物体内で極めて動きやすく溶脱を受けやすい物質であり、11月の落葉期に土壤溶液中の濃度が著しく高まっていた。

土壤で最も活性の高いA層の各種イオン濃度を季節別に図示したのが、図2-1、2-2、2-3である。この図から、日原地点では他地点に比べてカルシウム濃度と硝酸濃度が際だって高かったこと、落葉期の11月に各種イオン濃度が高まっていることが明らかである。

只木ほか（1974）は、落葉寸前の葉からの溶脱が他の季節よりもはるかに大きいことを報告している。また、チッソやリン、カルシウムはリターフォールの役割が、カリウムやマグネシウムは雨水の役割が大きいことを指摘している。今回の調査より、落葉樹及び針葉樹ともに落葉期は秋のシーズンであり、落枝葉によって林床にもたらされる炭素や窒素・ミネラルはかなりの量と

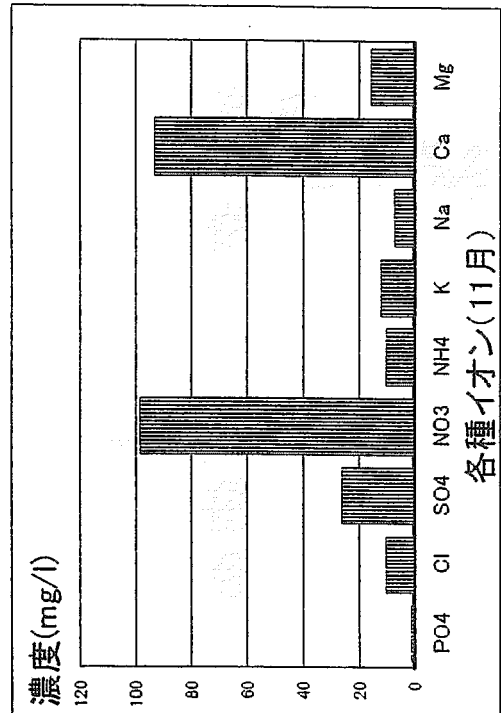
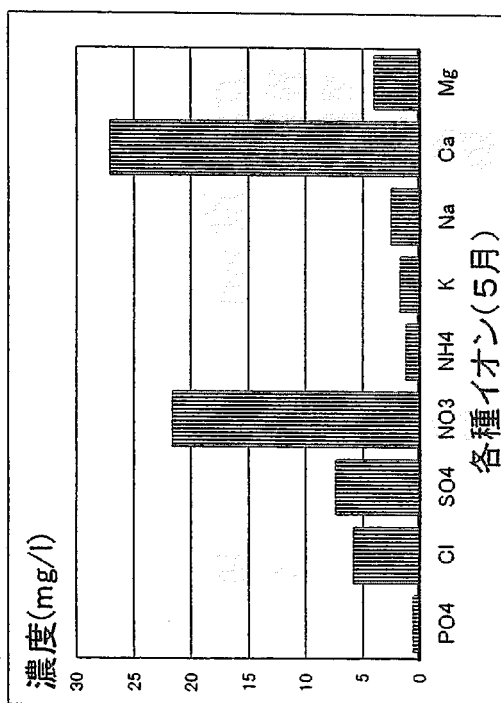
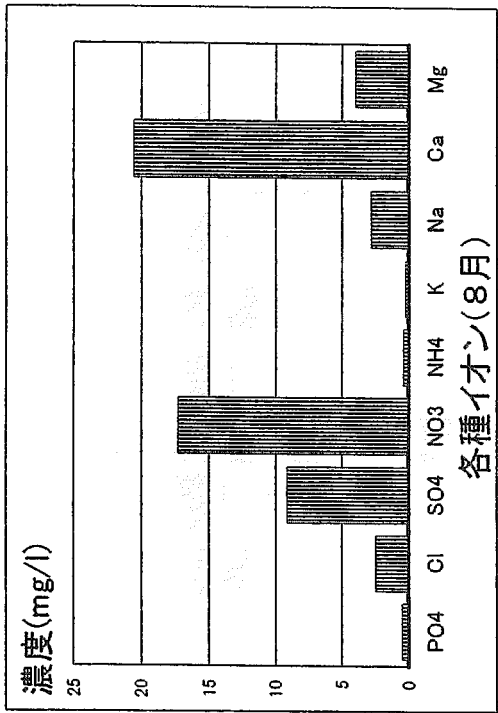
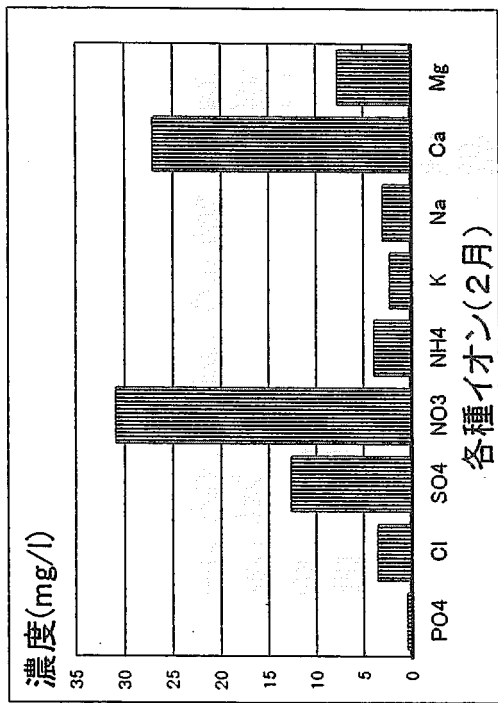


図2-1 多摩川上支流域の各調査地点における季節別各種イオン濃度分布(日原地点)

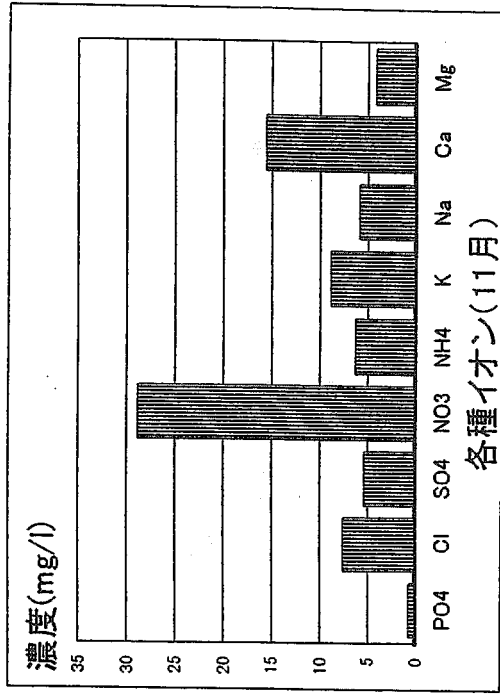
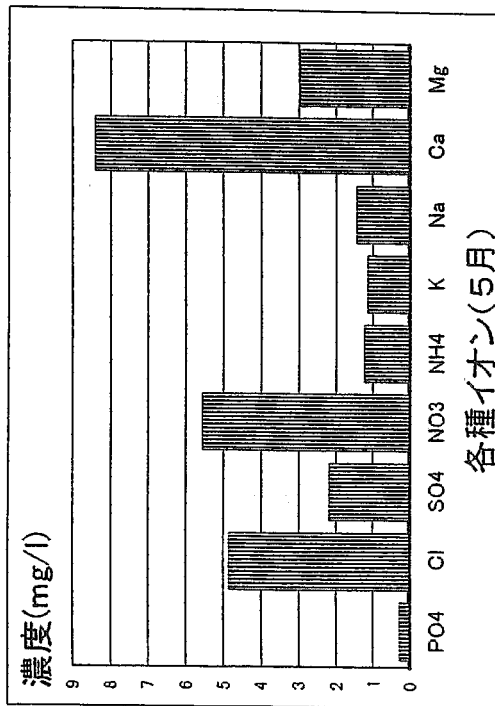
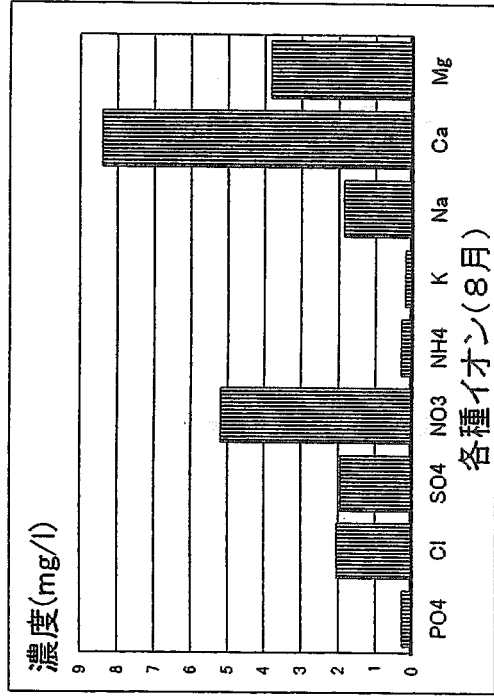
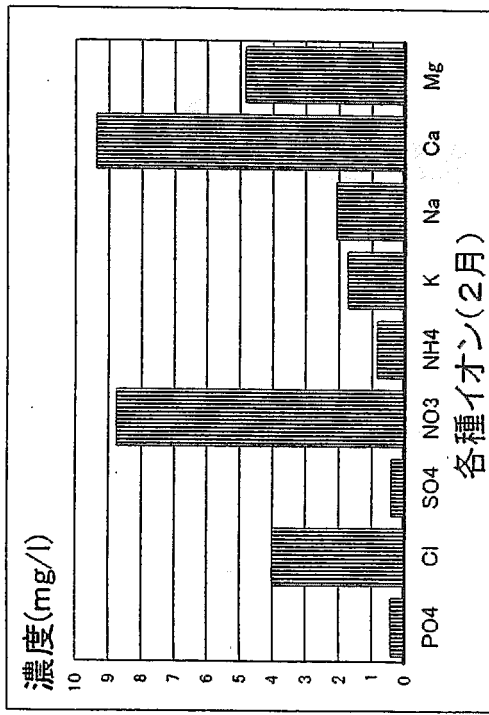


図2-2 多摩川上支流域の各調査地点における季節別各種イオン濃度分布 (川乗地点)

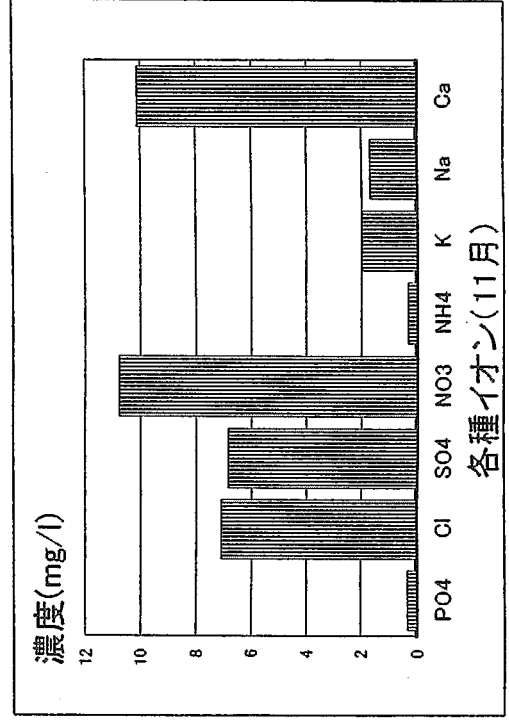
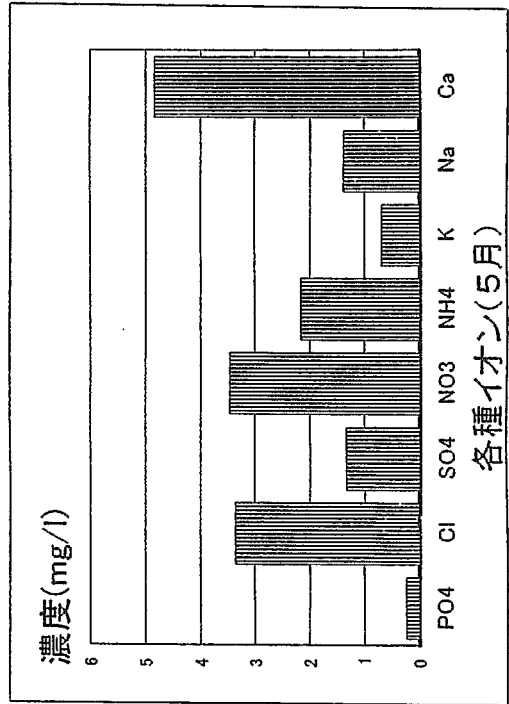
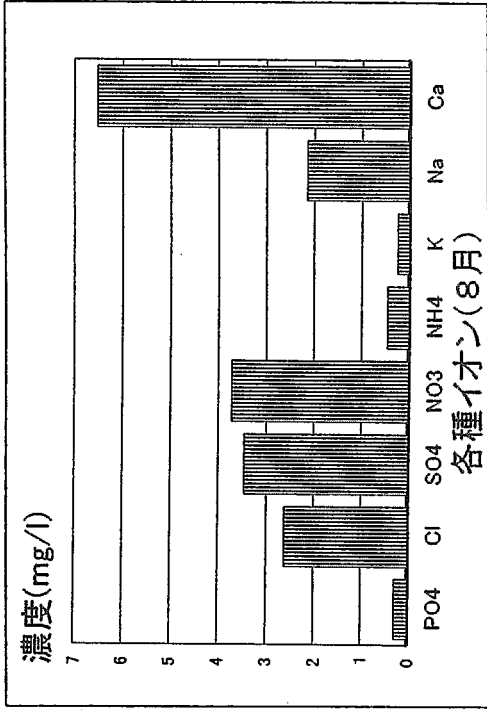
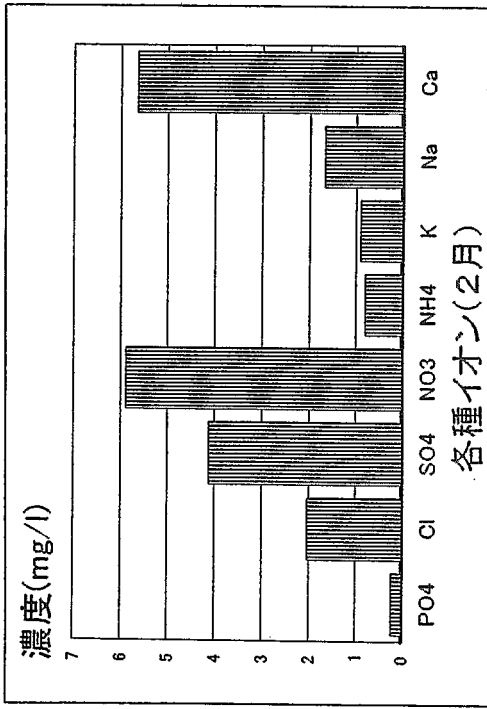


図 2-3 多摩川上支流域の各調査地点における季節別各種イオン濃度分布 (白倉地点)

なることが推定される。

日原地点では、カルシウム及び硝酸濃度が突出して高かったが、それに次いで高い濃度を示したのは陽イオンではマグネシウム、陰イオンでは硫酸であった。川乗地点と白倉地点の2地点では陽イオンではマグネシウムであったが、アニオンでは硫酸濃度と塩素濃度のいずれかが高かった。

土壤溶液中の各種イオン濃度の分布から、ミネラルが母材の特性を強く反映していることが明らかとなった。特に、石灰岩を母材とする地点ではチャートや砂泥岩を母材とする他地点と較べてカルシウム濃度が著しく高かったのは特異的である。表4は異なる岩質の平均化学組成を示しているが、この表から石灰岩とその他の岩質ではカルシウムの占める割合が異なっており、カルシウム含有率が石灰岩で際立って高いことが明らかである。

堤(1973)は、土壤中のミネラルが主に岩石の風化に由来しているため、土壤母材の性質がミネラルの集積に大きく影響していることを明らかにしている。石灰岩地では、母材にカルシウム成分が多く含有されており、雨水によってカルシウム分が多量に溶出してくる。その結果、土壤中のカルシウム濃度が高くなり、石灰岩地特有の土壤が形成されている。日原地点の土壤のカルシウム濃度は他地点に較べて突出していたが、このような傾向は石灰岩地が点在する荒川上流域の秩父山地でも確認された(福田・坂上、1993)。

表4を見ると、石灰岩ではカルシウムに次いでマグネシウム含有率が高くなっている。日原地点では他地点に較べてマグネシウム濃度が高い傾向が認められた。硫酸濃度は、硝酸濃度や塩素濃度に比べて低い傾向が見られた。加藤(1989)は、耕地土壤についてはあるがその理由を硫酸がカルシウムと結合して難溶性塩(CaSO₄)を形成するためとしている。塩素や硫酸は土壤の上位層から下位層まで比較的万遍なく含まれていたが、Polynovによれば塩素や硫酸は非常に動きやすい(農林水産庁林業試験場土壤部監修、1982)ためと考えられる。また、マグネシウム濃度は下層でも比較的高かったが、これはマグネシウムが母材由来によることと深くかかわっている。

表4 異なる岩質の平均化学組成(%)

岩 質	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
砂 岩	5.5	1.2	0.5	1.3	0.04
泥 質 岩	2.2	2.6	1.6	3.6	0.16
石 灰 岩	42.6	7.9	0.05	0.3	0.09
チャート	3.2	3.4	2.1	2.8	0.15

(岩波講座 地球環境学4(1999)より)

② 土壤中の各種イオンの垂直分布

Appendix 1を図示したのが、図3-1、図3-2、図3-3である。これらの図から土壤中の各種イオンの垂直分布を見ると、日原地点、川乗地点、白倉地点ともシーズンにより濃度差は

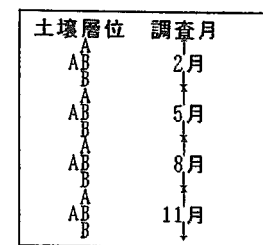
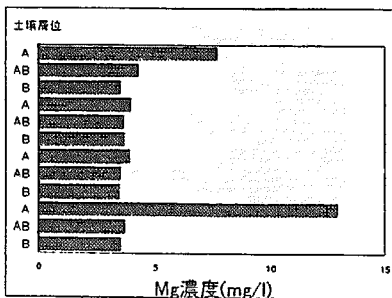
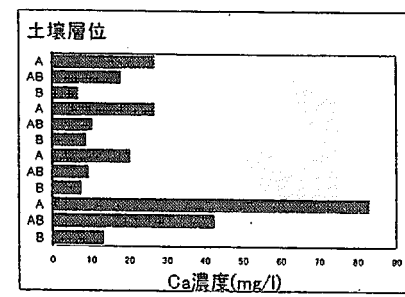
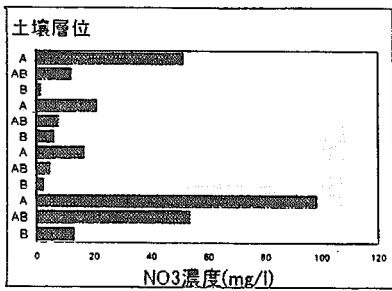
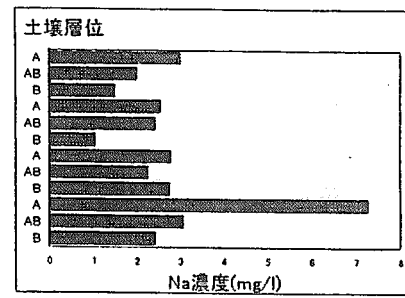
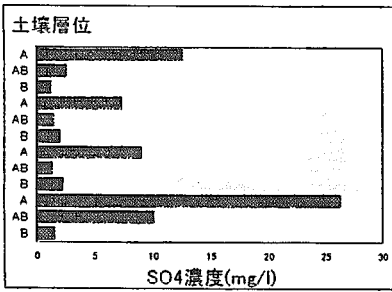
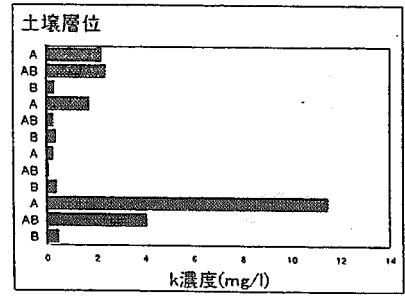
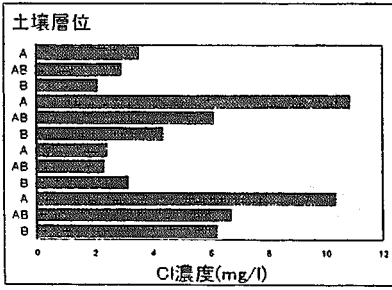
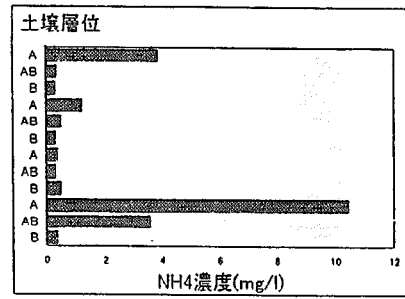
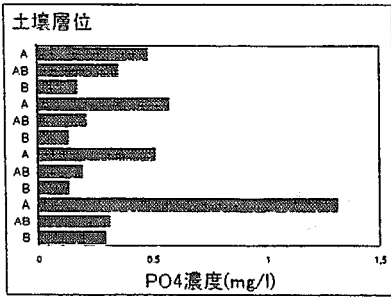


図3-1 季節別に見た各種イオン濃度の垂直分布(日原地点)

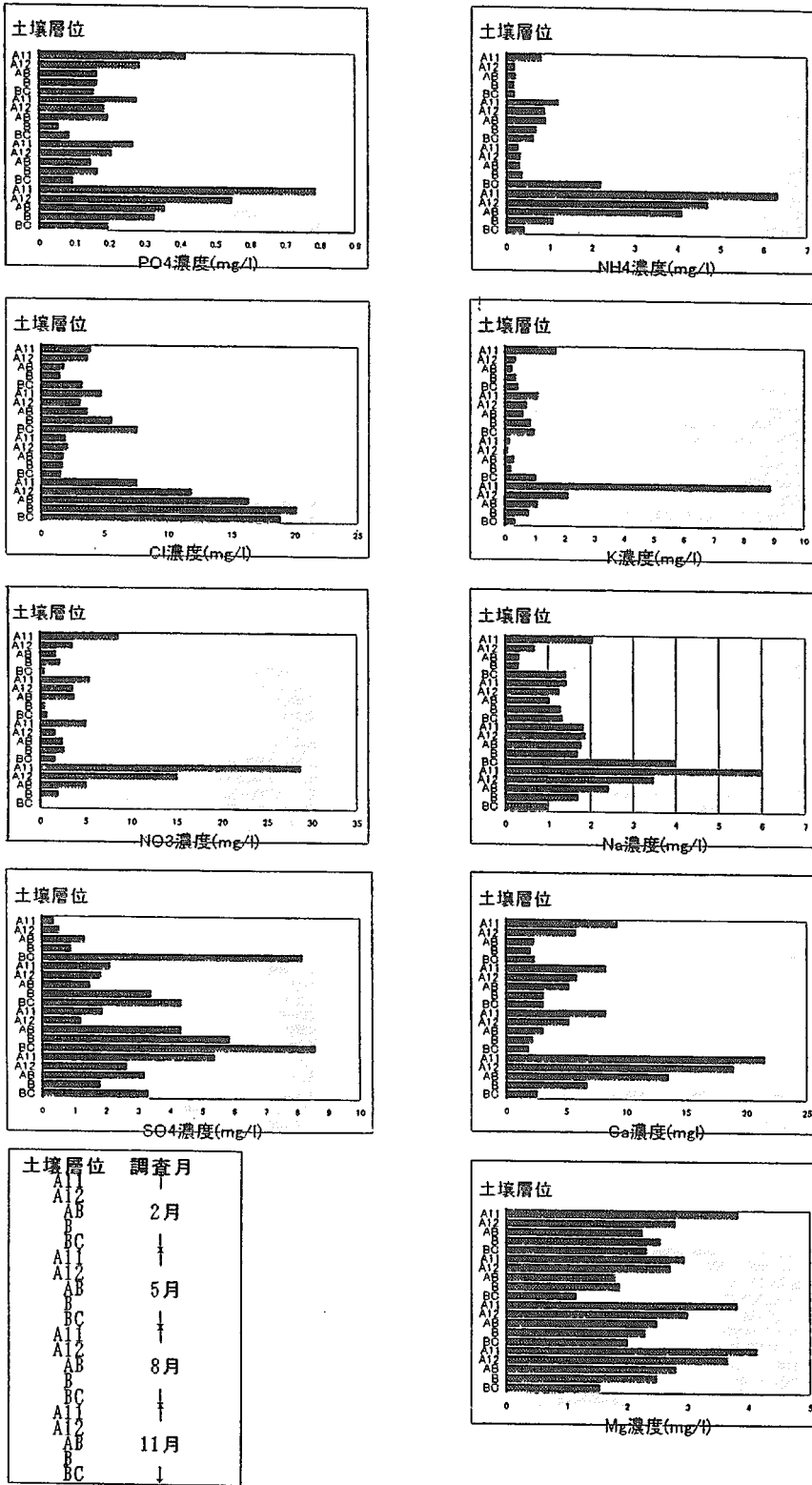


図3-2 季節別に見た各種イオン濃度の垂直分布（川乗地点）

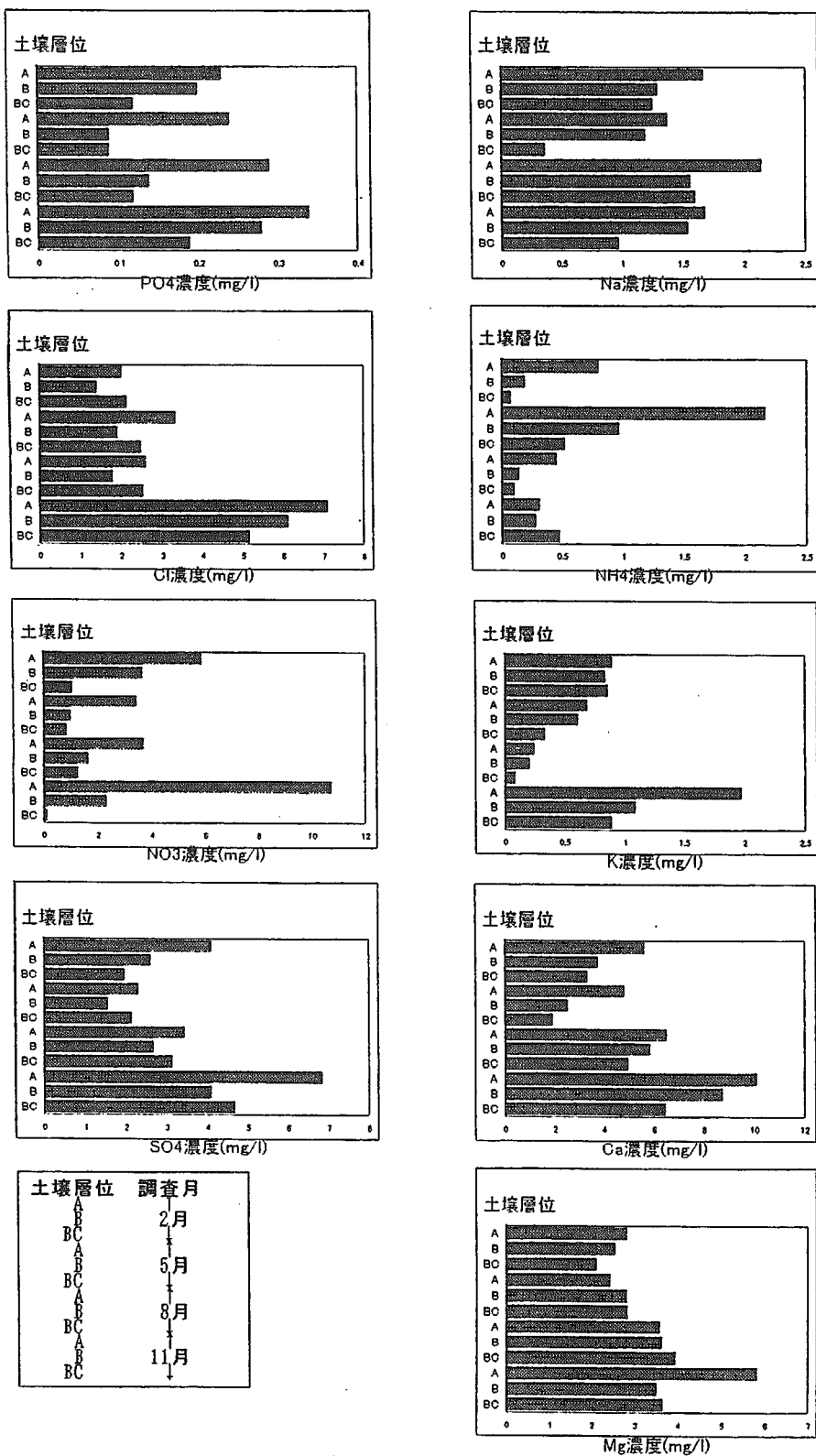


図3-3 季節別に見た各種イオン濃度の垂直分布(白倉地点)

あるもののほぼ表層土壌で濃度が高く、下層に行くに連れて濃度が下がる傾向が認められた。日原地点でのカルシウム濃度とマグネシウム濃度の垂直分布は異なっていた。これらのイオンは上層から下層まで比較的濃度が高く推移していたが、これは石灰岩地の土壌の特徴と見ることができると考えられる。

土壌有機物含有率及び各種イオン濃度を土壌深度10cm毎に調査した結果、図4に示した通りであった。この図から、土壌有機物の含有率は表層付近で高く、深度が増す毎に減少し、30cm以下になると含有率がほとんど認められなくなることが明らかとなった。また、各種イオンについても土壌有機物含有率と同様の垂直分布を示していた。すなわち、その濃度は表層付近で最も高く、下層に行くに連れて減少する傾向が認められた。土壌中の各種イオン濃度や量の垂直分布に関する報告は多いが、それらのほとんどは表層近くでその値が大きく、下層に行くほど減少する傾向があるとするものである（岡島ほか、1981、波多野ほか、1980、佐藤ほか、1980）。また、有光・松井（1964）は、山地の斜面上部と下部でそれぞれ10、30、50cmの深さの土壌水の養分濃度を測定した結果、斜面の両地点とも土壌の上層で大きく、下層になるほど低下することを報告している。さらに、河田（1977）は、鉍質土層で表層から下層に向かって硝酸態窒素の濃度が減少することを明らかにしている。また、山谷（1989）は森林下のA₀層とその直下の鉍質土層は最も可給態養分が濃縮され、かつ活性の高い層であることを指摘している。

各種イオンの垂直分布は植物体の落枝葉が土壌動物や微生物により粉碎・分解を受けて生じる無機物質が降雨水の浸透とともに表層から下層方向に移動する途中で保持・貯留されたり、植物体に再吸収されるという物質循環のプロセスで形成される。そのため、下層に行くほどイオン濃度は低下する。また、各種イオンは落葉などのリターフォール以外にも降水や降下粉塵によってもたらされる。降水は林外雨と林内雨、樹幹流に分かれて林地に達する。

多摩川上流域と類似した石灰岩地が点在する荒川上流域で非石灰岩地と石灰岩地における層位別の各種イオン濃度を調べた結果、表5の通りであった。この表から、石灰岩地と非石灰岩地における濃度分布の相違は、多摩川と荒川の両流域でよく似ていた。すなわち、石灰岩地では非石灰岩地に較べて特徴的に土壌溶液中の溶存カルシウム濃度が高く、それに相補するように硝酸濃度が高かった。各種イオンともほぼA層で高く、B層で低下する傾向を示した。石灰岩地土壌の土壌層はA層が発達している。そのため、可給態窒素は多くなり、硝酸濃度が高まることになる。また、土壌中の窒素形態は主に有機態であり、それが微生物の分解を受けて無機化される。

無機態窒素はアンモニアや亜硝酸、硝酸として存在するが、硝化菌の活性は肥沃で適潤な土壌で高い（依田、1973、吉田ほか、1980）とされており、肥沃な腐植質のA層の発達した石灰岩地土壌では硝化菌の活性は高く、硝酸が多く分布することになる。そして、この高濃度の硝酸が引き金となってカルシウム濃度を高めていると考えられる。

土壌によるイオン吸着は土壌に含まれる粘土鉱物や腐植の表面で行われる。この腐植と粘土鉱物は土壌中で複合体（腐植・粘土複合体）をつくる。そのため、各種イオンは腐植と粘土が多く含有される表層近くの土壌に比較的高濃度に分布し、下層では有機物が少なく減少すると考えられる。また、イオンとして土壌を移動する溶質は粘土鉱物などに吸着されると異なったイオンが脱着し、イオン交換されて新たに土壌水の溶質となる。イオン交換の速度は急速であり、溶液中

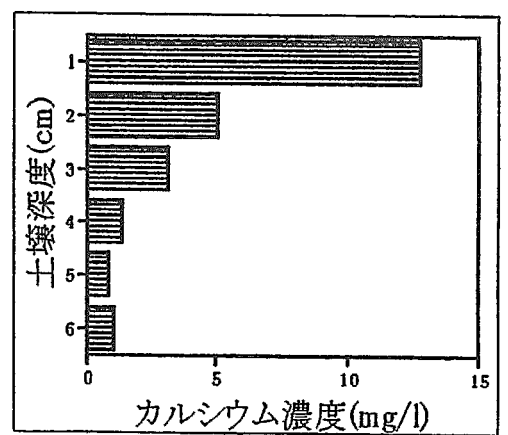
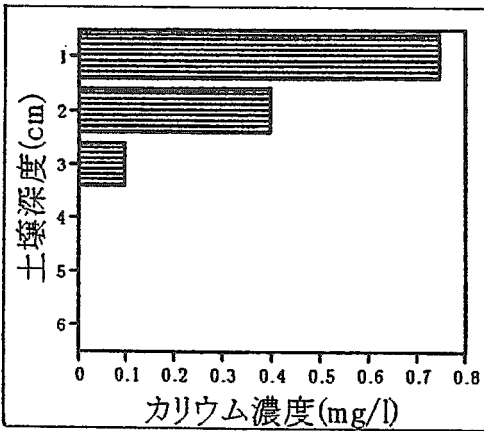
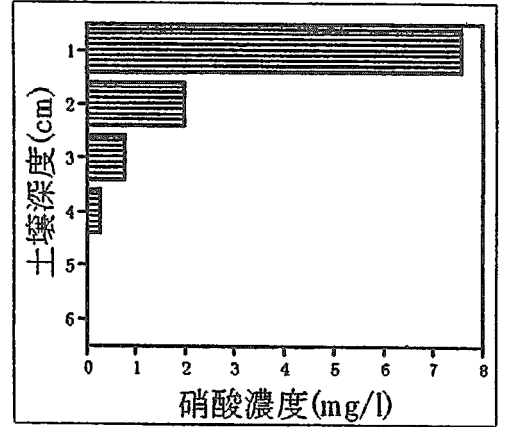
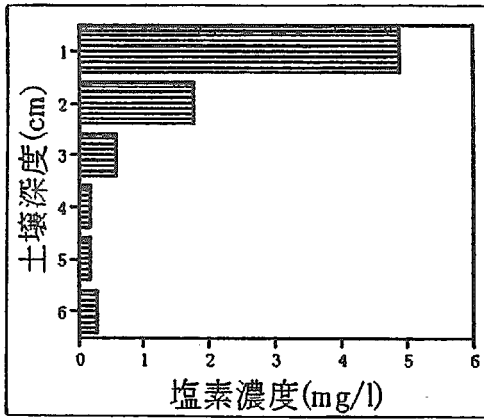
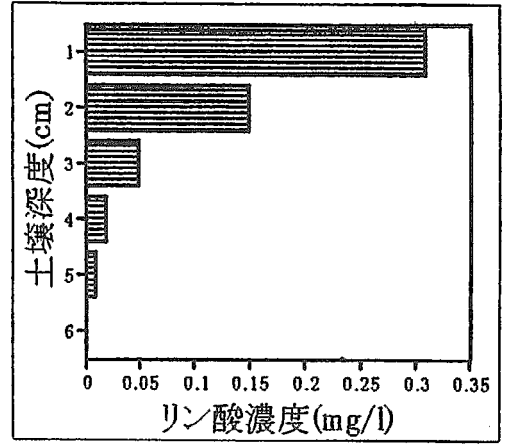
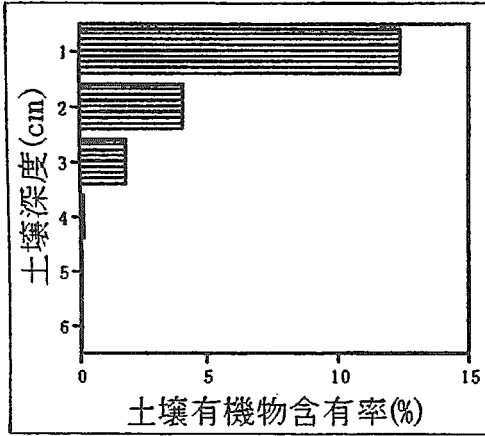


図4 土壌中の有機物及びミネラルの垂直分布

調査地：檜原村白倉（落葉広葉樹林地）

調査月：9月

縦 軸：土壌深度（1：0 cm 2：10cm 3：20cm 4：30cm 5：40cm 6：50cm）

表5 荒川上流域の非石灰岩地土壌と石灰岩地土壌における層位別の各種イオン濃度の相違（平成6年5月調査）

各種イオン	非石灰岩地土壌		石灰岩地土壌	
	A層	B層	A層	B層
NH ₄	0.85	0.20	1.16	0.89
NO ₃	2.52	1.29	32.9	8.12
PO ₄	0.08	0.01	0.43	0.11
K	2.90	1.36	2.05	0.74
Ca	7.45	4.30	25.9	10.5
Mg	1.97	2.28	5.60	4.34

濃度の単位：mg/l

非石灰岩地、石灰岩地……調査地：山地

植 生：常緑針葉樹林

のイオン濃度と土壌粒子表面に吸着されているイオン量との間には常に平衡が成立していると考えられている。土壌のイオン吸着には選択性があり、粘土鉱物や有機物の種類・量、イオンの電荷荷数、イオン半径などに影響される（東京大学農学部、1997）。

③土壌イオン濃度と植生との関係

石灰岩地では、その地特有の植生が見られることはよく知られている。本調査でも、チヂミネバリ、ヤハズハハコ、イチョウシダ、イワシモツケなどの石灰岩地特有の植物が確認された。石灰岩地と非石灰岩地における落葉樹の葉中の成分含有率を調べた結果、表6の通りであった。この表から、石灰岩地に生育している樹体葉中の各種養分含有率のうち非石灰岩地のものに較べて最も差異が大きかったのはカルシウムであり、石灰岩地の方が約5倍高かった。これは、土壌溶液中に溶出した高濃度のカルシウムを吸収していることが推定される。また、マグネシウムやカリウム含有率も非石灰岩地のものに較べると多少高かった。好アルカリ性あるいは好石灰性植物は他種との競合を避けて生活するようになったと推定される。

日原川流域では好アルカリ性植物が石灰岩地にへばりつくように生活しており、石灰岩地を離れると全く見られない。そのため、これらの植物は石灰岩地でよく適応している貴重な種と見ることができる。荒川上流域の武甲山に自生しているブコウマメザクラは、石灰岩採掘によりその生育地が奪われようとしている。この生育地を失うと絶滅の危機に瀕するレッドデータ種となる。我が国には、表層近くの石灰岩地が希少であり、石灰岩地植物の生育地が少なく、局地的な分布に限られている。そのため、石灰岩地植物の保存は極めて重要であるものと考えられる。

石灰岩地と非石灰岩地に生息するスギとケヤキの葉の養分含有率を調べた結果、表7の通りであった。スギ、ケヤキともに石灰岩地のものは非石灰岩地のものに較べてカルシウム含有率が高

表6 石灰岩地と非石灰岩地における落葉樹の葉中の成分含有率の比較

成分 (%)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
石灰岩地 (A)	0.89	0.15	1.33	2.94	0.30
非石灰岩地 (B)	0.78	0.21	0.97	0.59	0.18
A/B	1.1	0.7	1.4	5.0	1.7

調査：1997年10月

樹葉の採取地：石灰岩地（日原）、非石灰岩地（白倉）

表7 石灰岩地と非石灰岩地における樹種の違いによる葉の養分含有率 (%) の比較

樹種	生育地	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
スギ	石灰岩地	0.78	0.21	0.72	1.88	0.25
	非石灰岩地	0.75	0.18	0.53	0.93	0.19
ケヤキ	石灰岩地土	1.14	0.12	0.94	2.30	0.57
	非石灰岩地	1.07	0.09	0.73	1.12	0.49

調査：1998年7月

樹葉の採取地：石灰岩地（日原）、非石灰岩地（白倉）

くなっている。両種ともカルシウム含有率は石灰岩地のものの方が約2倍高かった。カリウムとマグネシウム含有率が石灰岩地で多少高かったが、その他の養分ではあまり大きな差異は認められなかった。

④ 溶存主要カチオン総濃度と溶存主要アニオン総濃度との関係

土壌溶液中の溶存主要アニオン総濃度 (P₀₄、NO₃、Cl、SO₄) と溶存主要カチオン総濃度 (Na、NH₄、K、Ca、Mg) との関係を見たのが、図5である。この図から、両者の間には高い相関が認められ、R²=0.9701であった。また、溶存主要アニオン総濃度と溶存カチオン総濃度を比較すると、11月には前者の方が各層位とも全般的に高い傾向が認められたが、2、5、8月には両者はほぼ拮抗していた。これは、11月が落葉期であり、落葉等からの各種イオン、特にアニオンの溶出が盛んだったことによるものと推定される。11月には各種イオンともそれ以外の時期よりも濃度が大幅に増加していたが、これは土壌溶液中にアニオンが増加したことから電気的中性を維持させるため、土壌コロイドに吸着していたカチオンが離れて増加したことによると推定される。

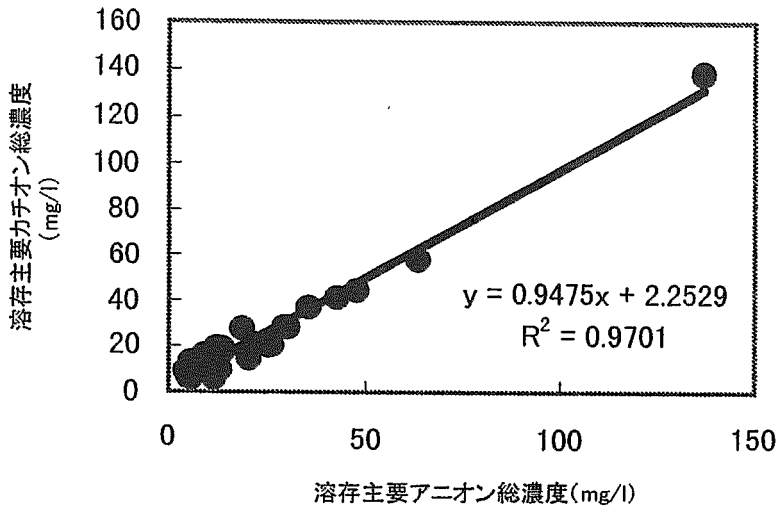


図5 土壤溶液中の溶存主要アニオン総濃度と溶存主要カチオン総濃度の関係

硝酸濃度の増加によりカルシウムイオンやマグネシウムイオンが遊離して、土壤溶液中の濃度が増加して電気的中性が保たれる。

図子ほか (1992) は、施肥区の土壤溶液について溶存陽イオン濃度と溶存陰イオン濃度の間に相関があることを報告している。彼らは溶液中の主要陰イオン濃度 ($Cl+NO_3-N+SO_4-S$) の和と主要陽イオン ($Al+Ca+K+NH_4-N$) の和との間係は 1 : 1 の直線で、電気的中性が保たれているとしている。また、Pang & McCullough (1981) は土壤溶液中のカチオン変動がアニオン総量に依存していることを報告している。岡島ほか (1974) は、ハウス土壤について肥料による硫酸や硝酸の陰イオン増加は固相からカルシウムやマグネシウムの陽イオンを液相に溶出させ、土壤溶液の陽イオンと陰イオンの比を 1 : 1 に保っていることを報告している。この時、イオン組成の調節は主に陰イオンにより行われている (岡島, 1981)。さらに、岡島 (1989) は電気的二重層の外液として存在する土壤溶液の陰イオンが単独で変化すると、土壤溶液の陽イオンもそれに応じて変化しなければ電気的中性は保たれないと指摘している。外液の変化によって、電気的二重層の内液の陽イオンが交換反応によって変化せざるをえなくなる。土壤溶液のイオン組成の引き金は陰イオンにあると考えられている。しかし、カルシウム濃度が極めて高かった石灰岩地土壤である日原地点の A 層では、硝酸イオン以外の硫酸イオンや塩素イオンが濃度を高めていることから、陽イオンの影響下でイオン組成の調節が行われていることも考えられる。

いずれにしても、土壤溶液中では陽イオンと陰イオンのイオン組成が 1 : 1 の関係に調節されて電気的中性が保たれており、両イオンの平衡が自然の調和を象徴するものと見ることが出来る。土壤溶液中の陰イオンは陽イオンとは異なり、土壤コロイドに吸着されることはほとんどない。そのため、単独で変化しやすい。

正電荷を持つNH₄-Nは土壌に吸着されて残留し易く、負電荷を持つNO₃-Nは流出し易いという特徴を持つ（佐藤ほか、1990）。そのため、岩石の風化や落枝葉などの分解により各種イオンが土壌溶液中に浸出してその濃度を高めることになる。

土壌溶液中の溶存主要カチオン濃度と溶存主要アニオン濃度との関係を層位別に調べてみると、表層のA層の方が下層のB層よりも相関が高かった（表8）。土壌中では、下層よりも表層でイオン濃度が高く、カチオンとアニオンの拮抗関係が深いことによると考えられる。一般に、土壌イオンは土壌水とともに表層から下層に移動するが、その間にイオン同士の結合や化合、沈殿、溶解などが生じるため、カチオンとアニオンの関係は下層ほど希薄になっていくと推定される。土壌溶液中の各種イオン間あるいは各種イオンとカチオン・アニオン間の関係を図示したのが、

表8 層位別に見た土壌溶液中の溶存主要カチオン濃度と溶存主要アニオン濃度との関係

層位	相関直線	相関係数
A層	$Y=2.02X+1.95$	$R^2=0.831$
B層	$Y=0.13X+7.54$	$R^2=0.256$

図6-1と図6-2である。この図から、最も高い相関が認められたのは硝酸濃度と溶存主要カチオン総濃度との関係で、 $R^2=0.9635$ であった。その他、相関が高かったのは硝酸濃度とカルシウム濃度（ $R^2=0.9583$ ）、カルシウム濃度と溶存主要アニオン総濃度（ $R^2=0.9380$ ）、カルシウム+マグネシウム濃度と溶存主要アニオン総濃度（ $R^2=0.9434$ ）などとの間であった。逆に、相関が低かったのはカリウム濃度とマグネシウム濃度（ $R^2=0.013$ ）、カリウム濃度とカルシウム濃度（ $R^2=0.016$ ）、カリウム濃度とナトリウム濃度（ $R^2=0.1194$ ）、カリウム濃度と硫酸濃度（ $R^2=0.1171$ ）の関係などであった。これらの結果から、概して主要カチオン及び主要アニオン以外の陽イオン相互間あるいは陽イオン相互間、陰イオン相互間の相関は低い傾向が認められた。前述の通り、陰イオンは土壌溶液中に遊離された状態で存在しており、単独で動いている。そのため、イオン間の関係が陽イオンよりも希薄であり、相関が低かったと考えられる。

アンモニア態窒素は土壌中で硝化作用を受けて硝酸態窒素に変わり、土壌中の濃度を増す。一方、石灰岩地ではカルシウムやマグネシウムなどの陽イオンの溶出が極めて顕著である。そのため、土壌溶液中に浸出する硝酸濃度が高くなると、カルシウムなどの陽イオン濃度が高まることが考えられる。そして、この傾向が石灰岩地土壌では特に顕著であった。

カルシウムやマグネシウム、ナトリウム、カリウム、アンモニアは土壌コロイドである粘土鉱物と腐植の複合体に吸着されており、硫酸やリン酸、塩素、硝酸は塩として存在する（都留、1971）。また、硝酸イオンが粒子に保持されにくい（「土の世界」編集グループ、1992）ことから、各種陰イオンは土壌中で比較的自由に存在していることが考えられ、その総濃度は腐植・粘土複合体に吸着して存在するカチオンに直接影響を与えている。

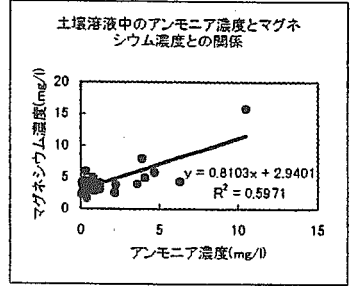
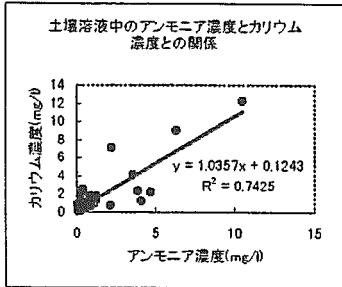
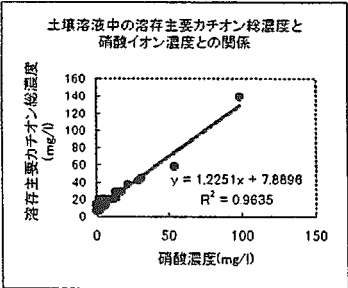
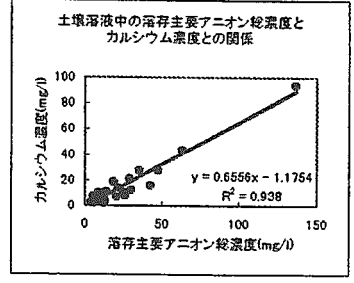
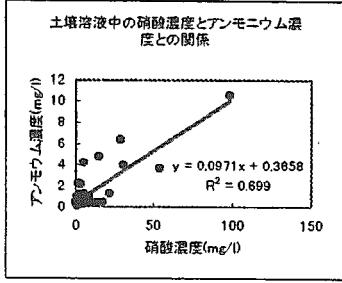
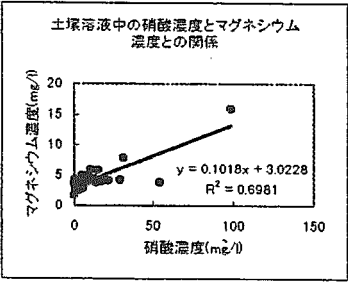
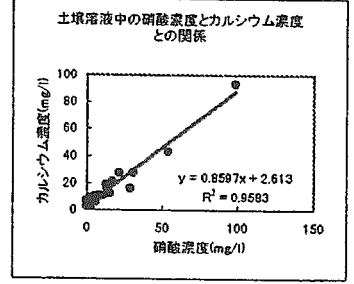
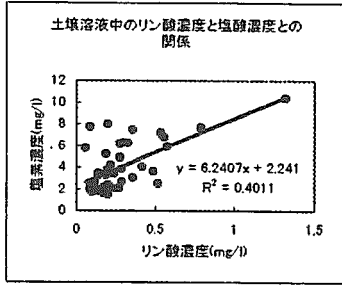
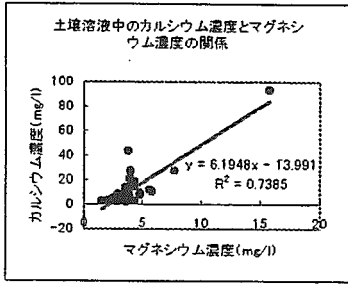
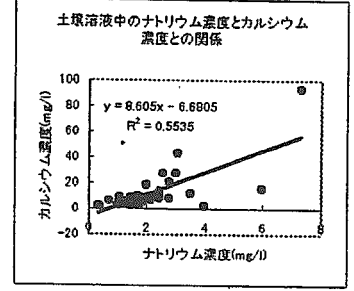
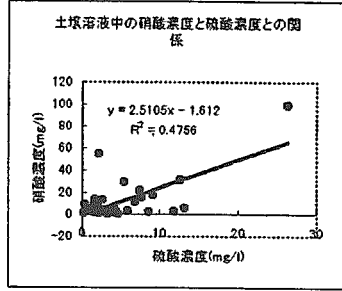
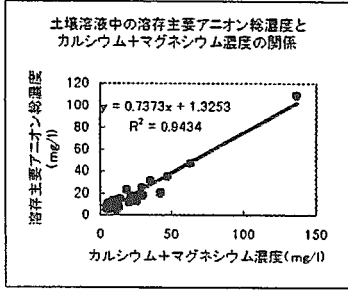
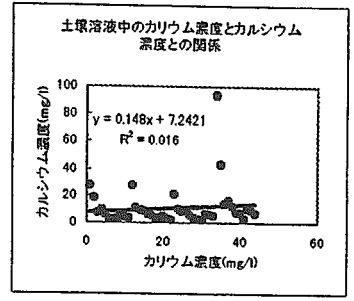
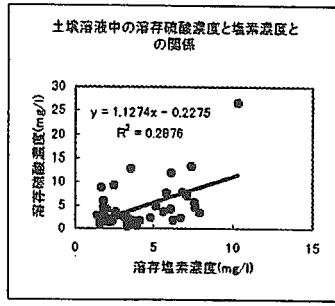
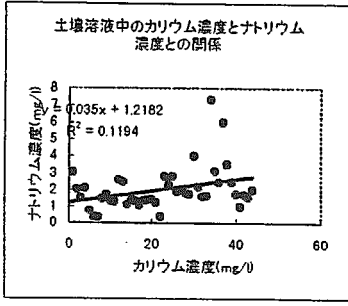


図6-1 土壤溶液中の各種イオン間あるいは各種イオンとカチオン・アニオン間の関係

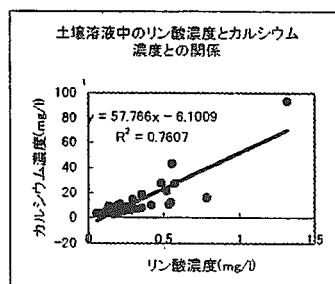
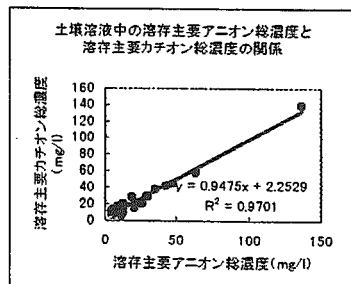
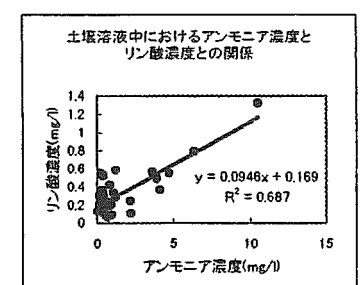
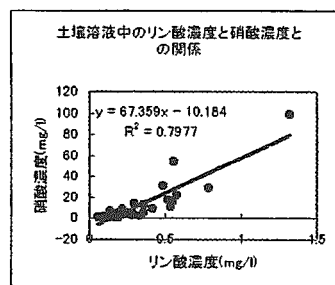
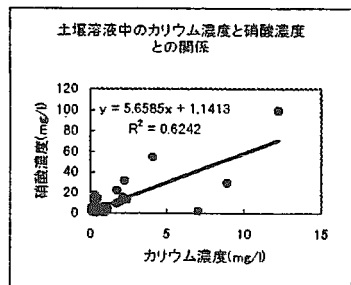
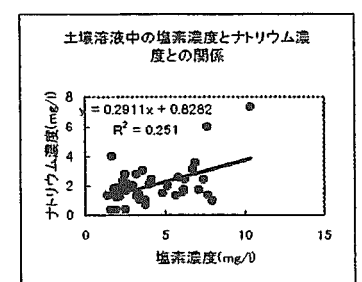
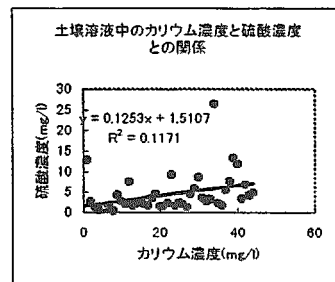
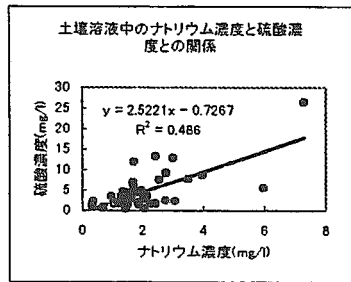
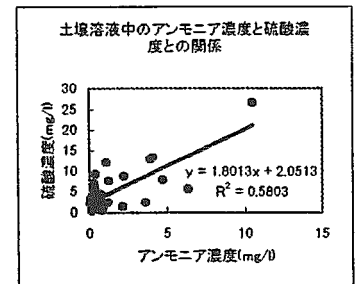
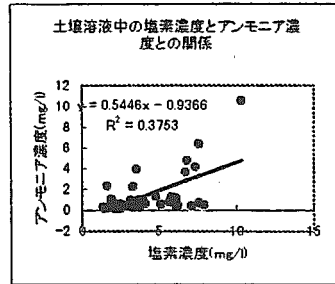
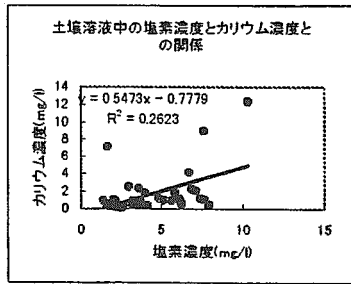
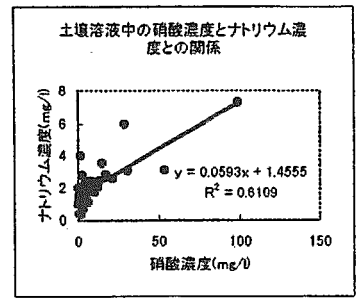
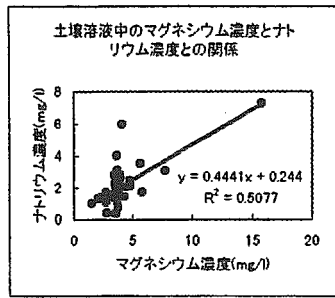
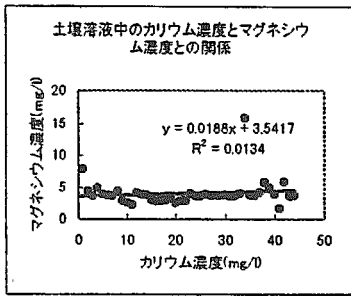


図6-2 土壤溶液中の各種イオン間あるいは各種イオンとカチオン・アニオン間の関係

加藤ほか(1989)は、土壤溶液の濃度を律するのが陰イオン量であり、畑土壌では硝酸濃度が土壤溶液の濃度を決定することが多いとしている。また、有光(1982)、川添ほか(1987)、戸田ほか(1987)は土壤溶液中の硝酸態窒素濃度とカルシウム濃度及びマグネシウム濃度との間に高い相関があることを認めている。大類ほか(1992)は、降雨に伴う流出水中の硝酸態窒素濃度とカルシウム濃度との間にも高い相関があることを見ている。

各種陽イオンが土壤水中に増加する機会は降雨水の土壌中での浸透・移動の際であり、雨水中の炭酸イオン、水素イオンによる腐植・粘土複合体表面での置換現象に伴う遊離による。有光(1982)は土壤水溶存成分の月別変動を調べ、ヒノキ林での硝酸態窒素濃度は3~9月には低いが、10~11月にかけて大きなピークが現れ、この傾向はカルシウム濃度の月別変動とよく一致することを報告している。

石灰岩地土壌では、硝酸濃度の増加に伴ってカルシウム濃度の上昇が顕著であり、次いでマグネシウム濃度がわずかに増加していた。生原(1992)は土壤水の硝酸態窒素濃度が増加した場合、コロイドからのカルシウムの放出が多く、次にマグネシウムであるとしている。本調査でもカルシウム濃度とマグネシウム濃度との間には比較的高い相関関係があったことから、両者間には相補的な関係は認められた。

カルシウム濃度はマグネシウム濃度に比してかなり高く、硝酸濃度の変化に対してカルシウムイオンが圧倒的に主導的な調節を行っているものと推定される。また、カルシウム濃度とマグネシウム濃度との高い相関関係から、マグネシウムイオンは量的には少ないもののアニオンの電気的中性に関与していることがうかがえる。

⑤ 落葉からのイオン溶脱

落葉広葉樹のウワミズザクラとサワシバ、アワブキ及び落葉針葉樹のカラマツ、常緑針葉樹のスギの各落葉を脱イオン水に浸漬した後、水中の各種イオン濃度を経時的に調べ、落葉からの各種イオンの溶脱濃度が濃縮されていく様子を追跡した。その結果、表9の通りであった。この表では、各種イオンのうちで最大濃度を100.0とした時の樹種別、経過時間別の相対値を示したものである。全ての溶脱イオン濃度で相対値が100.0となったのはウワミズザクラの120時間後であり、落葉から溶脱しやすい樹種であることは明らかである。次いで、溶脱の相対値が大きかったのはアワブキ、サワシバであった。カラマツは、浸潤時間が経過するにつれてイオン溶脱が進んでいった。スギは120時間が経過しても各種イオンとも溶脱濃度が高まらず、落葉からの溶脱に相当時間がかかることを示している。イオン溶脱は落葉広葉樹で最も盛んであり、次いで落葉針葉樹であり、常緑針葉樹では溶出がほとんど進まなかった。落葉からの溶脱濃度はカリウムやナトリウム、塩素、硝酸で高く、アンモニアやカルシウム、マグネシウムで低かった。

堤(1989)は、リターフォールからの溶脱量がカリウムで大きく、窒素とリンでは少ないことを明らかにしている。また、カルシウムやマグネシウムは葉から溶脱しにくく、付着粉塵に由来している(堤、1987)。カリウムやリンは大半が溶脱である。カリウムの溶脱は主に落葉期に見られ、特に広葉樹で顕著である。

落葉の分解速度を見ると、一般に広葉樹の方が針葉樹よりも早いですが、リターの分解速度は樹種や地形、土壌・水分条件などの違いにより異なることが知られている。堤(1977)は同じ林分で

表9 各種イオンの落葉からの溶脱による濃縮の経時的変化

職 種	経過時間 (時間)	各種イオン濃度 (相対%)						
		Cl	NO ₃	Na	NH ₄	K	Ca	Mg
ウワズミザクラ	1	6.6	36.0	11.4	33.3	25.8	23.8	15.6
	8	20.7	52.9	31.8	51.8	59.8	51.3	48.7
	24	28.5	71.5	42.3	62.7	83.7	90.0	87.6
	58	62.5	89.4	80.8	88.2	90.3	92.8	90.2
	120	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
サワシバ	1	17.1	55.4	5.9	17.3	5.5	10.0	29.3
	8	21.4	56.9	13.6	26.4	8.1	12.2	36.6
	24	26.6	62.3	23.7	70.9	11.7	23.4	56.1
	58	37.8	64.0	46.5	73.6	12.4	26.0	61.2
	120	53.0	67.3	69.2	77.2	15.3	40.3	80.4
カラマツ	1	1.5	1.6	2.4	8.2	0.3	8.6	0
	8	6.0	18.5	5.7	18.3	1.9	15.0	12.0
	24	12.7	27.6	12.3	24.5	2.1	25.1	19.5
	58	16.9	37.9	14.7	27.2	2.9	28.8	31.7
	120	18.6	40.2	29.4	40.0	3.1	68.5	39.1
アワブキ	1	11.9	66.1	8.2	21.0	2.4	25.0	14.6
	8	23.8	68.3	30.9	35.5	11.2	76.3	21.9
	24	25.1	69.1	37.0	56.4	12.6	81.3	51.2
	58	25.9	70.2	59.2	70.0	15.1	86.4	56.1
	120	58.9	80.3	76.7	82.7	21.0	88.9	65.8
ス ギ	1	0.3	0.3	0.3	1.8	0.4	3.8	1.2
	8	0.5	0.9	0.6	2.4	0.5	5.9	2.2
	24	0.6	1.1	0.7	5.2	0.8	8.0	2.9
	58	0.7	1.2	0.9	7.1	0.9	9.1	3.7
	120	0.9	1.3	1.1	8.6	1.2	9.9	4.2

ウワズミザクラ：温帯・暖帯の落葉高木で葉は卵状長楕円形。両面無毛。きょ歯の先はのぎ状に尖る。

サワシバ：夏緑樹林に生える温帯の落葉高木で、葉の上面脈上にわずかな短毛があり、下面脈上に長毛あり。葉の基部はハート形にくぼむ。

カラマツ：落葉針葉樹で高木。葉は細い線形で、互生。

アワブキ：山地谷沿いに多い暖帯の落葉高木で葉は薄く、長い。上面に細毛、下面脈沿いに多毛。きょ歯はのぎ状に突き出す。

ス ギ：常緑針葉樹で高木。葉は細い線形で、互生。

18ヵ月後の落葉分解を調べた結果、尾根部のスギでは25%、斜面中部のブナでは61%、斜面下部ではほぼ100%と大きく異なっていることを報告している。リターの分解には土壤中の動物や微生物が大きく関与しているが、それらの生物の活動は地温に影響される。

異なる林分におけるリターフォール量と地温について測定した結果、表10の通りであった。リターフォール量は常緑針葉樹林の方が落葉広葉樹林よりも大きく、地温は林床に陽が差し込む落葉広葉樹林地の方が高かった。地温の大きさはリターフォールの分解速度と深くかかわっていることが考えられる。

表11はスギ人工林と落葉広葉樹林の林外と林床の照度を示しているが、林床照度はスギ人工林は落葉広葉樹林の約1/7であった。また、相対照度を見るとスギ人工林ではわずか0.8%であり、落葉広葉樹林の4.9%よりも遥かに小さかった。スギ人工林では日中でも薄暗く、高木、亜高木、低木、草本という階層構造が発達できず、林床植物もほとんど見られなかった。一方の落葉広葉樹林では階層構造がよく発達しており、春先の斜面では様々な春植物の生育が観察された。常緑針葉樹林では落葉広葉樹林に較べて地温が低く、リターフォールの分解、無機化が遅く、進まない。そのため、多量の有機物が林床に集積する。堆積した有機物は土壤動物や微生物の作用により分解や縮重合により腐植となる。この腐植は土壤水の動きなどに伴って下層へと浸透していく過程で、土壤層位が形成されていく。それ故、リターフォールは土壤形成にとって大変重要な働

表10 異なる林分におけるリターフォール量と地温

調査地点	植 生	リターフォール量 (g/m ²)	地 温 (°C)
檜原村白倉	常緑針葉樹林	2.9	21.5
檜原村下元郷	落葉広葉樹林	2.4	24.9

調査日（地温）：1997年7月20日

リターフォール量：林床の3カ所に1㎡のネットを設置し、9～12月の3ヶ月間の落下物を風乾後重量測定し、その平均値をリターフォール量として算出した。

表11 スギ人工林と落葉広葉樹林の林外と林床の照度（平成7年6月調査）

樹 林 地	林床照度 (lux)	林外照度 (lux)	相対照度 (%)
スギ人工林地	450	59,000	0.8
落葉広葉樹林地	2,900	59,500	4.9

きをしていると言える。また、土壌は物質循環の場として位置しており、特に森林は豊かな土壌生成を行う場として極めて重要な存在である。

Tsutsumi et al. (1983) は、土壌条件の良・不良がリターの生産量の多・少に関係し、特にリターフォールの多いところでN、P含有率が高く、Ca、Mg、Kではそれが認められなかったことを報告している。一方、リターに含まれる養分量の月変化がほとんどリター量の変化と同じ傾向を示す(岩坪, 1976) 林内雨の物質濃度が落葉現象と関連する初冬にピークがある(Tsutsumi & Nisitani, 1984) 秋から冬にかけて、重力水中のカリウムやカルシウムの量が増加する(大政, 1983) などの報告からリター生産及び分解とイオン分布との間には深い関係があることが考えられる。

森林を伐採すると、樹木によるリター生産がなくなり、物質循環が断絶してしまう。また、土壌中の養分流出は進み、土壌生物の減少や土壌侵食が生じる。さらに、地力が低下しはじめ、自然にとって大きな損失となる。森林では土壌中で物質の溶脱や集積、養分の植物への吸収などの物質循環が土壌中の水を媒体として行われている。水の移動に伴って土壌中の物質の量的、質的な変化が生じ、土壌と植生とが相互に影響し合って安定した生態系システムが形成される。その結果、森林は最も豊かな物質生産や循環を行う生態系となる(依田, 1971、村井ほか, 1980、堤ほか, 1981)。

(3) 降水の物質濃度

降水の物質濃度を日原地点と白倉地点で測定した結果、表12の通りであった。各種イオン濃度の両地点間での大きな違いは認められなかった。土中に入った降水の一部は地下方向に浸透する際、造岩鉱物から様々な無機イオンを溶解・遊離する。そのイオンは植物に吸収・利用されたり、粘土鉱物を生成する。また、土中では適度な水や栄養、空気、温度が保たれており、急激な変化があまりない安定したすみかとなるため、多数の土壌生物が生息している。彼らは、植物遺体などを分解して無機物に変えたり、腐植を生成したりする働きをしており、土壌形成の重要な部分を担っている。

降水が林地を通過して溪流に流出する時様々な物質が流出してくる。ミネラル濃度は降水濃度より高まる傾向がある。

表12 降雨水の物質濃度 (ppm)

調査地点	降水量	NH ₄ -N	NO ₃ -N	PO ₄	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl	Na
日原地点	69mm	0.16	0.07	0.03	0.13	0.79	0.15	1.25	0.90	1.54
白倉地点	73mm	0.20	0.13	0.02	0.17	0.75	0.19	1.18	0.92	1.39

降水量は1ヶ月の測定量を表す(1995.7.25調査)。

(4) 降水及び土壌溶液、河川水中の各種イオン濃度

図7は降水及び土壌水、河川水中の養分濃度を示したものである。この図から、各種イオンとも降水濃度に較べて土壌溶液中の濃度は数倍から数十倍にまで高まっていた。窒素は流入より流出の方が低く、降水あるいはリターフォールからの窒素が森林生態に取り込まれたことになる。リン酸は収支で差があまりなかった。ミネラルのカルシウム、マグネシウム、カリウムは全て支出の方が大きくなっていった。

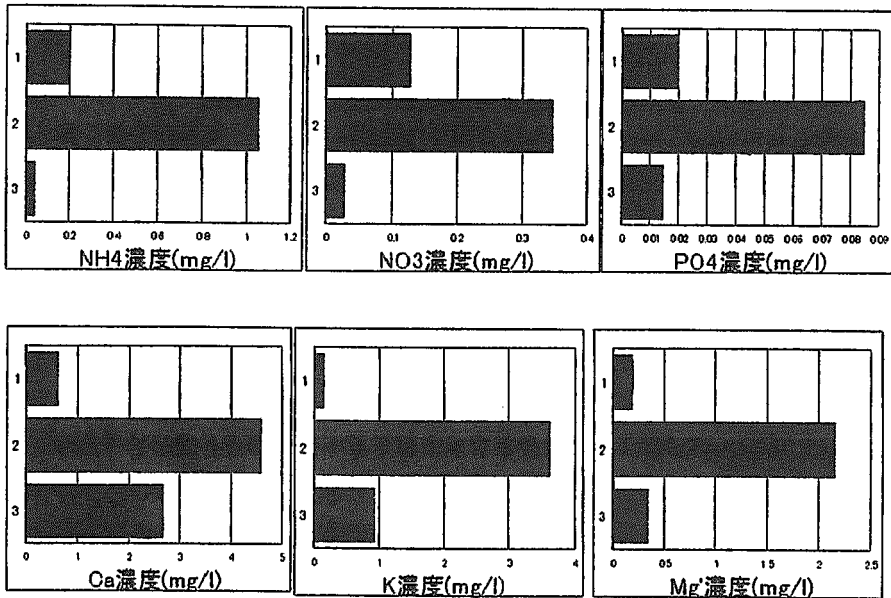


図7 降水及び土壌水、河川水中の養分濃度 (ppm)

(1997. 8 調査：西多摩郡白倉)

(縦軸の表示) 1:降水 2:土壌水 3:河川水

各種イオンは降水とともに林地に流入し、樹幹を流れて地表に達する。地表に達した降水の一部は地表水として流れ、他は土壤に浸透していく。それに伴ってリターフォールや岩石から流出した各種イオンは植物体に吸収されたり、土壤吸着される。他はさらに浸透して行き、やがて地下水となる。浸透の途中あるいは地下水から浸出して渓流水となり、河川水として流出していく。土壤中のカルシウム、マグネシウム、カリウム、アンモニアなどの陽イオンは土壤の持つ陽イオン交換能によって土壤コロイド表面に吸着されており、簡単に流出することはない。

アンモニアや硝酸、リンは降水より河川水の方が濃度が下がっており、土壤により吸着されたことが考えられる。一方、カリウムやカルシウムは河川水の濃度が降水よりも高くなっている。これは、リターフォールからの溶脱と可給態のミネラルは一次鉱物から二次鉱物への風化の過程で可溶性となって放出されることから、一次鉱物からの風化による放出が考えられる。

土壤中の各種イオン組成は土壤生成に大きく影響することから、樹種や母材の相違が大きくか

かわっていることが考えられる。また、窒素やリンは河川水への流出がほとんどなく、土壤による浄化機能が働いていることがわかる。リターフォールに含まれる養分量は針葉樹林よりも広葉樹林で大きく、物質収支も広葉樹林の方が大きくなっている（中野ほか、1989）。

かつて、荒川上流域で採集した降水について季節別に各種イオン濃度を分析した結果、表13の通りであった。この表から、多摩川上流域で調査した図7の結果とほぼ同様の傾向が認められた。

表13 降水と河川水中の各種イオン濃度の季節変化 (mg/l)

各種イオン	2月		5月		8月		11月	
	降水	河川水	降水	河川水	降水	河川水	降水	河川水
NH ₄	0.12	0.03	0.09	0.04	0.18	0.01	0.08	0.01
K	0.25	0.38	0.35	0.57	0.29	0.46	0.23	0.95
Ca	0.43	0.76	0.39	0.62	0.33	0.95	0.25	1.03
Mg	0.21	0.24	0.12	0.31	0.16	0.21	0.11	0.29
NO ₃	0.17	0.17	0.11	0.07	0.28	0.06	0.17	0.05
PO ₄	0.04	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01

(1993年、荒川上流域の栃本付近にて調査した)

すなわち、アンモニアや硝酸、リン酸は降水より河川水の方が濃度が低く、カリウムやカルシウム、マグネシウムは河川水の濃度が降水よりも高くなっている。各種イオン濃度の季節変動は降水ではほとんどなかったが、河川水ではカリウムとカルシウムで変動が認められた。これらのイオンは、特に11月に高濃度となったが、この時期が落葉期であったため、溶脱したことに起因していると考えられる。

降雨からの物質のインプットと溪流へのアウトプットの収支ではN、Pはプラス収支、それ以外の元素はマイナス収支である。また、河川の富栄養化に影響するN、Pの収支がプラス収支なので森林は浄化機能を持っている（東京農工大学「地域生態システム学」編集委員会編、1998）。ミネラル動態を見ると、降水による森林への外部からのインプット、森林から地下水へのアウトプットへというフローが見られる（塘、1978）が、この間土壤を介して複雑な養分動態が生じている。土壤の雨水が染み込む浸透能と貯水能は広葉樹林が最も優れており、手入れの悪いスギやヒノキ林はその2分の1か3分の1しかない。人工林を間伐し、広葉樹との混交林、広葉樹林へと転換することにより土壤浸透能は大幅に改善される。コンクリートダム建設などよりも水源林涵養による「緑のダム」を考えていくことが大切である。

森林内では、大気から二酸化炭素を、雨水や地下水・岩石から水・ミネラルを取り込んで光エネルギーを使って樹体をつくっている。そして、その樹体は枯死体や落枝葉として林床の有機物層に供給される。土壤に供給された有機物の一部は土壤動物や微生物の粉碎・分解を受け、大気

に戻ったり、イオン化して再び植物に吸収・利用される。また、一部は雨水によって洗い流され、森林外に流出する。

只木ら（1974）は、森林の大きな葉面積はエアロゾルのような形で浮遊する養分物質をかなり多く付着しており、その洗脱と樹体からの溶脱した養分が林内雨として林地にもたらす養分量は決して少なくないとしている。

カリウムやカルシウム、リン、マグネシウムなどのミネラル類は岩石に含有されているが、岩石が風化・破碎された際、ミネラルは水に溶け、可給態として森林土壤にもたらされる。また、ミネラルの一部は雨水によって大気中のエアロゾルや樹体からの溶脱によって生じる。この可給態ミネラル類は樹体に取り込まれ、その一部は落枝葉となって土壤に戻る。土壤中のミネラル類の一部は雨水に運ばれて林外に流出していく（菊沢、1999）。

(5) 多摩川水系の水質及び水生昆虫

多摩川上支流の日原川及び秋川の各調査地点における河川水の各種イオン濃度（ PO_4 、 NO_2 、 NO_3 、 Cl 、 SO_4 、 Na 、 NH_4 、 K 、 Ca 、 Mg ）の調査地点別及びシーズン別に調査した結果は、Appendix 2 の通りであった。河川水中の各種イオン濃度は土壤溶液中のそれよりも各調査地点別の差異が小さかった。また、河川水中の各種イオン濃度は土壤溶液中のシーズンによる変化とほぼ類似した傾向を示しており、降雨水→地表水・土壤水（土壤溶液）→湧水・地下水→渓流水という流れの中で生じる濃度変化を示していた。すなわち、各種イオン濃度は11月が最も高く、次いで2月、5月の順であり、8月が最も低くなる傾向を示した。特に、11月が高かったのは樹木の落葉期であり、土壤溶液の場合と同様、リターフォールからのイオンの溶出が原因していると考えられる。日原地点では、各シーズンとも各種イオン濃度がその他の地点と比べて高い傾向が認められた。特に、陽イオンではカルシウム濃度、陰イオンでは硫酸濃度が高かった。日原川の燕岩前ではカルシウム濃度が著しく高かったが、これはこの地点一帯に石灰岩が多く存在していたことに起因している。その影響で各調査地点とも我が国の他の河川と較べるとカルシウム濃度が比較的高い値を示していた。また、この地点ではマグネシウム濃度やカリウム濃度、ナトリウム濃度も他地点より高かった。

諸外国の河川の平均カルシウムイオン濃度と炭酸水素イオン濃度は、それぞれ13.3ppm、51.7ppmであるのに対して、我が国の河川では8.8ppm、31.0ppmとかなり低い（表14）。その原因は、日本の陸地で石灰岩地域が少ない地質特性にある。一年間に河川水中に溶解する石灰岩は、世界で 120×10^7 トン、日本で 9.5×10^6 トン（北野、1995）で、大きな差異がある。河川水中のカルシウムイオンや炭酸水素イオンの起源は石灰岩の溶解によるところが大きく（北野、1992）、我が国ではその石灰岩地の分布が少ないためである。

しかし、上流域に石灰岩地層を包含している多摩川及び荒川の水質は、日本の河川の平均と異なり、カルシウム濃度が顕著に高かった。雨水の水質を見ると、日本の平均と奥多摩では硫酸イオン濃度に差はあったものの全体的には差異の幅は小さかった。近年、硫酸イオンは大気に排出される汚染物質で酸性雨の原因物質と考えられ注目されているが、奥多摩の降雨水中の濃度が低かったのはこの影響がほとんど及んでいなかったことが考えられる。

表14 世界及び日本全国、多摩川、荒川の河川水・雨水の平均主要化学組成 (ppm)

化学組成	河 川 水				雨 水	
	世 界	日 本	多摩川	荒 川	日 本	奥多摩
Na ⁺	5.3	6.7	3.9	5.9	1.1	1.47
Mg ²⁺	3.1	1.9	2.2	3.7	0.36	0.17
Ca ²⁺	13.3	8.8	12.6	15.5	0.97	0.77
K ⁺	1.5	1.2	1.7	1.9	0.26	0.15
Cl ⁻	6.0	5.8	6.9	4.7	1.1	0.91
SO ₄ ²⁻	8.7	10.6	9.7	11.6	4.5	1.22
HCO ₃ ⁻	51.7	31.0	—	—	—	—

世界及び日本の河川水・雨水の平均主要化学組成は地学団体研究会「新編地学教育講座」編集委員会編(1995)の表より抜粋。

多摩川(河川水)は表15のPt.1~Pt.9の各地点の測定値を平均した。

荒川は福田・坂上(1993)より算出した。

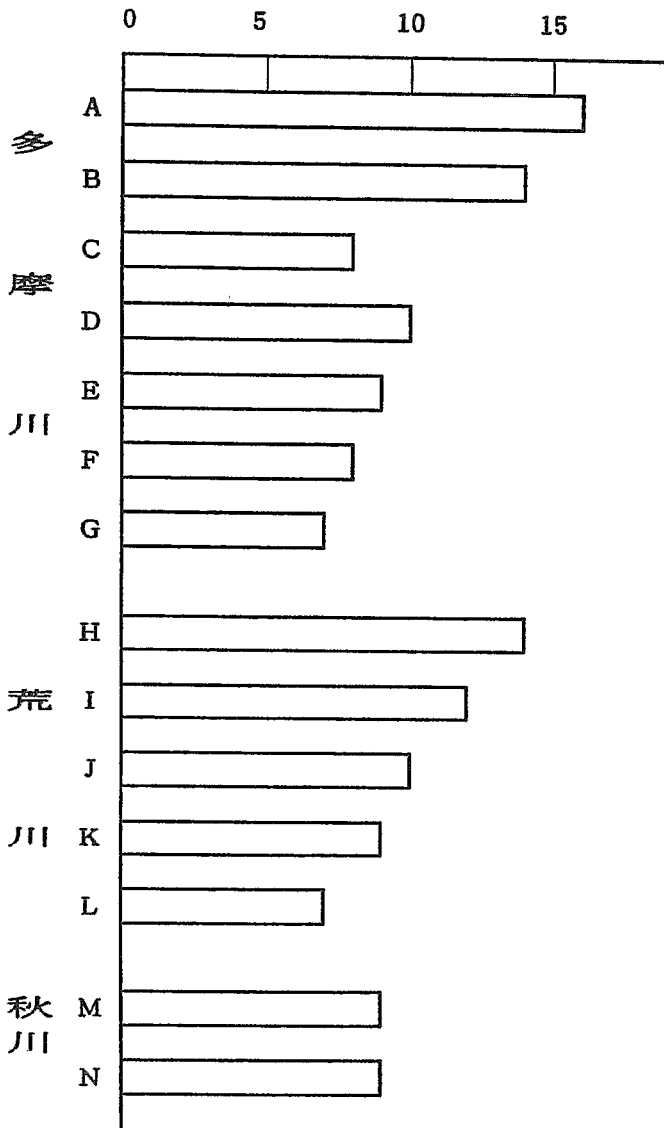
奥多摩(雨水)は表12より日原、白倉両地点での測定値を平均した。

調査年月：多摩川及び秋川(1995.7)、荒川(1992.7)

河川水中のカルシウム濃度は、日原地点から遠ざかるに連れて低くなる傾向を示していた(図8)。このような傾向は、荒川でも確認されたが、秋川では地点間の差はあまりなかった。多摩川、荒川ともにその上流域に石灰岩地が点在しているが、多摩川、荒川の水質はpHが高く、アルカリ分に富んでいる点でよく類似していた。

各種イオン間の相関については、硫酸濃度と総カチオン濃度の関係を除けば土壤溶液中で確認された場合とは異なっており、低い傾向にあった(図9)。それは、河川水中の各種イオン濃度が土壤溶液中の濃度よりはるかに低くなっていることに起因すると考えられる。土壤溶液中ではイオン組成のバランスづくりの引き金が陰イオンであり、特に硝酸が陽イオン量や濃度を調整する重要な役割を担っていた。しかし、硝酸は林外にはほとんど流出しない物質であり、林内循環している。そのため、河川水中では石灰岩地で流出濃度が高いカルシウムなどの陽イオンに対して硫酸が硝酸に代わってその役割を果たして電気的中性を保っていることから、硫酸濃度と総カチオン濃度の相関関係が高くなっていくと考えることができる。多摩川・秋川・荒川の調査地点別の各種イオン濃度分布を見ると、カルシウム、マグネシウム、リン酸は地点間、季節間の差はあまりなく、硝酸、カリウム、アンモニア、塩素はある程度の差が明らかである(図10)。これは、生活排水と関連の深い硝酸やアンモニア、塩素、リン酸は上流域では濃度は低いが、中流域になると多少濃度は上昇する傾向にある。しかし、リン酸はさらに下流まで達しないと顕著な濃度上昇までには至っていないことが考えられる。

河川水中のカルシウム濃度 (mg/l)



- | | | |
|------------|------------|------------------|
| A : 日原鍾乳洞内 | B : 日原鍾乳洞前 | C : 日原鍾乳洞前 (降雨後) |
| D : 昭和橋 | E : 鳩ノ巣 | F : 鳩ノ巣 (湧き水) |
| G : 軍畑橋 | H : 遊仙橋 | I : 大平橋 |
| J : 白川橋 | K : 正喜橋 | L : 熊谷大橋 |
| M : 檜原橋 | N : 五日市橋 | |

図8 多摩川・秋川・荒川各調査地点における河川水中のカルシウム濃度

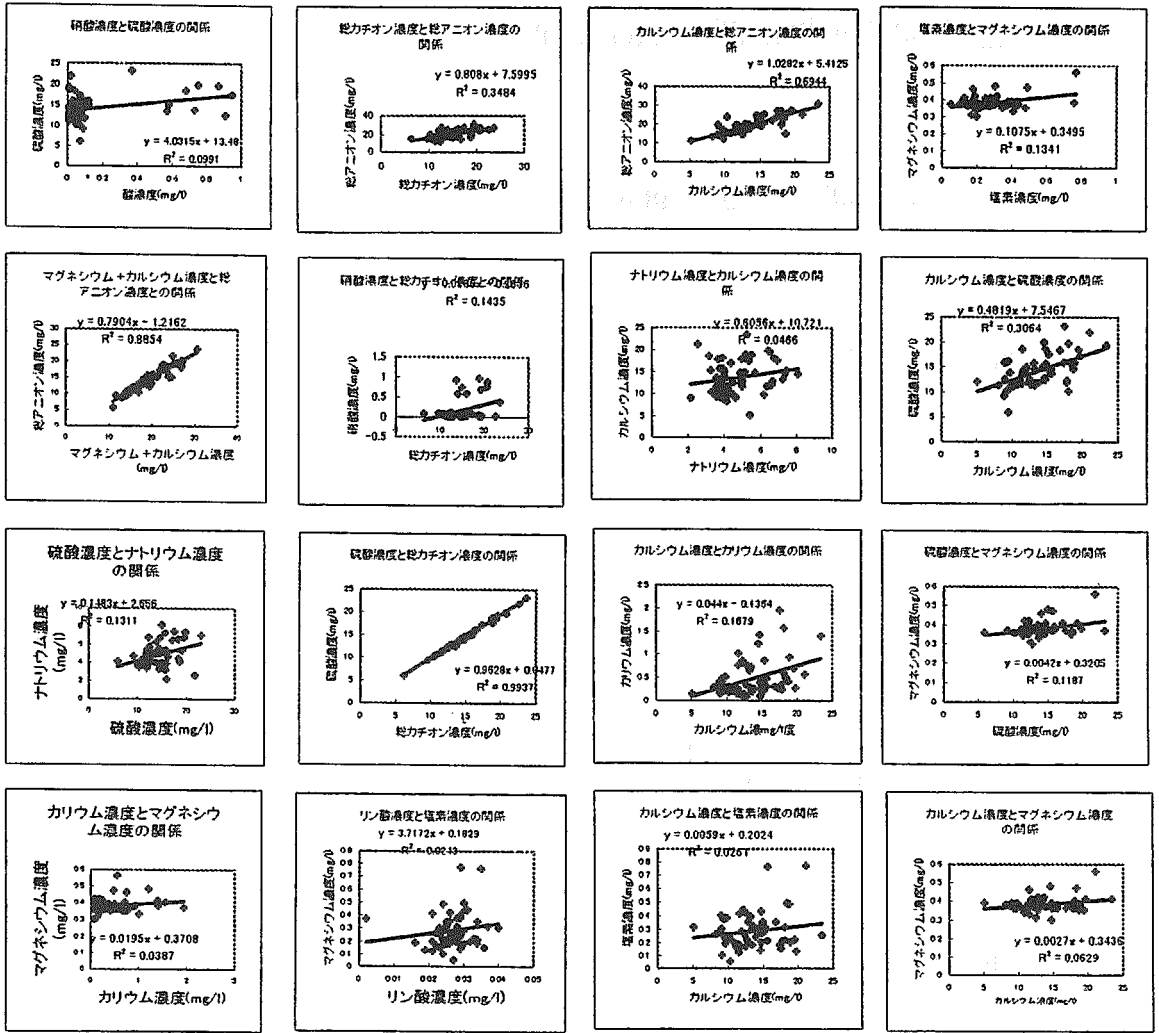
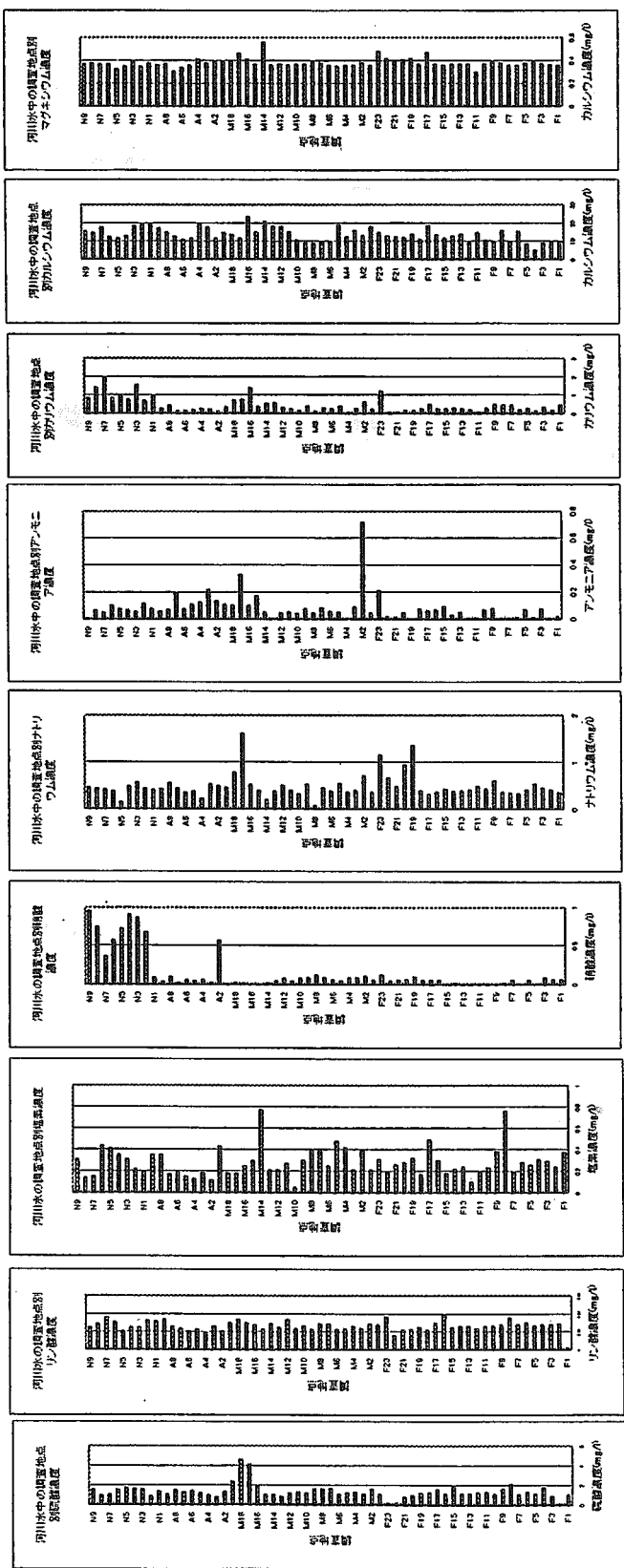


図9 河川水中の各種イオン濃度間の相関関係



図中の調査地点

- 2月 (F23: 荒川・玉淀大橋、F21: 荒川・猪鼻橋、F19: 荒川・長瀬、F17: 日原川・川乗、F15: 荒川・神岡橋、F13: 多摩川・長畑、F11: 多摩川・境橋、F9: 秋川・五日市橋、F7: 入川・入川橋、F5: 多摩川・昭和橋、F3: 多摩川・柳園橋、F1: 滝川・久度沢)
- 5月 (M18: 中津川・水神橋、M16: 多摩川・鳩の巣湧水、M14: 日原川・鍾乳洞、M12: 日原川・川乗、M10: 秋川・高尾橋、M8: 秋川・白倉橋、M6: 多摩川・柳園橋、M4: 多摩川・大沢、M2: 多摩川・南水川橋)
- 8月 (A8: 多摩川・滝沢橋、A6: 秋川・白倉橋、A4: 日原川・川乗、A2: 多摩川・昭和橋)
- 11月 (N9: 多摩川・大沢、N7: 日原川・鍾乳洞前、N5: 秋川・白倉橋、N3: 日原川・川乗、N1: 多摩川・昭和橋)

図10 多摩川・秋川・荒川の名河川水の調査地点別各種イオン濃度

(6) 多摩川流域の水質及び水生昆虫

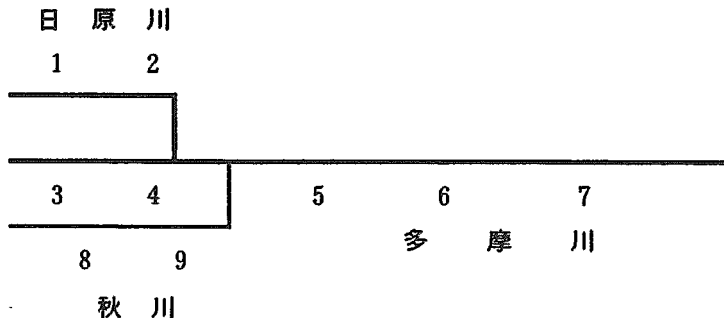
多摩川流域の水質及び水生昆虫を調査した結果、表15及び表16の通りであった。表15から、日原燕岩地点での水質はカルシウム濃度及びマグネシウム濃度が高く、他地点と大きく異なっていた。燕岩は巨大な石灰岩であり、その他梵天岩、礫岩が並立しており、そのすぐ前を日原川が流れている。一方、奥多摩湖を経由する多摩川本流の最上流地点である親川橋地点の水質はカルシウム、マグネシウム以外の各種イオンとも濃度が低かった。この地点より下流に行くに連れて各種イオンともその濃度が上昇する傾向が認められた。また、拝島橋や是政橋地点の塩素や硝酸、アンモニア、ナトリウム、リン酸のそれぞれの濃度が急増しているのは、周辺の人口増加に伴う生活雑排水の混入が影響しているものと推定される。特に塩素濃度の上昇が顕著で、是政橋地点では38ppmを越えていた。

表15 多摩川水系の水質調査 (ppm)

Pt	河川名	調査地点	Cl	NO ₃ -N	PO ₄	NH ₄ -N	Ca	Mg	K	Na	SO ₄
1	日原川	日原燕岩	0.63	0.57	0.38	0.51	21.49	4.64	1.92	0.98	12.58
2		氷川大橋	1.19	0.49	0.55	0.05	16.85	2.04	2.15	2.76	10.03
3	多摩川	親川橋	0.58	0.08	0.02	0.02	13.26	1.57	0.93	2.20	3.86
4		南氷川橋	1.51	0.73	1.56	0.12	10.57	1.68	1.06	2.14	9.40
5		軍畑大橋	2.05	1.09	1.86	0.90	11.81	1.63	1.87	2.59	9.15
6		拝島橋	32.36	6.94	3.59	2.47	12.74	1.91	2.18	7.15	7.90
7		是正橋	38.92	10.59	3.83	3.28	12.33	2.06	2.02	9.62	7.35
8	秋川	白倉橋	1.93	0.23	0.08	0.11	7.52	1.95	1.37	9.76	9.76
9		高尾橋	1.48	0.35	0.13	0.16	7.01	1.78	1.39	9.59	9.59

(1995. 7. 25調査)

【各河川における調査地点】



多摩川上～中流域の水質と水生昆虫の生息状況との関係を、表16に示した。この表から、pHを見ると、日原川の調査地点は他地点よりもかなり高かった。これは、その流域に石灰岩地が点在しておりそこを流出するためと考えられる。多摩川では下流に行くに連れてpHが下がる傾向が見られたが、拝島橋及び是政橋、双子橋地点ではCOD濃度、PO₄濃度、NH₄-N濃度がそれぞれ高

表16 多摩川流域の水質及び水生昆虫

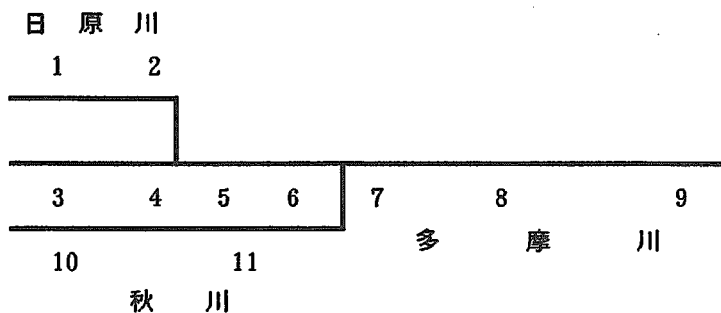
河川	Pt.	調査地点	pH	COD (ppm)	PO ₄ (ppm)	NH ₄ -N (ppm)	水生昆虫*	
							科数	個体数
日原川	1	日原燕岩	8.7	0.0	0.18	0.05	3	16 (0)
	2	氷川大橋	8.5	1.5	0.55	0.05	14	128 (19)
多摩川	3	親川橋	7.8	0.9	0.02	0.02	10	38 (2)
	4	南永川橋	8.1	1.6	1.56	0.12	14	110 (11)
	5	万瀬橋	8.3	2.1	1.94	0.49	17	169 (23)
	6	軍畑大橋	8.2	4.3	1.86	0.90	15	156 (25)
	7	拝島橋	7.4	18.7	3.59	2.47	7	53 (45)
	8	是政橋	7.1	23.5	3.83	3.28	2	9 (98)
	9	双子橋	7.2	29.0	7.15	4.23	1	11 (127)
秋川	10	落合橋	8.0	3.9	0.08	0.11	14	128 (13)
	11	秋川橋	7.9	6.8	0.13	0.16	16	153 (17)

1997.8.10調査。

* : 0.25㎡当りの種数、個体数を表す。

表中 () 内はユスリカの個体数。

【各河川における調査地点】



くなっており、水質汚濁と深く関係していると考えられる。河川水の汚濁の指標生物である水生昆虫の生息状況を調べた結果、日原燕岩地点では有機物に乏しく水生昆虫はほとんど見られなかったが、日原川や秋川の調査地点が上流域であったため、その種数や個体数は比較的多かった。チラカゲロウ科やマダラカゲロウ科、コカゲロウ科、ヒラタカゲロウ科、フタオカゲロウ科、モンカゲロウ科、カワゲラ科、オナシカワゲラ科、ヒロムネカワゲラ科、ニンギョウトビケラ科、ヒゲナガカワトビケラ科、クロツツトビケラ科、ナガレトビケラ科、サナエトンボ科、カワトンボ科、アオイトトンボ科、ガガンボ科、ヘビトンボ科、ユスリカ科、アミカ科、甲虫目などの多くの種類が見られた。

上流域の水質は清冽であり、水生昆虫の科数、個体数とも豊富であった。水川大橋や親川橋、万世橋、軍畑橋、落合橋、秋川橋地点ではナミウズムシ、カワニナ、サワガニ、ニッポンヨコエビなどの貧腐水性の水生生物が生息していた。多摩川では親水橋地点ではまだ有機物の混入が少なく、水生昆虫の餌不足のため数は少なかった。軍畑橋地点では有機物の混入が増えてきており、水生昆虫の種類、数が豊富であった。しかし、さらに下流になると汚濁が進むため、逆に数が減少し、是政橋地点では激減していた。この地点では耐腐水性のユスリカやホシチョウバエ、ヒル、サカマキガイ、アメリカザリガニなどが多くなっていた。そして、二子橋地点ではユスリカ以外の水生昆虫は確認されなかった。

我が国の河川では、その源流のほとんどが山地にあり、土壌を浸透して地下水となったものが湧き出て溪流となっている。森林の中を流れる過程で落ち葉や昆虫類などが落下して水生動物の餌となる。川の中では、主に藻類・樹木の落葉→水生昆虫→魚類という食物連鎖の関係が見られる(菊沢、1999)。それ故、森林の伐採により溪流への落ち葉などの有機物の混入がなくなってしまうと陸上生物はもちろん、水生生物さえもが少なくなったり、全くいなくなってしまう。また、溪流に張り出している樹木は落葉を提供しているばかりではなく、太陽の日差しを遮ることで夏場は水温上昇を抑える効果があり、水生生物の快適な環境を作っている。このことは、表17からも明らかであり、溪流の瀬では流速が大きいことから木陰の有無はほとんど水温には影響はなかったが、溪流の淵では流速が小さく木陰の有無によって水温が相当異なっていた。

表17 木陰の有無による溪流の淵と瀬の水温への影響

調査地点	木陰の有無	流速 (cm/sec)	水温 (°C)
溪流の瀬	木陰あり	62.5	19.8
	木陰なし	62.5	19.9
溪流の淵	木陰あり	36.8	21.3
	木陰なし	35.7	23.6

調査実地日：1997年7月8日

調査場所：秋川渓谷

(7) 土壌断面

①土壌断面形態と土壌型

調査地点の地形・土壌断面形態はAppendix 3 に示した。森林土壌はその生成において母材や気候、地形などの要因の影響を受けている。このような要因に支配されて特有の色・粒度・構造・粗密度などを持った層位が発達する（菅野，1964、河田・小島，1979）。

各地点の土壌断面をAppendix 3 及び表18、写真資料から概観すると、日原川・日原地点はタワ尾根の頭中腹尾根沿いにあり、土壌層厚が薄く、石灰岩の小・中レキが表層近くから見られ、A層が極めて薄かった。急峻な地形のため、土壌の堆積が進まず、比較的土壌層は薄かった。基岩が露出しているところがあった。特に、北斜面では南斜面に比べて落葉の分解が進んでいない傾向が見られた。落葉などの分解が進んでいない腐植層は厚く、その下には薄いが腐植を多量に含む黒褐色のA層、腐植をやや含む暗褐色のAB層、褐色のB層と続いていた。層位全体の土壌構造はくず粒状のB_B型乾性褐色森林土壌であった。この地点は急峻で掘ると石礫が多く、浸透性がよいため水分保持が難しいことから地表部が乾燥状態にある。そのため、落葉落枝が分解し難く、コケ・シダ類の分布が乏しくなっていたと考えられる。

表18 調査地点の土壌分類及びその特徴

調査地点	土 壌 分 類	特 徴
日原地点	乾性褐色森林土壌	A ₀ 層はあまり厚くなく、A層は黒褐色で明褐色のB層との境界ははっきりしている。細粒状構造が発達している。
川乗地点	黒ボク森林土壌	A層は厚く、黒褐色を呈しており、腐植に富んでいる。B層は褐色でA層との境界明瞭である。A層は屑粒状～亜角塊状、B層では塊状構造が見られる。
檜原 地点	白倉 弱乾性褐色森林土	A層では暗褐色で、腐植に富んでいる。B層は灰褐色で堅果状構造が発達している。また、B層には菌糸束が見られる。
	下元郷 黒ボク森林土壌	A層は厚く、黒褐色で腐植に富んでいる。B層は褐色を呈し、A層との境界明瞭である。A層は屑粒状で、B層は亜角塊状。

石灰岩上の土壌断面は、非石灰岩質の土壌に較べて一般に溶脱の程度が弱く、強度の層位分化を欠いている（E. M. ブリッジス、1990）。日原地点の石灰質成の褐色森林土壌は団粒構造が発達しており、排水が極めてよいため、土壌は薄く乾燥している。漆原（1990）によると、石灰岩地土壌の特色として植生が塩基に富んだリターを供給するので、塩基が再度土壌に還元される。不溶性物質の含量が極めて少なく石灰岩を母材とするので、生成された土壌は極めて薄いとされ

る。石灰岩地土壤は物理的に不安定でカルシウムに富み、マグネシウムなどの陽イオンを含む弱アルカリ性である（表19）。

表19 石灰岩地土壤と非石灰岩地土壤の土壤pHの違い

河川流域	調査地点	土 壤	土壤pH
多摩川上流域	日原	石灰岩地土壤	7.2
	川乗	非石灰岩地土壤	6.3
	白倉	非石灰岩地土壤	5.2
荒川上流域	梓白岩	石灰岩地土壤	7.5

川乗地点は蓄粒山中腹であり、層厚の厚い土壤でレキはほとんど見られなかった。A層は発達しており、腐植に頗る富む黒ボク森林土壤であった。尾根に近いところではヒノキ、標高の低いところではスギの植林が広がっていた。土壤層は深く、A層の団粒構造の発達が顕著であった。黒ボクは火山灰が風化して土壌化した火山灰土であり、非晶質の粘土を主体とした土壤で、活性の遊離アルミニウムが多く、リン酸吸収係数が2000～3000と高い（山根ほか，1984）。火山起源である証拠は火山ガラスの存在である。軽石（主として火山ガラスが集まったもの）やその風化物が層状に堆積している。軽石は大きな塊が冷却する時、中に取り込まれたガスが飛び出す時大きな隙間を作り、スコリアに富んでいる。黒ボク土は固相が少なく、孔隙が大きく多いため、水持ちがよく陰イオン吸着の主体となる（大羽・永塚，1988）が乾くとボクボクになるなどの様々な特徴を持っている。

多摩川の支流である秋川流域の白倉地点、下元郷地点はともに大岳山山裾にあり、A層が厚く腐植に頗る富んでいた。各層ともレキを含んでおり、土壤構造は発達していた。白倉地点では、腐植が深くまで浸透したB_d型適潤性褐色森林土壤が発達していた。ここは、南面に当たり、リター分解が進んでいた。褐色森林土壤は暗褐色のA層と褐色のB層を持っているが、この境界はやや不明瞭であった。一方の下元郷地点では黒ボク森林土壤でA層の発達していた。A層とB層の層界は明瞭であった。

大政（1951）のカテナの概念によると、4地点とも褐色森林土群の褐色森林土に分類される。日原地点では乾性褐色森林土、川乗地点では黒ボク森林土壤、檜原地点では弱乾性褐色森林土であった。

ドクチャエフは土壤生成に気候と植生の影響が大きいことを明らかにしている。この他、母岩や地形、時間が生成因子として重要であるとしている。特に、気候は母岩に直接作用し、植生は土壤に有機物を供給することによって間接的に土壤生成に関与している。土壤は岩石の風化作用によってできる母材に生物遺体加わるなどの生物作用が働いて生成される。山頂付近の土壤は母材がそのまま風化・堆積しており、残積土と呼ばれる。腐植と粘土に富む表層土の下には粘土と無機質土壤からなる下層土、さらにその下には母岩層、基岩層から構成されている。斜面中部

や下部では土壌や砂礫などの移動があり、有機物が堆積しており、運積土と呼ばれる。特に、斜面下部では移動量が多く崩積土と呼ばれ、栄養分や通気性、透水性に富んでいる。土壌断面は、腐植及び粘土に富む表層土、粘土と砂に富む下層土、さらにその下に粘土と砂礫からなる土壌、礫に富む土壌、岩塊からなる母岩層、基岩層から構成されている。このような山地土壌が分布するところでは、我が国の森林の多くはスギ林やヒノキ林となっている。植物が繁茂し、土壌中にリター(落葉落枝)が入って腐植化が進んでくると土壌の保水性や通気性が増し、土壌中の生物相が豊かになるとともに団粒構造化が進んでくる。また、土壌は様々な環境条件の複雑な相互関係で形成され、時間とともに成熟した方向に進む。このような経過は土壌断面や層状構造、土壌構造に現れる。一般に、森林土壌では落葉層(L)、腐葉層(F)、腐植層(H)、A層(表層土)、B層(下層土)、C層(基岩)と続いている。土壌断面プロフィールから、土壌名が決められる。

②土壌微細形態学的特徴

薄片の記載は、土壌薄片記載ハンドブック(久馬ほか訳、1989)によった。

a. 日原石灰岩コナラ林褐色森林土

薄片を図11に示した。薄片上部は団粒状構造で、小さな岩片土壌団動物糞粒などで構成されている。パッキング空隙が優先し、動物の糞粒を含むチャンネルや、充填物がある。薄片下部には岩片が多数あり、岩片周囲には糞粒があった。植物の落葉等は上部に、根は全体に多数観察された。この薄片から、動物をはじめ生物の活動が活発であることがわかった。

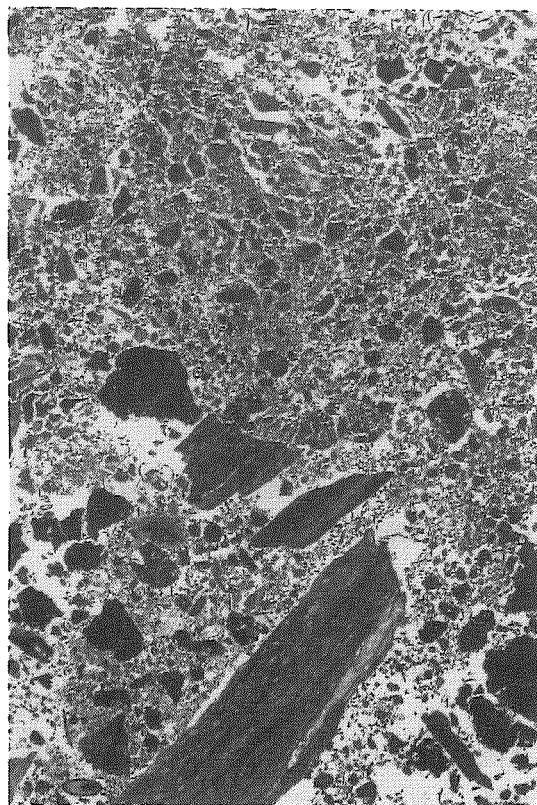


図11 日原石灰岩地コナラ林褐色森林土の土壌薄片

b. 日原川乗ヒノキ林黒ボク土

薄片を図12に示した。薄片上部に下層の土塊があった。全体にパッキング孔隙による粒状構造で、それが塊状構造を形成していた。その間に、大きなチャンネル孔隙があるが、顕著な充填物は観察されなかった。しかし、動物の糞粒は多数観察された。植物の根は薄片全体に分布していた。

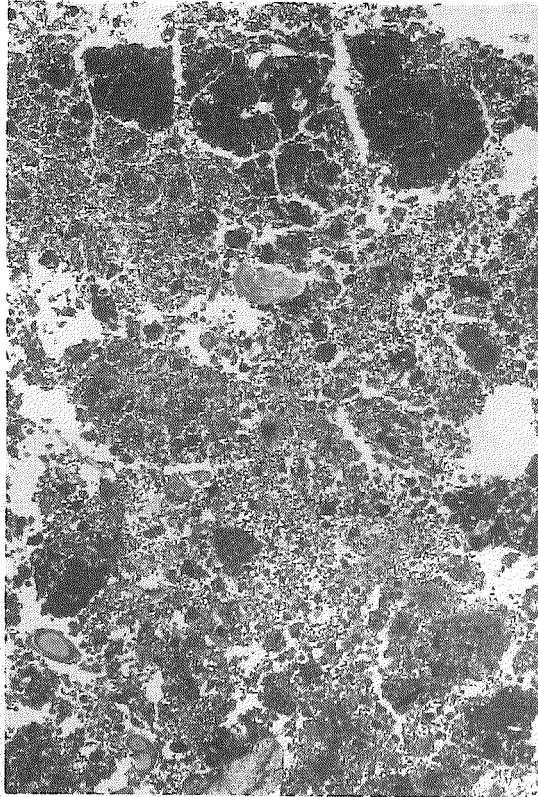


図12 日原チャート地ヒノキ人工林黒ボク土の土壤薄片

c. 秋川砂岩コナラ林褐色森林土

薄片を図13に示した。薄片のほとんどが、チャンネル孔隙で覆われていた。大きさから甲虫の幼虫によるものと推定される。部分的にはその充填物になっていた。その他の部分は、垂角塊状構造で、この構造はチャンネル孔隙を持つチャンネル構造を示していた。また、動物の糞粒が多数認められる。一次鉱物が日原の試料より多数あり、母材の影響を受けていること、動物をはじめ生物の活動は活発であることが判明した。

d. 秋川砂岩スギ林黒ボク土

薄片を図14に示した。粒状構造を示すが、小さなチャンネル孔隙も多数見られ、中央部に、はっきりと壁面がなめらかで両端が丸くなったものが確認できた。cほどではないが岩片等が多数あった。また、動物の糞粒が多数認められた。

全試料とも動物の活動が盛んであった。また植物の根なども多数認められた。土壌的には顕

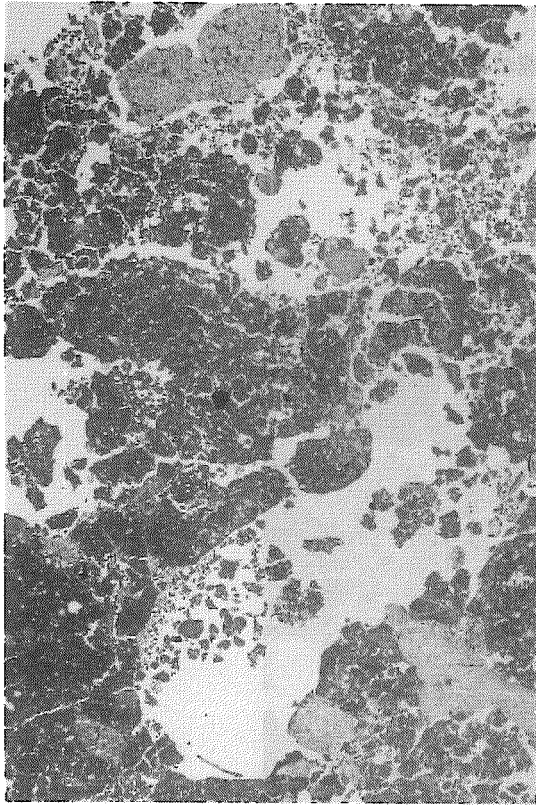


図13 秋川砂岩地コナラ林
褐色森林土の土壤薄片

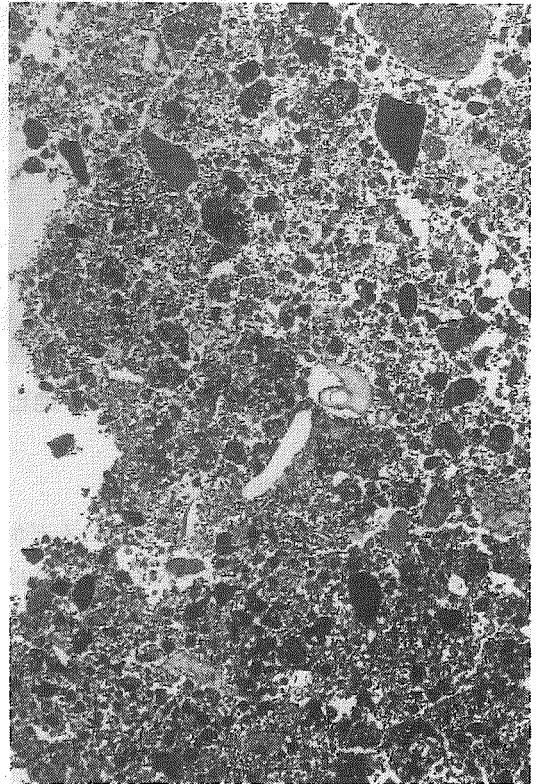


図14 秋川砂岩地スギ林
黒ボク土の土壤薄片

著な土壤化作用は認められず、若い未熟な土壤または黒ボク土に関しては小さな土壤粒子からなる団粒の性質が強く、火山灰の影響が強く出ている。ただ、構成粒子に日原と秋川では差があり、秋川の試料は小さな岩片を多く含んでいた。

(8) 植 生

多摩川流域の各調査地点の植生を調査した結果、Appendix 4の通りであった。日原川・日原地点は階層構造の発達した落葉広葉樹林が成立しており、ケヤキ、サワシバ、イヌブナ、ウワミズザクラ、イロハモミジ、アキカラマツなどが見られ、石灰岩の露出したところや岩隙にヤハズハハコ、キリンソウなどが見られた。川乗地点はその周辺にスギ、ヒノキなどの植林地が発達しており、調査地はヒノキの植林地内で亜高木層、低木層は見られず、階層構造が未発達であった。ヒノキは夏期に雨、冬期に乾燥の寡雨気候に適しており、一般にやや乾燥する土壤がよいとされている（農林水産庁林業試験場土壤部監修、1982）。秋川流域の檜原村はモミ残存の二次林が広がっていた。この他、コナラ、アカシデ、アラカシ、ホオノキ、チョウジザクラ、ウリカエデなどが見られた。檜原村下元郷地点はスギ人工林であったが、林内照度が川乗地点よりもやや大きかったため低木層や草本層が見られた（林内照度：下元郷地点450Lux、川乗地点190Lux）。

日原川上流域一帯は石灰岩地が広く点在しているが、調査地点は標高が低く石灰岩地特有の植生は認められなかった。調査地点より標高の高い地点では石灰岩地特有の固有種であるチチブミネバリ、イワシモツケ、チョウセンナニワズ、ヤハズハハコ、チチブヒョウタンボク、ホタルサイコ、ゼンディカ、イチョウシダなどが局所的に生育しているのが確認された。

荒川上流域は多摩川上流域と似た地質環境にある。そのため、石灰岩地がいくつか点在しており、そこにへばりつくようにチョウセンナニワズやチチブミネバリ、イワシモツケ、ヤハズハハコ、ウスユキソウなどの好石灰岩性の植物が確認されている（福田・坂上、1993）。これらの植物は、石灰岩地が失われると生育地を奪われてしまう。我が国には石灰岩地が極めて少なく、湿潤な気候下にあるためカルシウムやマグネシウムの飽和度が低く酸性土壤が多い。従って、好石灰岩性あるいは好アルカリ性の植物の生育地が限られており、生息している植物は大変貴重な種となっている。それ故、むやみに石灰岩地を開発することは問題である。

巨視的な植物帯分布に影響を与える基本的な気候因子は、降水量と気温である。降水の多くは土壤中に浸透し、土壤水分として存在するが、水分含有量が植生に強く影響している。一般に、森林は土壤水分の豊富な地域に分布しているが、奥多摩では急峻なところや寒冷地、乾燥地などを除いて広く人工林が分布している。世界の植生分布を見ると、土壤水分が減少していくに連れて一時期落葉する（落葉により蒸散防止する）樹林帯、サバンナ、草原、砂漠へと移行していくが、これに気温が影響してさらにはっきりとした植生区分が見られるようになる。我が国の国土は温暖多雨の気候下にあり、酸性土壤が発達している。一般に多くの植物は中性より酸性の土壤条件を適性としており、日原川上流の石灰岩地のようなアルカリ土壤下では特異な植物が出現するようになる。土壤と植生とは密接な関係で成立している（河田、1982、金岡・小島、1984、高橋ほか、1985）。

(9) 土壤生物

①植生と土壤微生物

一般に、森林の土壤は落枝葉などのリターフォールに由来する腐植に富んでいる。この土壤有機物は有機態の窒素やリンなどの養分元素を多量に含有しているが、土壤生物の働きによって無

機化され、再び植物の養分として利用される。腐植の塩基置換容量は粘土のそれよりはるかに大きく、多量の塩基性陽イオンは腐植・粘土複合体に吸着・保持される。そのため、森林は大変豊かな土壌を形成するが、樹林を全て伐採すると腐植成分の消長に伴い、土壌の諸性質は大きな変化を受ける。

表20は、針葉樹類と広葉樹類の土壌A層のC/N比を調べた結果を示している。この比は、有機物の微生物による分解の難易や進行程度を示す指標となる（農林水産庁林業試験場土壌部監修、1982）。この表から、C/N比は広葉樹類より針葉樹類の方が高くなっている。一般に、針葉樹類の落葉は広葉樹類に比べて分解が遅い傾向にあると言われている。それは、針葉樹類の落葉に樹脂類や蠟物質が多く、灰分や窒素に乏しいためと考えられている。また、C/N比の大きさが落葉分解に影響している。

日原地点（石灰岩地）と白倉地点（非石灰岩地）における土壌層位別 C/N比を調べた結果、C/N比は日原地点の方が両層とも大きかった（表21）。これは、日原地点で土壌孔隙が多く、リターフォールの窒素分が溶脱しやすいことに起因していることが考えられる。また、両地点ともA層のC/N比の方がB層よりも大きい傾向が認められた。

河田（1978）は、土壌中の窒素のほとんどが有機態で微生物の働きで徐々に無機化し可給態となること、窒素の無機化は C/N比が小さいほど活発に行われることを明らかにしている。九馬ほか（1984）は、微生物活性が活発な土壌は C/Nが10前後であるとしている。また、堤（1989）は C/N比が10程度の有機物分解のよい林分が生育がよいとしている。

表20 針葉樹類と広葉樹類の土壌A層のC/N比

樹 類	樹 種	C%	N%	C/N比
針葉樹類	スギ	11.5	0.84	13.7
広葉樹類	コナラ	17.2	1.58	10.9

（調査地点：檜原村白倉）

表21 日原地点（石灰岩地）と白倉地点（非石灰岩地）における土壌層位別のC/N比

層 位	日原地点		白倉地点	
	A層	B層	A層	B層
C%	12.83	1.95	12.47	1.81
N%	0.93	0.25	0.58	0.19
C/N比	13.80	7.80	21.50	9.53

表22は、各調査地点土壌における表層土中の土壌微生物数（細菌・放線菌）を示している。この表から、各林分で土壌微生物数が異なっていることが明らかになった。常緑針葉樹林よりも落葉広葉樹林の方が土壌微生物数が多く、特に檜原村白倉地点で最も多く、 125.7×10^6 個であった。日原地点との微生物数の差異は、土壌水分％と土壌炭素含有率の違いによるところが大きいと考えられる（表23）。また、伐採裸地（落葉広葉樹林伐採後5年経過）では土壌微生物数が大幅に減少していた。

表22 各調査地点土壌における表層土中の土壌微生物数
（細菌・放線菌）

調査地点	植 生	土壌微生物数 ($\times 10^6$ /g soil)
日原地点	落葉広葉樹	92.3
川乗地点	常緑針葉樹	69.1
白倉地点	落葉広葉樹	125.7
伐採裸地	ほとんどなし	4.3

(1995.7 に調査を実施した)

表23 各調査地点の土壌水分含有率とA層中の土壌炭素含有率（乾物当たり）

調査地点	土壌水分 (%)	土壌炭素含有率 (%)
日原地点	48.7	10.3
川乗地点	65.2	14.5
白倉地点	52.9	12.8
伐採裸地	36.5	3.9

(表17と同じ日に調査を実施した)

一般に、針葉よりも広葉の方が分解が早く、林地に蓄積している炭素量は針葉樹林の方が広葉樹林よりも多い傾向にある。しかし、針葉の窒素含有率が小さいため、菌体が作れず、分解は進まない。そのため、針葉樹林地ではA₀層が厚くなっている。

土壌溶液中のそれぞれの成分は、土壌粒子に保持されている成分と平衡関係にあって溶液中の成分が減少すると粒子の成分が溶液へ移行する。微生物の栄養として必要とされるカリウム、アンモニア、カルシウム、リン酸などのイオンは主として粘土鉱物に保持されている。ミミズは、落葉や枯葉などを食べて消化するとともに体内に取り入れた土壌粒子を混合して多量の糞土を排

出する。土の団粒構造ができると様々な間隙ができるため、水を保持したり、空気を貯えたりして微生物のすみかとなる。自然界における物質循環に対して土中の微生物の果たす役割は非常に大きい。微生物の分布は土壤構造や土性などと関連していて動的平衡の状態にあり、この動的平衡を失うと土壤特性が損なわれ、自浄作用がなくなる（都留、1971）。

②土壤生物の種類と数

ア. 大型土壤動物相

各調査地点における土壤小動物の個体数を調べた結果、表24の通りであった。ハンドソーティングによる大～中型土壤動物数の総計は、白倉地点が最も多く、次いで日原地点、川乗地点の順であった。また、ツルグレン装置によって抽出される小型土壤動物のダニ類とトビムシ類、線虫類の総計では川乗地点が最も多く、白倉地点、日原地点の順であった。伐採裸地は3地点と較べると個体数、種数ともに少なかった。日原地点では貝類が多く出現していたが、それは石灰岩地と深く関連していることが考えられる。石灰岩地では、カルシウムで飽和された粘土と遊離の炭酸カルシウムが土壤中に存在し、凝集状態を保つ安定なカルシウム化合物をつくる

表24 各調査地点における土壤動物の個体数

土壤小動物群		日原地点	川乗地点	白倉地点	伐採裸地
	ミミズ類	2	11	18	
	多足類	17	13	29	
	トビムシ類*	79	156	102	21
	貝類	32	2	5	
	クモ類	5	3	10	1
	アリ類	16	8	39	3
	ダニ類*	110	175	131	19
	線虫類*	13	28	17	2
	ヤスデ類	3	14	8	
	幼虫類		5	3	
	ワラジムシ類	6		7	
	甲虫類	5	2	26	1
	その他	11	9	2	5
総計	ダニ・トビムシ・線虫	202	359	250	42
	上記以外	97	67	147	10

1996年11月調査。表中数値は25cmコドラート内、深さ5cmの土壤中の小動物の個体数を示す。

*ダニ・トビムシ・線虫数については100cm²土壤あたりの数値を示す。

ので土壌成分の移動は妨げられる。また、石灰岩地土壌は有機物に富み、塩基に富んだりターとなるので土壌動物数は豊富となる (E. M. ブリッジス、1990)。本調査では、日原地点での土壌動物数は必ずしも多くはなかった。その原因は土壌が乾燥しているためと思われる。リターフォール量は豊富であったが乾燥しており、土壌動物数が4調査地点全体で大型土壌動物は表に示す16動物群の生息が確認された。生息傾向としては表25に示されるように砂岩上に発達した林分の土壌に多くの大型土壌動物が生息し、石灰岩上土壌に発達した林分では生息する動物群数は2から7動物群と砂岩上に発達する林分の半以下になってしまうことがわかった。特に石灰岩上のスギ植林では2動物群と4地点中最も少ない動物群数であった。近接する五日市町(現あきるの市)の砂岩上に発達したコナラ林およびスギ植林において行った別の調査結果〔小作、未発表：以下小作の五日市町と書く〕と比較すると、小作の五日市町コナラ林では15動物群、スギ植林では21動物群の生息が確認されており、本調査結果同様、砂岩上に発達したコナラ林とスギ植林ではコナラ林よりもスギ植林により多くの動物群が生息するという傾向が観察された。両地点に共通する個々の動物群の特徴として等脚目のワラジムシとオカダゴムシ類の生息が認められないか、生息したとしても個体数が少ないことが指摘できる。これら2動物群は人為的影響量が多くなると増加し、少なくなると減少する動物群と考えられており、等脚類の生息という観点から考えると今回調査を行った両地点とも自然度が高いことがわかる。さらに小作の五日市町のコナラ林とスギ植林よりも本調査地の方が全体に生息する動物群がいくぶん少ないという結果となった。

以上の結果を総合すると、調査を行った4地点の林分は近接する地域の同様の植分よりも全体的に生息する大型土壌動物が少ない傾向にあり、さらに砂岩上に発達した植分の方が石灰岩上に発達した植分よりもより多くの大型土壌動物の生息を可能にしていると考えられる。また、当初の予想と異なりコナラ林よりも植林のスギ林に多くの大型土壌動物が生息することがわかった。この傾向は、近接する五日市町のコナラ林とスギ植林においても同様の結果が得られている。

イ. 小型土壌動物相

4地点から採集された小型土壌動物群とその個体数を表26と図15に示す。表に示されるように砂岩上のコナラ林において100cm²当たり平均2954個体であったのを最高に、他の3地点では砂岩上と石灰岩上の別なく100cm²あたり800から1082個体となり3地点間で大きな差は見い出されなかった。

つまり小型土壌動物群集の生息密度では砂岩上のコナラ林において大型土壌動物同様石灰岩上のコナラ林よりも多くの動物が生息することがわかったが、スギ植林では逆に砂岩上の林分よりも石灰岩上の林分により多くの小型土壌動物が生息するという結果になった。次に個体数百分率による優占度を図16に示す。図に示されるようにどの地点においてもササラダニ類が最も優占し、次に石灰岩上のスギ植林を除いてフシトビムシ類とケダニ類の優占度が高いことがわかった。さらにササラダニ類とフシトビムシ類の百分率優占度合計は全地点でほぼ70%から90%に達することがわかった。他の動物群はヤドリダニ類が砂岩上で5.3%、ホコリダニ類が石灰岩上スギ植林で5.7%になった以外はすべて5%以下であった。つまり本調査地域の小型

表25 日原周辺のコナラ、スギ植林で採集された大型土壌動物群の生息密度 (1997年2月25日調査)

	砂岩上コナラ林			砂岩上スギ植林			石灰岩上コナラ林			石灰岩上スギ植林		
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2	D-3
カニムシ	1	1	1	2	1							
クモ	8	2	6	1		4		1				
イシムカデ			1	3	1							
ジムカデ		2			1							
コムカデ					1		1					
ナガコムシ	1		3	2	2	1						
チャタテムシ						1		1				
アザミウマ	1		1			1						
半翅目	1			1								
鱗翅目		3	1									
双翅目 ユスリカ		2	1		11	1		2		1		
ハエ		3	3		3	3		1		1		
鞘翅目 ハネカクシ		1		2								
アリヅカムシ				1								1
その他	5		7		2							
膜翅目 アリ		1	11	26				1				1
個体数合計	17	15	35	38	22	11		5	2	2	0	1
出現動物群数		14		16				7				2

表26 日原周辺のコナラ、スギ植林で採集された小型土壌動物群の生息密度 (1997年2月25日調査)

採集地	砂岩上コナラ林			砂岩上スギ植林			石灰岩上コナラ林			石灰岩上スギ植林		
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2	D-3
標本番号	183	122	167	54	33	14	14	12	14	21	24	62
ヤドリダニ	23	20	69	40	8	9	50	2	2	77	83	27
ホコリダニ	532	410	233	233	46	100	70	71	56	40	95	240
ケダニ	22	108	15	17	46	39	2	15	0	4	3	9
コナダニ	1624	1782	1142	635	232	156	601	738	402	460	510	976
ササラダニ	661	794	854	482	189	113	112	132	102	56	82	438
フシトビムシ	2	19	5	77	17	34	1	0	0	0	1	0
マルトビムシ	1	0	10	1	0	0	1	3	0	0	0	1
イボトビムシ	17	31	9	10	1	0	0	0	0	0	0	3
カマアシムシ	2	1	1	1	3	0	0	0	0	1	1	1
ヤスデモドキ	3070	3287	2505	1550	575	465	851	973	576	659	799	1759
個体数合計		2954			863			800			1082	
個体数平均												

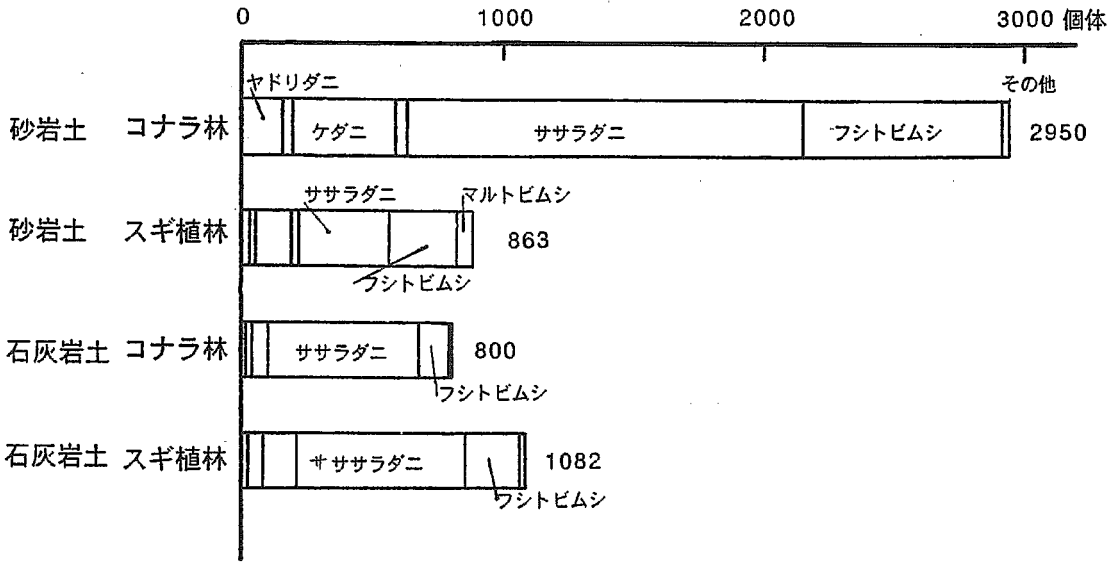


図15 小型土壌動物群の生息個体数

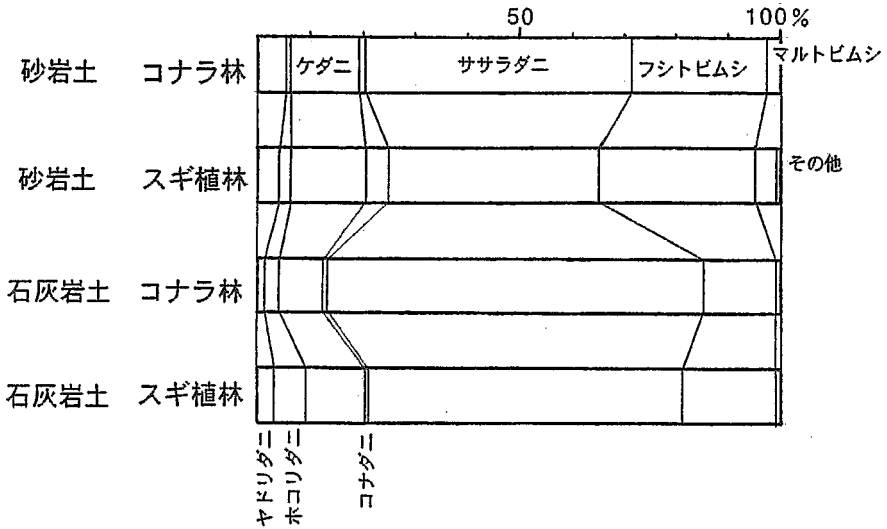


図16 百分率優占度

土壌動物群集はササラダニ類、フシトビムシ類とケダニ類が優占し、他の動物群の優占度が低いことがわかった。

本調査結果だけでは石灰岩あるいは砂岩地域での植生と土壌動物群の生息傾向を議論するのは難しいため、近隣の立地条件の類似する地点での調査結果（小作、未発表）との比較を行った結果を表27に示した。砂岩上のスギ植林を除いて他の植分では、日原周辺の調査地域の方が

五日市町や日の出町の同様な植分よりも小型土壤動物の生息密度は高い傾向にあった。この中でササラダニ類とフシトビムシ類の示す優占度合計は、日の出町の石灰岩スギ植林で61.4%から62.5%、五日市町スギ植林で68.6%と当調査地よりもいくぶん低いことがわかる。この優占度合計が低くなったのは、ササラダニ類の優占度が日原地域に比べ35%から45%低かったためである。さらにササラダニ類の優占度がさがった分ケダニ類と一部ヤドリダニ類の優占度が高くなっていった。以上のように小型土壤動物群の組成を見てみると、日原地域ではササラダニ類とフシトビムシ類が小型土壤動物群集の主構成員となり、この2動物群だけでほぼ70%から90%の優占度占め、さらにササラダニ類がフシトビムシ類の1.5倍から2倍の密度を保っていることがわかる。また、全動物群の密度については調査地点以外の他の2地点も考慮に入れた結果、砂岩上植生が石灰岩上植生の約2倍の生息密度を持つことがわかり、大型土壤動物で示されたと同様の傾向を小型土壤動物群も持つことがわかった。

表27 小型土壤動物生息密度の比較

立地条件	砂 岩				石 灰 岩			
	コナラ林		スギ植林		コナラ林	スギ植林		
調査地点	日原	五日市	日原	五日市	日原	日原	日の出1	日の出2
ヤドリダニ	157	133	33	60	13	35	77	76
ホコリダニ	37	40	19	64	18	62	9	21
ケダニ	392	293	126	293	65	125	109	174
コナダニ	48	36	34	27	6	5	21	10
ササラダニ	1517	778	341	654	580	648	232	278
フシトビムシ	770	364	261	453	115	192	179	208
マルトビムシ	9	52	42	61	+	+	25	15
イボトビムシ	4	4	+	2	1	+	2	4
カマアシムシ	19	1	4	6	0	1	2	3
ヤスデモドキ	1	10	1	12	0	1	2	3
個体数合計	2954	1711	861	1614	798	1069	658	792

1. 数字は100cm²の個体数密度を示す。

2. + は平均して1個体以下の密度を示す。

7 森林伐採地と樹林地の土壤特性の比較

(1) 森林伐採地と樹林地における土壤呼吸

土壤生物の生息数が調査地点により異なっていたことから、伐採地と林地の土壤呼吸速度を測定した結果を表28に示した。森林の伐採は、土壤にとって大きな痛手となる。リターフォールがなくなるため、風化や乾燥が進み、大雨で表土が流出するなどにより、土壤環境が大きく変化して土壤生物が生息できなくなってしまう。伐採地では樹林地よりも土壤呼吸速度が小さく、3分の1以下であった。伐採後の植林により、土壤呼吸速度は大きくなっていた。一般に、土壤呼吸速度は落葉広葉樹林地の方が針葉樹林地よりも大きいことが知られているが、本調査でもそれが確認された。

表28 伐採地と林地の土壤呼吸速度 (1997年 8月調査)

調査地点	土壤呼吸速度 (CO ₂ -Cmg/m ² /day)
伐採後植林地	1391
伐採後裸地	895
落葉樹林地	3173
スギ林地	2459

調査地点は西多摩郡檜原村。

測定は各調査地とも3ヶ所で実施し、その平均を土壤呼吸速度として算出した。

石灰岩地と非石灰岩地の落葉広葉樹林地における土壤呼吸速度を測定した結果、表29の通りであった。土壤呼吸速度は、非石灰岩地の落葉広葉樹林地の方が石灰岩地のそれよりも大きかった。これは、前述のように土壤動物数が石灰岩地の方が少なく、リターの破碎、分解が進んでいないことが関係していると考えられる。石灰岩地は非石灰岩地よりも降水の浸透速度が大きく、土壤水分が少ない環境にあり、土壤生物の生息に少なからず影響を与えているためである。

スギ人工林地と落葉広葉樹林地における土壤呼吸速度と地温を季節別に測定した結果、表30の通りであった。この表から、土壤呼吸速度はスギ人工林地より落葉広葉樹林地で大きく、季節的には夏季の8月に最大となり、冬季の2月に最低となった。土壤呼吸速度は、地温との関係が深かった。また、表11から森林の林床の相対照度はスギ人工林で0.8%、落葉広葉樹林で4.9%であり、この差が微妙に地温に影響していたと考えられる。

土壤呼吸は主に土壤微生物や植物根の呼吸を表している。森林土壤にリターフォールとして供給された有機物は土壤動物や微生物による粉碎・分解を受けて最終的には二酸化炭素に分解され

て大気中に放出される。土壌からの二酸化炭素の排出（土壌呼吸と呼んでいる）速度を測定することにより、土壌生物活性を知ることができる。それは、土壌における物質循環の大きさの指標であることから、土壌そのものの活性と捉えることもできる。

表29 石灰岩地と非石灰岩地の落葉広葉樹林分における土壌呼吸速度（1997年9月調査）

調査地点	土壌呼吸速度 (CO ₂ -Cmg/m ² /day)
石灰岩地落葉 広葉樹林 (日原)	2256
非石灰岩地落葉 広葉樹林 (白倉)	2971

測定は各調査地とも3ヶ所で実施し、その平均を土壌呼吸速度として算出した。

表30 スギ人工林地と落葉広葉樹林地における土壌呼吸速度と地温の季節変化

調査月	土壌呼吸速度 (mgCO ₂ /100cm ²)		地 温 (°C)	
	A地点	B地点	A地点	B地点
2月	490	515	4.5	4.1
5月	2,526	1,850	17.3	16.8
8月	3,208	2,563	24.5	22.0
11月	2,351	1,985	16.1	15.9

A地点：落葉広葉樹林 B地点：スギ人工林

(2) 森林伐採地と樹林地における水の浸透速度

森林伐採地と森林地における水の浸透速度を土壌層位別に調査した結果、表31の通りであった。樹林地の水の浸透速度は各層位とも森林伐採地のそれに較べて大きかった。また、常緑針葉樹林地よりも落葉広葉樹林地の方が、各層位における水の浸透速度はいずれも大きかったが、これは

表31 森林伐採地と森林地における水分浸透速度

層位	深度 (cm)	水分浸透速度 (mm/分)		
		常緑針葉樹林地	落葉広葉樹林	伐採地
A ₀ 層	0	305	340	—
A層	1	29.2	32.8	15.3
A層	10	4.8	5.7	0.8
B層	35	0.5	0.7	0.1

調査地点は西多摩郡檜原村。

測定は各調査地とも3ヶ所で実施し、その平均を浸透速度として算出した。

(A₀層とA層：mm/分、B層：mm/日)

落葉広葉樹林地と常緑針葉樹林地とで根の張り方やリター分解、腐植の堆積等の違いによる土壌構造、粒度などが大きく異なることに起因するものと考えられる。

森林土壌は、その表面に枯れ葉や枯枝、コケ類などがあり、その下には腐植に富んだ土壌が発達している。降雨水は、表層の落葉層やその下の腐植層に浸透して行くため、地表面から流去して行く水量は少なくなっている。また、森林地では土壌粒子間にすき間が多数あり、土中に浸透した水分の一部はこのすき間に一時貯蔵される。そして、土中に貯蔵された水は少しづつ下方に移動して行き、やがて地下水となっていく。一方、森林伐採地では降雨水が表土に直接達するが、落葉層及び腐植土層が未発達あるいは失われている（山谷、1965、堤、1965）ため、その大半は地表水として流去してしまう。雨水の浸透速度が遅く、地表水の一部は蒸発散してしまう。また、雨量が多い場合、土砂崩れを誘発する危険も生じる。

森林は水源涵養とともに土砂災害を防止する役割を持っている。木材生産などのため森林を伐採し、裸地化すると林下への落葉落枝の供給がなくなる。そして、この状態が長く続くと有機物が減少し、雨水による表土流亡や土砂流出が生じやすくなり、水質汚濁が発生しやすくなる。森林が荒廃していたり、裸地だったりすると雨の被遮断要素や地下への浸透速度が非常に小さくなり、各支流の水はほとんど同時に本流に流れ込み、本流の水量は一挙に増加する（大場、1991）。森林伐採は雨量の減少や気候の乾燥化に重大な影響を与える。また、熱帯地方における森林伐採による土壌侵食や年間降雨量の減少は深刻であり、砂漠化を助長している。森林は土壌に有機物を供給し、土壌は有機物分解の場となっている。土壌中の有機物は養分供給源であるとともに養分の吸着体として土壌生成や地力に大きく貢献している。そのため、森林を伐採すると腐植を失い、土壌の性質を大きく変えてしまう（大政、1951）。土壌条件が悪化すると、自然の微妙なバランスが崩れてしまい、予測のつかない事態を招いてしまう。また、森林流域では降雨による流入から河川へ流出のプロセスで生じる各種イオンの収支量が森林伐採によって大きく変動することになる。特に、伐採などによる樹冠の破壊や喪失によって水量や水質は大きく変化し、自然環

境への影響は計り知れなくなる。

森林生態系は物質循環が比較的安定しており、それ自体が恒常的な状態を維持しているダイナミックな機構である。しかし、森林の伐採や樹種の変更など人為が大きく働くとこの維持機構が崩れ、土壌破壊をもたらし、地力の低下を招く。特に、長年同一樹種を高密度に造林するなどによる栄養分奪取や病原菌繁殖、皆伐による土壌流出や有機物減少が生じ、打撃的な土壌破壊を招く。この回復には数百年を要することになる（只木、1996）。また、森林伐採に伴い流出水の水質変化はかなり大きい。

森貞ほか（1989）は、皆伐跡地での水分状態と溶存成分との関係を検討した結果、下層土の溶存成分は水分状態にかかわらず安定していることを認めている。森林伐採や酸性雨等の人為的影響による水や物質循環のバランス崩壊が懸念されている今日、人間による様々な自然への働きかけの影響を調べることは重要である。この点で、森林生態系での水循環に伴う物質の挙動を明らかにしていく意義は極めて大きいと言える。物質挙動を調査する場合、大類（1994）は降水から土壌水を経由した流出水までの一連の水質の把握が必要であることを指摘している。

傾斜度の異なる2地点の伐採地において、2年後の土壌の移動距離を調べた結果、表32の通りであった。傾斜度が大きい地点の方が小さい地点よりも土壌移動の距離が大きかった。わずか2年の調査だったため土壌移動の距離はさほど大きくなかったが、年数が経つと相当な移動となり、深刻な土壌破壊となってしまうことが想定される。伐採して裸地化すると、土壌は乾燥するため降雨水により移動しやすくなる。特に傾斜が大きいと、表土流亡や土壌侵食が起りやすい。

石灰岩の採石場では土壌は除去されており、基岩が露出している。そのため、森林成立には遷移時間から推定しても数百年から千年以上を要し、回復はほとんど考えられない。今後とも、裸地状態が長く続いていくことが想定される。石灰岩の採掘が終了して裸地状態で放置され続けた場合、太陽熱や風雨にさらされ、岩石がもろく崩れやすくなっていき、傾斜地では崩落が心配される。表土保全には森林などの植生に覆われていることが重要であり、奥多摩一帯の森林分布の果たす役割は甚大である。

表32 傾斜度の異なる伐採地における土壌移動距離の比較

調査地点	傾斜度	土壌移動距離
地点A	29°	11.7cm
地点B	12°	3.3cm

土壌移動距離：色粉末を土壌と混ぜておき、2年度の土壌の移動距離を5ヶ所の平均値で示した。

8 博物館における土壌モノリス展示

平成7年7～8月に日原地点と川乗地点で土壌モノリスを作製した。2地点の土壌モノリスから石灰岩地と非石灰岩地における土壌断面形態に明白な相違を見ることができた。福田(1996)は、全国の自然系博物館及び研究機関、大学等における土壌モノリス展示の有無、土壌観察会の実施状況等の実態調査を実施したが、モノリスの展示率は極めて低く、土壌に関する展示・解説がない博物館が多いことを明らかにした。特に、我が国には諸外国に見られるような土壌専門の展示館は皆無に等しく、一般に土壌モノリスもほとんど知られていない。また、観察会の中で土壌を積極的に取り上げたり、解説などを行っている博物館は少なかった。

アンケート調査の実施から、人々の土に関する知識や関心が少なく、土の大切さに気づいていない人が圧倒的に多いこと(福田、1991)も判明した。これらの調査から、土壌教育の必要性が高いことを痛感した。本研究では、埼玉県立自然史博物館と国立科学博物館筑波実験植物園で作製した土壌モノリスを展示・解説するとともに、土壌観察会の中で研究成果を紹介し、自然の中での土壌の機能や性質、役割、土壌生成や分類、土壌破壊などについて説明を行った。福田が埼玉県立自然史博物館主催事業で担当した観察会(4回シリーズで実施した)には53名の参加があったが、参加者の年齢層は40代以上で約7割を占めていた(表33)。博物館の主催事業は生涯学習の一貫であるが、この観察会に限らず若年層の参加者は少ない傾向がある。

表34及び表35より、観察会への参加者の大半は「土とは何か」、「土はどのようにしてできるか」などの基本的な事柄について正しい知識を持っておらず、土壌への関心も薄かった。土壌モノリスを観察会以前に見た人は一人もいなかったが、モノリスを目の前にして土に意外とはっきりした断面があることや岩石から土が生成してくる過程で落ち葉等の混入が必要なことなどを学んで、土についてもっと普及すべきであると感じた人が多かった。また、石灰岩地と非石灰岩地の土壌モノリスの違いから母材の影響が強く反映されていることや土壌断面からその来歴がわかることに感動していた(表36)。

野外での観察会では、土の役割や機能、土壌断面等を説明するうちに土に対する関心を高める人が多いことが観察会実施前後の土に対する捉え方をアンケート調査した結果、明らかとなった(表37)。また、参加者たちは多摩川上流域と荒川上流域の地質がよく似て石灰岩地土壌が分布していること、その土壌に適応した貴重な生物種が存在することなどについて強い関心を持っていた。

表33 参加者の年齢層

年齢層	人数	%
10代	2	3.8
20代	5	9.4
30代	9	17.0
40代	16	30.2
50代	13	24.5
60代以上	8	15.1
合計	53	100.0

表34 観察会参加者の土に対する知識・関心

土に関する知識	人数	%	土に対する関心	人数	%
多いと思う	1	2.0	かなり持っている	5	9.4
普通と思う	5	9.4	多少持っている	11	20.8
少ないと思う	35	66.0	ほとんどない	30	56.6
わからない	12	22.6	わからない	7	13.2

表35 土の性質・機能に対する認知度 (%)

質問事項	よくわかっている	多少わかっている	全くわからない
土とは何か	3.8	20.8	76.4
土のでき方	5.7	15.1	79.2
土の生物	17.0	43.4	39.6
土の養水分保持機能	24.5	49.1	26.4
土の層状構造	0	9.4	90.6
物質循環	7.5	35.8	56.7
土の浄化機能	5.7	18.9	75.4

表36 土壌モノリスに関する調査 (%)

質 問 項 目	は い	いいえ	わからない
1. 今までに土壌モノリスを見たことがある	0	98.1	1.9
2. 土壌に層位構造があることは知っていた	18.9	69.8	11.3
3. 石灰岩地と非石灰岩地で土壌断面形態が異なることがある程度理解できた	79.2	3.8	17.0
4. 土壌断面からその土の来歴を知ることができることがわかった	92.4	1.9	5.7
5. 土壌は岩石の風化物などに落ち葉等の生物遺体が加わって生成される	86.8	0	13.2
6. 土壌モノリスを展示して土壌普及することは必要である	66.0	3.8	30.2
7. 土壌微細形態観察で植物根、土壌生物の住処、土壌間隙、水分の通り道、リターと土壌鉱物の混合等が理解できた	52.8	13.2	34.0
8. 土の中には空気や水、有機物があり、土壌生物にとって快適な空間である	47.2	5.7	47.1

表37 観察会実施前後の土に対する捉え方の変化 (「そう思う」と答えた%)

質 問 項 目	実施前	実施後
1. 土壌は自然の中で大切なものである	39.6	92.4
2. 土の生成には生物の働きが欠かせない	43.4	84.9
3. 土は岩石が細かくなったものである	77.4	94.3
4. 土は汚いものである	17.0	7.5
5. 土1 cmがつくられるのに数百年くらいかかる	5.7	35.8
6. 土には水をきれいに浄化する作用がある	49.1	88.7
7. 土は物質循環の要に位置している	11.3	67.9
8. 土1 gの中には数千万～数億匹の微生物がいる	9.4	32.1
9. 土にも破壊や汚染がある	66.0	90.6
10. 土には層状になった断面が見られる	32.1	96.2
11. 土はどこでも大差はない	69.8	20.8

9. 総合考察

(1) 多摩川上支流の土壌生態

多摩川上支流の奥多摩には、石灰岩地が点在している。本研究では、日原川流域の石灰岩地及び非石灰岩地と秋川流域の非石灰岩地のそれぞれの土壌生態について様々な調査を実施した。その結果、石灰岩地土壌と非石灰岩地土壌ではその生態的な特性が大きく異なることが判明した。奥多摩地域は、その大半が森林である。我が国には原生林はほとんどないと言われているが、奥多摩の東部は人工林と二次林で占められており、西部の一部にわずかな天然林が存在している。本研究での調査地点は石灰岩地の日原地点、非石灰岩地の川乗地点・白倉地点・下元郷地点で、各地点の土壌溶液中の窒素（アンモニア・硝酸）、リン酸、カルシウム、マグネシウム、カリウム、塩素、硫酸のそれぞれの濃度を調べた。その結果、石灰岩地土壌は非石灰岩地土壌に比べて土壌溶液中のカチオン濃度ではカルシウムが突出して高く、マグネシウムやカリウム、ナトリウム、アンモニアがやや高い傾向が認められた。アニオン濃度では硝酸が突出して高く、硫酸がやや高い傾向が認められた。図17は、石灰岩地と非石灰岩地における土壌溶液・河川水のCa濃度・pHと植物体のCa含有率の相違をまとめたものである。この図から、石灰岩地土壌では非石灰岩

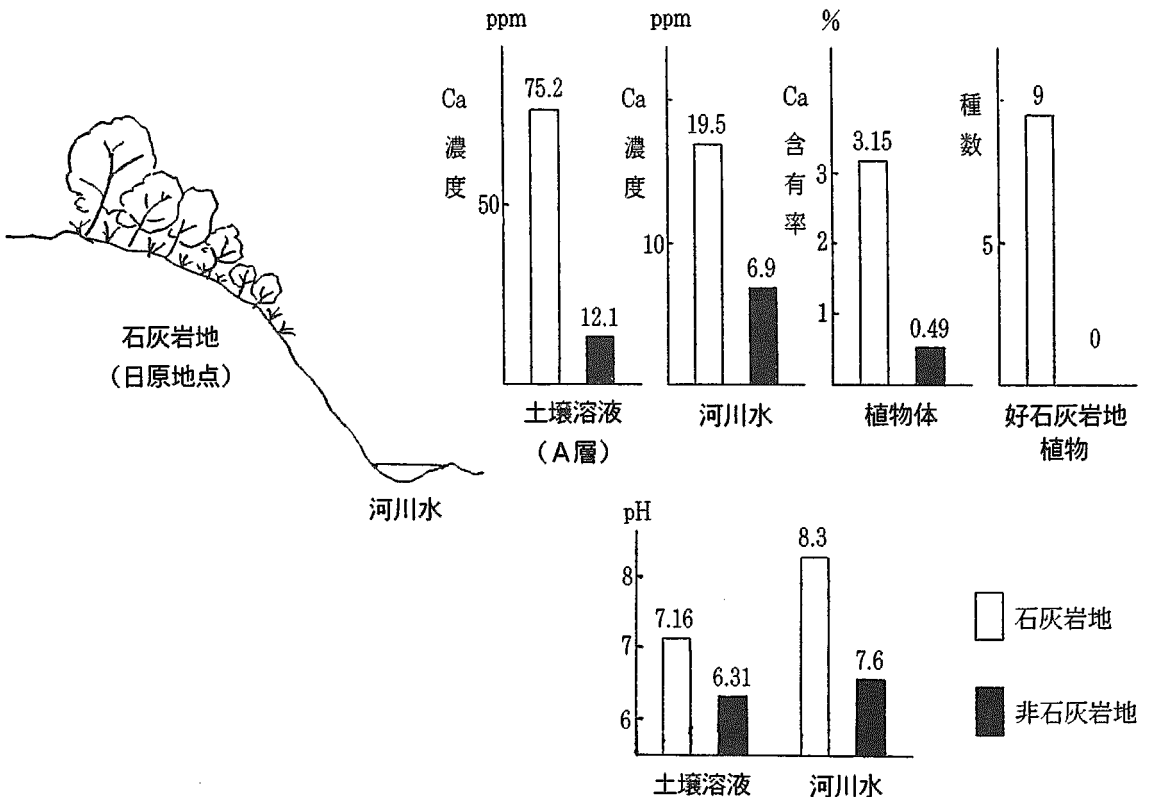


図17 石灰岩地と非石灰岩地における土壌溶液・河川水のCa濃度・pHと植物体のCa含有率の相違 (1996年10月調査)

地土壤に較べて、①土壤溶液中のカルシウム濃度が著しく高い、②流出する河川水のカルシウム濃度が高い、③生育している植物体のカルシウム含有率が高い、④土壤溶液及び流出している河川水のpHが高い、⑤好石灰岩地植物が生育しているなどの特徴が見られる。また、⑥土壤中では各種イオンが相互的かつ複雑に関係していることが確認された。アニオンとカチオン間で電気的中性を保つためにカルシウムが多量に溶出する石灰岩地では硝酸が相補的に高濃度となっていた。このような現象は河川水中では見られなかった。⑦石灰岩地には、陸産貝類が多数生息していることも特徴的であった。

その他、⑧森林地と伐採地における土壤呼吸速度や土壤微生物生息数、水の浸透速度の比較から、伐採による土壤への影響がかなり大きいことが明らかとなった。特に、石灰岩地では伐採に伴う土壤崩落が起こりやすく、その危険を回避するには植物による被覆が必要であり、植物は根が広く張って水分保持能の大きい土壤を生成する落葉広葉樹が望ましいことなどが考えられる。

多摩川上流域は、秩父多摩国立公園の一角に指定されており、石灰岩地が点在する森林地帯である。この地域は古く海底にあった時代に堆積した生物の骨格や遺骸から成る地層が隆起に伴い、陸化したところである。そのため、石灰岩は砂岩や頁岩、泥岩の地層に挟まっており、地表に出現するところとしないところがあり、点在する形となっている。石灰岩からはサンゴ類・紡錘虫類・貝類・ウミユリ類などの化石が発見されている。石灰岩はセメントやコンクリート、セラミックスなどの材料であり、我が国唯一の自給できる地下資源である。

石灰岩は砂岩や泥岩、チャートと較べてカルシウム含有が突出して多く、この石灰岩を母材として生成されている石灰岩地土壤と砂岩やチャートを母材として生成された非石灰岩地土壤では、特にカルシウム濃度が著しく異なる主因となっている。また、土壤溶液中のカルシウム高濃度が土壤中の他の無機質イオンの量的バランスに大きく作用しており、特有の土壤環境をつくり出していると考えられる。石灰岩地の土壤環境は、そこに生息する様々な生物に強く影響して固有の植生や土壤動物などを育むとともに水循環のプロセスでカルシウムやマグネシウムなどに富んだ河川・溪流水を流出する。

多摩川上流域の水循環を通して成立している森林—土壤—河川—海洋のつながりは、長い時間を要して形成された安定した生態系の連関と見ることができる。この連関を支えている主体は、多摩川上流域一帯の森林であり、そこに成立している土壤である。森林伐採や石灰岩採石などの人間の干渉は、この連関に少なからず影響を与えることになる。それは、一般に土壤が巨大な岩体の上に成り立つ薄膜であり、この薄膜の土壤を介して物質循環が行われ、多数の生物が活動しているためである。土壤はその生成に膨大な時間を要し、岩石などを材料として生物がつくり上げた歴史的産物である。この土壤が人間の干渉によって破壊を受けると、微妙なバランスがちまちま失われてしまう。人間も自然の構成員として土壤の恩恵に浴して生きていることに気づき、過度の干渉を控えたり、土壤の保全をしていかなければならない。

(2) 森林における物質循環

森林に降り注いだ雨は樹冠の葉や幹・枝を通過する林内雨、樹幹流として林床に達する。そして、土壤に浸透し、やがて溪流水として流出していく。この間、蒸発や蒸散などが生じる。雨水

は葉などを通過する際に洗脱や溶脱、葉面吸収を起こすとともに土壤中でのイオンの溶脱や根からの吸収、置換や吸着、岩石の風化による土壤への供給などの様々な作用を起こしつつ、河川水へと流出していく。

森林に降った雨の一部は蒸発してしまうが、大半は樹冠を通過して林内雨や樹幹流として葉面や樹幹などを通して地表に達する（中野ほか、1989）。地表に達した水分は斜面で流下するものがあるが、残りは土壤中に浸透していき、その一部は土壤間隙に貯留される。他は重力水となって下方に移動（中間流）して、やがて地下水となる。土壤中に入った水の一部は植物根に吸収されたり、毛管現象で表層近くに達し、地表から蒸発したりする。このような様々な水分動態に伴って、森林内や土壤中では物質動態が生じている。降水や葉面・樹幹通過で溶け込んだあるいは土壤から溶出した成分は水を媒体として土壤コロイドに吸着されたり、溶解や置換・沈澱したり、植物に吸収されるなどを通して複雑な動態が生じている。降水に含まれるあるいは樹幹流に伴って流出してくる成分の量や濃度は、場所によって異なっている。林内雨は、やがて地下水から河川に流出していくが、それに伴って物質の流出が生じる。土壤貯蓄で河川流量は安定化している。（綿抜、1998）

炭素の供給源は大気、水は降水、窒素は大気から土壤に入ってアンモニアや硝酸となり、リン、カリウム、カルシウム、マグネシウムなどのミネラルは岩石の風化、分解が供給源である。これらのミネラルは植物体に吸収・集積されるが、植物体が枯死するとリターとして土壤に戻り、土中の微生物などの働きにより無機化されて再び植物体に利用される。この土壤から植物、植物から土壤という循環プロセスの中で降水が媒体となり、森林への流入や森林からの流出が生じる。炭素や窒素は陸上ではほぼ均一であるが、生物活動により異なってくる。一方、ミネラルは母材や気候、植生、地形などの影響で土壤中の存在量が変化することが知られている。降水、土壤溶液、河川水間の物質循環をまとめたのが、図18である。

土壤溶液中の各種ミネラルの濃度分布を見ると、母材の種類により異なってくる。降水には二酸化炭素や硫酸が含まれており、母岩からカルシウムやマグネシウムなどを溶出させる。北野（1992）は、土壤溶液中の Ca^{2+} や Mg^{2+} 濃度が増加し、 HCO_3^- や SO_4^{2-} が大きくなると岩石は風化し、粘土化することを明らかにしている。そのため、河川流域の天然水中のカルシウムイオン濃度+マグネシウムイオン濃度または炭酸水素イオン濃度+硫酸イオン濃度が大きいほど風化岩石量及び粘土生産量は大きくなり山崩れが起きやすくなったり、その規模が拡大すると推定している。特に、石灰岩地ではこの傾向が強く、崩落などが起きやすくなることが心配される。そのため、特に石灰岩地では山林を保全することが極めて重要となってくる。

森林流出水の塩素イオン、硫酸イオン、ナトリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオンの各濃度は降水の水質との関わりが大きく、採水地点の海からの距離と負の相関が認められる（岩波講座 地球環境学 4、1999）。一方、硝酸イオンやカリウムイオン、アンモニウムイオン濃度などの森林植物の生育と大きく関わる要素にはそのような相関は認められないことが報告されている。それは、降水が海洋から蒸発した水分であり、海水由来の塩素イオンやナトリウムイオンが含まれているためである。多摩川上流域は海洋から遠く、降水中の塩素濃度は低くなっている。また、人為的な影響が極めて少ない地点である。

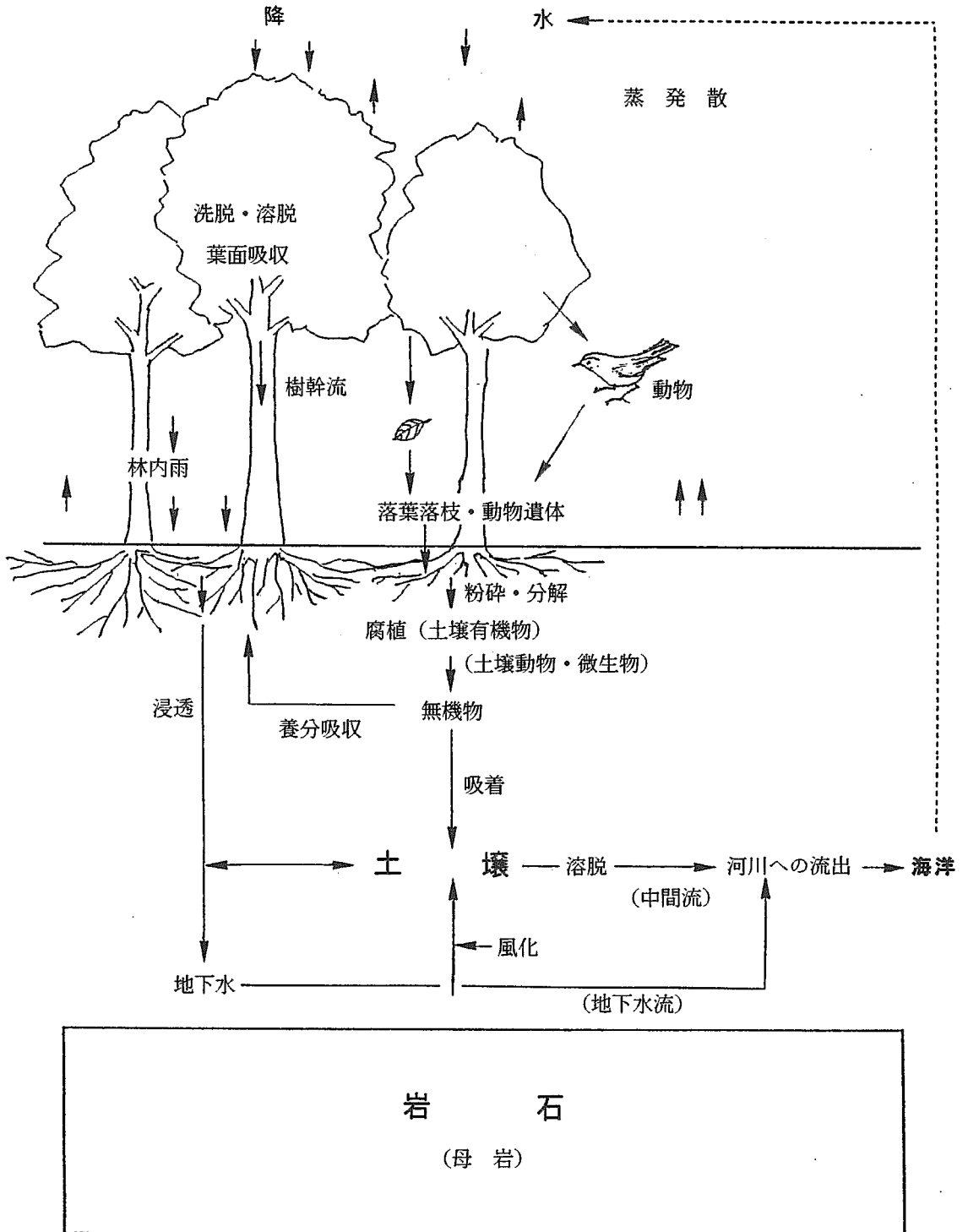


図18 森林生態系における物質循環の模式図

落葉後、有機態窒素は分解されてアンモニウムイオンとなるが、土壤に吸着されて流出は少ない。しかし、硝化作用が進んで硝酸イオンとなる際に水素イオンが生成されて土壤吸着されるため、カルシウムイオンやマグネシウムイオンが置換されて溶出し、水分移動に伴って林外に流亡する。

流出したカルシウムやマグネシウムは河川水に溶け込んで流下し、やがて海に入り沈殿して堆積し、長大な時間をかけて石灰岩となる。この石灰岩は、地殻変動に伴う隆起現象により再び陸地に現れる。表38は、1年間に岩石から溶け出す主要成分量を示している。この表から、最も多く溶出するのは陰イオンで炭酸水素イオン、陽イオンでカルシウムイオンである。表39は、大気及び水圏、生物圏と堆積物における炭素の分布を示しているが、RubeyとPoldervaartの調査とともに炭素が最も多く存在するのは石灰岩中である。石灰岩の主成分は炭酸カルシウム(CaCO_3)であり、二酸化炭素を大量に封入した岩石である。生物進化のプロセスを地質年代で追ってみると、ほぼ次のように考えられている。原始地球を覆っていた大気成分は水蒸気、メタン、アンモニア、水素であり、空中放電などにより反応してアミノ酸などの簡単な有機物が作られていったと推定されている。その後、海洋中で有機物同士が複雑に反応して、やがて原始生物が誕生した。この原始生物は従属栄養型であり、嫌気呼吸を行っていた。このタイプの生物は海洋中の有機物を体内に取り入れて分解する過程で二酸化炭素を排出するため、大気の主成分は次第に二酸化炭

表38 1年間に岩石から溶け出る主要成分量 ($\times 10^{10}\text{kg}$)

溶存 SiO_2	40	Ca^{2+}	50
HCO_3^-	190	Mg^{2+}	10
SO_4^{2-}	30	Na^+	5
Cl^-	0	K^+	5

(北野・松野編「地球と環境の化学」より抜粋)

表39 大気、水圏、生物圏と堆積物における炭素の分布
(単位： CO_2 として 10^{20}g)

堆積場所	Rubey	Poldervaart
大気	0.0233	0.0233
海洋水と陸水	1.30	1.30
生物とその遺骸	0.145	0.145
石灰岩	670	2240
堆積岩中の有機炭素	250	250
石油、石炭	0.27	0.27

(北野・松野編「地球と環境の化学」より一部抜粋)

素、窒素、水蒸気によっていったと推定されている。その後、独立栄養型の嫌気呼吸型生物、さらに好気呼吸型生物が登場し、ついに光合成を営む生物が出現して大量の二酸化炭素は光合成によって生物体内に取り込まれていった。また、二酸化炭素の有機物への取り込みにより、大量にあった二酸化炭素が減少していく一方で、水中や大気中の酸素濃度が増加していった。生物の死骸は海中に沈み、堆積したが、二酸化炭素の一部は石灰岩に封印された。上空にオゾン層が形成され、4億年前には陸上への生物進出が始まった。やがて、陸地には大森林が広がり、大気中の二酸化炭素濃度は0.03%となって安定していった。その二酸化炭素濃度は産業革命を境に少しずつ増加していったが、今世紀に入って急増した。その原因は、化石燃料の大量消費、森林伐採などがあげられている。森林は、毎年自らのリターフォールの分解によりもたらされる無機養分を樹体が吸収して成長を続けている独立再生産システムの生態系である。それが、人間による過度の自然改変（開発など）が微妙な自然の平衡が崩れてしまう。自然界では、大気や水中に放出された二酸化炭素は植物により吸収されて有機物やサンゴなどの骨格となったり、生物呼吸などによって排出されたりするが、その出入りの変化は極めて小さい。しかし、工業化やモータリゼーション等の進展による化石燃料の大量消費は、二酸化炭素の放出量を増加させ続け、ついに植物の吸収等では賄いきれなくなってきた。結局、二酸化炭素は大気中などに残りはじめたが、近年その残量が増してきている。その原因は、工業化や人口増加に伴う化石燃料の消費拡大及び伐採による森林喪失があげられている。二酸化炭素濃度は現在0.037%に達しており、地球温暖化の原因となっている。

地球環境は物質やエネルギーが大気圏、水圏、地圏、生物圏の4大圏の間を循環したり、フローすることにより維持されている。地圏の一部を構成する陸地は地下圏、陸水圏、土壌圏からなっている。物質やエネルギーの循環、フローの際にはほぼ土壌圏を通過することから、土壌は自然環境の調和的な役割を果たしていると言える。化学物質や水は循環の中で土壌を通過する時にその動きが緩和されたり、一時貯留したりする。

人類は自然をつくり変えることによって生活圏を確保し、自分たちの目的に合うように自然を変えてきた。森林を伐採し、植林によって単一の樹林地としたり、作物生産のために耕作地を開墾してきた。また、住宅地や商工業地を拡大していった。土壌は耕うんされ、施肥、施農薬されたり、コンクリートなどで覆われたりした。人類は土壌を酷使して収奪し、破壊して消耗する方法で繁栄してきた。土壌疲労は世界的な傾向であり、土壌侵食や土壌流出が進み、場所によっては砂漠化が進展している。豊かな大地に豊かな森が成立し、豊かな森は肥沃な大地をつくる。森がなくなれば、豊かな大地、すなわち土壌が破壊され、失われる。豊かな大地がなくなれば、森は育たない。この持ちつ持たれつの自然の関係を壊したり、失ってしまうとその回復には膨大な時間を要したり、回復困難となったりしてしまう。森林を失うとそこに生息していた様々な生物が生存の危機にさらされることになる。特に、熱帯雨林は地球上の陸地表面のわずか7%に過ぎないが世界の生物種の50%が生息している（R. B. プリマックほか、1997）。絶滅種の半数以上が生息地の消失によっていることを考えると、森林の喪失は極めて深刻と言わざるを得ない。そのため、森林の果たしている役割は計り知れないほど大きいと言える。

降水は大気中の様々な浮遊物質や有害物質を林内に持ち込むが、森林生態系を通過して林外に

流出する時はミネラルに富んだ清冽な水質となっている。これは、森林の持つ浄化機能であり、様々な汚染物質などが土壤中で吸着されるからである。多摩川上支流の河川水の水質は他の河川水のそれと較べてカルシウムイオンやマグネシウムイオンなどが多く溶け込んでいるのが特徴である。しかし、中流域から下流域に流下して行くに連れて、生活排水などによる水質の汚濁が進み、東京湾に注ぎ込む時は相当富栄養化の進んだ水質となっており、源流水の水質からは想像できないくらい汚れている（表40）。

表40 多摩川水系のpH、BOD (mg/l)、PO₄-P (mg/l)

河川	調査地点	pH	BOD	PO ₄ -P
日原川	日原鍾乳洞前	8.3	0.5	0.0
	川乗橋	8.1	0.8	0.1
	軍畑橋	8.1	1.0	0.6
秋川	白倉橋	7.8	0.6	0.1
	落合橋	7.5	0.6	0.5
	東秋川橋	7.6	0.8	0.7
多摩川	拝島橋	7.6	2.3	2.0
	大師橋	7.4	5.4	7.5
	玉川橋	7.1	8.5	10.9

(1998年5月調査)

森は豊かな水を貯える自然の水瓶である。この水の源は降水である。森に降った雨は落ち葉層や土壌層を通過する過程で濾過され、様々なミネラルを含んだ、きれいな水となって流出してくる。この降水や土壌水、渓流水に溶け込んでいる物質は植物や動物にとって極めて大切なミネラル分である。清冽な渓流水は山を下り、丘陵地や台地を通過して低地の平野に達するが、都市に近づくに連れて有機物や窒素、リンなどが混入していき、富栄養化していく。河川の富栄養化が進み、藻類やプランクトンなどが繁殖すると、それらの死骸を分解するバクテリアが増え、川は酸欠状態になり、自浄作用が急減する。

多摩川は荒川と同様、カルシウムに富んだ河川である（渋谷ほか、1987）。それは、源流域に石灰岩を包含する地質が存在するからである。この河川水質が、流域の植生や動物の生息に何らかの影響を与えている。人々は河川水を飲料水や工業用水、農業用水などとして利用している。特に、カルシウム分に富む水の飲用が流域の住民の健康に大きく寄与していることを指摘する報告もある。最長寿命県の沖縄はサンゴの島であり、よくカルシウムと健康との関係を示唆する例としてあげられる。多摩川や荒川の水質と健康との関わりを科学的に捉えてみるのは興味深いことである。

森林生態系における土壌は巨大な養分や水の貯蔵庫である。この貯蔵庫は長い年月をかけてつくられたものである。植物が土壌中の養分や大気中の炭酸ガスを吸収濃縮し、同化してその一部をリターとして土壌に返す。リターは土壌微生物によって分解され、腐植となったり、植物に再利用される。母材の風化により生じた粘土や砂は腐植と混合して土壌を形成する。腐植は無機化の過程で養分を放出し、土壌コロイドや腐植自身に吸着保持される。また、腐植は土壌粒子を結合させて団粒をつくり、土壌の保水性や通気性を高める。このような生物と無機的环境である土壌との長年の営みが表層に有機物と養分を集積させ、肥沃な表土をつくりあげていく。

(3) 地球環境に対する森林の果たす役割

我が国の森林面積は、国土の66.5%（農用地13.6%、宅地4.5%、河川・水面・水路3.5%、道路3.2%、その他8.0%：1995年調査【(財) 矢野恒太記念会編、1991】）であり、世界でも有数な森林国である。また、河川流域の約2/3は森林で覆われており、森林の持つ保水機能や土砂流出抑制機能が極めて大きくなっている。第二次大戦後、木材伐採が急速化し、全国各地で造林が盛んに行われた。1960年代に入ると造林地の拡大が急速に進み、スギやヒノキの全国的な植林が行われ、その一斉林が広がった。スギ、ヒノキは比較的成長が早く、経済林と見られていたが、保水力が弱く、土砂崩壊にも弱い。また、一斉林は階層構造が未発達で草本層やコケ層、腐植層が貧弱なため、土壌の水分保持機能が不十分となり河川流量が不安定となる。さらに、スギやヒノキが風媒花で実がなく、日中でも林床が暗いなどのため野生生物の生活場所としては難点がある。このように、人工林は森林生態系としては様々な問題点を持っている。

1970年代には外材の輸入が進み、国産材の需要が急減した。その後、我が国の木材輸入量は増加の一途をたどり、今日世界の総貿易量の約1/4にも達している。この木材輸入は森林伐採の観点から深刻な森林破壊となるが、輸入材の増加は林業従事者数の激減傾向をもたらしている点でも深刻である。外材輸入増大の結果、森林の維持管理が行き届かなくなる事態になり、森林荒廃が進み、国土保全の面からも問題となってきている。多くの林業従事者は山から都市部に流出していった。その後、残った林業従事者の高齢化が進み、林地は放置状態に置かれた。我が国では、降雨量が多く、急峻な地形の山地が分布しているため、皆伐によって土砂災害を引き起こしたり、肥沃な表土が失われる危険性が極めて高い。

東京都の森林面積は約36%である。その大半は奥多摩地域に分布しており、その約6割が人工林である。特に、奥多摩町や檜原村のスギ・ヒノキは銘柄材として知られている。しかし、近年木材価格の低迷や林業従事者の減少・高齢化による手入れ不足は急速であり、人工林の荒廃が深刻となりつつある。それでも、多摩川上流域の山林地では現在でも他に較べると林業従事者が多く、一部石灰岩採掘のため、はげ山が見られるものの全体的には大きな森林荒廃には至っていない。また、都民の自然に対する関心や森林保全への理解などが高く、水源涵養地としての重要性が認識されている。奥多摩の森林は、木材供給源としての役割は薄れてきているものの水源涵養地や土砂災害防止林などとしては極めて重要な地帯であり、この地帯の今後のあり方の検討が急務となっている。

東京都水道局の多摩川からの取水量は1931年には $279.60 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{年}$ 、1961年 $569.28 \times 10^6 \text{ m}^3$

／年、1991年 $415.90 \times 10^6 \text{ m}^3$ ／年と変遷している（市川、1997：表から一部抜粋）。この変遷から1960年代前半までは多摩川への依存度が大きく72%を占めていたが、1973年には取水率はわずか29%台となっている。これは、利根川からの取水量増加で対応させてきたからである（市川、1997）。とはいえ、多摩川の水源地としての重要性は極めて大きく、山林では試験的に複層林への転換も試みられているが、市川（1997）は多摩川のエコバランスについて河川環境、治水、上水、下水、灌漑、水産、親水等の情報を共有し、各々の場面での問題を検討していく過程でつくられていくものと考えている。また、教育や学習の場としての多摩川を提案している。

森林の役割には①生態系機能（動植物の生息、遺伝子資源の保存）、②物質循環機能（物質循環・エネルギーフロー）、③地球環境維持機能（気候の安定化、酸素供給、炭素固定）④気象緩和機能、⑤治水機能（洪水・土砂崩れの減少）、⑥利水機能（水資源涵養、表流水浄化）、⑦地域環境維持機能（健康で快適な生活環境）、⑧レクリエーション機能（キャンプ、オリエンテーリングなど）、⑨生産機能（木材、食料、ゴム、油、薬など）がある（高橋、1998、依光、1999）。

多摩川上支流の自然の意義と役割を考えた場合、上記の機能の全てを視点に置かなければならない。そして、今後この地域の重要なポイントは地球環境維持機能である。我が国の国土の約67%を占める森林は、大気成分や水の循環などに大きな影響を与えている。その大気や水（海）には国境はなく、その維持管理や保全は自国だけの問題ではない。国際的なものの見方や考え方は、このような点でも強く求められることであり、真の大人としての判断が必要となる。我が国の国際社会に果たす役割は地球環境問題の解決に向けたグローバルな視点を持った貢献である。近年、地球環境問題がクローズアップされてきたが、中でも地球温暖化は深刻な事態である。この原因として、前述のように化石燃料の消費拡大や森林伐採などがあげられている。熱帯林の伐採は森林喪失による野生生物絶滅危機や土壌流出、海洋汚染、異常気象などを誘発し、多岐に渡って深刻な問題を引き起こしている。そのため、世界の現存森林がそれぞれの重要性を増しており、その保全を視野に入れた経済行動や持続可能な開発が必然となりつつある。

このような背景にあって、村蔦（1998）は「我が国は大量の木材、同関連製品を輸入している。膨大な木材の輸入により、木材自給率は5分の1に落ちている。このような海外依存が資源の略奪によるものである。地球サミットなどで『持続可能な森林経営』を追求する動きが世界的な流れになろうとしており、これが貿易においても基本ルールになろうとしている」と厳しく指摘する。アメリカ合州国森林局は、森林経営にエコシステムマネジメントを導入した。この導入の一例として、森林経営のガイドラインがあげられている。それによると、①持続可能な林業の実践の拡大②伐採跡地の早期再生③水質の保全④野生動植物の生息の確保⑤伐採による景観への影響の最小化⑥特別な土地や森林の保護⑦種の多様性の確保⑧木材利用の合理化⑨健全な森林を育てるうえで化学薬品の慎重な利用⑩全ての林地へ持続可能な林業の実践⑪結果の公開⑫公的な機関や林業団体への協力が示され、具体的な作業基準を設けている（村蔦、1998）。それまでも、森林施業法によって水資源、野生生物、魚類、土壌、レクリエーション、景観美を保全するために林業活動を規制したりしている。アメリカ合州国の恒久的河川（総延長）の40%以上は汚濁、32%は水温上昇、21%は過剰な栄養塩による悪影響である。このうち、最も深刻な汚濁は林業活動によるものであり、土砂流出量の増加に起因するシルト堆積によっている。また、林業活動は

水の貯留と輸送能力、リクレーシヨンの価値及び美観価値、魚類及び野生生物の生息地の量と質の低下をもたらしている（浅野ほか、1999）。自然景観を残すことの意義は大きく、特に森林が作り出す溪流の美しさは格別である。また、森林が育んだ豊かな土壌は自然の貯水庫となっており、それが河川流量の調節に通じている。

富山（1982）は、森が土をつくったり、水をつくり出すことを強調している。そのため、山村の過疎は土の破壊につながり、山村が減びたら都市も減びることを警告している。また、我々が地球の土壌を食いつぶして生きていることに危機感を抱いている。

人間のあらゆる活動は、地表わずか数十cmの土壌に依存している。1cmの土壌が形成されるのに実に百年近くあるいはそれ以上の時間がかかる。この貴重な土壌が地球全体で見ると相当な勢いで喪失してしまっている。我が国の地形は急峻であるうえ、降雨が多いにもかかわらず水害や土砂崩れが少ないのは国土の約67%が森林であるからである。しかし、今日林業経営は厳しく、林業家は極めて少ない。我が国での森林荒廃は災害につながることを真剣に考えなければならぬ時期にきているのではないだろうか。森林荒廃は、やがて土壌荒廃をもたらす。多くの生命の基盤となっている土壌を保全するには森林を守ることが必要である。数百万年前に登場した人類は道具を使い、自然を変えていった。「土壌の生産力を失った文明は滅びる」という歴史の証明があり、文明の課題は我々が土の生産力をいかに衰えさせないか（朝日新聞社、1982）、それは言い替ればいかに森林を保全していくかに託されているといっても過言ではない。

特に、インダス文明をはじめとして世界の四代文明が次第に衰亡に向かったのは、主として土の劣化によるものである（藤原、1991）。土壌は急速な環境の変化を緩衝したり、多くの生物の生存の基盤となっているとともに人類存続の基盤でもあることをもう一度真剣に考えなければならぬ。土壌は、地形や母材、気候、植生などの影響下で長い時間を費やして生成された資源である。本研究で調査した石灰岩地と非石灰岩地の土壌にはそれぞれの特性があり、ともに独特の土壌断面形態や土壌溶液・河川水中のイオン濃度分布、土壌生物、植生、土壌呼吸などを持っている。また、それぞれが岩質を反映して形成している。それ故に、多摩川上支流域の全域が大変貴重な自然であるといえることができる。

10. ま と め

東京都奥多摩の多摩川上支流の日原川及び秋川流域の岩質の異なる土壌生態について、主に土壌溶液中の各種イオン（塩素・リン酸・硝酸・硫酸・アンモニア・カリウム・ナトリウム・カルシウム・マグネシウム）濃度の面から検討を加えた。その結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 多摩川上支流では笠取山を源流とする日原川と三頭山を源流とする秋川があり、ともに本流に合流している。日原川上流には石灰岩地が点在しており、日原地点の主な岩質は石灰岩、泥岩、砂岩である。川乗地点は泥岩、砂岩、チャート、檜原村各調査地点は泥岩、砂岩から成っている。

- (2) 土壤溶液量を見ると、各調査地点ともシーズン間の量的変動が大きかった。量的には8月、5月、11月、2月の順であり、月別降水量とよく一致していた。また、土壤溶液量を土壌層位別に見ると、各調査地点ともほぼ上層で少なく、下層に行くほど多くなる傾向が見られた。
- (3) 土壤溶液中の各種イオン濃度を調査地点・層位・シーズン別に調査した結果、次のようなことが明らかとなった。
- ①土壤溶液中の各種イオン濃度は各調査地点とも概して11月が最も高く、次いで2月、5月の順であり、8月が最も低くなる傾向を示していた。特に、11月が高かったのは落葉期であり、リターフォールからのイオンの溶脱が原因していると考えられる。
 - ②日原地点ではカルシウム濃度が突出して高かった。また、その他のイオン濃度についても他地点と較べて高い傾向が認められた。これは、この地点が石灰岩地にあることに起因している。特に、表層土壌のA層で高濃度であったのは植物体により吸収された後、落枝葉などのリターフォールとして表層にもたらされ、蓄積していったためと考えられる。
 - ③各種イオン濃度は、表層近くで最も高く下層に行くに連れて漸減する傾向が認められた。このような垂直分布は土壤有機物の含有率でも認められた。
 - ④石灰岩地土壌と非石灰岩地土壌における各種イオン濃度のうち、両土壌ともカルシウム濃度と硝酸濃度が高かった。特に、石灰岩地土壌では両イオンが際だって高く、両者の土壌間で顕著な相違が認められた。
 - ⑤石灰岩地と非石灰岩地に生育している落葉広葉樹の葉中の各種成分含有率を見ると、石灰岩地のものの方が約5倍高かった。また、カリウムやマグネシウムも石灰岩地のものの方が含有率が高かった。
 - ⑥溶存主要カチオン総濃度と溶存主要アニオン総濃度との間に高い相関があることが認められ、電気的中性が保たれていた。
 - ⑦その他、硝酸濃度と溶存主要カチオン総濃度、硝酸濃度とカルシウム濃度、溶存主要アニオン総濃度とカルシウム濃度、溶存主要アニオン総濃度とカルシウム濃度+マグネシウム濃度とマグネシウム濃度の間でも高い相関が認められた。一方、カリウム濃度とマグネシウム濃度、カリウム濃度とカルシウム濃度、ナトリウム濃度とカリウム濃度、硫酸濃度とカリウム濃度の相関は低かった。
 - ⑧落葉広葉樹のウワミズザクラ、サワシバ、アワブキ、落葉針葉樹のカラマツ、常緑針葉樹のスギの各落葉を脱イオン水に浸潤した後の各種イオン濃度の濃縮の様子を調べた結果、全てのイオンでウワミズザクラの120分後の濃度が最大となった。次いで、アワブキ、サワシバの順であった。カラマツは時間経過とともに濃度が増したが、スギはほとんど濃縮が見られなかった。
 - ⑨リターフォール量は常緑針葉樹で $2.9\text{g}/\text{m}^2$ 、落葉広葉樹で $2.4\text{g}/\text{m}^2$ であった。また、林床照度はスギ人工林では落葉広葉樹の約1/7に過ぎず、相対照度はスギ林で0.8%、落葉広葉樹林で4.9%であった。
 - ⑩多摩川上流域の土壤溶液中の各種イオン濃度分布が荒川上流域と同様な傾向を示していた。また、溶存主要カチオン総濃度と溶存主要アニオン総濃度との間に高い相関があることも認めら

れた。これは、多摩川と同様、荒川上流域に石灰岩地が点在していることに起因していると考えられる。

- (4) 降水の各種イオン濃度は、石灰岩地と非石灰岩地での採集地点間の差異はほとんど見られなかった。
- (5) 降水、土壤溶液、河川水中の各種イオン濃度を調べたところ、各種イオンとも降水よりも土壤溶液で数倍から数十倍高まっていた。そして、河川水中では窒素は降水よりも低く、リン酸はほとんど差がなく、ミネラルのカルシウム、マグネシウム、カリウムは高い濃度となっていた。この降水と河川水の各種イオン濃度の变化傾向は荒川上流域でもほぼ同様であった。
- (6) 河川水中の各種イオン濃度を調査地点・シーズン別に調査した結果、次のようなことが明らかとなった。
- ①多摩川の河川水中の各種イオン濃度は土壤溶液中のそれよりも各調査地点別の差異が小さかったが、土壤溶液中の各種イオン濃度のシーズンによる変化とよく似た傾向を示していた。河川水中の各種イオン濃度は11月が最も高く、次いで2月、5月の順であり、8月が最も低くなる傾向であった。特に、11月が高かったのは樹木の落葉期であり、リターフォールからのイオンの溶脱が原因していると考えられる。
 - ②多摩川及び荒川水系の水質を世界、日本の平均と比較した結果、特にカルシウムで顕著な差異が認められた。日本の河川平均のカルシウム濃度は8.8ppmであるのに対して多摩川は12.6ppm、荒川は15.5ppmであった。
 - ③日原川・日原地点では各シーズンとも各種イオン濃度がその他の地点と比較して高い傾向が認められた。特に、陽イオンではカルシウム濃度、陰イオンでは硫酸濃度が高かった。
 - ④河川水中のカルシウム濃度は日原地点から遠ざかるに連れて低くなる傾向を示していた。
 - ⑤河川水中の各種イオン間における相関を見ると、硫酸濃度と総カチオン濃度との間に高い相関があることが認められたが、土壤溶液中で高い相関関係が認められた総カチオン濃度と総アニオン濃度、総アニオン濃度とカルシウム濃度、総アニオン濃度とカルシウム濃度+マグネシウム濃度、硝酸濃度とカルシウム濃度間の相関はいずれも低かった。その他のイオン間でも相関が低かった。
 - ⑥多摩川、荒川ともその上流域に石灰岩地が点在しているが、多摩川、荒川の水質はpHが高く、アルカリ分に富んでいる点でよく類似していた。
- (7) アンモニア態窒素及び硝酸態窒素の降水からの収入量は河川水への流出量に比べて大きかったのに対して、カルシウムやマグネシウム、カリウムイオンは流出量の方が大きかった。
- (8) 多摩川水系の上・中流域の水生昆虫を見ると、単位面積当たりの科数、個体数ともに上流域で豊富であった。中流域の汚濁が進む辺りから科数、個体数とも減少する傾向が認められた。

- (9) 日原地点と白倉地点では褐色森林土壌、川乗地点と下元郷地点では黒ボク土壌が分布していた。土壌微細形態を見ると、日原地点と川乗地点ではパッキング孔隙による粒状構造が発達しており、白倉地点と下元郷地点ではチャンネル孔隙が発達し、動物の糞粒が多数認められた。一次鉱物は秋川流域の地点より日原川流域で多数あり、秋川流域では小さな岩片を多数含んでいた。
- (10) 各調査地点の植生を概観すると、日原地点では落葉広葉樹が分布しており、ケヤキ、サワシバ、イヌブナ、ウワミズザクラ、イロハモミジなどが見られた。川乗地点ではスギ、ヒノキ人工林、下元郷地点ではスギ人工林が広がっていた。また、白倉地点ではコナラ、アカシデ、アラカシ、ホオノキ、チョウジザクラ、ウリカエデなどが見られた。日原地点より標高の高い石灰岩地ではチヂブミネバリ、イワシモツケ、チョウセンナニワズ、ホタルサイコ、イチョウシダなどの好アルカリ性植物が生育していた。
- (11) 針葉樹類と広葉樹類の落葉のC/N比を較べると、前者の方が大きかった。また、土壤微生物数は常緑針葉樹林地よりも落葉広葉樹林地の方が多く、森林伐採裸地では樹林地の1/16~1/30程度と少なかった。土壤微生物数は土壤水分、A層中のC%と深い関係があった。
- (12) 各調査地点における大型土壤動物数は、石灰岩地の日原地点より非石灰岩地のスギ・ヒノキ人工林（川乗地点）と落葉広葉樹林（白倉地点）で多かった。また、森林伐採裸地では樹林地に較べて1/6~1/8であった。小型土壤動物では、砂岩上植生の方が石灰岩上植生よりも生育密度が高く、ササラダニ類、フシトビムシ類の2類で約7~9割を占め、ケダニ類を加えた3類が優占していた。
- (13) 伐採地と樹林地の土壤呼吸速度を比較すると、落葉樹林地が最も高く、次いでスギ林地で伐採地では低かった。また、伐採後植林することにより土壤呼吸速度は回復していた。スギ人工林地と落葉広葉樹林地におけるシーズン別土壤呼吸速度を見ると、両地点とも8月が最大、2月が最小であった。土壤呼吸速度の大きさは地温の高さと深く関わっていた。
- (14) 伐採地と樹林地の水の地下浸透速度を較べると、前者の方がその値が小さかった。また、常緑針葉樹林地よりも落葉広葉樹林地の方が大きかった。
- (15) 傾斜度の異なる伐採地の土壤移動距離は、2年間の調査期間でも差異が認められた。
- (16) 博物館における土壤観察会でのアンケート調査の結果、土に関する関心や知識が少なく、自然の中での土の役割や重要性についての認識もあまりないことがわかった。また土壤モノリスを初めて見たという人が多かった。土壤観察会及び土壤モノリスを使った土の解説によって土への興味・関心、知識が高まり、土壤保全の必要性を強く認識したという人が増えた。

- (17) 土壌は岩石が風化したものに動植物の遺骸が加わって生成されたもので、土壌の種類は基岩である岩質に依存するところが大きい。この土壌特性に植生分布が強く反映されていることが明らかとなった。
- (18) 近年の急速な外材輸入の増加による影響は甚大であり、奥多摩地域（奥多摩町・檜原村）でも林業従事者の減少は急ピッチである。また、高齢化が進んでおり、森林の維持・管理が難しくなっていることが明らかとなった。

11. 謝 辞

本研究の実施にあたり、植生調査に際してご協力いただいた東京都立農業試験場及び土壌調査でお世話になった東京農工大学大学院生の皆様に謝意を表す。また、分析でご助言いただいた埼玉県立農業試験場部長の日高 伸氏にお礼申し上げる。

12. 文 献

- 浅野 孝・大垣真一郎・渡辺義公, 1999. 水環境と生態系の復元. pp. 590, 技報堂, 東京.
- 朝日新聞社編, 1982. シンポジウム 緑と文明. pp. 213, 朝日新聞社, 東京.
- 有光一登・松井光搖, 1964. 簡易なテンションメーターによる土壌水分の動的研究 (I). 日林誌 46, 208-213
- 有光一登, 1982. 森林土壌の水分動態に関する研究(第2報) 森林土壌の水分及び溶存成分の動態. 林誌研報318, 11-78
- Bourgeois, W. W. and L. M. Lavkulich, 1972. Study of forest soils and leachates on sloping topography using a tension lysimeter. *Can. J. Soil. Sci.*, 52, 375-391
- Bullock, P. and N. Fedoroff, A. Jongerius, G. Stoops, T. Trusina, 1985. Handbook for Soil Thin Section Description, 152pp, Wain Research, UK. (訳. 久馬一剛・八木久義・平山良治・田村憲司・三浦憲蔵・中井信・山本真也・三浦覚 (1989) 土壌薄片記載ハンドブック. pp. 176, 薄友社, 東京.)
- Carlisle, A., A. H. F. Brown and E. J. White, 1967. The nutrient content of tree stem flow and ground flora litter and leachate in a sessile oak (*Quercus petraea*) woodland. *J. Ecol.*, 55, 615-627
- Core, D. W. and S. P. Gessel, 1965. Movement of elements through a forest soil as influenced by tree removal and fertilizer additions. *Forest Soil Relationship in North America*, 95-104, Oregon Univ. Press.
- 土壌調査法編集委員会, 1978. 土壌調査法. pp. 522, 博友社, 東京.

- 土壤養分測定法委員会編, 1970. 土壤養分分析法. pp. 250, 養賢堂, 東京.
- Eaton, J. S., G. E. Likens and F. H. Bormann, 1973. Throughfall and stemflow chemistry in northern hardwood forest. *J. Ecology*, 61, 495-508
- E. M. ブリッジス (永塚鎮男・漆原和子訳), 1990. 世界の土壤. pp. 200, 古今書院, 東京.
- 福井英一郎, 1967. 自然地理学Ⅲ. 朝倉書店, 94-136, 東京.
- 藤原彰夫, 1991. 土と日本古代文化. pp. 445, 博友社, 東京.
- 後藤和秋・佐々朋幸, 1989. 山火事が森林生態系に及ぼす影響 (IV) - 被災翌年の林内養分分布 -. 101回日林論, 205-206
- 生原喜久雄・相場芳憲, 1983. 林地の土壤の発達および栄養物質循環に及ぼす育林施行の影響. 文部省科学研究 (一般研究A) 研究報告書別刷, 33-46
- _____, 1992. 森林流域における渓流水質の形成. *森林水文学*, 215-238, 文永堂出版, 東京.
- 橋本与良, 1978. 森林の環境としての土壤. *森林学*, 286-307, 共立出版, 東京.
- 波多野隆介・今井弘樹・岡島秀夫, 1980. 施肥成分の土層内成分に関する研究 (第4集) 浸透・蒸発に伴う施肥成分の再分布について. *土肥要旨集*, 26, 120
- 原田 洋, 1991. 多摩川流域の生態学的環境指標策定のための手法開発. *とうきゅう環境浄化財団研究助成 (136)*, 139-171
- 平山良治, 1983. 巨大サイズの土壤薄片の作成法について. *筑波実験植物園研究報告*2, 47-54
- _____, 1991. 土壤薄片作成のための脱水法. *森林立地*33, 1, 19-24
- _____, 1992a. 展示用モノリスとしての超大型土壤薄片の作成. *ペドロジスト*35, 2-12
- _____, 1992b. 土壤薄片による土壤三相分布の測定の試み. *土壤の物理性*64, 21-26
- 福田 直, 1991. 初等・中等教育段階における土壤教育の現状と課題. *筑波大学農林技術センター研究報告*, 23-44
- _____. 坂上寛一, 1993. 埼玉県内荒川流域の土壤生態に関する研究 (第1報) - 山地、丘陵、台地、低地の土壤断面形態と層位別溶存イオン分布について -. *埼玉県立自然史博物館研究報告*第11号, 1-35
- _____, 1994. 埼玉県内荒川流域の土壤生態に関する研究 (第2報) - 石灰岩母材土壤とチャート母材土壤における土壤溶液のイオン分布について -. *埼玉県立自然史博物館研究報告*第12号, 5-31
- _____, 1996. 博物館等における土の取り扱いに関する実態調査. *環境情報科学*25 (1), 126-133
- 堀口万吉, 1980. 埼玉県の地形と地質. *埼玉縣市町村誌* 第20巻, 74-290, 埼玉県教育委員会, 埼玉.
- _____, 1986. 埼玉県の地形と地質. *新編埼玉県史別編3 自然*, 274-325, ぎょうせい, 東京.
- 猪郷久義・菅野三郎・新井静男・渡部景隆, 1980. *日本地方地質誌 関東地方 (改訂版)*, pp. 493, 朝倉書店, 東京.
- 市川 新, 1997. 多摩川そのエコバランスー都市と河川環境の均衡をめざしてー. pp. 284, ソフトサイエンス社, 東京.

- 井上輝一郎・岩川雄幸, 1970. 林地における土壤水分の動態 (1). 日林誌52, 238-243
- 岩坪五郎, 1967. 森林内外の降水中の養分量について (第2報). 京大演習林報39, 110-124
- _____. 堤 利夫, 1968. 森林内外の降水中の養分量について (Ⅲ) 流亡水中の養分量について. 京大演習林報. 40, 140-156
- _____. 1976. 森林生態系での植物養分物質の循環—そこでの雨水のはたす役割について—. 『山岳森林生態学—今西錦司博士古希記念論文集Ⅰ—』(加藤泰安・中尾佐助・梅棹忠夫 編). 313-360, 中央公論社, 東京.
- 岩波講座 地球環境学 4, 1999. 水・物質循環系の変化. pp.348, 岩波書店, 東京.
- 金岡幸夫・小島 覚, 1984. 富山県呉羽丘陵の植生と土壤. 日生要旨, 31. 23
- 笠原安夫, 1968. 日本雑草図説. pp.518, 養賢堂, 東京.
- 加藤秀正, 1989. 土壤溶液. 土の化学. 96-109, 学会出版センター. 東京.
- 加藤正樹・荒木 誠・宮川 清・小林繁男・有光一登, 1989. 皆伐および間伐が土壤の窒素動態に与える影響 (Ⅰ) —A層土壤の無機態窒素の変動—. 100回日林論, 227-230
- 川添 強・吉本 衛, 1975. 林地肥培が溪流の水質に及ぼす影響 (Ⅰ). 86回日林論.
- _____. 堀田 庸・森貞和仁・長友忠行, 1987. 斜面地形と水溶性成分(V)—土壤溶液中の成分比—. 98回日林論. 155-158
- 河田 弘, 1977. 森林土壤の窒素の形態について. 林試研報, 297, 106-131
- _____. 1978. 森林と土壤 土壤微生物. 森林学, 344-358, 共立出版, 東京.
- _____. 小島俊郎, 1979. 環境測定法Ⅳ—森林土壤— 生態学研究法講座30. 1-95, 共立出版, 東京.
- _____. 1982. 土壤の化学的性質. 森林学. 238-272, 林野弘済会, 東京.
- 菅野一郎編, 1964. 日本の土壤型. pp.435, 農文協, 東京.
- 菅野三郎・新井重三, 1983. 五日市盆地の第三系について. 1-15, 秩父自然科学博物館研究報告 第12号, 埼玉.
- 菊沢喜八郎, 1999. 新生態学への招待 森林の生態. pp.198, 共立出版, 東京.
- 北村四郎・村田 源, 1971. 原色日本植物図鑑 (木本編Ⅰ). pp.401, 保育社, 大阪.
- _____. 1979. 原色日本植物図鑑 (木本編Ⅱ). pp.545, 保育社, 大阪.
- 北野 康・松野武雄, 1980. 地球と環境の化学. pp.261, 岩波書店, 東京.
- _____. 1992. 化学の目でみる地球環境—空、水、土—. pp.152, 裳華房, 東京.
- _____. 1995. 新版水の科学. pp.254, 日本放送出版協会, 東京.
- 久馬一剛・庄司貞夫・楢塚昭三・服部 勉・和田光史・加藤芳朗・和田秀徳・大羽 裕・岡島秀夫・高井康夫, 1984. 新土壤学. pp.271, 朝倉書店, 東京.
- 小橋澄治・村井 宏・亀井 章, 1992. 環境緑地工学. pp.188, 朝倉書店, 東京.
- 牧野富太郎, 1961. 牧野新日本植物図鑑. pp.1060, 図鑑の北隆館, 東京.
- 森貞和仁・川添 強・長友忠行, 1989. スギ皆伐跡地における土壤水分の変動が溶存成分に及ぼす影響について. 101回日林論, 241-242
- _____. 川室公康・川添 強・長友忠行, 1990. コジイ林における土壤の化学的性質に及ぼす樹

- 間流の影響. 101回日林論, 247-248
- 村井 宏・山谷孝一・片岡寛純・由井正敏編、1980. ブナ林の自然環境と保全. ソフトサイエンス社, 141-191, 東京.
- 村蔦由直, 1998. アメリカ林業と環境問題. pp. 239, 日本経済評論社, 東京.
- 永塚鎮男, 1971. ラックフィルム (薄層土壌断面標本) の作製法, ベドロジスト Vol. 115, No. 2
- 永野 巖, 1980. 埼玉県の森林植生 (予報). 埼玉縣市町村誌 第20巻. 64-125, 埼玉県教育委員会, 埼玉.
- _____, 1984. 埼玉の風土と森林. 新編埼玉県史別編3. 253-455, ぎょうせい, 東京.
- 日本分析化学会編, 1988. イオンクロマトグラフィー. pp. 239, 共立出版, 東京.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局・財団法人日本色彩研究所, 1967. 新編標準土色帖. 富士平工業株式会社, 東京.
- 農林水産省林業試験場土壌部, 1982. 森林土壌の調べ方とその性質. pp. 328, 林野弘済会, 東京.
- 岡島秀夫・今井弘樹・牧田則子, 1974. 土壌の養分供給能に関する研究 (第3報) 硝酸化成にともなう固相養分の放出について. 土肥誌45, 389-394
- _____, 1981. 土地利用と土壌溶液のイオン組成. 土壌の吸着現象-基礎と応用-. 85-128, 博友社, 東京.
- _____, 1989. 土の構造と機能-複雑系をどうとらえるか. pp. 268, 農文協, 東京.
- 大場秀章, 1991. 森を読む. pp. 161, 岩波書店, 東京.
- 大羽 裕・永塚鎮男, 1988. 土壌生成分類学. 263-273, 養賢堂, 東京.
- 大井次三郎, 1953. 日本植物誌. pp. 1383, 至文堂, 東京.
- 大政正隆, 1951. ブナ林土壌の研究. 林土調1.
- _____, 1977. 土の科学. pp. 225, 日本放送協会, 東京.
- _____, 1983. 森に学ぶ. pp. 204, 東大出版会, 東京.
- 大類清和・生原喜久雄・相場芳憲, 1992. 降雨イベントでの渓流水の溶存物質の流出特性と流出成分の分離. 日林誌74(3), 203-212
- _____, 1994. 森林流出水の水質研究と森林の水質浄化機構を把握する上での課題. 森林科学 No.12, 34-41
- 小作明則・石井規雄・伊藤雅道・角南桂子・長谷川雅美・山口 剛, 1994. 生態園における土壌動物群集の経年変化. 1. サンプルング方法の検討. 千葉中央博自然誌研究報告特別号1. 267-276
- 長田武正, 1976. 原色日本帰化植物図鑑. pp. 425, 保育社. 大阪.
- Pang, P. C. and McCullough, K., 1981. Nutrient Distribution In Forest Soil Leachates After Thinning and Fertilizing Douglas-Fir Forest, Can. J. Soil Sci. 62. 197-208
- ベドロジスト懇談会, 1984. 土壌調査ハンドブック. pp. 156, 博友社, 東京.
- R. B. プリマック・小堀洋美, 1997. 保全生物学のすすめ. pp. 399, 文一総合出版, 東京.
- 酒井 彰, 1987. 五日市地域の地質. pp. 75, 通商産業省工業技術院地質調査所, 茨城県.
- 佐藤英文, 1979. 高尾山およびその周辺のカニムシ. 日本私学教育研究所調査資料64, 1-27
- 佐藤冬樹・今井弘樹・岡島秀夫, 1980. 林地土壌の土壌溶液組成. 土肥要旨集 26, 25

- 佐藤冬樹・笹賀一郎・藤原滉一郎, 1990. 北海道北部天然林内を流れる小河川の水質. 101回日林論, 255-256
- 渋谷武一・五井邦宏・須貝敏秀・中辻 勝, 1987. 荒川本流の水質. 荒川自然-荒川総合調査報告書1-1. 455-482, 埼玉県, ぎょうせい, 東京.
- 鈴木恵一, 1978. 八王子市周辺のササラダニ類相(1). 日本私学教育研究所調査資料56, 111-120
- _____, 1979a. 高尾山及び八王子付近における多足類(Myriapoda)の調査方法及び個体群生態. 日本私学教育研究所調査資料64, 39-64.
- _____, 1979b. 八王子市周辺のササラダニ類相(2). 日本私学教育研究所調査資料64. 117-123
- _____, 1984. 多摩川水系流域における蛛形類の分布とその生態学的研究. とうきゅう環境浄化財団助成集報56, 90-99
- 生態学実習懇談会, 1967. 生態学実習書. 50-86, 朝倉書店, 東京.
- 高橋竹彦・角 直道・青柳敏人・梶原道子・矢野悟道, 1985. 東播・北摂丘陵・台地神戸層群地帯におけるコナラ林の遷移と土壌の理化学生との関係について(その1)コナラ林の遷移について. 日生要旨32, 323
- 高橋 裕ほか, 1998. 水循環と流域環境. pp.305, 岩波書店, 東京.
- 只木良也・赤井龍男, 1974. 森-そのしくみとはたらき-. 共立出版, 167-220, 東京.
- _____, 1996. 森林環境科学. pp.164, 朝倉書店, 東京.
- 武内和彦, 1991. 地域の生態学. 145-146, 朝倉書店, 東京.
- 地学団体研究会「新編地学教育講座」編集委員会編, 1995. 地球の水圏-海洋と陸水-. pp.211, 東海大学出版会, 東京.
- 「土の世界」編集グループ編, 1992. 土の世界大地からのメッセージ. pp.159, 朝倉書店, 東京.
- 堤 利夫, 森林の成立にともなう土壌の性質の変化(II)皆伐による土壌中の諸物質濃度の変化. 京大演習林報35, 110-126
- _____, 1973. 生態学講座5-b 陸上植物群落の物質生産I b-森林の物質生産-. 1-60, 共立出版, 東京.
- _____, 1977. 森林における物質循環. アーバンクボタNo.14, 44-51. 久保田鉄鋼, 東京.
- _____. 濱谷稔夫・武藤憲由・片岡寛純・真下育久, 1981. 新編造林学. 19-58, 朝倉書店, 東京.
- Tsutsumi, T., Nisitani, S and Kirimura Y., 1983. On the effects of soil fertility on the rate and the nutrient element concentrations of litterfall in a forest. Jap. J. Ecol., 33. 313-322
- _____, 1984. On the effects of soil fertility on the throughfall chemicals in a forest. Jap. J. Ecol., 34. 321-330
- 堤 利夫, 1987. 森林の物質循環. pp.124, 東京大学出版会, 東京.
- _____, 1989. 森林の生活-樹木と土壌の物質循環-. 82-145. 中公新書, 東京.

- 堤 利夫編, 1989. 森林生態学. pp.166, 朝倉書店, 東京.
- 都留信也, 1971. 土と生態. pp.191, 共立出版, 東京.
- 塘 隆男, 1978. 森林土壌における物質動態. 森林学, 321-344, 共立出版, 東京.
- 東京大学農学部, 1997. 土壌圏の科学. pp.129, 朝倉書店, 東京.
- 東京都労働経済局農林水産部農地課編, 1994. 土地分類基本調査 秩父・五日市・三峰・丹波.
pp.91, 東京理科大学出版会, 東京.
- 東京農工大学「地域生態システム学」編集委員会編, 1998. 地域生態システム学. pp.188, 朝倉書店, 東京.
- 戸田浩人・生原喜久雄・相場芳憲, 1987. 同一斜面の横方向での表層土壌水の養分変化. 日林誌69, 281-284
- 富山和子, 1982. 水-森林-土の連鎖、その守り手がない! (朝日新聞社編、シンポジウム緑と文明). pp.213, 朝日新聞社, 東京.
- 漆原和子, 1990. 石灰岩地域の土壌 (浅海重夫「土壌地理学-その基本概念と応用」). 177-185, 古今書院, 東京.
- 山根一郎・浜田竜之介・吉永長則・浅見輝男・松田敬一郎・佐久間敏雄・小林達治・湯村義男, 1984. 土壌学. pp.255, 文永堂, 東京.
- 山谷孝一, 1965. ヒバ林伐採跡地土壌の経年変化について (I) 落葉層の形態変化および土壌有機物の動態. 日林誌47, 199-204
- _____, 1989. 上部ブナ帯におけるブナ天然林伐採跡地土壌の経年変化 (I). 100回日林論, 203-204
- _____, 1990. 秋田県北部スギ天然林伐採跡地土壌の経年変化 (1) -土壌断面形態および主要土壌性質の変化状態-. 101回日林論, 287-288
- 安江良介, 1994. 日本の自然地域編3, 関東. pp.180, 岩波書店, 東京.
- 依田恭二, 1971. 土壌有機物の集積と分解. 森林の生態学. 218-247, 築地書館, 東京.
- _____, 1973. 森林の生態学. pp.331, 築地書館, 東京.
- 吉田重明・春田泰次・仁王以智夫, 1980. 森林土壌の窒素の動態 (II) 土壌型の異なる2種の天然林土壌中の窒素の無機化と硝化活性. 日林誌62, 230-233
- 依光良三, 1999. 森と環境の世紀. pp.292, 日本経済評論社, 東京.
- 図子光太郎・生原喜久雄・相場芳憲, 1992. 2種の陰イオンを付加した森林土壌溶液における陽イオンの動態. 日林誌74(3), 185-193
- 和田英太郎ほか, 1999. 水・物質循環系の変化 (岩波講座地球環境学4). pp.348, 岩波書店, 東京.
- 綿抜邦彦編, 1998. 100億人時代の地球 ゆらぐ水・土・気候・食糧. pp.253, 農林統計協会, 東京.
- Walter, H, 1952. Eine einfache Methode zur Okologischen Erfassung des CO₂-Factors am Standort. Ber. Dtsch. Bot. Ges., 65, 175-182
- (財) 矢野恒太記念会編, 1991. 日本国勢図会 '98/99. pp.558, 国勢社, 東京.

Appendix 1 多摩川上流域の土壌溶液中の各種イオン濃度の調査地点及び月別変化

月	調査地点	PO ₄	Cl	SO ₄	NO ₃	NH ₄	K	Na	Ca	Mg	anion合計	cation合計	Ca+Mg
2月	日原A	0.49	3.6	12.71	30.93	3.91	2.27	3.03	27.11	7.75	47.73	44.07	34.86
	日原A B	0.36	2.99	2.66	12.76	0.39	2.44	2.01	18.11	4.34	18.77	27.29	22.45
	日原B	0.18	2.17	1.31	1.92	0.35	0.35	1.51	6.86	3.58	5.58	12.65	10.44
	川乗A ₁₁	0.42	4.01	0.41	8.76	0.84	1.75	2.08	9.37	4.84	13.6	18.88	14.21
	川乗A ₁₂	0.29	3.79	0.59	3.7	0.21	0.38	0.7	5.87	3.81	8.37	10.97	9.68
	川乗A B	0.17	1.94	1.38	1.89	0.24	0.26	0.34	2.4	3.67	5.38	6.91	6.07
	川乗B	0.17	1.59	0.95	2.36	0.21	0.39	0.33	2.1	3.56	5.07	6.59	5.66
	川乗B C	0.16	3.35	0.22	0.6	0.21	0.46	1.44	2.45	4.34	4.33	8.9	6.79
	白倉A	0.23	2.04	4.12	5.89	0.81	0.91	1.68	5.65	2.84	12.28	11.89	8.49
	白倉B	0.2	1.43	2.63	3.69	0.2	0.85	1.3	3.79	2.57	7.95	8.71	6.36
白倉B C	0.12	2.16	1.99	1.07	0.08	0.87	1.26	3.36	2.13	5.34	7.7	5.49	
5月	日原A	0.58	5.85	7.46	21.61	1.25	1.76	2.57	27.06	4.02	35.5	36.66	31.08
	日原A B	0.22	4.16	1.56	8.23	0.54	0.31	2.44	10.59	3.71	14.17	17.59	14.3
	日原B	0.14	3.41	2.12	6.56	0.35	0.42	1.06	9.02	3.74	12.23	14.59	12.76
	川乗A ₁₁	0.28	4.86	2.19	5.57	1.23	1.15	1.45	8.41	2.96	12.9	15.2	11.37
	川乗A ₁₂	0.19	3.21	1.9	3.75	0.91	0.76	1.28	5.97	2.73	9.05	11.65	8.7
	川乗A B	0.2	3.74	1.54	3.92	0.94	0.63	1.05	5.32	2.81	9.4	10.75	8.13
	川乗B	0.06	5.69	3.46	0.59	0.72	0.89	1.31	3.2	2.89	9.8	9.01	6.09
	川乗B C	0.09	7.65	4.4	0.83	0.65	1.02	1.36	3.18	3.17	12.97	9.38	6.35
	白倉A	0.24	3.36	1.33	3.47	2.17	0.7	1.38	4.84	2.45	8.4	11.54	7.29
	白倉B	0.09	1.93	1.58	1.01	0.98	0.62	1.2	2.57	2.83	4.61	8.2	5.4
白倉B C	0.09	2.51	2.16	0.87	0.53	0.34	0.37	1.96	2.85	5.63	6.05	4.81	
8月	日原A	0.52	2.49	9.14	17.31	0.42	0.29	2.8	20.58	3.96	29.46	28.05	24.54
	日原A B	0.2	2.37	1.46	5.19	0.34	0.11	2.27	9.65	3.58	9.22	15.95	13.23
	日原B	0.14	3.2	2.37	2.94	0.54	0.43	2.77	7.73	3.53	8.65	15	11.26
	川乗A ₁₁	0.27	2.04	1.94	5.2	0.29	0.19	1.85	8.41	3.83	9.45	14.57	12.24
	川乗A ₁₂	0.21	2.2	1.26	1.77	0.34	0.11	1.89	5.33	3.61	5.44	11.28	8.94
	川乗A B	0.15	1.84	4.38	2.63	0.32	0.33	1.8	3.15	3.6	9	9.2	6.75
	川乗B	0.17	1.82	5.9	2.82	0.38	0.23	1.71	2.28	3.66	10.71	8.26	5.94
	川乗B C	0.1	1.68	8.61	1.83	2.23	7.06	3.98	1.94	3.72	12.22	18.93	5.66
	白倉A	0.29	2.63	3.46	3.73	0.46	0.25	2.15	6.53	3.59	10.11	12.98	10.12
	白倉B	0.14	1.81	2.69	1.68	0.15	0.21	1.57	5.87	3.64	6.32	11.44	9.51
白倉B C	0.12	2.56	3.15	1.29	0.11	0.09	1.61	5	3.96	7.12	10.77	8.96	
11月	日原A	1.32	10.35	26.41	98.62	10.5	12.27	7.3	93.19	15.78	136.7	138.59	108.97
	日原A B	0.56	6.74	2.18	54.02	3.62	4.11	3.09	42.83	3.78	63.5	57.43	46.61
	日原B	0.3	6.25	1.67	13.67	0.41	0.51	2.44	13.55	3.6	21.89	20.51	17.15
	川乗A ₁₁	0.79	7.63	5.43	28.87	6.34	8.93	5.98	15.58	4.15	42.72	40.98	19.73
	川乗A ₁₂	0.55	6.87	7.69	15.14	4.73	2.15	3.51	11.96	5.67	30.25	28.02	17.63
	川乗A B	0.36	7.42	13.24	5.22	4.13	1.14	2.44	7.58	4.82	26.24	20.11	12.4
	川乗B	0.33	6.16	11.86	2.14	1.11	0.83	1.72	6.83	3.82	20.49	14.31	10.65
	川乗B C	0.2	7.94	3.35	0.09	0.43	0.37	0.97	2.64	1.56	11.53	5.97	4.2
	白倉A	0.54	7.12	6.86	10.76	0.32	1.98	1.69	10.12	5.84	25.28	19.95	15.96
	白倉B	0.28	6.13	4.11	2.34	0.29	1.1	1.55	8.77	3.52	12.86	15.23	12.29
白倉B C	0.19	5.17	4.69	0.14	0.48	0.9	1.98	6.48	3.66	10.19	13.5	10.14	

温度の単位：mg/1

Appendix 2 多摩川・秋川・荒川の河川水中の各種イオン濃度の調査地点および月別変化

月	調査地点	PO ₄	Cl	NO ₂	NO ₃	SO ₄	Na	NH ₄	K	Ca	Mg	anion	cation	Mg+Ca
2月	滝川・久度沢	0.002	0.37	0.017	0.07	10.1	3.58	0.018	0.45	9.28	0.36	10.559	13.688	9.64
	荒川・三峰橋	0.029	0.24	0.004	0.07	5.9	4.11	0.006	0.18	9.51	0.36	6.243	14.166	9.87
	多摩川・柳閣橋	0.028	0.29	0.034	0.09	9.2	4.63	0.074	0.34	8.94	0.37	9.642	14.354	9.31
	秋川・白倉橋	0.028	0.31	0.042	0.01	12	5.42	0.016	0.13	5.13	0.39	12.39	11.086	5.52
	多摩川・昭和橋	0.027	0.26	0.022	0.06	11.3	4.14	0.067	0.28	8.19	0.38	11.669	13.057	8.57
	多摩川・湧水	0.03	0.28	0.015	0.01	14.5	3.27	0.015	0.2	15.2	0.36	14.835	19.045	15.56
	入川・入川橋	0.028	0.19	0.029	0.06	10.5	3.49	0.008	0.47	9.64	0.36	10.807	13.968	10
	中津川・塩沢	0.035	0.76	0.025	0.02	14.5	3.76	0.007	0.47	15.6	0.38	15.34	20.217	15.98
	秋川・五日市橋	0.028	0.38	0.024	0.01	13.9	6.21	0.077	0.5	9.78	0.39	14.342	16.957	10.17
	多摩川・軍畑橋	0.027	0.23	0.026	0.01	11.1	4.35	0.068	0.3	10.3	0.37	11.393	15.388	10.67
	多摩川・境橋	0.026	0.2	0.024	0.01	12.8	4.91	0.01	0.08	14.7	0.3	13.06	20	15
	日原川・栃久保	0.024	0.1	0.009	0.01	12.6	4.14	0.006	0.19	9.15	0.37	12.743	13.856	9.52
	多摩川・長畑	0.026	0.24	0.049	0.01	11.9	4.03	0.049	0.25	13.9	0.37	12.225	18.599	14.27
	多摩川・鳩ノ巣	0.026	0.22	0.048	0.02	11.4	3.87	0.032	0.33	12.7	0.37	11.714	17.302	13.07
	荒川・神岡橋	0.025	0.18	0.012	0.01	18.6	4.18	0.091	0.26	11.5	0.36	18.827	16.391	11.86
	荒川・大輪	0.04	0.3	0.064	0.06	11.3	3.69	0.065	0.27	13.3	0.37	11.764	17.695	13.67
	日原川・川乗	0.03	0.49	0.022	0.06	15.7	3.16	0.063	0.48	18.4	0.47	16.302	22.573	18.87
	荒川・大血川橋	0.022	0.17	0.029	0.06	12.6	3.97	0.076	0.27	11.1	0.37	12.881	15.786	11.47
	荒川・長瀬	0.025	0.32	0.057	0.1	11.7	3.59	0.005	0.18	13.6	0.42	12.202	17.795	14.02
	荒川・菅野橋	0.023	0.28	0.039	0.07	14.6	6.64	0.046	0.16	11.9	0.41	15.012	19.156	12.31
荒川・猪鼻橋	0.022	0.26	0.042	0.06	13.6	4.98	0.014	0.08	12.3	0.4	13.984	17.774	12.7	
中津川・水神橋	0.016	0.19	0.009	0.05	12.3	6.71	0.019	0.09	12.8	0.42	12.565	20.039	13.22	
荒川・玉淀大橋	0.037	0.31	0.048	0.12	15	8.11	0.21	1.21	14.5	0.48	15.515	24.51	14.98	
5月	多摩川・昭和橋	0.028	0.21	0.063	0.06	12.2	3.65	0.047	0.22	17.8	0.36	12.561	26.802	18.18
	多摩川・南米川	0.029	0.39	0.035	0.11	15.7	7.26	0.722	0.64	13.2	0.38	16.264	17.368	13.56
	多摩川・軍畑橋	0.024	0.21	0.018	0.09	13.6	3.97	0.09	0.29	15.6	0.36	13.942	25.019	19.05
	多摩川・弁天橋	0.026	0.42	0.002	0.09	12.1	3.73	0.008	0.07	12.5	0.36	12.638	14.42	10.12
	多摩川・弁天橋湧水	0.024	0.48	0.044	0.05	14.5	5.51	0.049	0.41	18.7	0.35	15.098	14.893	9.91
	秋川・柳閣橋	0.023	0.25	0.067	0.06	10.9	3.98	0.06	0.26	9.76	0.36	11.3	11.736	9.38
	秋川・落合橋	0.029	0.38	0.058	0.09	16.1	4.59	0.083	0.31	9.53	0.38	16.657	13.725	9.39
	秋川・白倉橋	0.029	0.4	0.06	0.12	15.9	2.16	0.046	0.15	8.99	0.39	16.509	14.192	10.67
	秋川・本宿	0.023	0.3	0.054	0.09	15.8	3.85	0.075	0.41	9.02	0.37	16.267	19.481	15.16
	秋川・高尾橋	0.027	0.05	0.05	0.08	11.9	3.31	0.042	0.17	10.3	0.37	12.107	23.536	18.17
	日原川・鍾乳洞前	0.024	0.27	0.057	0.05	12.4	4.02	0.051	0.25	14.8	0.36	12.801	22.967	18.46
	日原川・川乗	0.034	0.21	0.03	0.08	11.9	4.98	0.046	0.34	17.8	0.37	12.254	24.819	21.66
	多摩川・鳩ノ巣	0.025	0.21	0.023	0.05	10.1	3.93	0.007	0.57	18.1	0.36	10.408	19.72	15.17
	日原川・鍾乳洞洞窟内	0.029	0.77	0.029	0.02	21.8	2.56	0.049	0.55	21.1	0.56	22.648	24.819	21.66
	鍾乳洞前(降雨後)	0.023	0.3	0.019	0.019	18.6	4.01	0.17	0.37	14.8	0.37	18.961	19.72	15.17
	多摩川・鳩ノ巣湧水	0.028	0.25	0.027	0.01	19.2	5.26	0.101	1.39	23.4	0.41	19.515	30.561	23.81
荒川・神岡橋	0.03	0.18	0.025	0.02	14.1	6.37	0.328	0.75	11.6	0.46	14.355	19.508	12.06	
中津川・水神橋	0.034	0.18	0.001	0.03	14.6	4.97	0.106	0.71	13.4	0.4	14.845	19.586	13.8	
8月	荒川・三十鐘橋	0.03	0.43	0.022	0.01	12.5	5.72	0.109	0.38	14.7	0.39	12.992	21.299	15.09
	多摩川・昭和橋	0.021	0.12	0.025	0.57	13.3	5.01	0.132	0.13	11.5	0.39	14.036	17.162	11.89
	多摩川・軍畑橋	0.026	0.18	0.097	0.03	15.8	5.36	0.217	0.24	17.4	0.38	16.133	23.597	17.78
	日原川・川乗	0.019	0.13	0.036	0.07	17.1	6.43	0.126	0.26	19.7	0.41	17.355	26.926	20.11
	秋川・落合橋	0.023	0.15	0.053	0.05	11.6	3.58	0.108	0.19	11.5	0.36	11.876	15.738	11.86
	秋川・白倉橋	0.021	0.2	0.071	0.06	11.4	3.69	0.073	0.18	10.8	0.34	11.752	15.083	11.14
	秋川・高尾橋	0.024	0.17	0.059	0.03	12.5	4.52	0.189	0.13	12.5	0.31	12.783	17.649	12.81
	多摩川・滝沢橋	0.026	0.35	0.035	0.1	15.6	5.14	0.07	0.43	14.9	0.37	16.111	20.91	15.27
	日原川・鍾乳洞前	0.034	0.35	0.03	0.04	18.3	4.38	0.057	0.29	16.8	0.36	18.754	21.887	17.16
11月	多摩川・昭和橋	0.032	0.2	0.008	0.09	15.9	5.18	0.076	0.92	18.9	0.38	16.23	25.456	19.28
	多摩川・軍畑橋	0.033	0.22	0.023	0.68	18.4	6.54	0.112	0.68	19.5	0.35	19.356	27.182	19.85
	日原川・川乗	0.025	0.31	0.001	0.87	19.6	6.76	0.053	1.56	18.1	0.4	20.806	26.873	18.5
	秋川・落合橋	0.025	0.35	0.016	0.91	12.3	5.01	0.068	0.75	12.8	0.35	13.601	18.978	13.15
	秋川・白倉橋	0.021	0.41	0.011	0.73	13.7	3.97	0.076	1.01	11.6	0.33	14.872	16.986	11.93
	秋川・高尾橋	0.031	0.44	0.035	0.58	14.9	3.92	0.1	0.85	12.2	0.37	15.986	17.44	12.57
	日原川・鍾乳洞前	0.036	0.15	0.001	0.37	23.1	6.95	0.05	1.94	17.5	0.37	23.657	26.81	17.87
	日原川・水川大橋	0.029	0.14	0.001	0.75	19.8	7.38	0.066	1.41	14.6	0.38	20.72	23.836	14.98
	多摩川・大沢	0.025	0.31	0.089	0.95	17.5	7.45	0.008	0.85	15.3	0.37	18.874	23.978	15.67

温度の単位: mg/l

Appendix 3 多摩川上支流域の日原川、秋川流域の各調査地点における土壌断面

■日原川・川乗地点の土壌断面

東京都西多摩郡奥多摩町川乗
黒ボク土・堆積岩起源

層位 (cm)	色	土性	構造	腐植	斑紋	礫	粗密	孔隙	乾湿	根
A ₀ (-1~0)										
A ₁₁ (0~9)	7.5YR 2 / 2	CL	亜角塊	頗る富む	-	小レキ有	4cm	-	やや湿	中小根富む
A ₁₂ (9~22)	7.5YR 2 / 3	CL	亜角塊	富む	-	ナシ	9cm	-	やや湿	中小根富む
A B (22~23)	7.5YR 3 / 3	LC	亜角塊	含む	-	ナシ	15cm	-	湿	なし
B (33~47)	7.5YR 3 / 4	LiC	亜角塊	含む	-	ナシ	20cm	-	湿	根あり

■日原川・日原地点の土壌断面

東京都西多摩郡奥多摩町日原・八丁山
褐色森林土・堆積岩起源 (石灰岩地)

層位 (cm)	色	土性	構造	腐植	斑紋	礫	粗密	孔隙	乾湿	根
A ₀ (-5~0)										
A (0~6)	7.5YR 3 / 2	SL	弱くず粒	富む	-	小レキ富む	2cm	ナシ	湿	中小根富む
A B (6~19)	7.5YR 4 / 3	CL	極弱亜角塊	含む	-	中小レキ含む	8cm	有	湿	大中小根含む
B (19~31)	7.5YR 4 / 4	LC	極弱亜角塊	あり	-	大中小レキ含む	10cm	含む	湿	中小根含む

■秋川・桧原地点

東京都西多摩郡檜原村白倉
褐色森林土・堆積岩起源

層位 (cm)	色	土性	構造	腐植	斑紋	礫	粗密	孔隙	乾湿	根
A ₀ (~2~0)										
A ₁ (0~10)	10YR 3 / 2	CL	亜角塊	頗る富む	-	小レキ含む	4cm	ナシ	やや湿	大中小根富む
A ₃ (10~35)	10YR 3 / 3	LiL	亜角塊	富む	-	小中レキ含む	10cm	ナシ	湿	大中小根富む
B ₁ (35~73)	10YR 4 / 3	LiC	亜角塊	含む	-	大中小レキ含む	19cm	有	湿	中小根富む
B ₂ (73~90)	10YR 4 / 4	HC	亜角塊	含む	-	大中小レキ含む	22cm	含む	湿	中小根含む

Appendix 4 植生調査

I	高木層	II	亜高木層	III	低木層	IV	草本層	V	コケ種
---	-----	----	------	-----	-----	----	-----	---	-----

奥多摩町日原地点 (ケヤキ・イロハモミジ群集)

S	D. S.	SPP.
I	2.1	ケヤキ
	3.3	サワシバ
	3.2	イヌブナ
	1.1	ウワミズザクラ
II	2.2	サワシバ
	1.1	アワブキ
	1.1	イヌブナ
	1.1	イロハモミジ
III	+	ヤマツツジ
	1.1	アワブキ
	1.1	サワシバ
	+	カヤ
	+	ツガ
	+	ムラサキシキブ
IV	+	ミヤマガマズミ
	+	コアジサイ
	+	ケヤキ
	+	マルバウツギ
	+	ミツバアケビ
	+	エイザンスミレ
	+	カエデドコロ
	+	フタリシズカ
	+	ガクウツギ
	+	タチツボスミレ
	+	ツルウメモドキ
	+	モミ
	+	ヘビノネゴザ
+	イタヤカエデ	

奥多摩町川乗地点 (ヒノキ人工林)

S	D. S.	SPP.
I	5.5	ヒノキ
IV	+	ムラサキシキブ
	+	イタヤカエデ
	+	テイカカズラ
	+	オオバアサガラ
	+	コアジサイ
	+	イロハモミジ
	+	マツブサ
	+	ヘビノネゴザ
	+	チドリノキ
	+	クサコアカソ
+	ノリウツギ	

檜原村白倉地点（二次林）

S	D. S.	SPP.
I	4.5	モミ
	1.1	ヒノキ
	2.1	コナラ
II	2.2	アカシデ
	1.1	ホオノキ
	+	シラカシ
	1.1	アラカシ
	1.2	コナラ
III	1.1	アオキ
	1.2	アオハダ
	1.1	ヤマボウシ
	1.1	ミヤマガマズミ
	+	ノリウツギ
	+	コバノガマズミ
	+	ウグイスカグラ
	+	チョウジザクラ
	+	イヌツゲ
	1.1	アラカシ
	1.1	クロモジ
	+	ウワミズザクラ
	1.1	ウリカエデ
	+	ムラサキシキブ
	+	マルバウツギ
	+	ツクバネウツギ
	+	ツリバナ
	+	オトコヨウゾメ
	+	ヤマツツジ
	+	カヤ
+	アセビ	
+	ダンコウバイ	
+	アオダモ	
IV	3.3	アズマネザサ
	1.1	シラカシ
	+	イヌガヤ
	1.1	アラカシ
	+	クリ
	1.1	クロモジ
	+	コゴメウツギ
	+	ウリカエデ
	+	ヒノキ
	1.1	ヤマコウジ
	1.1	チゴユリ
	3.3	オオバジャノヒゲ
	+	ヌルデ
	+	ツルウメモドキ
	1.1	チャノキ
	2.2	テイカカズラ
	+	ヤマテルノイバラ
	1.1	ナガバノコウヤボウキ
	+	ヤマノイモ
	+	ツルグミ
+	ヤブレガサ	
+	サルトリイバラ	
+	シュンラン	
+	サワフタギ	

檜原村白倉地点（スギ人工林）

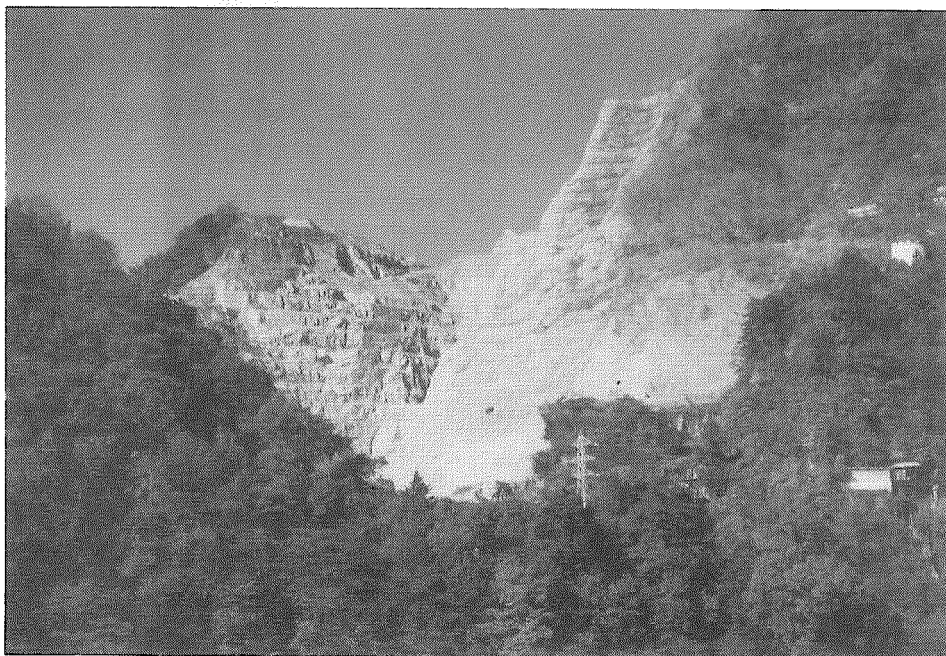
S	D. S.	SPP.
I	5.5	スギ
III	+	アブラチャン
IV	+	ジャノヒゲ
	+	ホソバノヒカゲスゲ
	+	テイカカズラ

写 真 資 料

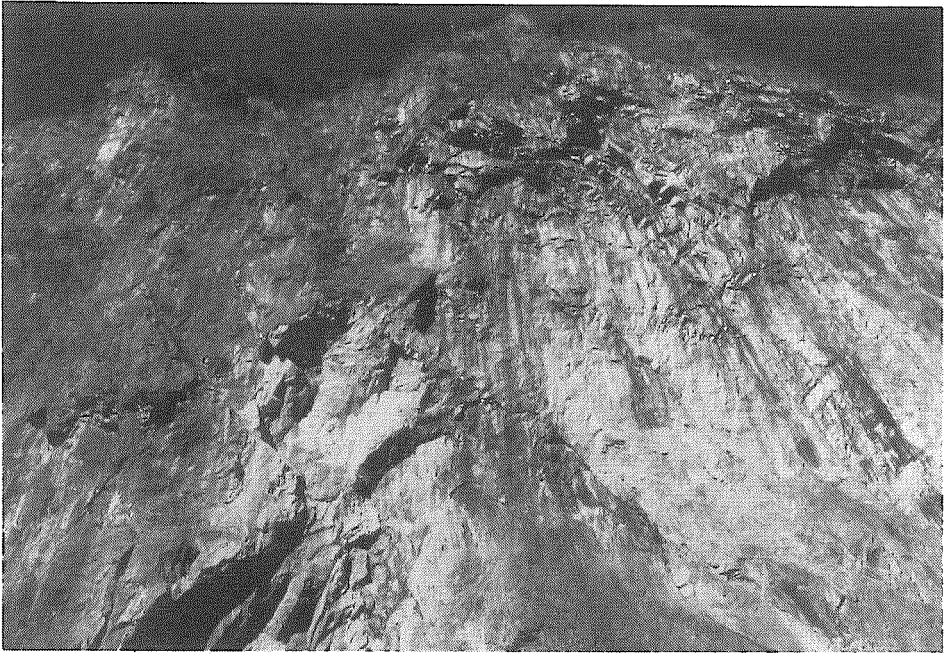
- A : 日原川上流域
- B : 石灰岩採掘場
- C : 石灰岩地
- D : 石灰岩採掘後の森林
- E : 日原地点付近の石灰露岩
- F : 石灰岩地の落葉広葉樹林
- G : 日原川上流
- H : 日原地点付近の石灰露岩
- I : 日原地点前河原
- J : 日原鍾乳洞
- K : 日原地点の落葉広葉樹林と土壤断面
- L : 日原川川乗付近
- M : 川乗地点のヒノキ林と土壤断面
- N : 秋川溪谷
- O : 秋川白原地点付近
- P : 秋川溪谷
- Q : 秋川・五日市付近と河原
- R : 秋川溪谷・白倉地点の土壤断面



A：日原川上流域



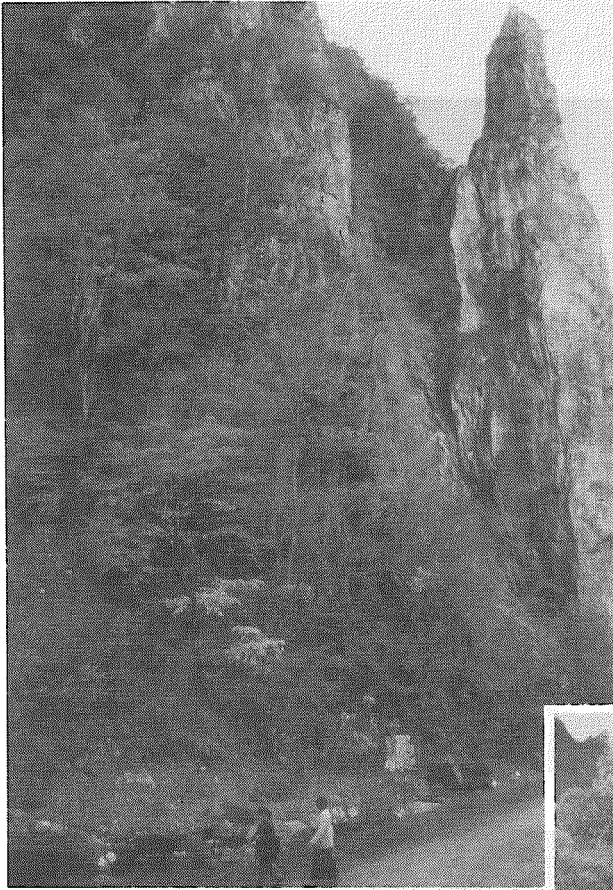
B：石灰岩採掘場



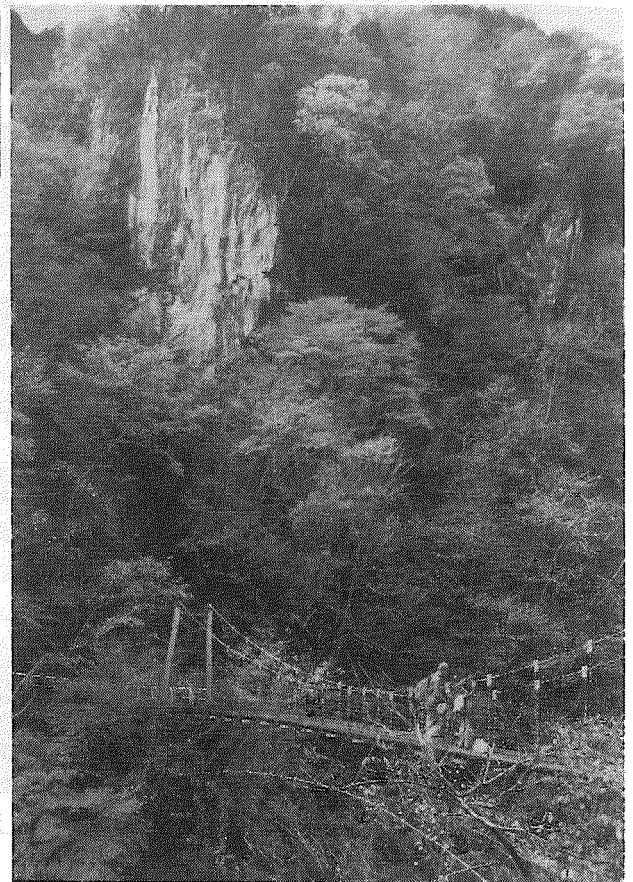
C : 石灰岩地



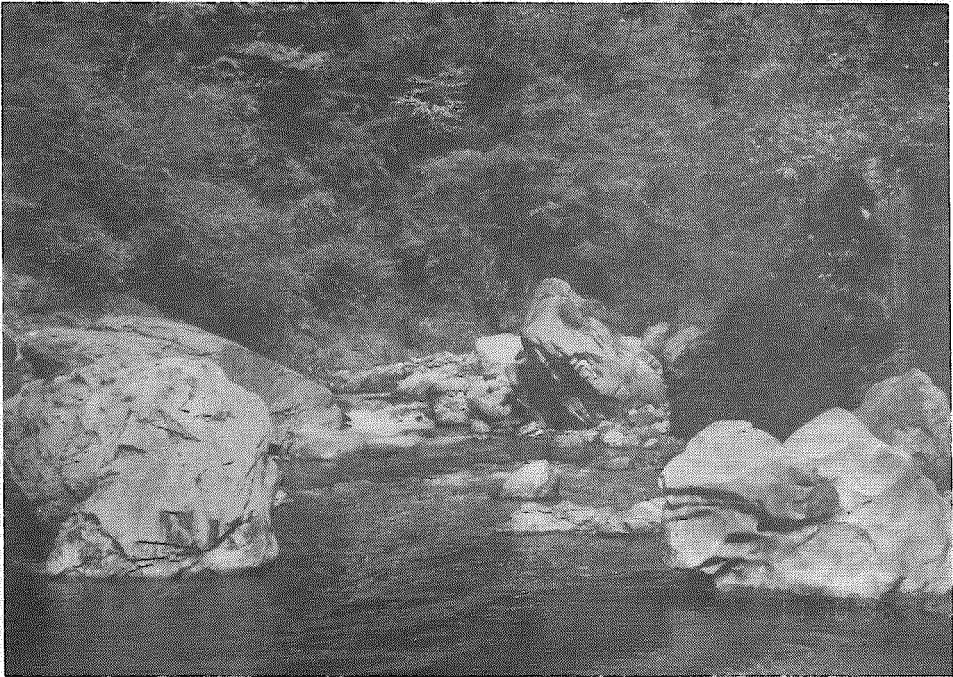
D : 石灰岩採掘後の森林



E : 日原地点付近の石灰露岩



F : 石灰岩地の落葉広葉樹林



G : 日原川上流

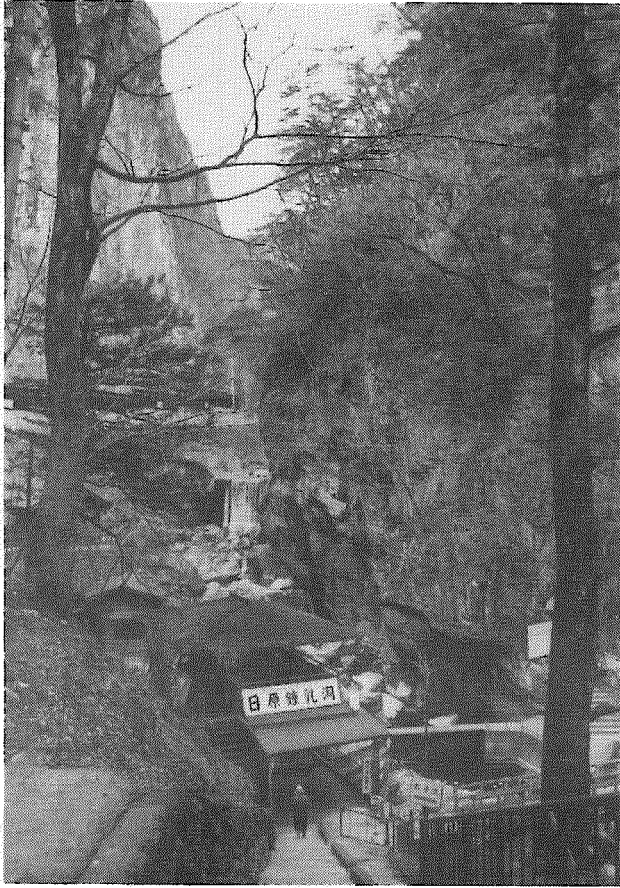
1988年10月20日撮影



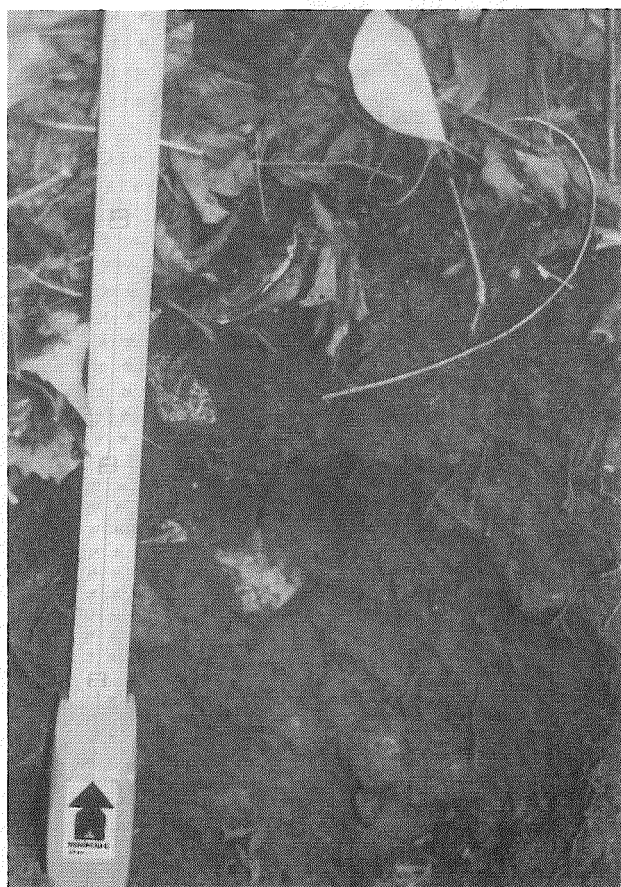
H：日原地点付近の石灰露岩



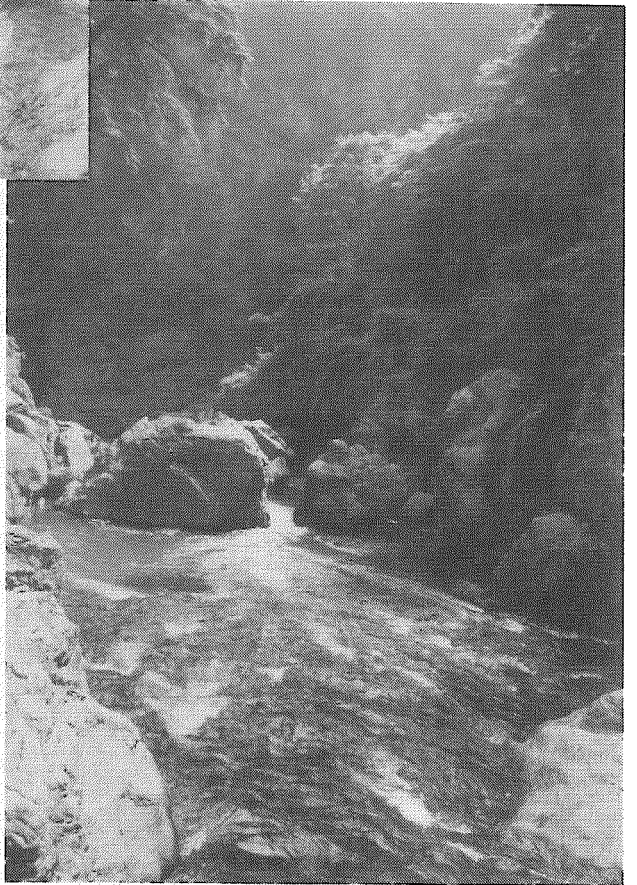
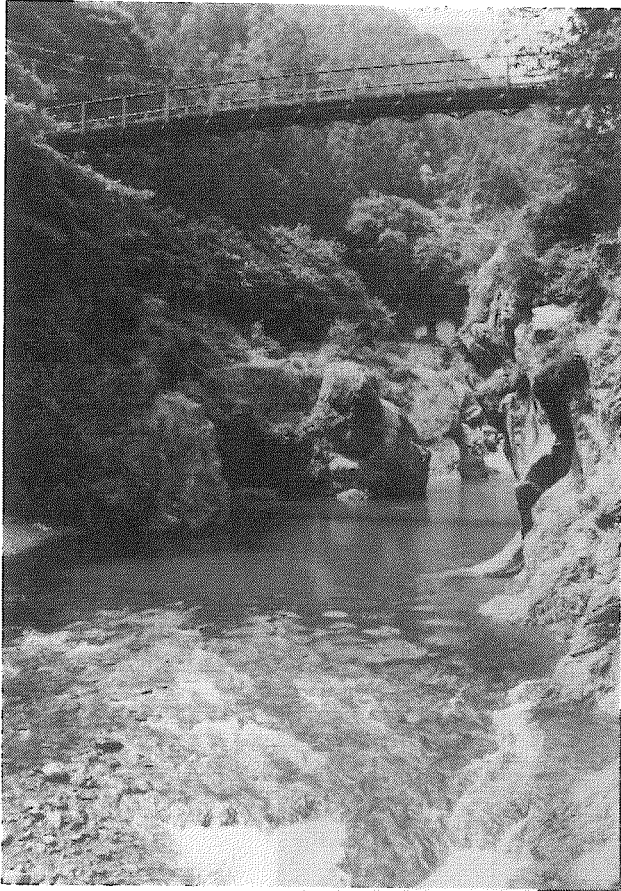
I：日原地点前河原



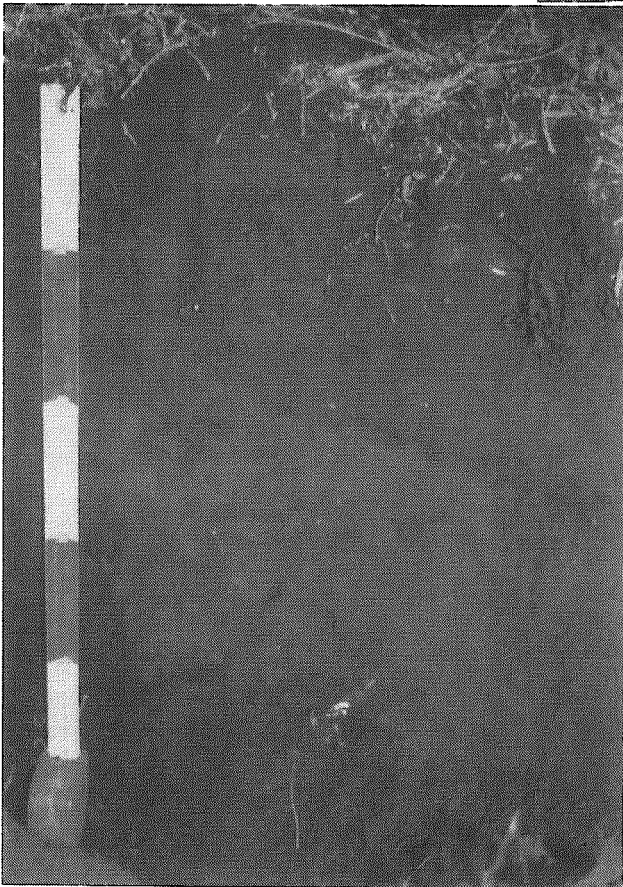
J : 日原鍾乳洞



K：日原地点の落葉広葉樹林と土壌断面



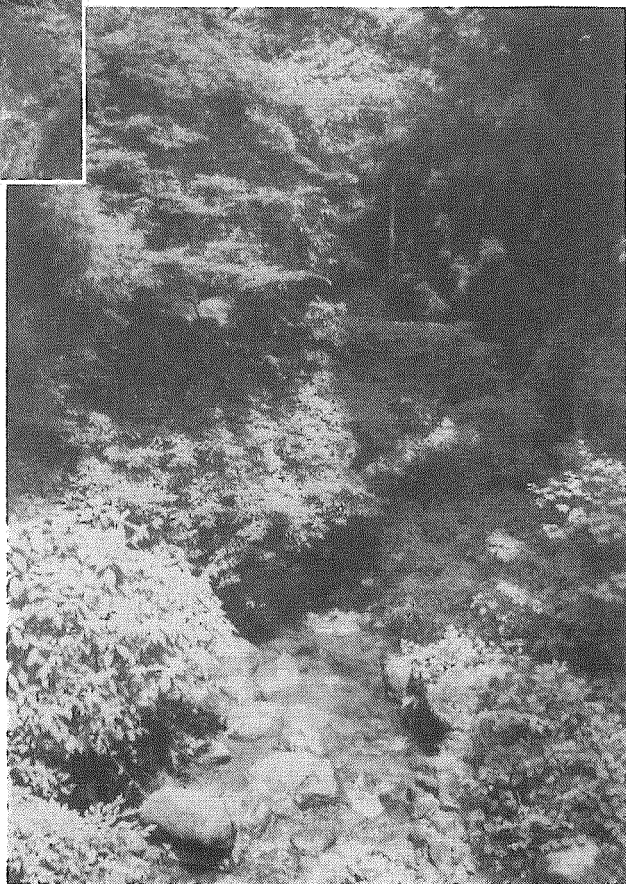
L : 日原川川乗付近



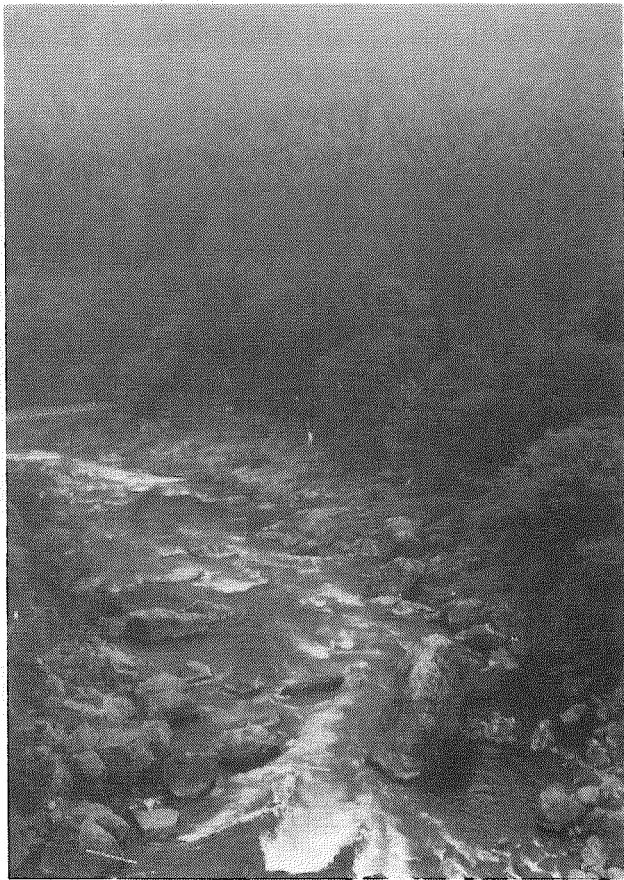
M：川乗地点のヒノキ林と土壌断面



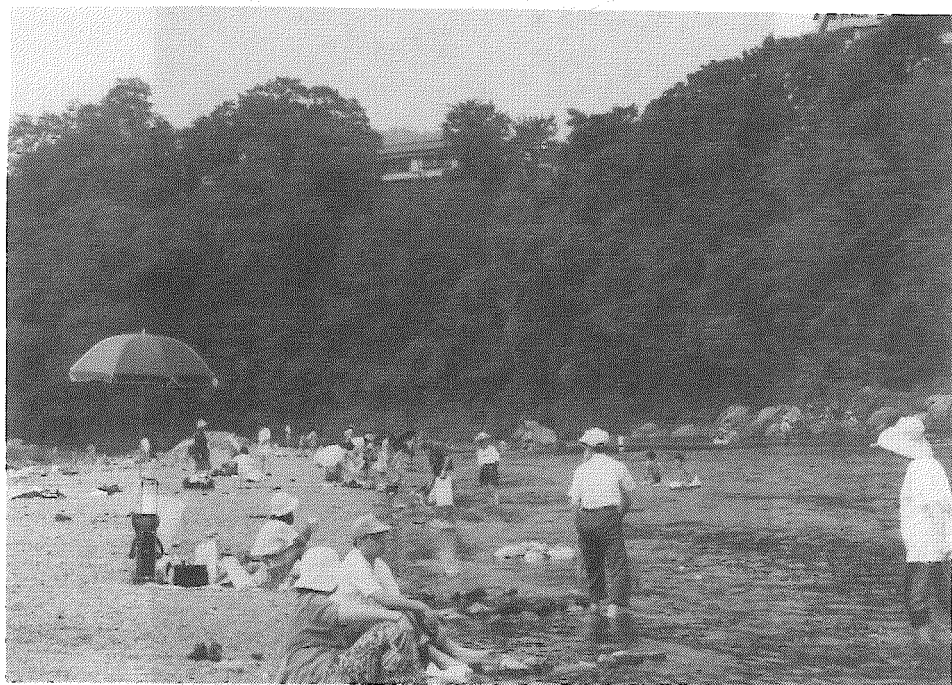
N : 秋川溪谷



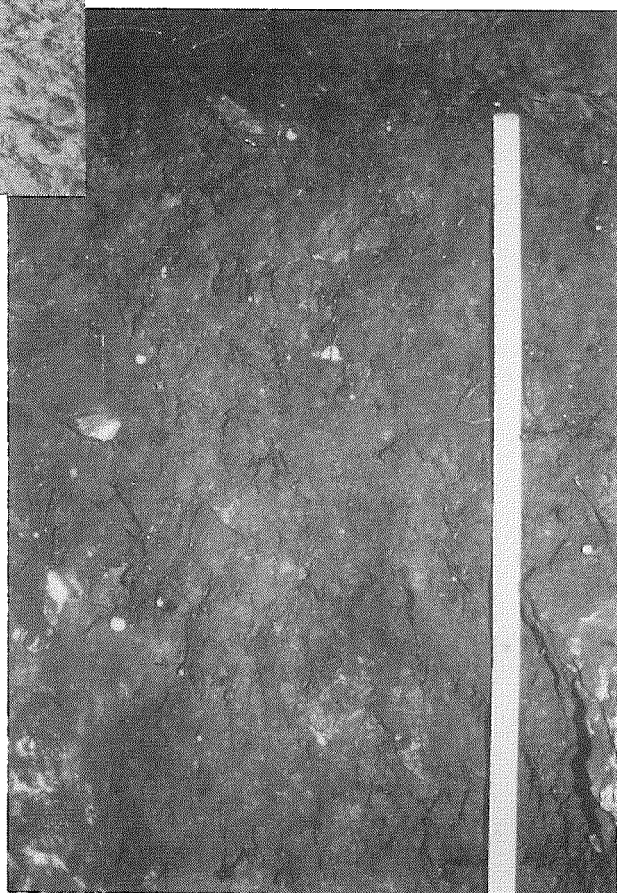
O : 秋川白原地点付近



P : 秋川溪谷



Q：秋川・五日市付近と河原



R：秋川溪谷・白倉地点の土壤断面

た ま がわじょう しりゅういき どじょうせいたいがくてき ひかく かん けんきゅう
「多摩川上支流域の土壤生態学的比較に関する研究」

(研究助成・一般研究VOL. 22-No.120)

著 者 ふく だ だし
福 田 直
発行日 2001年 3月31日
発 行 財団法人 とうきゅう環境浄化財団
〒150-0002
渋谷区渋谷 1-16-14 (渋谷地下鉄ビル内)
TEL (03)3400-9142
FAX (03)3400-9141
