

## 東京都水道水源山地流域におけるヒノキ及びカラマツの植林が土壌化学過程に及ぼす影響

村井 知里\*・小野寺 真一\*\*・安道 幸仁\*\*\*・野田 岳史\*\*\*\*・成岡 朋弘\*\*\*\*\*

\* : 国際航業非常勤職員、広島大学総合科学部平成11年度卒業生

\*\* : 広島大学総合科学部

\*\*\* : 倉吉市役所

\*\*\*\* : 山梨県庁

\*\*\*\*\* : 広島大学生物圏科学研究科

## Effect of forestation of hinoki and larch on soil chemistry in mountainous water source area for water supply to Tokyo

Chisato Murai\*, Shin-ichi Onodera\*\*, Yukihito Andoh\*\*\*, Takeshi Noda\*\*\*\* and Tomohiro Naruoka\*\*\*\*\*

\* : *Temporary staff, Kokusai Kogyo Co., Ltd, Graduation in 1999*

\*\* : *Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University*

\*\*\*\* : *Kurayoshi City Government*

\*\*\*\*\* : *Yamanashi Prefectural Government*

\*\*\*\*\* : *Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University*

**Abstract :** Effects of forestry on soil properties, stream water chemistry and mass balance in watersheds had been confieremed by many previous studies. However, they have not clarified in detail variation processes of soil chemistry and soil physics after the hinoki and larch forestation. To clarify the variation processes, it is important to confirm the difference of soil chemistry and soil physics on the artifitial and natural forest. In this research, we conducted the soil physical and chemical investigations on seven slopes covered by hinoki (*chamecyparis obtusa*) and larch (*Larix leptolepis*) artificial and beech (*Fagus crenata*) natural forest in a high-land area, the western side of Tokyo. The water repellency of A<sub>0</sub> horizon was stronger on the artificial forest slope than on the natural forest. In addition, the permeability was low on the artificial forest due to the strong water repellency. On the artificial forest, both of the exchangeable base cation content and soil pH were low and Al<sup>3+</sup> concentration was high, as compared with those on the natural forest. These results suggest that the soil acidification is progressed on the artificial forest. The decline of soil pH by the forestation was controlled by the increase of H<sup>+</sup> supply at the A<sub>0</sub> horizon due to the property of litter decomposition and the decrease of base cation supply at the A-horizon. In general, the cation supply rate such as weathering rate is controlled by the infiltration rate and temperature. These soil physical and chemical properties suggest that infiltration rate at the A-horizon declines after the forestation, weathering rate declines and consequently soil is acidified.

## はじめに

山梨県に水源を持ち東京都を西から東にかけて横断し東京湾に流入する多摩川は、東京都民に最も親しまれてきた河川の一つである。この最上流域には、日本で最大の水道水源用ダムが建設され、奥多摩湖として東京都によって管理されてきた。しかし、大気中に含まれる酸性物質を含む汚染物質が、東京都側から水源地域に侵入している可能性が示唆され(鶴見・一國, 1989)、今後の水源水質の変化が注視されている。ただし、多摩川最上流域は標高が2000mに至る山地で、植生、地質も多様であり、環境変化に対する水質形成の変化は、立地環境毎に異なることが予想される(小野寺, 2000)。将来における水質変動の予測のためにも、現在における立地環境毎の水質形成を解明することが必要である。例えば、標高にともなう土壌化学性、化学風化過程、湧水水質の変化については安道ら(2000)、Naruoka and Onodera(1999)、Onodera et al.(1998)が、地質の違いによる流出過程の違いについてはMiyaoaka et al.(1999)がそれぞれ明らかにしている。しかし、本地域における植生の違いによる土壌化学性の影響については明らかではない。

森林減流域における土壌特性や水源水質に及ぼす植生の影響を論じた研究は、従来多くある。土壌の物理性の変化に関しては、人工林施業にともなう浸透能の変化としてヒノキ林の例が多く報告されている。清野(1988)は、ヒノキで林冠の閉鎖にともない下層植生が衰退し、林床の裸地化が進むことを示した。さらに、小林(1982)や有光(1987)は表層土壌で粗孔隙量が減少することを、湯川・恩田(1995)は土壌硬度が高く乾燥した皮膜が形成され浸透能が低下していることを確認した。この皮膜は、いわゆる土壌クラストである(恩田・山本, 1998)。Chen et al.(1980)によると、クラストとは裸地の土壌表面に存在する難透水性の皮膜で、主に雨滴衝撃の増加により団粒構造が破壊され土壌粒子が目詰まりを起こした結果形成されるものである。また、宮川ら(1988)はこのように浸透能が低下し地表流が発生した結果、土壌侵食が生じることを報告している。さらにRichardson and Hole(1978)は植生による土壌の撥水性を比較し、落葉樹林の土壌に比べて、草原焼失地の土壌や菌糸の多い腐植土を有する針葉樹林で撥水性の強度が強いことを指摘した。このように、人工林施業によって土壌の物理環境はもちろん水文過程も変化する。奥多摩上流域のように標高700m以上の山地流域では天然に落葉広葉樹林(ブナ林)が分布するが、このような地域での人工林施業にともなう土壌物理性及び水文過程に関する影響を明らかにした研究は少なく、また、土壌の化学特性や養分環境との関連も十分に明らかにされていない。

さらに、森林生態系の物質循環を解明するために1960年代から渓流水質データが集められ(Likens et al., 1967; 岩坪・堤, 1968など)、森林植生による水質への影響が議論されてきた(Vitousek, 1977; 広瀬ら, 1988)。直接的な影響としては、Vitousek(1977)が養分吸収量の低下する老齢林の流域で渓流水の $\text{NO}_3^-$ 濃度が高いことを指摘し、Lelong et al.(1990)が広葉樹林に比べてトウヒ林(針葉樹林)からなる流域で河川水の酸性化の傾向を明らかにした。針葉樹林での酸性化傾向はその他の研究でも報告され(井上ら, 1993; 堀田ら, 1993)、針葉樹の葉面積が大きいため大気酸性降下物の捕獲量が多いと推察されている(Matznner and Meiwes, 1989)。一方で、間接的影響については、浅野ら(2000)が森林の成長にともない土層の厚さが増し結果として酸緩衝能が増大することを、澤田・加藤(1991)が人工林の成長にともない土壌中の塩基蓄積量が増加することを、小野寺ら(1996)がライシメータ上の植栽木の伐採により土壌水の濃度が低下し、それにもない吸着容量が変化し流出化学成分が変化することをそれぞれ報告している。すなわち、植生の変化に対して土壌特性が変化し間接的に渓流水質が変化することを意味し、この影響は無視することが出来ないことを示唆している。しかし、植生の変化にともなう土壌の物理特性及び化学特性の変

化を総合的に評価した例はほとんどなく、調査事例の蓄積が必要である。

そこで、本論では物質循環速度の低い落葉広葉樹林帯(ブナ林帯)において、人工林施業にともなう土壌の変化について、特に、人工林化にともなう1)土壌の浸透特性・物理的特性の変化、2)土壌の化学特性の変化を明らかにすることを目的とした。

## 調査方法

### 1. 調査地域

調査地域は山梨県東部の関東山地で、多摩川の最上流域である(図1)。地域の標高は概ね1300m程度で、地質花崗閃緑岩からなる。本地域の植生は、標高1200mから1600mで、カラマツ(*Larix leptolepis*)とヒノキ(*chamecyparis obtusa*)の複層林からなる森林(人工林施業が行われているため本論中では「人工林(AF)」と呼ぶ)と、ブナ(*Fagus crenata*)やミズナラ(*Quercus crispula*)などからなる落葉広葉樹林(ここでは「天然林(NF)」と呼ぶ)が主流となっている。

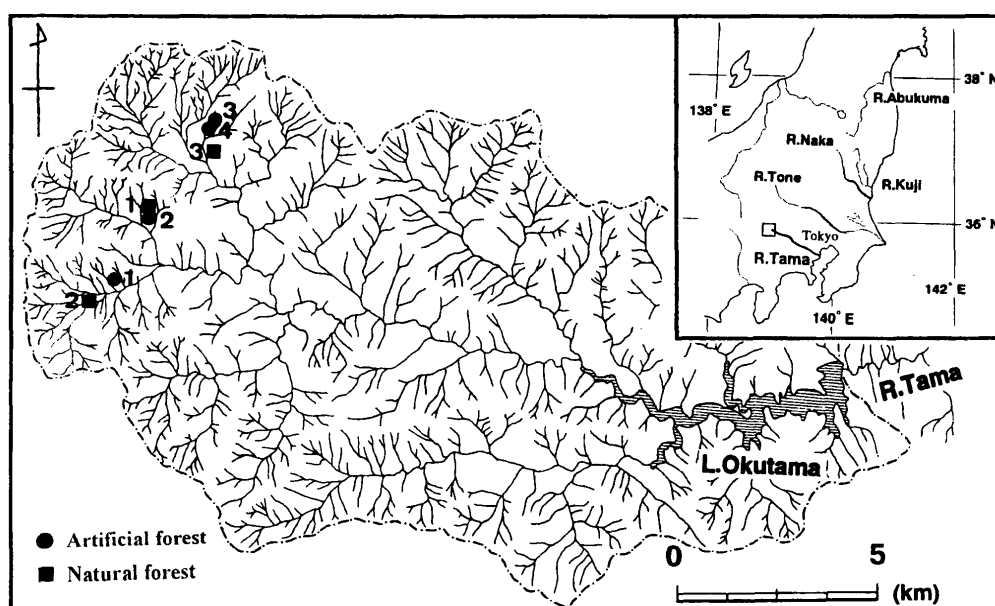


図1 調査地域

試験斜面として標高が1300m~1400mの範囲にあたる小流域の斜面を7つ選定した(図1)。この際、各々の斜面がほぼ南向きであるよう注意して選定を行った。このうち4つはほぼ同じ林齢(約40年)の人工林、3つは天然林からなる斜面である。流域は、0次谷の末端で湧水のみられる1次谷である。

### 2. 調査方法

7試験斜面(人工林4斜面、天然林3斜面)で、斜面測量、土壌サンプリング、及び土壌物理性の測定を行った。現地調査は、1998年8月21日~27日(以下夏季)、及び10月31日~11月3日(秋季)に行った。各時期の気候条件は以下のとおりである。降水量は15日降水量で100mmの差がみられ、夏季の方が乾燥している傾向をもつ。また、気温は夏季が20℃と秋季より10℃近く高い。各斜面では、湧水から尾根部まで一定間隔(斜面距離で4~10m)毎にA層の土壌を採取した。同時

に、体積含水率（夏季のみ）を測定した。体積含水率は、TDR水分計（TRIME）を用いて各地点でそれぞれ3ヶ所ずつ測定した。AF1及びNF1においては、1998年秋に生産された新しいリターと1997年以前に堆積したと思われる変色したリターを11月1日に採取した。

試料採取を行った各地点において、A<sub>0</sub>層とA層（夏季のみ）の水滴侵入時間（The water drop penetration Time；WDPT）を測定した。WDPTは、Richardson and Hole（1978）によって行われた方法を用い、土壌面に滴らした3～4滴の水滴が完全に浸み込むまでの時間として測定した。WDPT測定は、特に手法の簡便さから乾季における野外での測定に適している。撥水性とは、通常90°以下である水と土粒子の接触角が90°以上になるような状態であり、そのため毛管上昇は通常0以上になる土粒子の間隙で、0以下になる。土粒子を覆っている自然の界面活性による撥水性によって、結果として水滴は速やかに浸み込むことができなくなる。すなわち、この実験は土壌の時間経過に対する水の湿润耐性に対する初期の保水力と撥水性を表すため、この測定値を土壌の撥水性の指標とした。経験的に、WDPA値が5秒を超える土壌では撥水性があると考えられている（Krammes and DeBano, 1965）。

異なる林分における表層土壌の浸透能を比較するため、表層の攪乱が少ない散水型浸透能試験を行った。浸透能試験は、1998年11月1、2日に、AF1およびNF1において、各5地点（斜面距離で約20mおき）で行った。人工降雨は、農業用噴霧機（TOSHIBA、ガーデンプレーEH-53）を使用し20cm×20cmの範囲に散水した。散水部の下流側には、幅20cmの表面流トラップをA<sub>0</sub>層とA層の境界に攪乱のおきないように設置した。流量は3分間隔で測定し、その浸透速度がほぼ一定になった12分～15分を散水時間とし、測定終了前3分間の浸透能を最終浸透能とした。平均散水強度は390mm/hであった。また、各地点では100cc採土円筒で表層土壌（A層）を不攪乱で採取し、飽和透水試験を行った。さらに、この土壌サンプルを用いて吸引法によりpF試験を行った。

各斜面において採取した土壌及びリターは実験室に持ち帰り、土壌pH（H<sub>2</sub>O）を測定した。生土と蒸留水を1：5の比率で混ぜ合わせ、1時間ほどおいて濾過した後pHを測定した。測定にはポータブルpH計（東亜電波HM-12P）を用いた。ただしリターについては1：10の割合で行った。また、各土壌は105℃でリターは60℃で乾燥させ含水比を求めた。さらに、土壌の水抽出液はイオンクトマトグラフィ、分光光度計及びICP発光分析装置で各成分の定量を行った。また、秋季のAF1及びNF1の土壌サンプルを使って、吸引法（Peech法）により陽イオン交換容量（CEC）及び全交換性塩基量を測定した。

## 結 果

### 1. 試験斜面における土壌物理性の分布

試験斜面のうちNF1及びAF1の地形断面及び夏季に土壌調査を行った地点とその結果（A<sub>0</sub>層の厚さ、体積含水率平均、A<sub>0</sub>層及びA層のWDPT）を図2に示す。斜面傾斜は平均40～45°と急傾斜である。斜面下部では人工林斜面に比べて天然林斜面でA<sub>0</sub>層の厚さが薄い傾向を示すが、斜面上部では天然林斜面で厚い傾向がみられる。各斜面での表層土壌の土色はほぼ黒褐色であり、褐色森林土からなる。体積含水率は大きな差はみられない。水侵入時間（WDPT）は、人工林斜面のA<sub>0</sub>層及びA層が1～4560秒及び2～2700秒と、天然林斜面のA<sub>0</sub>層及びA層が2.1～240秒及び0.8～19.8秒であるのに対して、ともに長い。Richardson and Hole（1978）の研究では、落葉広葉樹林で3.5～15秒であるのに対し、針葉樹林で1～1800秒以上の値を観測しているのと同様に、人工林斜面のA<sub>0</sub>層とA層で撥水性の強度が強いことが示された。

表1に、AF1及びNF1における浸透能試験結果及び100cc採土円筒試料の飽和透水係数を示す。人工林斜面で92mm/h～245mm/h(平均137.9mm/h)、天然林斜面で165mm/h～305mm/h(平均254.5mm/h)と、人工林斜面で半分程度低い値を示す。飽和透水係数は、人工林斜面で $1.4 \times 10^{-2}$ cm/s～ $6.9 \times 10^{-2}$ cm/s(平均 $2.64 \times 10^{-2}$ cm/s)、天然林斜面で $2.0 \times 10^{-3}$ cm/s～ $3.3 \times 10^{-2}$ cm/s(平均 $1.1 \times 10^{-2}$ cm/s)とやや人工林斜面で大きい。pF試験の結果によれば、広葉樹林土壌で大孔隙の割合がやや高い傾向を示す。

2. 土壌の化学性

図3に試験斜面における夏季及び秋季の土壌pH(H<sub>2</sub>O)の分布を示す。夏季の人工林斜面ではpH(H<sub>2</sub>O)が3.92～5.54(平均4.7)、天然林斜面では4.53～5.7(平均5.0)である。人工林斜面ではおよそ5以下、天然林斜面では5以上の値を示す。多くの

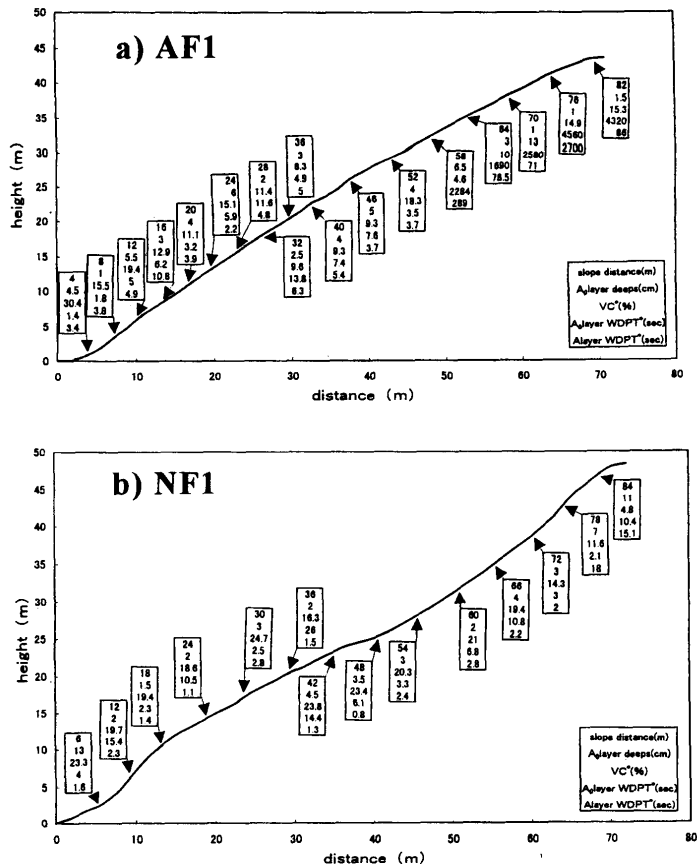


図2 試験斜面縦断形と土壌調査結果 (a) AF1、(b) NF1

表1 現場浸透能試験結果 (AF1、NF1) 及び 100cc円筒試料の飽和透水係数

	R.H <sup>*1</sup> (m)	slop (°)	A <sub>0</sub> T <sup>*2</sup> (cm)	ω <sup>*3</sup>	I.R <sup>*4</sup> (mm/h)	R.I <sup>*5</sup> (mm/h)	Ks <sup>*6</sup> (cm/s)
AF1	4.6	39.5	2	0.586	92	300	$1.4 \times 10^{-2}$
	16.6	37.5	2.5	0.765	245	450	$1.4 \times 10^{-2}$
	28.1	31.5	4	0.938	105	420	$1.4 \times 10^{-2}$
	33.1	32.5	3	0.635	97.5	408	$6.9 \times 10^{-2}$
	39	25.5	1	0.671	150	390	$2.1 \times 10^{-2}$
a.v			2.5	0.719	137.9		$2.6 \times 10^{-2}$
NF1	5.2	46.5	7.5	1.005	305	348	$8.9 \times 10^{-3}$
	17.4	37.5	2	0.759	260	330	$2.0 \times 10^{-3}$
	26	24.5	3	0.951	262.5	318	$8.6 \times 10^{-3}$
	37.3	37.5	3	0.653	165	300	$4.6 \times 10^{-3}$
	48	34	11	0.707	280	300	$3.3 \times 10^{-2}$
a.v			5.3	0.815	254.5		$1.1 \times 10^{-2}$

\*1 R.H: relative height from the spring point to the plot \*2 A<sub>0</sub>T: A<sub>0</sub> layer thickness \*3 ω: mass soil water content  
\*4 I.R: Final infiltration rate \*5 R.I: Rainfall intensity \*6 Ks: Saturated hydrologic conductivity

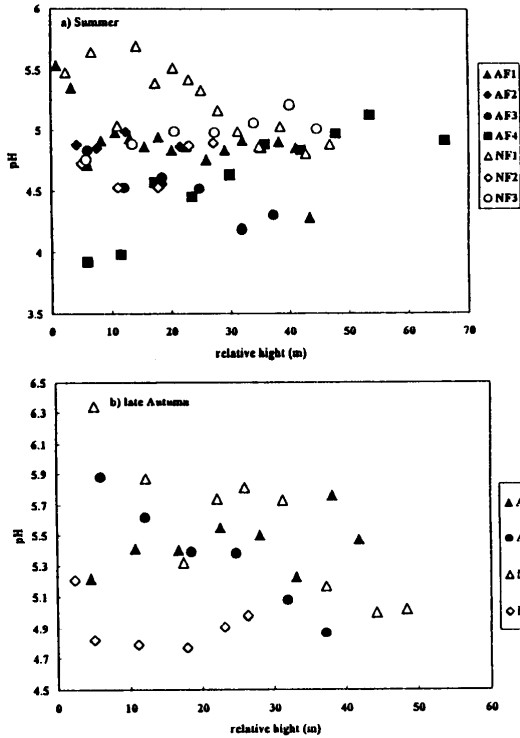


図3 土壌pH (H<sub>2</sub>O) の分布。(a) 夏季及び (b) 秋季

斜面では、湧水からの比高とともにpHが低下する傾向を示したが、一部、逆の傾向もみられる。秋季の人工林斜面ではpH (H<sub>2</sub>O) が4.87~6.17(平均5.4)、天然林斜面では4.77~6.53(平均5.2)であり、夏季のような明瞭な変化は見られない。

図4に夏季の土壌抽出液中の化学組成について示す。有機酸濃度については、陽イオン総量と陰イオン総量の差から算出した。なお、図示した有機酸濃度は本論で分析した分析誤差やその他微量元素を考慮に入れても有意な値であると考えられる。陽イオンではCa<sup>2+</sup>及びNH<sub>4</sub><sup>+</sup>イオンが、陰イオンではNO<sub>3</sub><sup>-</sup>イオン及び有機酸が大部分を占めている。特に、斜面下部でCa<sup>2+</sup>及びNO<sub>3</sub><sup>-</sup>が、上部でNH<sub>4</sub><sup>+</sup>と有機酸がそれぞれ対になって主要成分を成している。また、その他の主要陽イオンはCa<sup>2+</sup>及びNH<sub>4</sub><sup>+</sup>イオンとともに斜面下部で濃度が上昇する傾向をもつ。全体の総イオン量は、人工林で天然林に比べやや低い傾向 (AF 平均0.345meq/100g、NF 平均0.384meq/100g) がみられる。

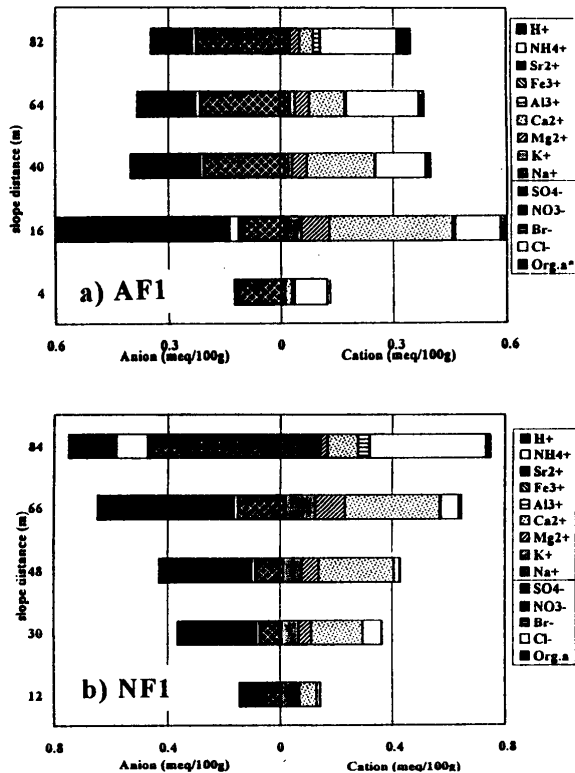


図4 夏季の土壌抽出液中の化学組成。(a) AF1、(b) NF1

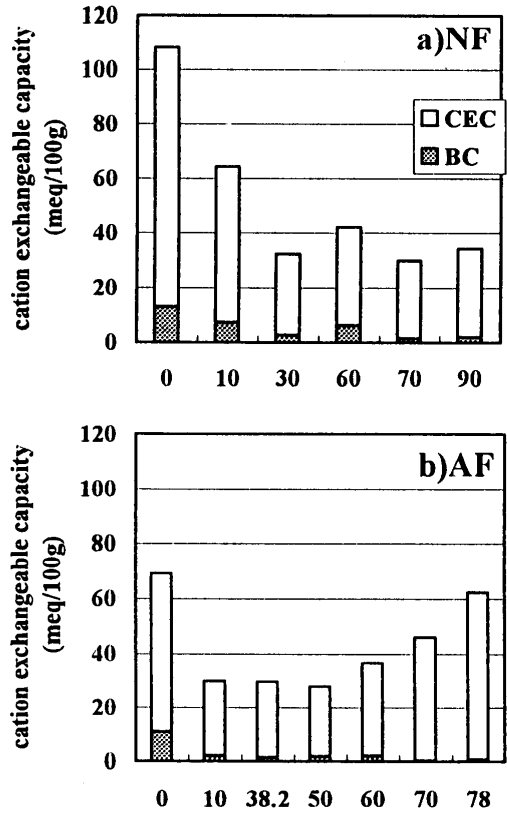


図5 陽イオン交換容量 (CEC) と交換性主要塩基量 (BC) の分布

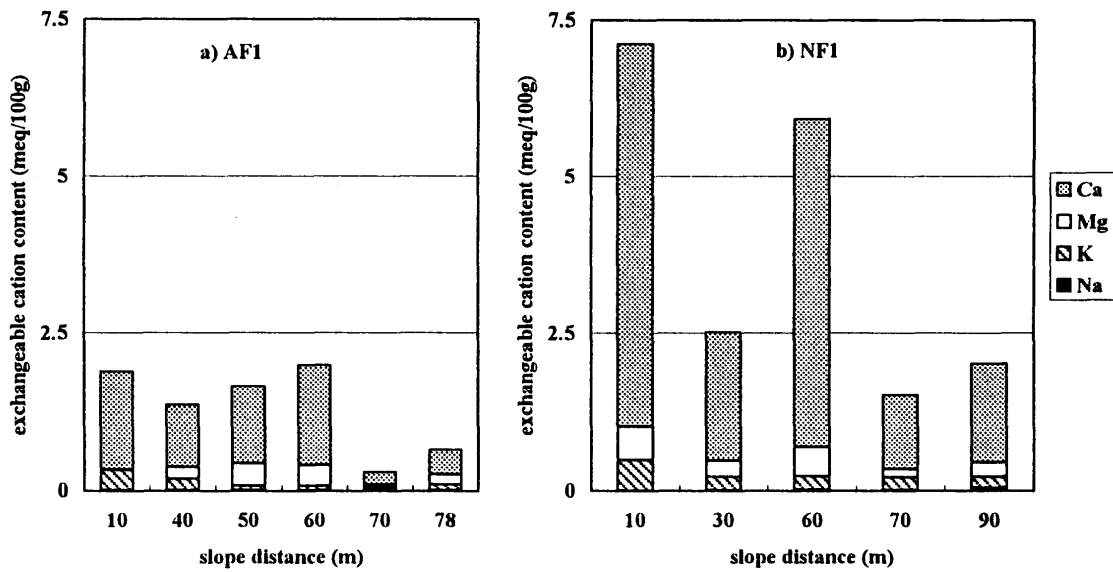


図6 全交換性塩基の組成

図5に陽イオン交換容量 (CEC) 及び全交換性主要塩基量 (BC) を示す。陽イオン交換容量 (CEC) は人工林斜面で 29.69 ~ 62.28 meq/100g (平均 38.52 meq/100g)、天然林斜面で 30.04 ~ 64.53 meq/100g (平均 40.67 meq/100g) であり、わずかに天然林で高い傾向を示す。全交換性主要塩基は、天然林斜面で 1.5 ~ 7.1 meq/100g (平均 3.83) と人工林斜面での 0.8 ~ 2.1 meq/100g (平均 1.31) に比べ高い値を示す。図6に全交換性塩基の組成を示す。全交換性塩基の大部分を  $\text{Ca}^{2+}$  が占める。全交換性塩基は斜面下部でより高い傾向を示し、特に  $\text{Ca}^{2+}$  が増加している。塩基飽和度は、人工林で 0.6 ~ 6.4% (平均 4.1)、天然林で 5.0 ~ 11.1% (平均 8.8) と天然林で 2 倍近い値を示す。

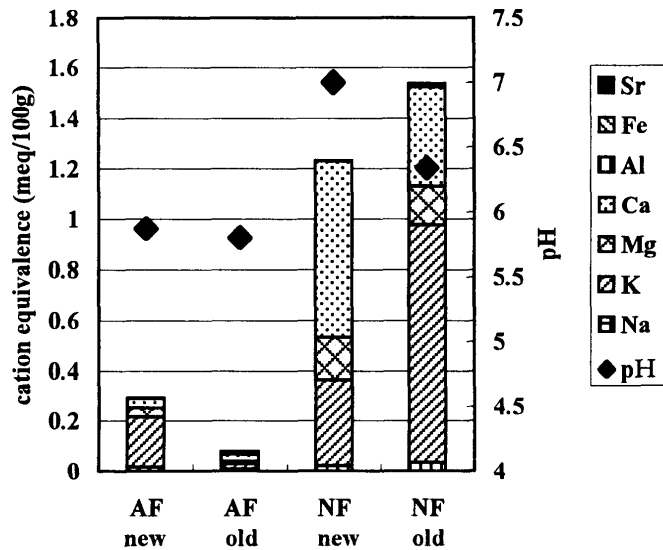


図7 リターの水抽出成分

図7に1998年秋に生産された新しいリターと1997年以前に堆積したと思われる変色したリターの水抽出液中のpH及び陽イオン当量を示す。天然林(主にミズナラ及びブナ)のリターについては、それぞれpHが7.0と6.3、陽イオン当量が1.51と1.67 meq/100g、人工林(主にカラマツ)のリターについては、それぞれpHが5.8と5.9、陽イオン当量が0.36と0.16 meq/100gである。各値ともに天然林で高い値を示す。また、変質の見られたリターと新鮮なリターとの溶出塩基総量の違いは広葉樹で明瞭である。

考 察

1. 人工林化にともなう降雨流出過程の変化

浸透能試験の結果、人工林斜面で浸透能が低い傾向を示した。良好な森林土壌の最終浸透能は一般的に 400mm/h である(村井・岩崎、1975)と言われており、人工林斜面では正常な状態からは浸透能が低下していることが示された。湯川・恩田(1995)は、下草がないヒノキ人工林斜面で樹冠に一旦貯留された降雨が降下する際、雨滴が直接土壌に当たるため、土壌表面の構造が壊れ目詰まりを起こし土壌硬度が高くなると同時に浸透能が低下するという関係を示している。本試験地でも、人工林斜面における A 層の土壌硬度が 10mm~13mm であるのに対し、天然林斜面で 1mm~5mm と、同様の傾向を示した。本試験地の人工林斜面は、一斉林ではなく複層林化してあり樹冠は 2 層からなっているが、天然林斜面がチシマザサに一面覆われているのに比べると、土壌を覆う下草は少ない。そのため、湯川・恩田(1995)が指摘したような土壌表面の目詰まりすなわちクラストの形成が示唆される。

図 8 に土壌表面 (A<sub>0</sub> 層上面) での最終浸透能と A 層の飽和透水係数との関係を示す。人工林斜面では浸透能は低いにもかかわらず、A 層での飽和透水係数は天然林よりやや大きな値を示している。これは、人工林斜面における A<sub>0</sub> 層での WDPT が長いすなわち撥水性が高いことによるものと考えられる。つまり、人工林斜面では A 層土壌の浸透能は天然林斜面とほぼ等しいが、A<sub>0</sub> 層で強い撥水性をもつため、表層土壌 (A<sub>0</sub> 層を含む) の浸透能が低い値を示しているものと考えられる。他の地域において、撥水性の強度を測定した研究例 (Richardson and Hole, 1978) では WDPT が 1000sec. を超えることは非常にまれで、それらの地域では斜面で地表流が生じ土壌浸食が発生していることを確認している。本試験地でも、人工林斜面上部で撥水性の強さにともない A<sub>0</sub> 層が薄い傾向を示し土壌の移動が示唆される。以上の点から推察すれば、本流域の人工林斜面では特に夏季の WDPT は 1000s を超える地点が多数あり、撥水性が非常に強くそれにともない地表流が発生していたものと考えられる。

さらに、撥水性により人工林斜面では A 層に到達する水分量が減少し、A 層及び流域全体の貯留水分量が減少していることが推定される。図 9 に体積含水率と A<sub>0</sub> 層の

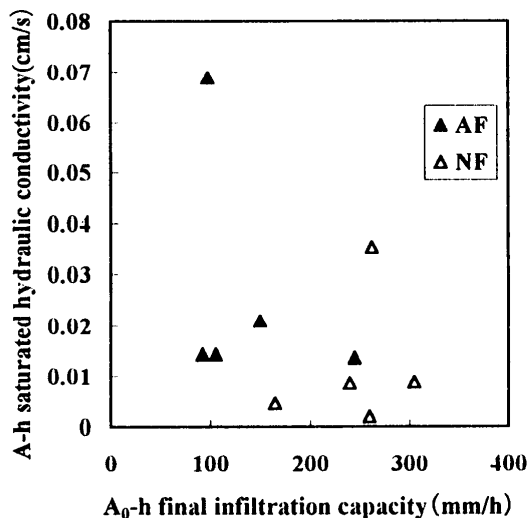


図 8 最終浸透能と A 層の飽和透水係数

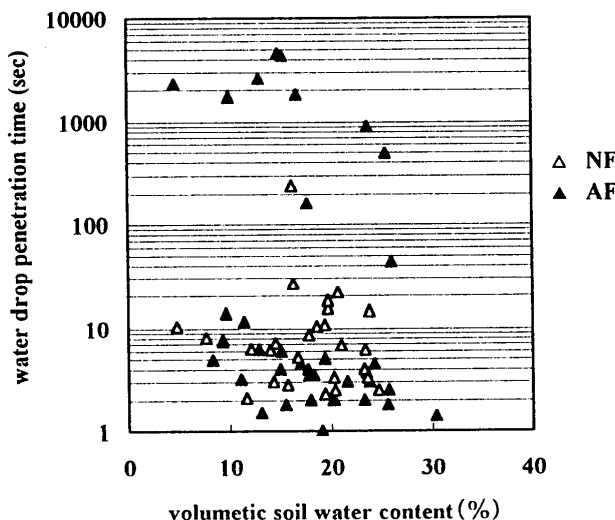


図 9 A 層体積含水率と A<sub>0</sub> 層の WDPT の関係 (夏季)



WDPTの関係(夏季)を示す。体積含水率の上昇にともない少しずつではあるがWDPT値も低下する傾向を示す。秋季に測定した浸透能は撥水性が小さい11月に測定した値であり、人工林斜面で撥水性の高かった8月(夏季)には、さらに浸透能が低かったものと推定される。特に、人工林斜面では天然林斜面と同じ体積含水率でもより撥水性が強い傾向を示す。これは、人工林斜面でリター中の菌糸や未分解の有機物を作る膜の影響だけでなく、下層植生の裸地化によるA<sub>0</sub>層中でのクラストの形成などが起因しWDPTの増大がもたらされていると考えられる。小林ら(1996)などによれば、撥水性は一旦湿潤な環境にさらされると低下する傾向がある。すなわち、人工林斜面における浸透能の低下は、表層土壌の湿潤化を阻害し土壌水分量の低下を促進し、さらにA<sub>0</sub>層における撥水性を増大させうることを示唆する。

## 2. 人工林化にともなう土壌の酸性化特性

土壌pH(H<sub>2</sub>O)は人工林斜面で明らかに低い傾向を示した。ここで、人工林斜面における土壌の酸性化について以下考察する。この要因としては、表層での生物活動、酸緩衝能、酸性降下物量の違いが上げられる。図10に表層土壌の体積含水率と水溶性NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及び有機酸当量との関係を示す。有機酸は表層において有機物の分解や窒素の無機化等の微生物活動によって生じる酸であり、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>はNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の硝化という微生物活動によって生じ同様にH<sup>+</sup>を生じる(Burt et al., 1993)。一般に体積含水率の上昇にともなってNH<sub>4</sub><sup>+</sup>当量は低下し、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>当量は上昇する(加藤ら、1995; 徳地、1996など)。図においても同様の傾向を示す。また、有機酸は体積含水率の低下にともなって上昇する傾向を示す。ここではAF1とNF1の差は明瞭でなく、生物活動によるH<sup>+</sup>の供給に大きな違いはないものと考えられる。

次に酸緩衝能について考える。図5に示したようにCECがほぼ同じ値を取ることから、元来人工林斜面及び天然林斜面が持つ塩基保持能力に大きな違いはない。全交換性塩基量及び水溶性Al<sup>3+</sup>当量とpHとの関係を図11に示す。図より全交換性塩基量の低下にしたがってpHが低下していることが示される。全交換性塩基量はH<sup>+</sup>と交換可能な塩基の総量、すなわち酸緩衝が可能な成分と考えられる(Van Breemen et al., 1983)。その量は人工林斜面の方が全体的に低く、斜面上部で低下していた。全交換性塩基量の低い人工林斜面では相対的に酸緩衝能が低く、そのため土壌pHは低い値を示したと考えられる。また、Al<sup>3+</sup>は土壌の持つ主要な塩基の多くが交換された場合に溶出する傾向をもつが、人工林斜面でやや高いことが認められる。この結果、人工林斜面で他の塩基の多くが交換されより酸性化して

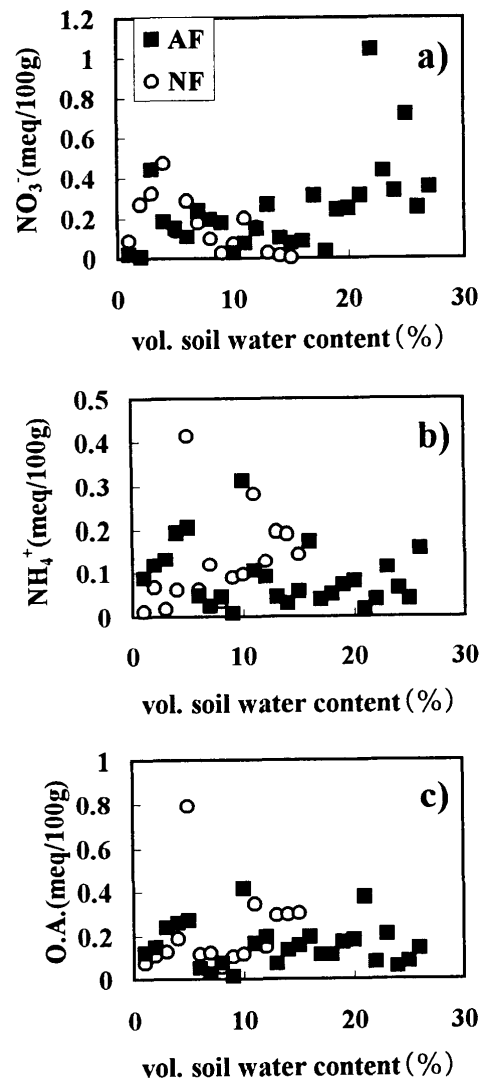


図10 表層土壌の体積含水率と水溶性NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>及び有機酸当量との関係

いる傾向が示唆される。

ここで、全交換性塩基量の異なる要因としてはリターの分解特性と風化速度の違いが考えられる。リターからの溶出成分は、主要な4つの塩基量が天然林斜面で多くなっており、落葉の分解速度は人工林より天然林で相対的に早いという指摘(大政, 1982)と同じ傾向を示した。すなわち、天然林斜面でのA層における交換性塩基は、人工林斜面に比べA<sub>0</sub>層から多く供給されていることが示唆される。さらに、先に示した浸透特性の点から、A<sub>0</sub>層からA層への水分供給量(浸透量)は天然林斜面で多いことが推定され、より塩基の供給量に差が生じていると考えられる。また、人工林リターからより多くH<sup>+</sup>イオンが供給されていることから、人工林のA層でよりpHが低下していると考えられることができる。一方で、化学風化速度は温度や体積含水率(地中水の移動速度)に比例すると考えられている。人工林斜面では、一般に樹冠が遮蔽しているためA層に到達する日照量が少なく地温は低いことが予想される。また、浸透特性から明らかかなように、人工林斜面では降水量に対する水侵入量の割合が天然林斜面に比べて減少している可能性もある。従って、風化速度はより天然林斜面で大きいことが推定される。以上から、化学風化による塩基の供給も天然林斜面で多くなることが予想される。

酸性降水物については、トウヒ林などの針葉樹林では樹冠による酸性物質の補足量が大きく、これが降水によって土壤に供給されるということが指摘されている(Lelong *et al.*, 1990)。ただし、本地域での雨水中のpHはさほど低くなく(5.5~6前後)、酸性降水物の捕獲の影響が大きく寄与している可能性は低いと考えられる。

### まとめ

本論では、東京都水源山地流域において人工林施業にともなう土壤環境の変化を明らかにするため、ブナ林とカラマツ・ヒノキ人工林の比較調査を行い、以下の結果を得た。

- 1) 人工林斜面ではA<sub>0</sub>層での水滴侵入時間(WDPT)値が高く、強い強度の撥水性を示し、それにともない浸透能も低下していた。
- 2) A<sub>0</sub>層からのH<sup>+</sup>の供給は人工林で多く、一方交換性塩基の供給量は少なかった。そのため、表層土壤の交換性塩基量も少なかった。

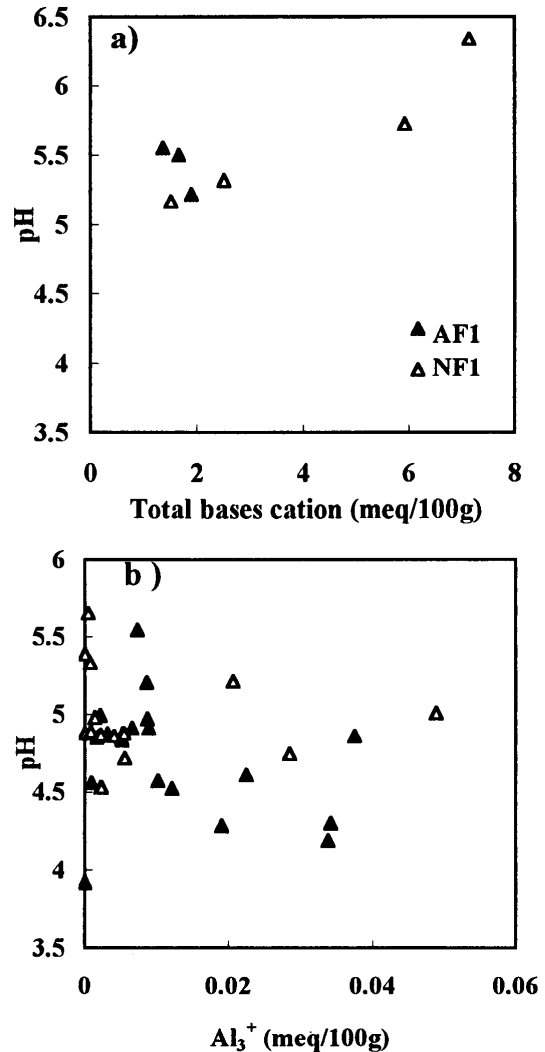


図11 全交換性塩基量 (a) 及び水溶性Al<sup>3+</sup>当量 (b) とpHとの関係

3) 人工林斜面における表層土壌では交換性塩基量が少ないだけでなく、水溶性 $Al^{3+}$ 濃度も高く、土壌pHもより低く、土壌が酸性化している傾向が明らかになった。

以上から、酸緩衝能は人工林斜面でより低いことが推定された。土壌環境の変化についての模式図を図12に示す。

ただし、本節で示した調査はそれぞれ成熟した森林の比較であり、あくまでも現在の水文化学過程の違いを明らかにしたに過ぎない。人工林化した後の変化過程、すなわち $A_0$ 層の構造及び分解過程の変化、物理性の変化などは、今後の課題である。また、湧水への酸性化の影響は顕在化していないが、深層土壌での土壌化学性の違いについての検討も今後必要である。

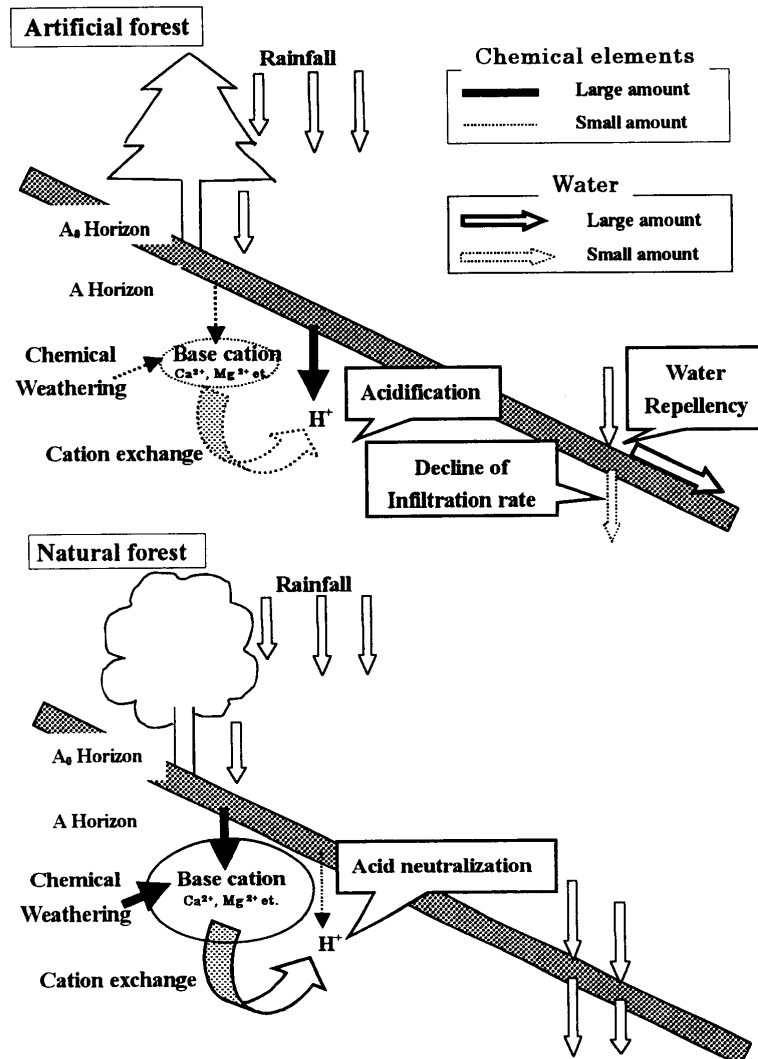


図12 表層土壌における水文化学過程に及ぼす人工林化の影響に関する模式図

### 謝 辞

現地調査においては、東京都水道局水源管理事務所の方々に気象データなど現場情報の提供、シレットメディカル企画㈱の間嶋 誠氏には宿舎の貸し出し、民宿しゃくなげの田辺氏には調査活動に対するご支援など、それぞれ多くの便宜をはかっていただいた。また、野外調査の測器に関しては、農林水産省森林総合研究所の加藤正樹博士及び広島大学総合科学部開発一郎先生にはTDR土壌水分計の貸し出しをしていただいた。さらに、農林水産省森林総合研究所の小林政広氏には試験流域の土壌調査に際し、筑波大学地球科学系恩田 裕一博士には浸透試験についてそれぞれ現地でご教示いただいた。ICP分析に関しては、広島大学生物圏科学研究科竹田一彦先生に便宜をはかっていただいた。さらに、まとめるにあたっては、広島大学総合科学部山中 勤先生には貴重なご助言をいただいた。

以上、記して感謝の意を表す。なお、本研究はとうきゅう環境浄化財団助成研究（代表；小野寺真一）の一部である。

### 参考文献

- 浅野友子・大手信人・内田太郎・勝山正則（2000） $H^+$ 収支を用いた森林植生が酸中和機構に与える影響の評価。日本林学会誌、82、20-27。
- 有光一登（1987）『森林土壌の保水のしくみ』。創文、東京、199pp。
- 安道幸仁・小野寺真一・成岡朋弘・松本栄次（2000）亜高山帯山地流域における表層土壌の酸緩衝能-斜面スケール及び山地スケールでの変動。日本林学会誌、82、7-233。
- 井上克弘・横田紀雄・村井 宏・熊谷直敏・望月 純（1993）富士山麓におけるブナ林、ヒノキ林及び土壌浸透水の水質とブナの酸性雨中和機能。日本土壌肥料科学雑誌、64(3)、265-274。
- 岩坪五郎・堤利夫（1968）森林内外の降水中の養分量について(Ⅲ) 流亡中の養分量について。京都大学演習林報告、40、140～156。
- 大政正隆（1982）『土の化学』日本放送出版協会、東京、225pp。
- 小野寺真一（2000）多摩川最上流域における水質形成に及ぼす立地環境の影響の解明-環境変化に対する水源水質の予測モデル構築に向けて-。とうきゅう環境浄化財団助成研究報告書、東京、139pp。
- 小野寺真一・小林政広・加藤正樹（1996）ライシメーターの流出水質に及ぼす13年生ヒノキ林の伐採の影響。日本水文科学会誌、26、181-194。
- 恩田裕一・山本高也（1998）リターに被覆された土壌表面におけるクラスト形成プロセスの解明。日本林学会誌、80、302-310。
- 加藤正樹・小野寺真一・小林政広（1995）源頭部森林小流域における土壌溶液と湧水の硝酸態窒素の動態。日本林学会誌、77、516-526。
- 清野嘉之（1988）ヒノキ人工林の下層植生群の被度・種数の動態に影響を及ぼす要因の解析。日林誌、70、445-460。
- 小林繁男（1982）森林の皆伐に伴う土壌の変化。ペドロジスト、26、150-163。
- 小林政広・小野寺真一・加藤正樹（1996）撥水性が森林土壌の水分特性曲線に与える影響。水文・水資源学会誌、9、88-91。
- 澤田智志・加藤秀正（1991）スギおよびヒノキ林の林齢と土壌中の塩基の蓄積との関係。日本土壌肥料学会誌、62、49-58。
- 鶴見 実・一國雅巳（1989）多摩川上流の沢水に含まれる無機成分の化学的特徴。環境科学会誌、2（1）、9-16。
- 徳地直子（1996）竜王山森林試験地の斜面上の異なる位置における窒素循環機構。京都大学演習林報告、68、9-24。
- 広瀬 顕・岩坪五郎・堤 利夫（1988）森林流出水の水質についての広域的考察(1)。京都大学演習林報告、60、162～173。
- 堀田庸・森川靖・埴田宏・松本陽介・松浦陽次郎・石塚和祐（1993）森林衰退-酸性雨は問題になるか-。林業科学技術振興所、東京、102pp。
- 湯川典子・恩田裕一（1995）ヒノキ林において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響(I)散水型浸透能計による野外実験。日本林学会誌、77、224-231。

- 宮川清・荒木誠・加藤正樹・小林繁男 (1988) ヒノキ復層林施業の土壌保全効果(IV)。99回日本林学会論文集, 157-160.
- 村井 宏・岩崎勇作 (1975) 林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報)森林状態の差異が地表流下浸透および侵食におよぼす影響。林試研報, 274, 23-84.
- Burt, T.P., Heathwaite, A.L. and Trudgill, S.T. (1993) *Nitrate*. John Wiley & Sons, New York, 444pp.
- Chen, Y., Tarchitzky, J., Brouwer, J., Morin, J. and Banin, A. (1980) Scanning electron microscope observations on soil crusts and their formation. *Soil Sci.*, 130, 49-55.
- Krammes, J.S., and DeBano, L.F. (1965) Soil wettability: a neglected factor in watershed management. *Water Resour. Res.*, 1, 283-286.
- Lelong, F., Dupraz, C., Durand, P. and Didonlescot, J.F. (1990) Effects of vegetation type on the biogeochemistry of small catchments (Mont. Lozere, France ). *J. Hydrol.* 116, 125-145.
- Likens, G.E., Bormann, F.H., Johnson, N.M., and Pierce, R.S. (1967) The calcium, magnesium, potassium and sodium budgets for small forested ecosystem. *Ecology*, 48, 772-785.
- Matzner, E. and Meiwes, K.J. (1989) Solling research area. *Berichte des Forschungszentrums Waldokosysteme, Reihe B Bd.*, 15, 1-35.
- Miyaoka, K., Onodera, S. and Hirose, T. (1999) Estimation of storm runoff generations in steep, small catchments, using  $^{18}\text{O}$  tracer and electric explorations. IAHS Publication, No.258, 23-28.
- Naruoka, T. and Onodera, S (1999) Changes in dissolved load and biogeochemical processes from low mountainous to subalpine watershed, linked to air temperature. IAHS publication, No.257, 103-109.
- Onodera, S., Matsutani, J. and Hirose, T. (1998) Effects of the bedrock, vegetation and elevation on element concentrations in mountain streams in the western side of Tokyo. In *Hydrology, Water Resources and Ecology of Mountain Areas*, eds by Tappeiner, U., Ruffini, F. V. and Fumai, M., European Academy, Bozen/Bolzano, 225-228.
- Richardson, J.L. and Hole, F.D. (1978) Influence of vegetation on water repellency in selected western Wisconsin soils. *Soil Sci.Soc.AM.J.*, 42, 465-467.
- Van Breemen, N., Mulder, J., and Driscoll, T. (1983) Acidification and alkalization of soils. *Plant and Soil*, 75, 283-308.
- Vitousek, P.M. (1977) The regulation of element concentrations in mountain streams in the northeastern United States. *Ecol. Monogr.*, 47, 65-87.