

スギおよびヒノキ壮齡人工林における元素の垂直的な移動特性

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者	高橋, 輝昌 添谷, 稔 戸田, 浩人
巻/号	78巻2号
掲載ページ	p. 127-133
発行年月	1996年5月

論 文

スギおよびヒノキ壮齡人工林における元素の
垂直的な移動特性*1

高橋輝昌*2・添谷 稔*3,4・戸田浩人*4

高橋輝昌・添谷 稔・戸田浩人：スギおよびヒノキ壮齡人工林における元素の垂直的な移動特性 日林誌 78: 127~133, 1996 同一斜面の上下に隣接するスギおよびヒノキ壮齡人工林における元素の垂直的な移動特性を明らかにするために、 A_0 層、鉍質土壤層、リターフォール、林外雨、林内雨および A_0 層通過雨（スギ林のみ）に含まれる元素量と土壤水中での元素濃度、土壤中の元素通過量を調査した。スギ林の A_0 層量はヒノキ林の2倍の 18 t ha^{-1} であった。スギ林では鉍質土壤中の全 C, N 量, 交換性塩基量がヒノキ林よりも多く、特に交換性 Ca では 500 kg ha^{-1} とヒノキ林の4.2倍であった。スギ林のリターフォール量はヒノキ林の1.2倍の 5.2 t ha^{-1} であり、元素含有量も同様にスギ林で多い傾向であった。林外雨から林内雨にかけて、 H^+ 量はヒノキ林で2/3, スギ林では1/3に減少し、それぞれ $0.2, 0.1 \text{ kg ha}^{-1}$ になった。スギ林の林内雨中の N, K, Ca, Mg 量は $19.4, 22.7, 29.1, 5.0 \text{ kg ha}^{-1}$ であり、それぞれヒノキ林の $0.8, 1.4, 1.3, 1.2$ 倍となった。スギ林の A_0 層通過雨の H^+ 量は林内雨の1/10であった。ヒノキ林の土壤水中では NO_3^- がほとんど溶存しておらず、 Ca^{2+} , Mg^{2+} 濃度はスギ林と比較して極めて低かった。土壤深5cmの N, K, Caの通過量はヒノキ林では林内雨の溶存量とほぼ等しかったが、スギ林では2~3倍であった。

キーワード：元素の垂直的な移動, 酸中和能, 壮齡人工林, 土壤通過水質, 養分動態

TAKAHASHI, T., SOEYA, M., and TODA, H.: The characteristics of vertical movements of elements in artificially established Japanese cedar and Japanese cypress stands. J. Jpn. For. Soc. 78: 127~133, 1996 Annual fluxes of dissolved elements in precipitation, throughfall, percolated water of the A_0 horizon, soil water and amounts of elements in annual litterfall, the A_0 horizon and mineral soil were investigated to determine the characteristics of vertical movements of elements in artificially established Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. DON) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* (SIEB. and ZUCC.) ENDL.) stands. The amount of A_0 horizon in the cedar stand was 18 t ha^{-1} , twice as much as in the cypress stand. Amounts of C, N and exchangeable cations in the cedar stand were larger than those in the cypress stand, especially the 500 kg ha^{-1} of exchangeable Ca in the cedar stand which was 4.2 times that of the cypress stand. Annual litterfall in the cedar stand was 5.2 t ha^{-1} , 1.2 times that of the cypress stand, and the same trends were found with the element contents in litterfall. Amounts of H^+ in throughfall in cedar and cypress stands were 0.2 and 0.1 kg ha^{-1} , respectively, and were 2/3 and 1/3 those of precipitation, respectively. Amounts of N, K, Ca, and Mg in throughfall in the cedar stand were $19.4, 22.7, 29.1, 5.0 \text{ kg ha}^{-1}$, respectively, and these values were $0.8, 1.4, 1.3$ and 1.2 times those of the cypress stand, respectively. Amounts of H^+ in the percolated water of the A_0 horizon were 1/10 of precipitation. In the cypress stand, NO_3^- concentrations were almost non-existent in soil water, and Ca^{2+} and Mg^{2+} concentrations were very small as compared with the cedar stand. Annual amounts of N, K, and Ca passing at the 5 cm soil depth were the same as those of the throughfall in the cypress stand, but these elements' values in the cedar stand were 2 to 3 times more than in the throughfall.

Key words: acid neutralization capacity, artificially established stand, nutrient dynamics, percolated water chemistry in soil, vertical movements of elements

I. はじめに

わが国の主要な造林樹種のうち、ヒノキの単純一斉林施業を行うと地力低下が起りやすいことが古くから指摘されている(1)。一方、スギを植栽した林地では、林齢が高まるにつれて交換性 Ca が増加し、pH が高まるなど、地力の維持・増進が行われる(16)。ヒノキ林における地力減退の原因は、主に森林生態系内の養分分布から推察されている(7)が、森林生態系での物質循環特性からは十分に解明されていない。地力が維持・増進されるスギ林と、減退するヒノキ林での森林生態系内の元素の移動特性を明らかにすることは、ヒノキ林での地力減退の原因を解明し、地力維持のための施業を考える上で必要である。

森林生態系を循環する元素のうち、林内雨中に溶存する元素は可給体で林地に供給されるという特徴を持つことから生態系内の再循環に大きな役割を果たしている(10)。林床に到達した林内雨は、微生物活動の活発な A_0 層を通過することにより水質を変化させ、さらに土壤水となって植物の養分吸収、土壤コロイドとの吸着や置換、母材の風化、渓流水としての流出など、元素動態の媒体として重要な役割を果たす。このため、各段階の降雨や土壤水に含まれる、元素の移動量を把握することは、森林生態系での物質循環特性をより明らかにするために必要である。

このような降水に伴う元素の移動を「林外雨→林内雨→ A_0 層通過雨→土壤水」といった一連の垂直的な変化で調査した多くは、濃度変化を扱ったもので(3, 4)、量的変化を

*1 本研究の一部は第103回日本林学会大会で口頭発表した。

*2 東京農工大学大学院連合農学研究科 The United Grad. Sch. of Agric. Sci., Tokyo Univ. of Agric. and Technol., Fuchu 183

*3 現勤務先：林野庁 For. Agency, Tokyo 100

*4 東京農工大学農学部 Fac. of Agric., Tokyo Univ. of Agric. and Technol., Fuchu 183

表-1. 試験地の概況
Site characteristics.

林分 Stands	スギ林 Cedar	ヒノキ林 Cypress
標高 Elevations(m)	1010	1030
母材 Parent materials	ホルンフェルス Hornfels of contact metamorphic rock	
土壌型 Soil types	B _D	B _{D(a)}
林齢 Stand ages(year)	84	
立木本数 Number of trees(ha ⁻¹)	910	1665
樹高 Tree heights(m)	20.0±3.2	20.0±2.1
胸高直径 Diameters at breast height(cm)	29.3±12.0	24.2±5.3
胸高断面積合計 Basal areas(m ² ha ⁻¹)	82.7	80.4

扱った研究(17)は少ない。

そこで本研究では生態的に安定していると思われる斜面の下部とその上部に隣接しているスギとヒノキの壮齢林において、林地に供給される林外雨、林内雨および年間のリターフォールの無機元素量を求めるとともに、A₀層や鉍質土壌層中の元素量、およびそれらを通ずる元素量等から、それぞれの林分での降雨に伴う元素の垂直的な移動特性を比較、検討した。

II. 試験地の概況

試験地は渡良瀬川上流(群馬県勢多郡東村)にある東京農工大学草木演習林内の広葉樹林を伐採して人工造林を行ったスギ・ヒノキ壮齢林である。ヒノキ林はスギ林と同一斜面にあり、スギ林の上方に隣接している。スギとヒノキの各林分内にそれぞれ286 m²、114 m²の調査区を設けた。1991年5月に調査した試験地の概況を表-1に示す。標高は約1,000 m、斜面向きは南東、傾斜は約40°である。基岩は接触変成岩のホルンフェルスであり、土壌型はスギ壮齢林(以下、スギ林という)でB_D型、ヒノキ壮齢林(以下、ヒノキ林という)でB_{D(a)}型である。

ヒノキ壮齢林の上層木は全てヒノキであったが、スギ壮齢林では本数で約2割、胸高断面積合計で約1割の広葉樹が含まれていた。広葉樹の本数および胸高断面積合計は小さいので、物質循環に及ぼす広葉樹の影響は少ないものと考えた。ヒノキ林の立木密度は1,665本 ha⁻¹、胸高断面積合計は80.4 m²と高かった。

1991年8月に多量の降雨があったため本調査を開始した1991年6月から1年間の降水量は2,668 mmと、年平均値よりもおよそ1,000 mm近く多かった。1992年1月から1年間の降水量は1,760 mmとほぼ半年並みであった。

III. 試験方法

1. 試料の採取方法

1991年10月にスギ林とヒノキ林の林床に一辺50 cmの

方形区を4カ所設け、A₀層をL層、F₁層、F₂層に分けて採取した。採取したA₀層は針葉、広葉、枝・樹皮、その他に分類し、それぞれ重量を測定し、重量比で混ぜ合わせて分析試料とした。

1991年5月にスギ林、ヒノキ林ともに調査区内の1地点で土壌深0~10、10~20、20~30、30~50、50~70 cmの5層から土壌を採取した。

林外雨量はスギ林からおよそ60 m離れた皆伐地で、市販の転倒マス型雨量計を用いて測定した。林外雨は雨量計の近くでロートを約1.3 mの高さに設置し、ポリピンに連結し週1回(1991年8月~1992年12月)回収した。

林内雨を採水するため幅12 cm、長さ198 cm、深さ11 cmの雨樋を、スギ林、ヒノキ林ともに2本設置した。雨樋で受けた林内雨を、ホースで一つにまとめ、自製の転倒マスでカウントした後、ポリバケツに集水し、週1回(1991年6月~1992年12月)回収した。

A₀層通過雨はスギ林のみで採水を行った。採水方法は、幅1.5 cm、長さ91 cm、深さ0.8 cmの塩ビ製のV字型レーンをF層の下に3本挿入し、ポリピンに集水し、週1回(1992年5月~12月)回収した。この方法ではレーンの面積が小さく、正確なA₀層通過雨量が得られなかった。そこで、A₀層通過雨量を1994年6月から11月にかけて同一斜面で戸田ら(未発表)がU字型レーン(幅4 cm、長さ45 cm、深さ2 cm)を用いて同様に求めた林外雨量(X, mm)とA₀層通過雨量(Y, mm)の関係式

$$Y=0.45X-4.46 \quad (r=0.914)$$

から推定した。

1991年5月にスギ林、ヒノキ林ともに鉍質土壌を採取した断面で15、50 cmの深さにポーラスセラミックカップ(外径18 mm、長さ75 mm)を用いた自製の簡易採水器(吸引式)を横挿入し、土壌水を採水した。両区ともに15 cm深はA層、50 cm深はB層であった。採水は月1回(1991年6月~1992年10月)、吸引初期圧を-40 cmHgとし、約20時間行った。ただし、土壌水は1991年11月から、林外雨、林内雨およびA₀層通過雨は1991年12月から1992年3月にかけて凍結や乾燥のために採水できなかった。

土壌中の陽イオンの元素通過量を推定するために、1991年5月にスギ林、ヒノキ林ともに地表5 cmと25 cmの深さに6回の繰り返しで陽イオン交換樹脂バッグを埋設した。陽イオン交換樹脂バッグの作成方法は生原ら(5)によった。埋設した樹脂バッグは1年後の1992年5月に回収し、樹脂に吸着された元素量を求めた。

スギ林、ヒノキ林ともに直径1 mの円形リタートラップを5個設置し、毎月(1991年6月~1992年5月)リターフォールを採取した。回収したリターフォールは針葉、広葉、枝・樹皮、球果、その他に分類して重量を測定し、重量比で混ぜ合わせて分析試料とした。

2. 分析方法

林外雨、林内雨、A₀層通過雨、土壌水の分析はK⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺を原子吸光法で、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺を

イオンクロマト法で、pH をガラス電極法で行った。

リターフォール、A₀ 層、および土壌中の元素を以下の分析法で測定した。全 K、全 Ca、全 Mg、全 Na は湿式灰化 (HClO₄+HNO₃) の後、Sr を 1,000 ppm になるように添加し、原子吸光法で測定した。全 P は湿式灰化の後、モリブデンブルーによる比色法で測定した。全 C、全 N は CN コーダー法で測定した。土壌の交換性 K、Ca、Mg、Na および陽イオン交換樹脂に吸着された陽イオンは 1N-CH₃COONH₄ (pH 7.0) による抽出液に、Sr が 1,000 ppm になるように添加し、原子吸光法により分析した。土壌の pH (H₂O) (生土:H₂O=1:2.5) はガラス電極法で測定した。

IV. 結果と考察

10月に採取した A₀ 層および5月に採取した鉱質土壌層の元素量を表-2に示す。A₀ 層および A₀ 層に含まれる C、N、K、Ca、Mg 量はスギ林でヒノキ林の約2倍、P

量は約3倍であった。スギ林の F₁ 層、F₂ 層の C/N 比は、スギ林でそれぞれ 39、24 で、ヒノキ林の 57、35 よりも低く、スギ林では分解の程度が進んでいた。

土壌の pH (H₂O) は 0~10 cm で最も低く、スギ林とヒノキ林の間に大きな違いはなく 4.5~5.0 であった。C 含有量は、地表 0~10 cm でスギ林、ヒノキ林ともに約 70 t ha⁻¹ であった。しかし、地表 10 cm よりも深いところでは、層厚 10 cm 当りの C 含有量はスギ林で 50~60 t ha⁻¹、ヒノキ林で 30~40 t ha⁻¹ となり、スギ林の方が多かった。C/N 比はどの深さでもスギ林よりヒノキ林で 3~5 高かった。交換性 Ca 量はどの深さでもスギ林でヒノキ林よりも多く、特に地表 0~10 cm ではスギ林がヒノキ林の約 10 倍であった。交換性 Mg も 50~70 cm を除けばスギ林がヒノキ林のおよそ 1.5 倍であった。交換性 K は 0~10 cm で、ヒノキ林はスギ林の 1.5 倍であったが、10~30 cm では、ヒノキ林はスギ林の約半分であった。これらのことは、斜面位置の影響も考えられるが、隣接した試験地であることと、

表-2. 試験地の A₀ 層および鉱質土壌層の元素含有量
Amounts of elements in the A₀ horizon and mineral soil.

林分 Stands	乾物重 Dry matter							C/N 比 C/N ratios	pH (H ₂ O)
	(t ha ⁻¹)	C	N	K	P	Ca	Mg		
ヒノキ林 Cypress									
A ₀ 層 A ₀ horizon									
層位 L	1.15	0.66	11.0	2.2	0.4	10.7	0.5	60	—
Layers F ₁	3.24	1.80	31.6	2.4	0.6	27.5	1.3	57	—
F ₂	5.56	2.52	72.7	2.5	2.8	29.8	6.3	35	—
A ₀ 層合計									
Sums of A ₀ horizon	9.96	4.98	115.3	7.0	3.7	68.0	8.1	43	—
鉱質土壌層 Mineral soil									
土壌深 0~10 cm	—	74	3970	73.6*	228.3	22.2*	10.5*	19	4.4
Depths 10~20 cm	—	29	1530	19.2*	162.5	11.8*	4.4*	19	4.8
20~30 cm	—	29	1500	14.1*	173.4	11.6*	3.4*	19	4.9
30~50 cm	—	38	1860	39.1*	309.9	26.0*	6.8*	21	4.9
50~70 cm	—	28	1400	106.5*	250.5	41.3*	12.7*	20	4.8
鉱質土壌層合計									
Sums of mineral soil	—	198	10260	252.5*	1124.6	112.9*	37.8*	19	—
スギ林 Cedar									
A ₀ 層 A ₀ horizon									
層位 L	1.34	0.78	12.4	0.8	0.5	24.5	1.0	63	—
Layers F ₁	9.32	5.15	131.9	5.1	5.3	60.5	5.5	39	—
F ₂	7.75	3.56	148.4	7.0	6.1	64.5	8.1	24	—
A ₀ 層合計									
Sums of A ₀ horizon	18.41	9.48	292.6	12.9	11.9	149.4	14.6	32	—
鉱質土壌層 Mineral soil									
土壌深 0~10 cm	—	67	4110	48.5*	392.3	250.6*	17.2*	16	4.6
Depths 10~20 cm	—	56	3760	42.7*	580.0	81.3*	5.9*	15	4.8
20~30 cm	—	60	4190	30.7*	770.2	45.6*	6.4*	14	4.8
30~50 cm	—	63	4430	30.2*	1117.9	55.0*	8.9*	14	4.7
50~70 cm	—	53	3580	34.0*	1011.4	67.1*	8.4*	15	5.0
鉱質土壌層合計									
Sums of mineral soil	—	299	20070	186.1*	3871.8	499.6*	46.7*	15	—

* 交換性塩基。

* Exchangeable cations.

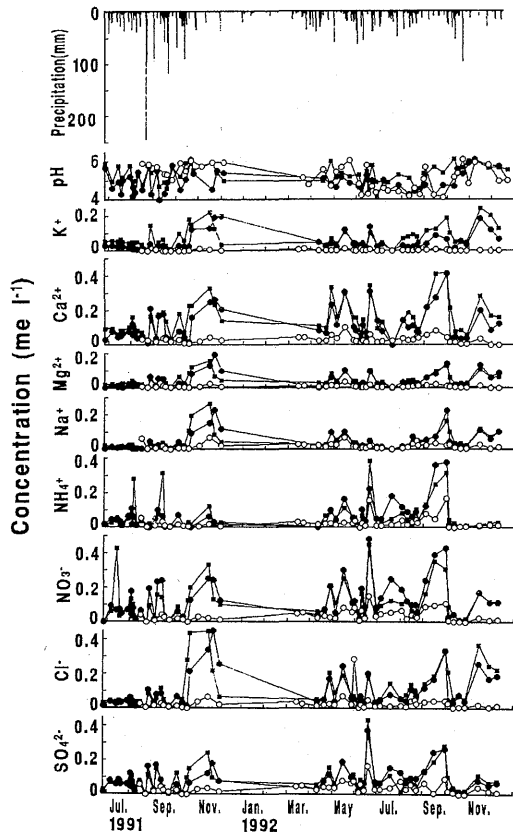


図-1. 林外雨, 林内雨中の溶存元素濃度と林外雨量の経時変化

Seasonable changes in precipitation and concentrations of dissolved elements in throughfall.

○, Precipitation; ●, Throughfall in the cypress stand; ■, Throughfall in the cedar stand.

植栽後約80年経過していることから植栽された樹種による影響(16)も無視できない。

林外雨および林内雨中のpHおよび溶存元素濃度の季節変化を図-1に示す。林内雨のpHはヒノキ林よりもスギ林で高めに推移した。8~10月の、林内雨と林外雨の溶存元素濃度の差は、1991年よりも1992年の方が大きい。樹冠からの溶脱による濃度上昇は、雨量が少なく降雨強度が弱い方が、葉面との接触時間が長いために促進される(12)。1991年8~10月には多量の降雨で林内雨が希釈されたのに加えて、降雨強度の強い雨が多かったために、林外雨と林内雨の濃度に大きな差がなかったものと考えられた。林内雨では落葉期と4~6月に他の時期に比べて H^+ 以外の濃度が高まる傾向がみられた。このことはこの時期に樹冠からの溶脱や乾性沈着の盛んなことを示唆している。真田ら(15)もトドマツ、エゾマツの樹冠からの溶脱が盛んになる時期として、落葉期以外にも開葉期を報告している。

スギ林における A_0 層通過雨中の溶存元素濃度の季節変化を図-2に示す。 A_0 層通過雨のpHは、スギ壮齡林の林内雨(図-1)に比べてほぼ1増加した。 A_0 層で H^+ は炭酸物質との反応(9)や、比較的新鮮なりターからの溶脱に伴

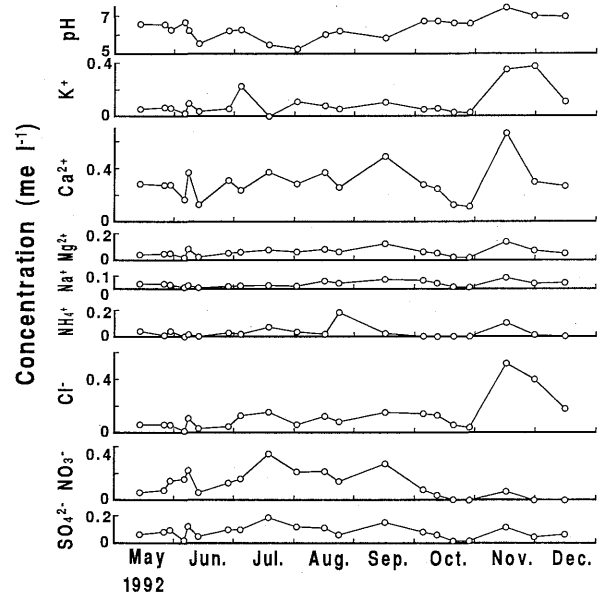


図-2. スギ林の A_0 層通過雨中の溶存元素濃度の経時変化

Seasonable changes in concentrations of dissolved elements in the A_0 -horizon-percolated-water in the cedar stand.

うイオン交換(11, 20)により消費されたと考えられた。スギ林の A_0 層は、林内雨を通過させることによって降雨中の H^+ 量を1/10に減少させ、林地の酸性化に対する中和作用として大きな役割をはたしている。

スギ林 A_0 層通過雨の元素濃度は H^+ を除いて全て6月と9月に同時にわずかに上昇し、また11月には著しく上昇した。6月と9月の濃度上昇は同じ時期の林内雨での各元素濃度上昇の影響であり、11月の濃度上昇は林内雨でみられた濃度上昇に加えて、落葉からの溶脱の影響であると考えられた。季節的な変動をみると、 Ca^{2+} 濃度は6月から上昇し、9月から10月にかけて減少する傾向がみられた。また Mg^{2+} 、 NO_3^- 濃度にも Ca^{2+} と同様の傾向がみられた。夏季の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 濃度の上昇には A_0 層中での無機化による無機イオンの放出、および硝化により放出された H^+ による A_0 層中に保持されていた交換性Ca、Mgの溶出が影響していると考えられる。 Na^+ 、 Cl^- 濃度は、林内雨とほぼ同じ濃度で推移しており雨水の A_0 層通過に伴う付加、吸着による影響がほとんど起こらないと考えられた。

A_0 層通過雨中の主要カチオン濃度(K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 NH_4^+)の合計と主要アニオン濃度(Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-})の合計の関係は1:1ではなかった。そこで一部の試料のアルカリ度(6)を測定して主要アニオン濃度に加えると、主要アニオン濃度と主要カチオン濃度の関係はほぼ1:1になった(図-3)。このことから主要カチオン濃度の和と主要アニオン濃度の和との差はアルカリ度によるものと推察した。ただし、林内雨については、アルカリ度を考慮しなくても主要カチオン濃度と主要アニオン濃度の和の関係はほ

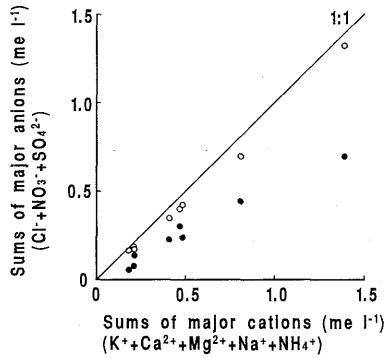


図-3. スギ林のA₀層通過雨における主要陽イオン合計と主要陰イオン合計の関係

Relationships between the sums of major cations and major anions in the A₀-horizon-percolated-water in the cedar stand.

○, Sums of major anions including alkalinity ; ●, Sums of major anions excluding alkalinity.

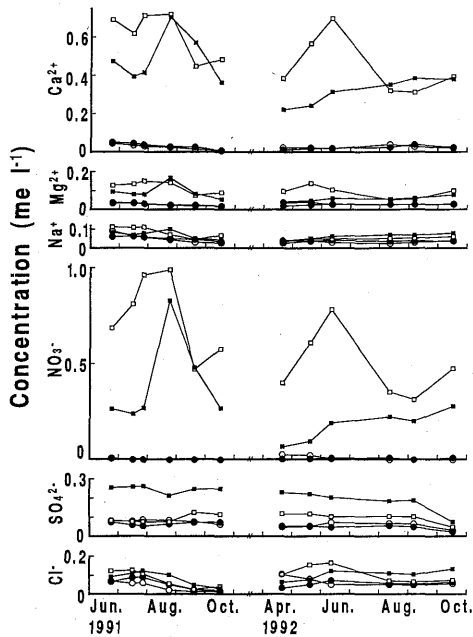


図-4. 土壌水中の溶存元素濃度の経時変化
Seasonable changes in concentrations of dissolved elements in soil water.

○, Cypress stand ; □, Cedar stand (Open, 15 cm deep ; Solid, 50 cm deep).

は1:1であった。

A₀層通過雨中の主要アニオン濃度に占めるアルカリ度の割合は30~50%であり、その内容として、新鮮なリターからの有機酸の溶脱(2)と微生物の呼吸に由来するCO₂による炭酸物質の影響(4)が考えられた。アルカリ度は7月の一降雨を除くと10月まで0.2 me l⁻¹でほぼ一定であったが、11月には急激に増加した。11月にアルカリ度が急激に増加したのはこの時期に大量に林地へ供給された落葉からの有機酸の溶脱が原因と考えられる。このことから、スギ林のA₀層は酸性に対する中和能力を持っていた。

本研究では、ヒノキ林のA₀層量が少ないため、ヒノキ林でのA₀層通過雨の調査を行っていない。また、A₀層中のN, Ca等の元素含有量もスギ林に比較して1/2と少なかった。したがって、ヒノキ林のA₀層ではスギ林に比べて無機化によるH⁺の消費や、新鮮なリターからのカチオンの溶脱に伴うイオン交換が生じにくく、林地の酸性化に対する中和能が低いと考えられた。

土壌水中のイオン濃度の経時変化を図-4に示す。K⁺を除く全てのイオンでスギ林がヒノキ林よりも高かった。特にスギ林のNO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺濃度はヒノキ林より著しく高く、6~8月の夏季に濃度が高まった。これに対してヒノキ林での土壌水のCa²⁺, Mg²⁺濃度には季節変化はみられなかった。土壌水中のNO₃⁻濃度の季節変化は本試験地で測定された表層土壌のN無機化量および硝化量の季節変化(18)と類似しており、スギ林でヒノキ林に比べて多く、成長期で多かった。このことから、土壌水中のNO₃⁻濃度は表層土壌中のNの無機化特性を反映していると考えられた。その他の元素については、調査期間を通じて明確な経時変化はみられなかった。NH₄⁺の硝化により生成されたH⁺は、土壌コロイドに吸着されたカチオンと交換されるため、NO₃⁻濃度とCa²⁺, Mg²⁺濃度は同様の変化を示した。K⁺やNa⁺の濃度変化がNO₃⁻と同様の変化を示さないのは、K⁺では単純なイオン交換反応が行われず(21)、Na⁺では交換性の量が少ないことによる。ヒノキ林ではスギ林よりも有機態Nの無機化および硝化が不活発であるため土壌水中での元素の移動も少ないと考えられた。

1年間のリターフォールの乾物量および元素含有量を表-3に示す。

スギ林には胸高断面積合計で約1割の広葉樹が混交していたが、広葉樹のリターは量的には少なかったため、両者の含量をスギ林のリターフォール量とした。スギ林ではヒ

表-3. 1年間のリターフォール量および元素含有量
Amounts of dry matter and elements in the litterfall of cedar and cypress stands for one year (Jun. 1991-May 1992)

林分 Stands	乾物重 Dry matter							C/N比 C/N ratios
	Dry matter (t ha ⁻¹)	C	N	K	P	Ca	Mg	
ヒノキ林 Cypress	4.30	2.23	30.6	18.4	1.0	68.8	6.6	72
スギ林 Cedar	5.24	2.64	46.0	18.7	1.4	95.9	6.6	57

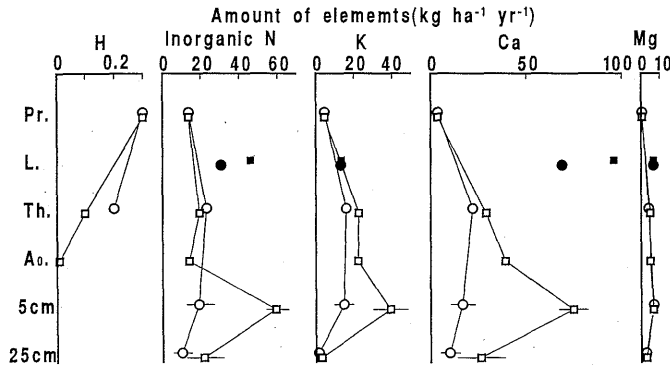


図-5. リターフォール, 林外雨, 林内雨に含まれる元素量および A_0 層, 5 cm, 25 cm 層通過雨中の元素量

Annual total amounts of elements in litterfall, precipitation, throughfall, and percolated water through A_0 horizon and soil of 5 cm and 25 cm deep.

○, Cypress stand; □, Cedar stand; ●, Litterfall in cypress stand; ■, Litterfall in cedar stand; Horizontal line, Standard deviation; Pr., Precipitation; L., Litterfall; Th., Throughfall; A_0 , A_0 horizon; 5 cm, 5 cm soil deep; 25 cm, 25 cm soil deep.

ノキ林に比べると1年間のリターフォール量およびC, Nは1.2倍, Ca, Pは1.5倍であったが, K, Mgはほぼ等しかった。

リターフォール量と前述の A_0 層量(表-2)を比較するとスギ林の A_0 層量はリターフォール量の3.5年分, ヒノキ林で2.3年分となり, ヒノキ林の A_0 層はスギ林の A_0 層よりも消失が早かった。この原因として, ヒノキの落葉は雨滴などの衝撃で細片になり, 流亡しやすいこと(7), 土砂礫の移動に伴って表層土に混入すること(14)などが考えられた。

降水に伴う元素の移動量を図-5に示す。林外雨, 林内雨, A_0 層通過雨による移動量は, 採水ごとの濃度と水量から求めた元素量を1年分合計したものである。図中にはリターフォールに含まれる元素量も示した。5 cmと25 cmの元素通過量はイオン交換樹脂バッグに吸着された元素量から求めた。

林内雨中のH量は林外雨に比べてスギ林で1/3, ヒノキ林で2/3に減少した。林外雨の酸性に対する樹冠での中和能力はスギ林でヒノキ林よりも大きかった。降雨の樹冠通過に伴う H^+ 消費の原因として, 酸を中和する乾性沈着物(例えば $CaCO_3$)の存在, 樹体表面や細胞の交換基に吸着されているカチオンと H^+ との交換(11, 20), 樹体から溶脱した有機酸による H^+ の消費(13)などがあげられ, ヒノキ林ではスギ林よりもこれらの働きが少ないと考えられた。その他の元素は林外雨に比べて林内雨で溶存元素量が増加した。その増加率はKでスギ林:4.8倍, ヒノキ林:3.4倍, Caでスギ林:7.6倍, ヒノキ林:5.8倍, Mgでスギ林:6.9倍, ヒノキ林:5.6倍であった。スギ林ではヒノキ林に比べて林外雨の樹冠通過雨によるK, Ca, Mgの付

加量が多かった。これに対して無機態Nの増加はスギ林で1.4倍, ヒノキ林で1.7倍となり, スギ林がヒノキ林よりも少なかった。スギ林ではヒノキ林に比べてN以外の元素の乾性沈着物あるいは樹体からの溶脱が多いと考えられた。

1年間で林地に供給される元素量(リターフォール+林内雨)に占める林内雨の割合はスギ林, ヒノキ林で大差なく, Kで約50%と特に多く, その他の元素でも20~40%であり, 林地への養分供給に占める林内雨の役割は無視できない。

スギ林の A_0 層通過雨中の元素量は林内雨に比べて H^+ で1/10と著しく減少した。 Ca^{2+} では A_0 層通過雨で1.3倍と増加したが, 無機態N, K^+ および Mg^{2+} では大きな違いはなかった。

イオン交換樹脂に吸着された無機態N量は, 土壤水中に NH_4^+ が溶存していないこと, ポラスカップで採水した土壤水の NO_3^- 濃度と Ca^{2+} , Mg^{2+} の合計濃度がほぼ等量であったこと(図省略)から, Ca^{2+} と Mg^{2+} の合計と等量として推定した。土壤深5 cmでの1年間のK, CaとNの通過量はスギ林でヒノキ林よりもそれぞれ2.5, 4, 3倍多かったが, Mgでは差がなかった。

土壤深5 cmでのN, K, Caの年間の通過量と林内雨中の年間溶存N, K, Ca量を比べると, スギ林では土壤深5 cmでの通過量の方がNで3.1倍, Kで1.7倍, Caで2.6倍と多くなっているのに対して, ヒノキ林では大差なかった。この原因としてスギ林では林内雨の A_0 層通過によるCaの付加や, 土壤中の交換性Caが多いことと硝化作用が活発であることによる多量の Ca^{2+} の土壤水中への放出, さらには土壤中での有機物の分解に伴って放出される無機元素量が多いことなどが考えられた。土壤深25 cmでのK, Mg通過量はスギ林, ヒノキ林で大差なく1.5~3 $kg\ ha^{-1}$ であった。また, 土壤深25 cmでのCa通過量は, スギ林で26.5 $kg\ ha^{-1}$, ヒノキ林で10.2 $kg\ ha^{-1}$ と土壤深5 cmでの通過量に比べて著しく少なくなった。これらの原因として, 土壤深5 cmから25 cmまでの間では植生の根による吸収や土壤コロイドによる吸着保持が考えられた。無機態NおよびCaの通過量は土壤深25 cmでもスギ林でヒノキ林よりも多く, 表層の土壤でみられた特徴が比較的深い土壤でもみられた。また, 土壤深5 cmと25 cmでのN通過量を比較すると, スギ林とヒノキ林ともに土壤深25 cmの方がそれぞれ約40 kg , 10 kg 少なかった。土壤深5 cmから25 cmにかけての元素通過量の減少がスギ林で大きい原因として, スギ林ではヒノキ林に比較して植生への吸収が多いこと(19)や土壤の陽イオン交換容量が大きい傾向にあること(16)が考えられた。

スギ林に比べてヒノキ林では, 降雨の樹冠通過に伴う元素付加量が少なく, A_0 層が堆積しにくいために, A_0 層での有機物の分解量も少なく, A_0 層から鉱質土壤への元素供給量も少なくなる。本調査では同一斜面で隣接した斜面上部のヒノキ林, 下部のスギ林で調査を行ったために, 斜

面位置の違いが、スギ林よりもヒノキ林土壤中の元素含有量や交換性塩基量を少なくしている可能性も否定できない。しかし、試験地の標高の違いは約 20 m にすぎないことから、土壤中の養分量の違いには降水が樹冠や A₀ 層を通過する際に付加される元素量や A₀ 層の堆積量が樹種によって異なることが大きく影響していると推察された。また、スギ林に比べてヒノキ林では樹冠、A₀ 層、鉍質土壌での酸性への中和能が低かった。以上の結果から、斜面中部や上部でのヒノキの一斉林施業を続けることにより、林地土壌の酸性化が促進され、地力が低下することも予想された。

V. お わ り に

スギおよびヒノキ壮齡人工林における元素の垂直的な移動特性を明らかにするために、A₀ 層、鉍質土壌層、リターフォール、林外雨、林内雨、A₀ 層通過雨（スギ林のみ）中の元素量と土壌水中の元素濃度、土壌中の元素通過量を調査した。

その結果、ヒノキ林ではスギ林に比較してリターフォールで供給される元素量が少なく、さらに A₀ 層が堆積しにくいことから A₀ 層に蓄積されている元素量も少なかった。またヒノキ林では鉍質土壌中の全 C、全 N、交換性塩基量が少なく、その原因の一つとして A₀ 層からの元素の供給の少ないことが考えられた。ヒノキ林ではスギ林よりも林外雨の樹冠通過の際に乾性沈着物や樹体からの溶脱による雨水への元素の付加量が少なく、林外雨の酸性への中和能が低かった。さらにヒノキ林では A₀ 層量が少ないことから、林内雨の A₀ 層通過に伴う H⁺ の消費が少ないと予想された。

スギ林の土壌水中の K⁺ 以外のイオン濃度は、スギ林での活発な有機物分解、硝化などを反映して、ヒノキ林よりも高かった。また、土壌中の元素通過量からスギ林ではヒノキ林よりも植生による養分吸収が盛んなこと、陽イオン交換容量の大きいことが予想された。これらのことからヒノキ林では地力の低下が予想された。

本研究では地力を維持・増進させていく上での A₀ 層の形成の重要性が示された。今後は雨滴侵食、F 層や A₁ 層での微生物量等についても検討する必要がある。ヒノキ林での地力低下を防止する方法として広葉樹との混交が提案されている(1)。落葉広葉樹(ブナ)林ではヒノキ林に比べて降雨の樹冠通過に伴う塩基の付加量が多く、酸性への中和能力が大きいとの報告もある(8)。ヒノキ林への広葉樹の混交が地力に及ぼす影響について今後検討する必要がある。

本研究を行うにあたり、ご指導いただいた東京農工大学農学部生原喜久雄教授、東京農工大学大学院連合農学研究科相場芳憲教授にお礼申し上げます。また、本学演習林の桑原 繁技官には、林内雨および土壌水の採取装置および採取方法についてご指導いただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

引用文献

- (1) 赤井龍男 (1977) ヒノキ林の地力減退問題とその考え方. 林業技術 419: 7-11.
- (2) BINKLEY, D., KIMMINS, J. P., and FELLER, M. C. (1982) Water-chemistry profiles in an early- and mid-successional forest in coastal British Columbia. *Can. J. For. Res.* 12: 240-248.
- (3) EDMONDS, R. L., THOMAS, T. B., and RHODES, J. J. (1991) Canopy and soil modification of precipitation chemistry in a temperate rain forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 1685-1693.
- (4) FELLER, M. C. (1977) Nutrient movement through Western Hemlock Western Redceder ecosystem in Southwestern Columbia. *Ecology* 58: 1269-1283.
- (5) 生原喜久雄・相場芳憲・川島 裕 (1990) イオン交換樹脂による森林土壌浸透水の移動イオン量の測定. 日生態会誌 40: 19-25.
- (6) 半谷高久・小倉紀雄 (1985) 水質調査法 (改訂 2 版). 378 pp, 丸善, 東京, 242-248.
- (7) 原田 洸・佐藤久雄・堀田 庸・只木良也 (1969) 28 年生スギ林およびヒノキ林の養分含有量. 日林誌 51: 125-133.
- (8) 井上克弘・横田紀雄・村井 宏・熊谷直敏・望月 純 (1993) 富士山麓におけるブナ林、ヒノキ林の雨水および土壌浸透水の物質とブナの酸性雨中和機能. 日土肥誌 64: 265-274.
- (9) JOERGENSEN, R. G. and MEYER, B. (1990) Nutrient change in decomposing beech leaf litter assessed using a solution flux approach. *J. Soil Sci.* 41: 279-293.
- (10) 丸山明雄・岩坪五郎・堤 利夫 (1965) 森林内外の降水中の養分量について (第 1 報). 京大演報 36: 25-39.
- (11) MECKLENBURG, R. A., TUKEY, H. B., and MORGAN, J. V. (1966) A mechanism for the leaching of calcium from foliage. *Plant Physiol.* 41: 610-613.
- (12) PARKER, G. G. (1990) Evaluation of dry deposition pollutant damage, and forest health with throughfall studies. *In Mechanisms of forest responses to acidic deposition.* LUSIER, A. A. and HAINES, S. G. (eds.), 245pp, Springer-Verlag, New York, 10-61.
- (13) RICHTER, D. D., JOHNSON, D. W., and TODD, D. E. (1983) Atmospheric sulfur deposition, neutralization, and ion leaching in two deciduous forest ecosystems. *J. Environ. Qual.* 12: 263-270.
- (14) 酒井正治・井上輝一郎・岩川雄幸 (1987) 粗大有機物の土壌への混入量 (III) 斜面位置の違いによるヒノキ葉混入量. 98 回日林論: 193-196.
- (15) 真田 勝・太田誠一・大友玲子・真田悦子 (1991) 札幌近郊におけるトドマツ、エゾマツ人工林の樹冠流・林内雨および林外雨について. 森林立地 33: 8-15.
- (16) 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. 日土肥誌 62: 49-58.
- (17) STEVENS, P. A., HORNUNG, M., and HUGHES, S. (1989) Solute concentrations, fluxes and major nutrient cycles in a mature Sitka Spruce plantation in Beddglert forest, North Wales. *For. Ecol. Manage.* 27: 1-20.
- (18) 高橋輝昌・生原喜久雄・相場芳憲 (1994) スギ・ヒノキ造林地での斜面位置別の表層土壌の窒素無機化量. 森林立地 36: 15-20.
- (19) 戸田浩人・生原喜久雄・新井雅夫 (1991) スギおよびヒノキ壮齡林小流域の養分循環. 東京農工大演報 28: 1-22.
- (20) WOOD, T. and BORMANN, F. H. (1975) Increases in foliar leaching caused by acidification of an artificial mist. *Ambio* 4: 169-171.
- (21) 関子光太郎・生原喜久雄・相場芳憲 (1991) 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: 185-193.

(1996 年 1 月 8 日受理)