

特定樹種の樹幹流による土壌の酸性化抑制作用(2)

センノキ,オニグルミについて

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者名	佐々,朋幸 高橋,忠幸 長谷川,浩一
発行元	日本林學會
巻/号	75巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 321-330
発行年月	1993年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



論 文

特定樹種の樹幹流による土壌の酸性化抑制作用(II)
センノキ, オニグルミについて

佐々朋幸*・高橋忠幸**・長谷川浩一*

佐々朋幸・高橋忠幸・長谷川浩一：特定樹種の樹幹流による土壌の酸性化抑制作用(II) センノキ, オニグルミについて 日林誌 75: 321~330, 1993 樹幹流によりもたらされる土壌の化学的变化は樹幹を中心とした同心円状に拡散するといわれている。しかし、樹幹流の酸性度およびその溶存成分比は樹種ごとに特有なものであるため、土壌変化のようすは樹幹流を生ずる樹種によってかなり異なったものであることが想像される。そこで、長期にわたり樹幹流に曝された土壌の化学分析を通じて、樹種の違いが土壌変化に及ぼす影響を調べることにした。今回対象となった樹種はセンノキ, オニグルミ, スギおよびコバノヤマハンノキであり、前二者と後二者は質的に正反対の樹幹流を生産している。その結果、スギおよびコバノヤマハンノキ土壌の pH(H₂O) 値はかなり小さくなったと同時に交換性塩基が減少したため、塩基飽和度の著しい低下と交換酸度の急激な上昇がもたらされた。それに対して、センノキおよびオニグルミ土壌はスギやコバノヤマハンノキ土壌とは逆に、酸性化抑制機能が働き、土壌の中性化が著しく進行していた。

SASSA, Tomoyuki, TAKAHASHI, Tadayuki and HASEGAWA, Kooichi: **Suppression of soil acidification by the stem flows of some tree species (II) The cases of *Kalopanax pictus* (THUNB.) NAKAI and *Juglans mandschurica* MAXIM. subsp. *sieboldiana* (MAXIM.) KITAMURA.** J. Jpn. For. Soc. 75: 321~330, 1993 It is said that the chemical properties of the soil around a tree are being changed gradually by stem flow in the form of a concentric circle. But, it easily is supposed that the process of soil change and the contents are different from tree to tree, because the acidity and the components of stem flow also are characteristically different in each tree species. We studied the influences of the stem flows produced by some tree species (*Cryptomeria japonica* D. DON; *C. J.* in the result tables, *Kalopanax pictus* (THUNB.) NAKAI; *K. p.*, *Juglans mandschurica* MAXIM. subsp. *sieboldiana* (MAXIM.) KITAMURA; *J. m.*, and *Alnus hirsuta* TURCZ. var. *microphylla* (NAKAI) TATEWAKI; *A. h.*) upon soil changes. We found that the soil acidity increased and the saturation rate of exchangeable bases decreased in the soils of *Cryptomeria* and *Alnus*, and *vice versa* in the soils of *Kalopanax* and *Juglans*. These results mean that soil acidification is progressing in forest stands of the former two species, as is soil neutralization for the latter two species.

I. はじめに

森林衰退の一因といわれている酸性雨の研究第一歩として、樹種ごとの樹幹流特性解明に関する調査が多くの地域、多くの研究者によって行われている(1, 3, 4, 6, 8, 9, 13, 17)。このうち、筆者らは「樹幹流の pH 値は樹種ごとに特有な範囲に収斂する」ことを明らかにし(13)、この分野の問題解決に向けて新たな一石を投じてきた。

これと時をほぼ同じくして、平井ら(3)、松浦ら(5)、森貞ら(6)、真田ら(9)は「樹幹付近の土壌は樹幹流に

よる影響を最も強く受けており、樹幹流によってもたらされる土壌変化が最も顕著に現れる部分である。しかし、その影響は樹幹付近に止まらず、樹幹を中心として同心円に近い状態で拡散している」ことを見出しているが、こうした結果は森林土壌の生成に樹幹流や樹幹のきわめて近い部分へ落下する樹冠雨(7)が大きく係わっていることを示唆しているといえる。なぜならば、林分内における、面としての森林土壌上へほぼ均一に供給される雨水(林内雨)やリターだけが土壌生成の主な要因であるとした場合、彼らが報告しているように、土壌の化学的特性が樹幹を中心に減衰して

* 森林総合研究所東北支所 Tohoku Res. Ctr., For. and Forest Prod. Res. Inst., Morioka 020-01

** 岩手県林業技術センター Iwate Pref. For. Technol. Ctr., Iwate 028-36

いくという現象は考えられず、林内土壌はほぼ均質なものではなければならないからである。

ところで、昨今の環境悪化による土壌の酸性化問題、林業を取り巻く諸情勢から、森林経営における混交林造成の必要性が今日広く取り沙汰されている。しかし、混交林を良しとする科学的根拠が漠とし、造成に対する技術的裏付けも確立されていない現在、性急に事を進めるのは危険であり、将来に不安を残すこととなる。そこで筆者らは、先に述べた「樹幹流が土壌生成に大きく関与している」ことを論拠に、また「特定樹種の樹幹流に森林土壌の酸性化防止および土壌養分付加機能が備わっている(12)」点を重視し、混交林造成に向けた土壌管理という立場から、混交樹種特定のための基礎資料を得たいと考えている。

すでに筆者らは、前報(12)で特定樹種としてのユリノキを発見してきたが、その後行った広葉樹樹幹流調査の結果(8)、センノキ(ハリギリ)やオニグルミ樹幹流も質的にユリノキ樹幹流と類似したものであることを明らかにしている。したがってここでは、それらの樹種の樹幹流が森林土壌の酸性化防止および土壌養分付加に貢献している実態を、酸性の強いスギ樹幹流(7, 13)や落葉広葉樹のうちでもきわ立って酸性の強いコバノヤマハンノキ樹幹流(8)の土壌酸化性現象と対比しながら報告する。

II. 調査地概況

今回のサンプリング調査は、植栽当初の土壌条件が等しかった立地に現在もなお生育中のスギ、センノキ、オニグルミ、コバノヤマハンノキを対象としたもので、植栽から現在に至る間、それぞれの樹種の樹幹流によって土壌が変化しようすを調べるのが目的である。したがって、サンプリング調査地は、混交林の場合もあれば、相互に隣接あるいは近接している小林分を比較対象とした場合もあった。以下、調査地の概況ならびにその目的を簡単に記す。

サンプリング調査地-1: 農林水産省東北農業試験場から森林総合研究所東北支所へ至る国道4号線沿いの平坦な保残帯部にあたり、本来アカマツを主とした天然生針広混交複層林であった(12)。60数年前、林内の一部(約5アール)にスギが植栽されたが、特別な撫育作業は行われてこなかった。またスギの植栽と同時にセンノキ、オニグルミ等が侵入したため、現在ではスギ、センノキ、オニグルミ等で完全にうつ閉された混交林の様相を呈している。ここは、ほぼ同齢のスギ、

センノキ、オニグルミ樹幹流による土壌変化を調べるために設けられた。

サンプリング調査地-2: 岩手県沢内村、碧祥寺所有の社寺林で、63年生スギ林内にセンノキ、オニグルミ等落葉広葉樹が混交し、完全にうつ閉している(16)。ただし、樹種更改前の林相および植栽から現在に至る詳細な撫育経過は不明である。ここは、緩斜面におけるほぼ同齢のスギ、センノキ、オニグルミ樹幹流による土壌変化を調べるために設けられた。

サンプリング調査地-3: 森林総合研究所東北支所構内の平坦部樹種更改地で、植栽以来、人力除草・下刈等の撫育作業が毎年行われてきた。ここは、隣接した30年生前後のスギ、コバノヤマハンノキ、オニグルミ樹幹流による土壌変化を調べるために設けられた。

サンプリング調査地-4: 森林総合研究所東北支所好摩実験林内(森林総合研究所東北支所の北方約13km)の平坦地にあり、本来はアカマツ、コナラを中心とした天然生針広混交林であった。しかし、樹種更改後の撫育作業はまったく施されていない。ここは、近接した30年生前後のコバノヤマハンノキ、オニグルミ樹幹流による土壌変化を調べるために設けられた。

サンプリング調査地-5: 農林水産省東北育種センター構内の平坦部樹種更改地で、植栽以来、人力除草・下刈等の撫育作業が毎年行われてきた。ここは、近接した30年生前後のコバノヤマハンノキ、オニグルミ樹幹流による土壌変化を調べるために設けられた。

サンプリング調査地-6: 森林総合研究所東北支所構内の平坦地にあり、当地も本来はサンプリング調査地-1同様にアカマツを主とした天然生針広混交複層林であったが、樹種更改後の撫育作業は行われていない。ここは、樹齢の異なった(25年生前後と40年生前後)スギ樹幹流による土壌変化を調べるために設けられた。

サンプリング調査地-7: 森林総合研究所東北支所構内の平坦地で、北上山地産の花崗岩性客土上に植栽された20年生センノキ樹幹流による客土への影響を調べるために設けられた。ここではセンノキ、その他樹種の植栽以来、各種撫育作業が毎年行われてきた。

III. 調査・分析方法

樹幹流に長期間曝された土壌のサンプリングを行うにあたって、樹幹流が必ずしも樹幹周囲を均一に流下するわけでないことから、前もって対象木根元周囲のうちで最も多く樹幹流が流れる位置を特定した後、そ

の流入部の表層土壌(0~10 cm)を採取することとした。一方、対照土壌については、採土稈(10)を用いてサンプリング調査地ごとの対象地内15地点よりサンプルを採取し、全体をまとめ、混合試料として分析に供することとした。

なお、ここでの対照土壌とは、サンプリング調査地-1, 4, 6については、前報(12)と同様に該当樹種が植栽される以前の林相を保っている林内土壌を、サンプリング調査地-3, 5, 7については、樹種更改以来、植栽地内とまったく同様な下刈作業等が毎年行われ続けてきた植栽地間の裸地(草地)土壌をさしている。サンプリング調査地-2については樹種更改以前の林相が不明であったため、対照土壌の採取を行わなかった。

現地で採取した土壌サンプルについては、実験室へ持ち帰り風乾した後、pH(H₂O)、交換酸度(大工原法)、陽イオン交換容量(ピーチ法)、および交換性塩基量(酢酸アンモン抽出~原子吸光法)を測定した。

IV. 結 果

1. サンプリング調査地-1について (Table 1)

対照土壌のpH(H₂O)値5.3と比較して、スギ樹幹流に長期間曝された土壌(以後、スギ土壌と表現; 結

果表中では *C. j.* と表示) 4.0と極端に小さくなっており、酸性化が進行していることを示していた。一方、センノキ樹幹流に曝された土壌(同、センノキ土壌; 同、*K. p.*)は6.5と極端に大きくなっており、中性化が進行していることを示していた。また、センノキ土壌には及ばないものの、オニグルミ樹幹流に曝された土壌(同、オニグルミ土壌; 同、*J. m.*)も6.0と中性化の方向にあった。

土壌コロイドの酸性を示す交換酸度についてみると、スギ土壌は13.7で対照土壌の0.9と比較して著しく高くなっていた。一方、対照土壌の交換酸度そのものが低かったため、数値的には目立たないが、センノキおよびオニグルミ土壌ではその値がかなり低くなっていることが明らかであった。

このような土壌酸性度の違いをより具体的に示すため、それぞれの土壌の塩基飽和度を比較したところ、対照土壌の34%と比較して、スギ土壌は20%弱でかなり低下していた。一方、センノキ土壌は約86%で著しく極端に、またオニグルミ土壌も約66%とかなり極端に上昇していた。

そこで次に、土壌コロイドに吸着されている交換性陽イオンの量を調べてみた。その結果、Ca²⁺量に最も明瞭な差異が認められ、センノキ土壌は対照土壌の約

Table 1. Chemical properties of the soils washed away naturally by different species' stem flows on Sampling plot No. 1 (on dry basis)

Soil (Tree species)	pH (H ₂ O)	Exchange acidity (y ₁)	Cation exchange capacity (me/100 g)	Exchangeable base (me/100 g)				Rate of saturation (%)	
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
C. j.	(1)	4.0	18.2	57.5	12.2	1.2	0.8	0.3	25.2
	(2)	3.9	15.5	56.4	5.6	0.7	0.5	0.5	12.9
	(3)	3.9	13.2	52.6	8.0	1.0	0.9	0.2	19.2
	(4)	4.0	7.3	52.4	8.6	0.9	0.7	0.2	19.8
	(5)	4.0	14.2	50.8	8.2	0.9	0.5	0.3	19.5
Average of C. j.		4.0	13.7	53.9	8.5	0.9	0.7	0.3	19.3
K. p.	(1)	6.7	0.3	58.5	45.8	3.3	2.1	0.2	87.9
	(2)	6.7	0.3	59.0	53.1	2.4	2.0	0.3	98.0
	(3)	6.5	0.3	58.7	45.0	2.8	1.9	0.2	85.0
	(4)	6.1	0.7	59.4	42.1	2.4	1.4	0.4	77.9
	(5)	6.3	0.5	58.6	43.2	2.3	1.3	0.2	80.2
Average of K. p.		6.5	0.4	58.8	45.8	2.6	1.7	0.3	85.7
J. m.	(1)	6.0	0.5	58.7	34.0	5.6	2.3	0.4	72.1
	(2)	6.2	0.5	55.4	28.3	3.8	2.5	0.4	63.2
	(3)	5.7	0.5	50.3	25.0	4.2	1.3	0.4	61.4
Average of J. m.		6.0	0.5	54.8	29.1	4.5	2.0	0.4	65.7
Control		5.3	0.9	57.0	17.4	2.2	0.6	0.2	34.2

3倍と急激に増加, オニグルミ土壤でもかなり増加していたのに対し, スギ土壤は明らかに減少していた。 Ca^{2+} の場合と同様に, Mg^{2+} もスギ土壤で減少していたが, センノキ, オニグルミ土壤ではいずれも増加しており, オニグルミ土壤はセンノキ土壤と比較して増加率が高かった。 Na^+ は本来量的に少なかったため明瞭な増減傾向が認められなかった。

陽イオン交換容量の樹種による違いは他の比較項目のように大きくなかったが, センノキ土壤がスギ土壤に比較して大きいことは明らかである。

2. サンプリング調査地-2について (Table 2)

当調査地では対照土壤が採取できなかったため, スギ, センノキおよびオニグルミ土壤間の比較に止める。

センノキ, オニグルミの調査対象木はそれぞれ1本ずつであったが, それぞれの土壤pH (H_2O)は6.1, 5.5というようにスギ土壤の3.5前後と比較してきわめて大きな値であった。こうした土壤酸性の違いは交換酸度でより明瞭に現れ, スギ土壤が約53であるのに対し, センノキ土壤, オニグルミ土壤は1以下であった。

次に, それぞれの土壤の塩基飽和度を比較したところ, スギ土壤がほぼ10%以下であるのに対し, センノキ土壤では70%弱, オニグルミ土壤では60%弱というようにスギ土壤はセンノキ土壤, オニグルミ土壤と比較してきわめて小さな値であった。そこで, 交換性陽イオンの量を調べることとした。その結果, Ca^{2+} 量に最も明瞭な差異が認められ, センノキ土壤が40 me/100 g 強, オニグルミ土壤が30 me/100 g 強であるのに対し, スギ土壤はわずか4 me/100 g 前後以下であった。 Mg^{2+} , K^+ についても, スギ土壤と比較してオニグルミ土壤やセンノキ土壤でかなり大きな値であった。 Na^+ についてはいずれも少量のため, 明瞭な違いは認められなかった。

陽イオン交換容量の樹種による違いは他の比較項目のように大きくなかったが, センノキ土壤やオニグルミ土壤の70 me/100 g 強であったのに対し, スギ土壤は64 me/100 g と小さな値であった。

3. サンプリング調査地-3について (Table 3)

対照土壤のpH (H_2O)値5.1と比較して, スギ土壤4.1, コバノヤマハンノキ樹幹流に長期間曝された土壤(同, コバノヤマハンノキ土壤; 同 *A. h.*)は4.4と小さくなっており, 酸性化が進行していることを示していたが, オニグルミ土壤では逆に5.4と大きくなっていった。交換酸度についてみても, 対照土壤が1.3であるのに対し, オニグルミ土壤では0.9とやや低く, 逆にスギ土壤, コバノヤマハンノキ土壤はそれぞれ5.5, 6.4と高くなっていった。

それぞれの土壤の塩基飽和度を比較したところ, 対照土壤が33%であるのに対し, オニグルミ土壤は47%と上昇していたが, スギ土壤, コバノヤマハンノキ土壤では1/2以下にまで低下していた。そこで, 交換性陽イオンの量を調べてみたところ, Na^+ については差異が認められなかったが, Ca^{2+} , Mg^{2+} および K^+ のいずれもが対照土壤と比較してオニグルミ土壤で増加していた。一方, スギ土壤, コバノヤマハンノキ土壤ではかなり減少していた。

陽イオン交換容量の樹種による違いは他の比較項目のように大きくなかったが, 全体的に対照土壤より小さくなっている傾向があり, とくにコバノヤマハンノキ土壤, スギ土壤でその傾向が強かった。

4. サンプリング調査地-4について (Table 4)

対照土壤のpH (H_2O)値が6.2とかなり中性に近いものであったが, オニグルミ土壤ではその値に大きな変化は認められず, 対照土壤とほぼ同じ値であった。しかし, コバノヤマハンノキ土壤では4.7と値が小さ

Table 2. Chemical properties of the soils washed away naturally by different species' stem flows on Sampling plot No. 2 (on dry basis)

Soil (Tree species)	pH (H ₂ O)	Exchange acidity (μ)	Cation exchange capacity (me/100 g)	Exchangeable base (me/100 g)				Rate of saturation (%)	
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
<i>C. j.</i>	(1)	3.3	59.4	63.3	1.5	0.9	0.6	0.3	5.0
	(2)	3.3	57.5	64.3	2.0	1.4	0.7	0.3	6.8
	(3)	3.7	49.8	65.2	4.4	1.5	0.7	0.3	10.5
	(4)	3.6	44.1	63.1	4.2	1.4	0.6	0.4	10.4
Average of <i>C. j.</i>	3.5	52.7	64.0	3.0	1.3	0.7	0.3	8.8	
<i>K. p.</i>	6.1	0.8	70.7	41.1	5.3	1.8	0.2	68.4	
<i>J. m.</i>	5.5	1.0	70.6	33.1	6.1	1.1	0.2	57.4	

Table 3. Chemical properties of the soils washed away naturally by different species' stem flows on Sampling plot No. 3 (on dry basis)

Soil (Tree species)	pH (H ₂ O)	Exchange acidity (γ_1)	Cation exchange capacity (me/100 g)	Exchangeable base (me/100 g)				Rate of saturation (%)	
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
<i>C. j.</i>	(1)	4.0	3.8	33.2	5.6	0.7	0.5	0.2	21.1
	(2)	4.1	6.3	39.0	2.1	0.3	0.5	0.1	7.7
	(3)	4.1	6.3	37.7	4.2	0.5	0.7	0.2	14.9
Average of <i>C. j.</i>	4.1	5.5	36.6	4.0	0.5	0.6	0.2	14.5	
<i>A. h.</i>	(1)	4.4	5.2	38.0	3.4	0.5	1.1	0.2	13.7
	(2)	4.3	7.6	30.1	1.7	0.3	0.9	0.2	10.4
Average of <i>A. h.</i>	4.4	6.4	34.0	2.6	0.4	1.0	0.2	12.4	
<i>J. m.</i>	(1)	5.2	1.0	39.0	12.7	3.3	2.0	0.2	46.7
	(2)	5.5	0.8	46.8	14.6	3.8	2.9	0.1	45.7
	(3)	5.2	1.0	36.1	10.3	2.5	2.5	0.1	42.7
	(4)	5.5	0.8	36.3	13.2	4.1	2.3	0.1	54.3
Average of <i>J. m.</i>	5.4	0.9	39.6	12.7	3.4	2.4	0.1	47.0	
Control	5.1	1.3	42.3	10.5	2.2	1.1	0.1	32.8	

Table 4. Chemical properties of the soils washed away naturally by different species' stem flows on Sampling plot No. 4 (on dry basis)

Soil (Tree species)	pH (H ₂ O)	Exchange acidity (y ₁)	Cation exchange capacity (me/100 g)	Exchangeable base (me/100 g)				Rate of saturation (%)	
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
A. h.	(1)	4.6	4.7	24.1	5.0	0.9	0.5	0.1	27.0
	(2)	4.8	2.5	25.7	8.2	1.1	0.6	0.2	39.3
	(3)	4.7	3.3	28.4	6.9	1.1	0.7	0.1	31.0
	(4)	4.7	3.9	21.9	4.7	0.5	0.5	0.1	26.5
	(5)	4.8	3.1	26.7	6.3	1.0	0.5	0.1	29.6
Average of A. h.		4.7	3.5	25.4	6.2	0.9	0.6	0.1	30.7
J. m.	(1)	6.2	0.5	42.1	30.9	4.9	1.6	0.2	89.3
	(2)	6.3	0.9	39.5	29.1	4.2	1.3	0.2	88.0
	(3)	6.2	0.5	42.1	30.9	4.4	1.3	0.2	87.4
Average of J. m.		6.2	0.6	41.2	30.3	4.5	1.4	0.2	88.3
Control		6.2	1.0	35.4	12.2	1.4	0.9	0.1	41.2

くなり、酸性化が進行していることを示していた。交換酸度についてみると、コバノヤマハンノキ土壌では対照土壌の1.0に比較して3.5と高くなっていた。一方、pH(H₂O)値に関して対照土壌との間に数値的な違いが認められなかったオニグルミ土壌では、わずかなではあるものの酸度は低くなっており、中性化の方向に進行していることが推察された。

それぞれの土壌の塩基飽和度を比較したところ、対照土壌が40%強であったのに対し、オニグルミ土壌は2倍以上の90%弱にまで上昇していたが、コバノヤマハンノキ土壌では逆に30%と低下していた。このこと

からもコバノヤマハンノキ土壌が酸性化へと向かっている反面、オニグルミ土壌が中性化に向かっていることが裏付けられた。

交換性陽イオンの量を調べてみたところ、Na⁺については差異は認められなかったが、Ca²⁺、Mg²⁺およびK⁺のいずれもがオニグルミ土壌で著しく増加していたのに対し、コバノヤマハンノキ土壌で減少していることが明らかであった。

陽イオン交換容量の樹種による違いをみると、対照土壌が35 me/100 gであるのに対し、オニグルミ土壌では41 me/100 gと大きくなり、逆にコバノヤマハン

ノキで 25 me/100 g と小さくなった。

5. サンプル調査地-5について (Table 5)

対照土壌の pH (H₂O) 値 5.3 と比較して、コバノヤマハンノキ土壌は 4.7 と小さくなっており、酸性化が進行していることを示していた。一方、オニグルミ土壌では 6.1 と大きくなっており、中性化が進行していることを示していた。交換酸度についてみても、対照土壌が 0.9 であるのに対し、コバノヤマハンノキ土壌は 4.0 と高くなっていたが、オニグルミ土壌は 0.7 と低くなっていた。

それぞれの土壌の塩基飽和度を比較したところ、対照土壌が 45% であったのに対し、コバノヤマハンノキ土壌は 24% と低下したが、オニグルミ土壌は 76% と著しく上昇していた。そこで、交換性陽イオンの量を調

べてみたところ、Na⁺ およびコバノヤマハンノキ土壌の K⁺ に関しては対照土壌との間に差は認められなかった。しかし、Ca²⁺ および Mg²⁺ については、オニグルミ土壌で 2 倍以上に増加していたが、逆にコバノヤマハンノキ土壌では 1/2 まで減少し、樹種による違いが顕著であった。

陽イオン交換容量の樹種による違いをみると、対照土壌と比較してオニグルミ土壌では明らかに、またコバノヤマハンノキ土壌でも増加しているようであった。これは、分析に供した対照土壌サンプルの問題とも考えられるが、いずれにせよ、オニグルミ土壌と比較してコバノヤマハンノキ土壌が小さいことは明らかである。

Table 5. Chemical properties of the soils washed away naturally by different species' stem flows on Sampling plot No. 5 (on dry basis)

Soil (Tree species)	pH (H ₂ O)	Exchange acidity (γ_1)	Cation exchange capacity (me/100 g)	Exchangeable base (me/100 g)				Rate of saturation (%)	
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
<i>A. h.</i>	(1)	4.4	4.4	35.2	5.5	0.9	0.8	0.2	21.0
	(2)	4.6	4.4	29.7	6.0	0.9	0.8	0.2	26.6
	(3)	4.8	3.8	29.2	4.9	0.6	0.6	0.3	21.9
	(4)	4.6	4.4	37.3	6.7	1.0	0.9	0.2	23.4
	(5)	4.7	3.7	33.4	5.5	0.9	0.7	0.3	22.2
	(6)	4.8	3.5	28.7	6.8	0.9	0.5	0.2	29.3
Average of <i>A. h.</i>	4.7	4.0	32.3	5.9	0.9	0.7	0.2	23.8	
<i>J. m.</i>	(1)	6.1	0.7	33.7	19.1	3.2	1.1	0.2	70.0
	(2)	6.2	0.7	45.7	33.2	5.4	1.3	0.2	87.8
	(3)	6.0	0.7	38.9	21.0	3.8	1.2	0.2	67.4
Average of <i>J. m.</i>	6.1	0.7	39.4	24.4	4.1	1.2	0.2	75.9	
Control	5.3	0.9	29.7	11.0	1.6	0.6	0.1	44.8	

Table 6. Chemical properties of the soils washed away naturally by different aged Japanese ceders' stem flows on Sampling plot No. 6 (on dry basis)

Soil (Tree species)	pH (H ₂ O)	Exchange acidity (γ_1)	Cation exchange capacity (me/100 g)	Exchangeable base (me/100 g)				Rate of saturation (%)	
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
25 yr. old	(1)	3.6	27.5	55.2	3.4	0.6	0.6	0.5	9.2
	(2)	3.7	20.8	54.7	4.1	1.0	0.5	0.8	11.7
	(3)	4.0	14.2	48.1	4.6	1.0	0.8	0.4	14.1
Average of 25 yr. old		3.8	20.8	52.7	4.0	0.9	0.6	0.6	11.6
40 yr. old	(1)	3.8	17.3	45.4	4.4	0.7	0.8	0.3	13.7
	(2)	3.8	15.5	46.4	4.5	0.6	0.6	0.4	13.1
Average of 40 yr. old		3.8	16.4	45.9	4.5	0.7	0.7	0.4	13.6
Control		5.3	0.9	57.0	17.4	2.2	0.6	0.2	34.2

Table 7. Chemical properties of the soils washed away naturally by *Kalopanax's* stem flows on Sampling plot No. 7 (on dry basis)

Soil (Tree species)	pH (H ₂ O)	Exchange acidity (y ₁)	Cation exchange capacity (me/100 g)	Exchangeable base (me/100 g)				Rate of saturation (%)	
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
<i>K. p.</i>	(1)	5.9	0.5	29.2	11.0	0.9	2.9	0.2	51.4
	(2)	5.8	0.5	27.1	10.3	0.8	2.3	0.2	50.2
Average of <i>K. p.</i>		5.9	0.5	28.2	10.7	0.9	2.6	0.2	51.1
Control		5.4	0.7	21.9	4.7	0.4	0.4	0.1	25.6

6. サンプル調査地-6について (Table 6)

25 年前後の間スギ樹幹流に曝された土壌, 40 年前後の間スギ樹幹流に曝された土壌とも, 対照土壌の pH (H₂O) 値 5.3 に比較して 3.8 とかなり小さくなっており, 酸性化が進行していることを示していた。交換酸度についてみても, 両土壌は対照土壌と比較して著しく高くなっているが, 25 年生土壌での高まり方が 40 年生土壌より若干大きい傾向を示す。

それぞれの土壌の塩基飽和度を調べたところ, 対照土壌の 34% と比較して, 25 年生土壌では 12%, 40 年生土壌では 14% と著しく低下していた。そこで, 交換性陽イオンの量を調べてみたところ, K⁺ に関しては両土壌とも対照土壌との間に差異は認められなかった。しかし, Ca²⁺ および Mg²⁺ に関しては対照土壌と比較して両土壌とも著しく減少, 逆にわずかではあるが Na⁺ は増加していた。そして交換性陽イオンの量全体をみた場合, 両土壌間に大きな違いは認められなかった。

陽イオン交換容量はいずれの土壌とも対照土壌の 57 me/100 g に比較して小さく, 40 年生土壌は 25 年生土壌と比較して, より小さくなっていった。このことは, スギ土壌の陽イオン交換容量は樹幹流に曝される期間が長くなるにつれて小さくなることを意味しているとも考えられる。

7. サンプル調査地-7について (Table 7)

対照土壌の pH (H₂O) 値 5.4 と比較して, センノキ土壌は 5.9 と大きくなっており, 中性化が進行していることを示していた。同時に交換酸度も対照土壌での値 0.7 と比較して 0.5 と低くなっていた。

土壌の塩基飽和度については, センノキ土壌が対照土壌と比較して約 2 倍に増加, また交換性陽イオンのうち K⁺ が著しく増加し, Ca²⁺, Mg²⁺ および Na⁺ などいずれも 2 倍強まで増加していた。

陽イオン交換容量についても対照土壌と比較して,

明らかに大きくなっていった。

V. 議 論

ここまで, 今回の多点調査を通じて得られた結果説明とその簡単な解析を行ってきたが, 樹幹流がもたらした土壌変化は次の 2 点に集約される。すなわち,

1) スギおよびコバノヤマハノキの樹幹流に長期間曝された場合, 土壌 pH (H₂O) 値はかなり小さくなる。同時に, 陽イオン交換容量は減少するが, 交換性陽イオン量の減少率が陽イオン交換容量の減少率をはるかに上回るため, 結果として塩基飽和度の著しい低下と交換酸度の急激な上昇をもたらす。

2) センノキおよびオニグルミの樹幹流に長期間曝された場合, 土壌 pH (H₂O) はかなり大きくなる。同時に, 陽イオン交換容量は増加するが, 交換性陽イオンの増加率は陽イオン交換容量の増加率をはるかに上回るため, 結果として塩基飽和度の著しい上昇と交換酸度の急激な低下をもたらす。

ということである。

このように樹種によって相反する 2 とおりの結果が樹幹流のどのような特性に基づいていたかを検討する前に, 再度樹幹流に焦点をあてて土壌変化を論ずる根拠を述べておきたい。

林地で土壌変化をもたらす直接的かつ最大の要因として, 土壌表層部の落葉や腐植の分解成分を鉱質土層へ移行させている土壌浸透水の役割があげられる。ただし, それは雨水 (林内雨) が A₀ 層, 鉱質土層へと浸透してゆく過程を垂直方向すなわち重力方向のものと想定した場合のことであり, しかもその周辺に立木等のない林内空間には妥当なものといえよう。しかし, 今回の調査対象となった立木の根元土壌ではその内容が若干異なってくる。もちろん, 根元土壌部でも樹間部林床と比較した場合かなり少量であるとはいえ, 落葉や腐植が堆積している。したがって, 周辺に

立木のない林床と同様に堆積有機物の分解成分を溶解した浸透水による重力方向の影響がないとは断言できない。しかし、これまでの報告(3, 5, 6, 9, 12)で示されているように、立木周辺では樹幹部を中心にいくつかの特徴ある土壌変化が生じており、その変化は樹幹部から遠ざかるにつれて減衰している。このことは、樹幹周辺の土壌変化に与える土壌水すなわち樹幹流がそこで大きな役割を果たしていると考えても何ら異論はないであろう。

以上のような理由から、前報(12)と同様に樹幹流の酸性度および溶存陽イオン成分との関係で土壌の化学的变化を考察してみたい。

樹幹流中の溶存要素濃度は降雨強度や降雨間隔日数の違いにより、また初期流から後続流に至る間でかなり異なっているが、樹種ごとの溶存要素の構成比率はその都度の濃度とはたいして関係なくほぼ一定であるとされている(1, 4, 11, 12)。そこで、筆者らが今日までに調査してきた(2, 8, 11, 12, 16)スギ、センノキ、オニグルミおよびコバノヤマハンノキ樹幹流についておおよその溶存要素濃度比較を行った。その結果、①スギおよびコバノヤマハンノキ樹幹流中の H^+ 濃度はほぼ $100 \sim 300 \mu eq/l$ 、すなわち pH 値で 3.5 ~ 4.0 だったのに対し、センノキおよびオニグルミ樹幹流中の H^+ 濃度は $1 \mu eq/l$ 以下、すなわち pH 6 以上と樹種により大きな違いがあったこと。②コバノヤマハンノキ樹幹流中の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 濃度指数をそれぞれ 10 とした場合、スギ樹幹流 [20, 10, 10]、センノキ樹幹流 [30, 10, 25]、オニグルミ樹幹流 [20, 25, 20] というおおよその樹種別濃度差のあったことが明らかになっている。

はじめに、それぞれの土壌における交換性塩基のうち量的に最も多い交換性 Ca^{2+} についてみると、その増加傾向はセンノキ土壌で最も強く現れ、オニグルミ土壌はそれに次いでいた。この点について、樹幹流中の Ca^{2+} 濃度が土壌の交換性 Ca^{2+} 増加に関与していたことは明らかである。それに対し、スギ土壌とコバノヤマハンノキ土壌の交換性 Ca^{2+} 量はセンノキ土壌、オニグルミ土壌との比較はいうまでもなく、対照土壌と比較しても著しく減少していた。コバノヤマハンノキ樹幹流中の Ca^{2+} 濃度が他樹種の樹幹流と比較して約半量であったにせよ、なぜ土壌中の交換性 Ca^{2+} 量が減少したのか、またスギ樹幹流中の Ca^{2+} 濃度がセンノキやオニグルミとほぼ等しいにもかかわらず、なぜ急激に土壌中の交換性 Ca^{2+} 量が減少したのか、

ここに矛盾する結果が生じた。

交換性 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ については Ca^{2+} と比較して量的に少ないため、明瞭な増減傾向は認められなかったが、スギ土壌、コバノヤマハンノキ土壌ではいずれの要素ともセンノキ土壌、オニグルミ土壌はもとより、対照土壌と比較してもかなり少なかった。一方、センノキ土壌、オニグルミ土壌ではいずれの要素とも対照土壌と比較して増加していた。このうちオニグルミ土壌においては交換性 Mg^{2+} 量の増加が明らかであり、樹幹流中の Mg^{2+} 濃度が影響していることを裏付ける結果であった。

そこで次に、スギ土壌やコバノヤマハンノキ土壌でみられたように、樹幹流中に各種塩基イオン成分が含まれているにもかかわらず、土壌コロイドに吸着されている交換性塩基が極端に減少した現象について 2, 3 の検討をしてみたい。

澤田(15)は北関東地方の腐植質黒ボク土壌上へ植栽された林齢の異なるスギ林を対象として土壌表層部の塩基蓄積を調べ、「林齢の高い林分の土壌中ほど交換性 Ca^{2+} が無機質土壌に蓄積し、土壌の中性化やアルカリ化が進行していた」という今回の筆者らの結果とは正反対の報告をしている。その中で、彼はその原因を、植物遺体の有機態窒素が無機化してアンモニアを生じ、さらにそれが酸化して硝酸イオンとなった結果、硝酸イオンは土壌コロイドにほとんど吸着されないため、交換性 Ca^{2+} などの陽イオンをともなつて溶脱・流亡するが、硝酸イオンなど陰イオン量に対し土壌中の交換性陽イオン量が圧倒的に多く、結果として交換性陽イオンが蓄積するからだと説明している。したがって、以降では同種のスギ林を対象としながら、なぜ筆者らによる調査と澤田による調査で正反対の結果が得られたのかについて解析してみる。

結論からいって、そうした正反対の結果が、林内における土壌サンプリング法の違いに由来していたことは疑う余地がない。すなわち、澤田の場合は立木からできるだけ離れた樹間部分で、逆に筆者らは立木とほとんど接している部分で土壌サンプリングを行ってきたのである。いいかえれば、前者は生きている樹木から放出される水溶性成分を含む樹幹流の影響を極力避けて、樹木遺体である A₀ 層の分解に主眼を置いた土壌変化を問題にしようとしているのに対し、後者はそれとまったく逆の視点からサンプリングをしていたのである。その結果、筆者が取り上げた土壌浸透水つまり樹幹流の pH 値が 4 以下であったのに対し、澤田が

対象にした土壌水の pH はおおむね 5 前後また樹齢の高い林分では 6 前後まで達していたというように、相互にかなり酸度の異なる浸透水だったのである。つまり、筆者らが調べたスギ土壌は、幹を迅速かつ多量に流下でき、また H^+ 源としての有機酸、無機酸由来の陰イオンを多量に含むスギ樹幹流の繰り返し洗脱によって、澤田の調べた土壌とは逆に、土壌コロイド上の交換性塩基の多くが塩類化、流亡したため酸性化が著しく促進されたものと考察した。

山谷(18)はコバノヤマハンノキの落葉分解を調べ、「この樹種の落葉が急速に分解し、土壌へ多量の有機物ならびに無機塩類を供給しているにも拘らず、この間急激に土壌が酸性化する理由は、分解過程で酸性腐植が生成され易いことにある」と報告している。山谷のこの説を別の表現でいうと、土壌へ浸透する水は酸性腐植による有機酸から解離された H^+ を多量に含んだものであり、 H^+ 源であった有機酸由来の陰イオンが土壌コロイドの交換性塩基と結合し、塩として流亡するため酸性土壌化するということである。したがって、今回供試材料となったコバノヤマハンノキ土壌はきわめて酸性の強い樹幹流を受けることによって、同様なメカニズムが働き、その結果、土壌が著しく酸性化したものと考えられる。

もちろん、山谷も樹幹流を考慮していたわけではなかったが、コバノヤマハンノキではスギでみられたような樹幹流と樹間部土壌の土壌浸透水間で大きな酸性度の違いがなく、最終的にコバノヤマハンノキ土壌は酸性化するという共通な結果が得られたのであろう。

なお、佐藤ら(14)はコバノヤマハンノキについて、「生長の旺盛なこの樹種は土壌からの養分収脱量が極めて多く、それにより土壌の酸性化がもたらされる」と結論付けている。こうした考え方は、筆者がすでに述べている、「土壌養分としての塩基類が補給されない状態で植物が生育してゆく限り、土壌中の交換性塩基が一方的に吸収されるため、その土壌が酸性化に向かうことは当然」という意見(12)とほぼ一致したものである。つまり、土壌の酸性化をもたらす原因として、これまで述べてきたような酸性の土壌浸透水そのものが影響し土壌中の交換塩基を流亡させるといった化学的メカニズムとは別に、植物根の呼吸や養分吸収作用によって交換性塩基が土壌から失われる点も見逃せない。したがって、今後は植物の成長に伴う土壌コロイド上の交換性塩基収支のメカニズムについても調べていく必要がある。

以上ここまで検討・解析してきた内容から判断して、スギ土壌やコバノヤマハンノキ土壌とは反対に、酸性度がきわめて低くしかも溶存塩基イオンを大量に含んだ樹幹流に長期間曝されたセンノキ、オニグルミ根元土壌の中性化していく必然性が明らかとなった。また樹幹流に曝されることによって、土壌の酸性度が変化するのであれば、それが長期間であるほど、すなわち樹齢の高いものほど顕著なものとなることが考えられる。今回の調査でもサンプリング調査地-6でこの点を調べようと試みたが、予測したような結果は得られなかった。これはおそらく調査本数が少なかったことによるもので、今後は土壌条件が等しい法正林を対象に樹齢と土壌の酸性化の問題を追及していきたい。

VI. ま と め

前報(12)を含むこれまでの議論を通じて、樹幹流の酸性度および溶存イオン、とりわけ Ca^{2+} が土壌の酸性度および土壌の養分量決定に大きく寄与していることが明らかとなった。すなわち、これまでに筆者らが調査した樹種でいうと、pH 値が大きく Ca^{2+} イオン濃度の高いセンノキ、オニグルミ、ユリノキなどの樹幹流に曝された土壌は交換性 Ca^{2+} に富んだ中性土壌へ、逆に pH 値が小さく Ca^{2+} 濃度が低いコバノヤマハンノキ、モミなどの樹幹流に曝された土壌は交換性 Ca^{2+} に乏しい酸性土壌へと移行する。一方、溶存 Ca^{2+} 濃度が高くても pH 値がきわめて小さいスギ樹幹流に曝された土壌、反対に pH 値が大きくても溶存 Ca^{2+} 濃度が低いブナ、ウダイカンバなどの樹幹流に曝された土壌などは交換性 Ca^{2+} に乏しい酸性土壌へと移行する傾向がある。したがって、今後は各種陽イオンと結合し、中性塩を作る各種陰イオンの動態や植物の根による塩基吸収作用をも加味した研究が要求される。

VII. お わ り に

酸性雨によって土壌の酸性化が促され、それが森林衰退をもたらすといわれて久しい。筆者らは森林土壌に達する雨水(樹幹流、林内雨)が上空から降下してくる雨水(林外雨)とは根本的に異質なものであるとの立場から、多くの調査に取り組んできた。

その結果、森林土壌の酸性化(=貧栄養化)を導く最大要因が森林を構成している樹種そのものである、との結論に至った。すなわち、ある樹種では良好な生育の代償として土壌の酸性化をもたらすが、他の樹種では生育しつつも土壌の中性化に貢献できるというよ

うに、樹種ごとの土壌変化に対する特性が樹幹流を通じて備わっていることを知ったのである。

したがって、土壌疲労を伴わず、林地の生産性を維持していくという長期的展望のもとに施業しようとするならば、樹種特性を最大限生かした混交林造成、あるいは土壌酸性化樹種を同一林地へ連続植栽しない等、万全の配慮が必要であろう。

引用文献

- (1) 後藤和秋・佐々朋幸(1991)樹幹流の酸度ならびに溶存成分に関する河川法則論的解析(2)具体例1《トチノキについて》。日林東北支誌 43: 85~86.
- (2) 長谷川浩一・佐々朋幸(1991)健全木樹幹流と枯死木樹幹流の酸性度比較—スギ、アカマツについて。日林東北支誌 43: 89~91.
- (3) 平井敬三・加藤正樹・岩川雄幸・吉田桂子(1990)樹幹流が林地土壌に与える影響(II)スギ、ヒノキ林における林外雨、林内雨、樹幹流、土壌水 pH. 101 回日林論: 243~245.
- (4) 池田重人・佐々朋幸(1991)樹幹流の酸度ならびに溶存成分に関する河川法則論的解析(3)具体例2《ケヤキについて》。日林東北支誌 43: 87~88.
- (5) 松浦陽次郎・堀田 庸・荒木 誠(1990)関東地方におけるスギ林表層土壌の pH 低下。森林立地 32: 65~69.
- (6) 森貞和仁・河室公康・川添 強・長友忠行(1990)コジイ林における土壌の化学的性質に及ぼす樹幹流の影響。101 回日林論: 247~248.
- (7) 梨本 真(1989)スギ孤立木における樹幹流・樹冠雨の基礎特性。100 回日林論: 215~218.
- (8) 野呂忠幸・佐々朋幸(1992)主な落葉広葉樹樹幹流の酸性度比較。日林東北支誌 44: 137~140.
- (9) 真田 勝・太田誠一・大友玲子・真田悦子(1991)トドマツ、エゾマツ人工林の樹幹流および林内雨の塩基特性。102 回日林論: 341~342.
- (10) 佐々朋幸(1986)アカマツ林における細根バイオマスおよびネクロマスの月別変化。37 回日林関東支論: 147~150.
- (11) 佐々朋幸・高木勇吉(1991)樹幹流の酸度ならびに溶存成分に関する河川法則論的解析(1)基本的考え方。日林東北支誌 43: 83~84.
- (12) 佐々朋幸・長谷川浩一(1992)特定樹種の樹幹流による土壌の酸性化抑制作用—ユリノキの場合。日林誌 74: 437~440.
- (13) 佐々朋幸・後藤和秋・長谷川浩一・池田重人(1990)盛岡市周辺の代表的森林における林外雨、林内雨、樹幹流の酸性度ならびにその溶存成分—樹種による樹幹流の固有値。森林立地 32: 43~58.
- (14) 佐藤 俊・後藤和秋・長谷川浩一(1968)コバノヤマハンノキおよびシラカンバ肥培林土壌の経年変化。日林東北支誌 20: 64~67.
- (15) 澤田智志(1991)森林の土壌に及ぼす影響と物質循環。東京農工大大学院・連合農学研究科博士論文。113 pp.
- (16) 高橋忠幸・佐々朋幸(1993)スギ林内混生広葉樹の樹幹流による林地養水分供給。日林論 104: 印刷中.
- (17) 脇 孝介・車戸憲二・松橋達也(1990)山地地域における雨水の酸性化の実態について。101 回日林論: 253~245.
- (18) 山谷孝一(1972)コバノヤマハンノキの葉分解と分解成分の行動。林試研報 249: 1~16.

(1993年1月18日受理)