

人工酸性雨を散布した場合の土壌通過水の水質変化

片桐成夫*・土肥奈都子*

Changes on Chemical Properties of Soil Water by Spray of Artificial Acid Rain

Shigeo KATAGIRI, Natsuko DOI

Abstract The chemical properties of water through the A₀ horizon and surface soil of an *Cryptomeria japonica* forest and a deciduous broadleaved forest dominated by *Quercus serrata* were analyzed in the spraying experiments of artificial acid rain. The amounts of cation and anion leached from A₀ and/or soil, and the acidity of surface soil were also examined. The pH of A₀ horizon passing water was similar to that of spraying water. The pH of A horizon passing water gradually declined to 4.5-5.0 in spraying artificial acid rain of pH 3 and stemflow. In spraying artificial acid rain of pH 1, that began to decline at just start of experiment and was stable to about 1.0 of pH. The leaching of ion from A₀ and/or A horizons were apparently recognized about cation, and were greatly influenced by the acidity of spraying water. The pH of soil was gradually declined from the start of experiment, and the trend was clearest in case of the artificial acid rain of pH 1.

Key word: A₀ horizon, artificial acid rain, soil pH, soil water, surface soil

はじめに

森林土壌は酸に対する緩衝能を持っており、酸性雨に対する緩衝能は炭酸塩、塩吸着、陽イオンの交換、交換性アルミニウムによる4段階の緩衝作用がおこる(石塚ら, 1990, 石塚, 1992)ことがわかっている。森林では、A₀層中や樹幹において有機酸生成や硝化作用が起こる過程で、生態系内からも水素イオンを発生する。森林植生の異なる林分での土壌での酸中和過程についての研究もヒノキ林(竹中ら, 1997)、ブナ林(井上ら, 1993)、林床タイプの違い(高田ら, 1997)などがある。また、人工酸性雨処理が土壌に及ぼす影響についていくつかの報告があり、人工酸性雨によって土壌のpHが低下する報告されている(越地, 1999, 岩井ら, 1989)。さらに、樹幹流、特にスギの樹幹流のpHが林外雨や林内雨よりも低いことから、樹幹流が土壌の酸性化に及ぼす影響を調べた例は多い(平井ら, 1990, 1992, 森貞ら, 1990, 汐月ら, 1991, 松浦ら, 1991, 松浦, 1992, 真田ら, 1992, 中尾ら, 1993, 米田ら, 1995)。しかし、A₀層を

形成する有機物層と、A層を形成する表層土壌では、全く性質が異なるが、一般にはA₀層と土壌は一体の物として森林では扱われるために、A₀層とA層を分けて通過水の水質を分けて調べた例は少なく、中尾ら(1997)、稲垣(1997)の報告があるにすぎない。

そこで本研究では、A₀層およびA層での酸性降下物に対する緩衝作用について土壌通過水の水質を分析することにより明らかにするために、土壌カラムを用いて人工酸性雨により多くの負荷を土壌に与え、酸性降下物が現在のまま降り続いた場合の長期的な予測の基礎とすることを目的として、室内実験を行った。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費補助費(基盤研究(A)(1)代表者北海道大学笹賀一郎, 11356005)によって行った。

実験方法

実験には、三瓶演習林獅子谷団地のスギ人工林と落葉広葉樹林から採取したA₀層とA層および対照としてマサ土を使用した。この3種類のA層と、2種類のA₀層を表1のように組み合わせる実験を行った。土壌の充填および通過水の採水には円筒型のテンションフリー・マ

* 森林環境学講座

マイクロライシメーター法を採用し(図1), A₀層のみの場合は直径10cm, 高さ3cm, A₀層とA層またはマサ

土を組み合わせた場合は直径10cm, 高さ11.5cmの円筒にA₀層および土壌を充填し, 表面張力の影響を除去して土壌水を流下させるため, 土壌カラム直下にプラスチックウールを充填し, 毛管連絡をとった. この装置はそれぞれの実験につき3個ずつの繰り返しとした.

散布水には, 獅子谷降水中の成分比を参考に硝酸と硫酸を用いてpH3とpH1に調整した人工酸性雨, コントロールとして蒸留水を, 樹幹流は三瓶演習林で採取したスギとコナラの樹幹流を用いた. マサ土に関しては, スギとコナラ両方の樹幹流を散水した. 以上の5種類の溶液を1日おきに30日間300mlずつ散布し, 流出した水を土壌通過水とし, 分析を行った.

また, H⁺イオンの負荷の増加に伴う土壌pHの変化をみるため, 一部土壌をカラムから採取しpH(H₂O)とpH(KCl)について測定を行なった, さらに実験開始時と終了時に土壌中の交換性塩基量を測定し, 酸の負荷による土壌中の交換性塩基量の変化を調べた.

表1 室内実験でのA₀層とA層の組み合わせ

A ₀ 層 \ A層	スギ	コナラ	マサ土	なし
スギ	○		○	○
コナラ		○	○	○
なし	○	○	○	

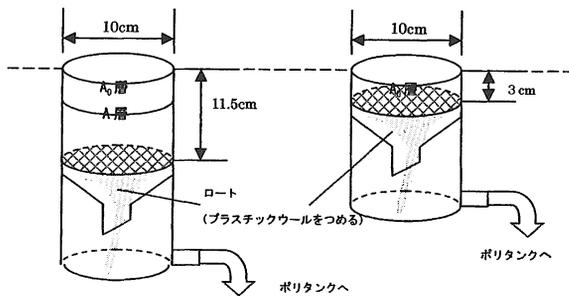


図1 マイクロライシメーターによる土壌通過水採取装置

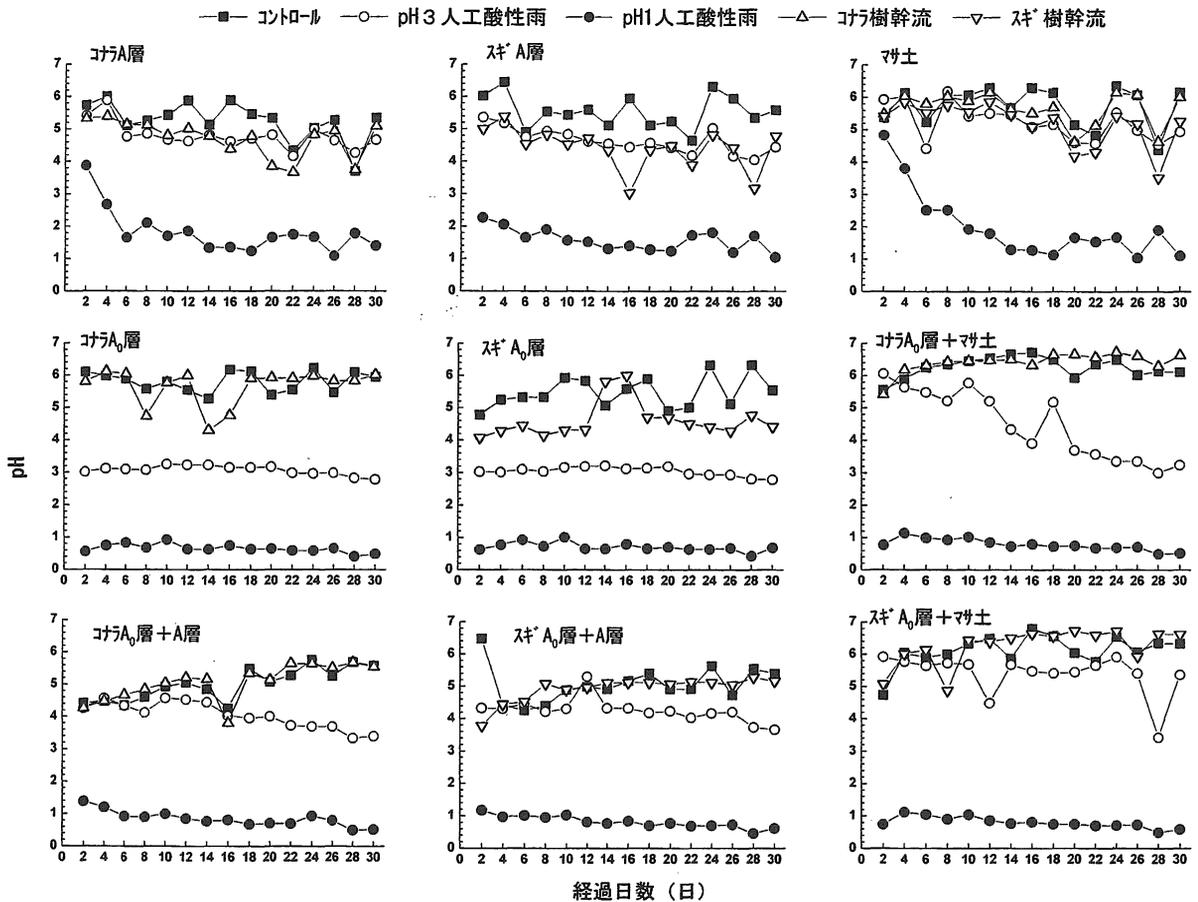


図2 土壌通過水のpHの変化

分析 方 法

採取した土壌通過水は、口径0.8 μ mのメンブレンフィルターによる吸引ろ過後、分析を行った。pH、Ec、カチオン(Ca, Mg, K, Na, NH₄)およびアニオン(Cl, NO₃, SO₄)並びにAlイオン濃度の分析を行った。また、分析までの間はサンプルを5℃に設定した冷蔵庫に保存した。pHはガラス電極法、EcはEcメーター、カチオン、アニオンはイオンクロマトグラフィー法、Alは原子吸光法を用いて分析を行った。土壌のpHは生土：蒸留水またはKCl溶液=1:2.5の懸濁液により測定を行った。実験開始および終了時の土壌の交換性塩基は1N酢酸アンモニウム抽出液について原子吸光法を用いた。

結果および考察

1. 土壌通過水のイオン濃度変化

森林土壌に酸性の強い降水が浸透した場合に土壌の酸緩衝能が働き、土壌の酸性化を和らげるようにイオンの

交換が行われるが、その能力を超えた場合に土壌は酸性化し、スギ人工林では樹幹流の負荷によって土壌が酸性化してきているとされている(松浦ら, 1991, 松浦, 1992)。そこで森林土壌に人工的に強酸性の酸性雨を負荷することによって土壌を通過する水の水質がどのように変化するかを検討する。

A₀層および土壌を通過した水の量は、散布後2日目に測定したが、散布水量とほぼ等しかった。

a)pHおよびEc

図2に様々な土壌の組み合わせによる土壌通過水のpHの変化を示した。A₀層通過水のpHはコナラA₀層の場合、ほとんど変化がなく、コントロール、樹幹流で6前後、pH1, pH3人工酸性雨ではほとんど散布水と変わらなかった。スギA₀層の場合はコントロールでpH5前後、樹幹流で4前後、pH1, pH3人工酸性雨ではコナラと同様に散布水と変わらなかった。

コナラA層、スギA層、マサ土を通過した土壌通過水のpHはコントロール、樹幹流、pH3人工酸性雨散布の場合ともに徐々に低下したもののpH4~5の範囲でどまった。これに対して、pH1人工酸性雨散布の場合

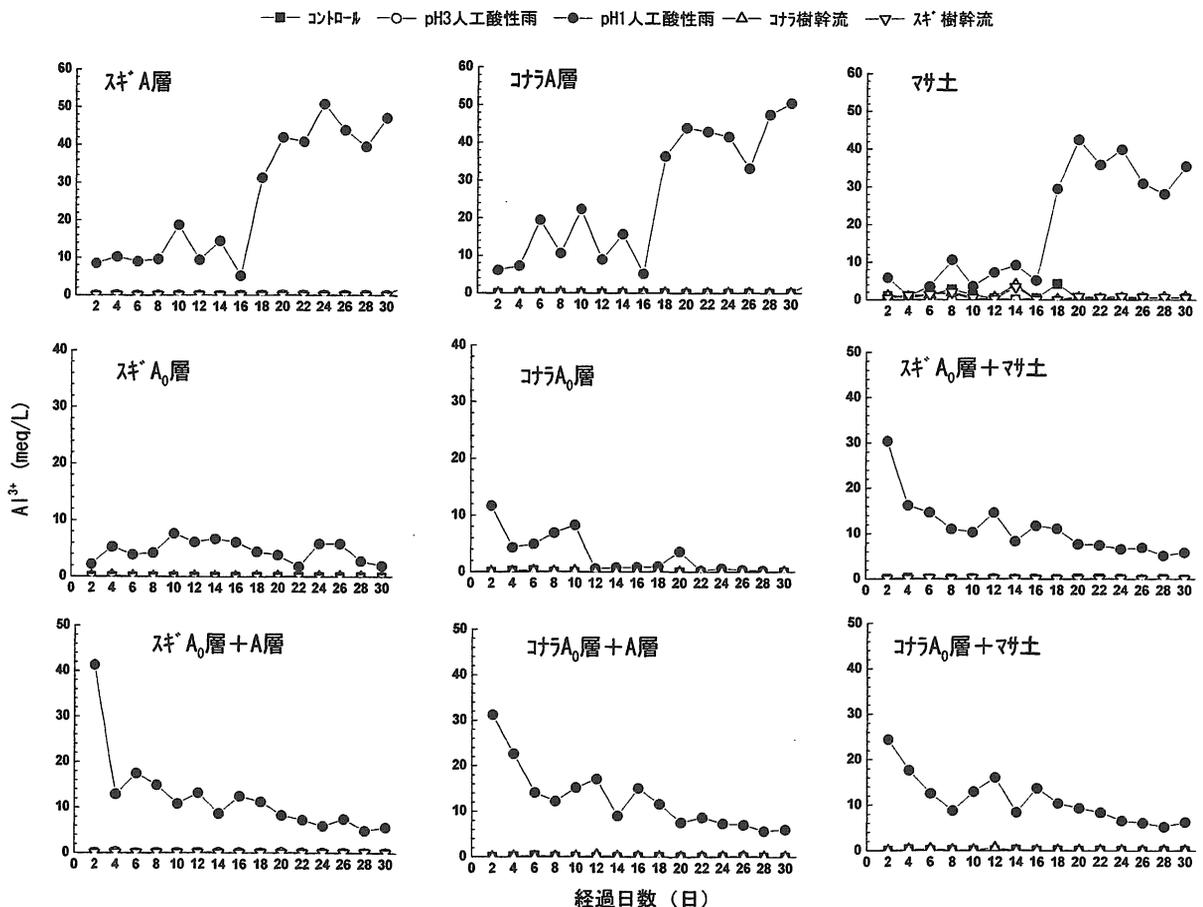


図3 土壌通過水のAlイオン濃度の変化

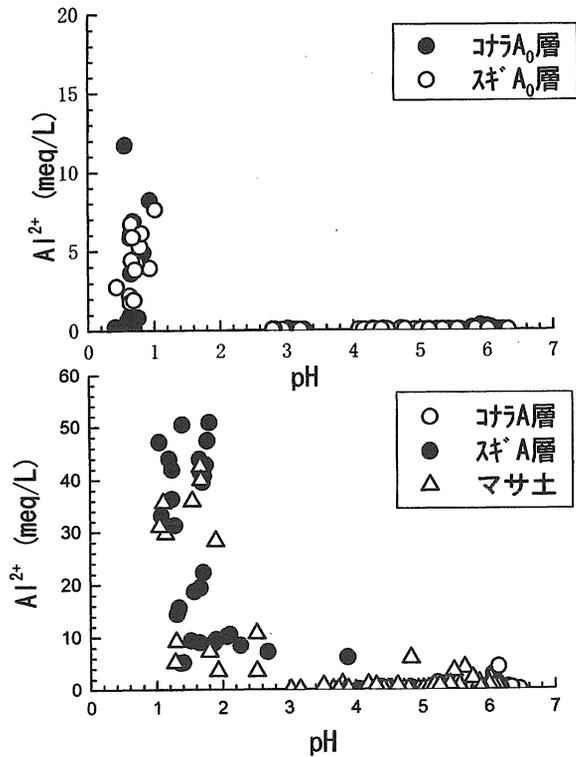


図4 土壌通過水のpHとAlイオン濃度の関係

土壌通過水のpHは1～2の範囲にまで低下し、散布水のpHに近づいた。

コナラ A₀+A 層, スギ A₀+A 層の場合, コントロール, 樹幹流散布で通過水のpHは4.5から5.0へと徐々に上昇した. pH3人工酸性雨散布ではコナラの場合4.5から3.5へ徐々に低下し, スギの場合4.5～4.0の範囲で緩やかに低下した. pH1人工酸性雨散布でもコナラの場合1.5から0.5へ, スギの場合は1.2から0.5へと徐々に低下した.

コナラ A₀層, スギ A₀層とマサ土を組み合わせた場合も, コントロール, 樹幹流散布, pH1人工酸性雨散布で, pHの値にわずかな違いがあるもののコナラ A層, スギ A層との組み合わせと同様の变化傾向を示した. pH3人工酸性雨散布の場合にはコナラとスギで傾向が異なり, コナラの場合に通過水のpHが6から3へと大きく低下したのに対してスギでは6から5.6へと緩やかに低下した. ここではpH1という強酸を30日間の短期間で散布したためにpHの低下が著しいが, 越地(1999)は4年間をかけてゆっくりと人工酸性雨処理を行い, 3年目に土壌水のpHが4.6に低下したとしている. その

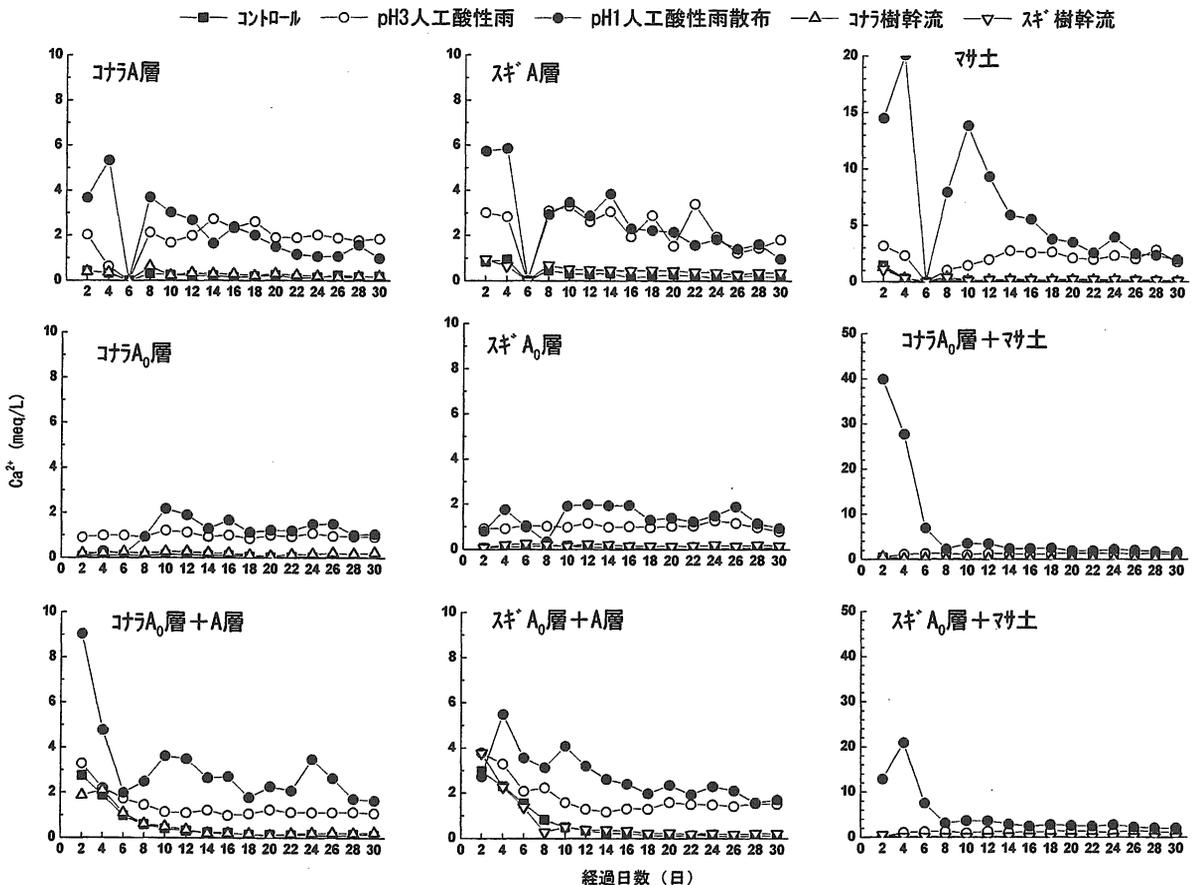


図5 土壌通過水のCa濃度の変化

表2 土壌通過水のイオン濃度の平均値

	コナラA層				スギA層				マサ土				
	コントロール	pH3	pH1	樹幹流	コントロール	pH3	pH1	樹幹流	コントロール	pH3	pH1	樹幹流	樹幹流 (コナラ) (スギ)
pH	5.27	4.80	1.81	4.73	5.55	4.64	1.58	4.42	5.74	5.23	2.00	5.65	5.18
Ec	62	902	16142	109	76	908	17196	139	114	1013	18773	109	171
Ca	0.212	1.838	2.123	0.264	0.319	2.280	2.588	0.459	0.182	2.063	6.511	0.212	0.237
Mg	0.058	0.616	0.746	0.079	0.047	0.548	0.640	0.068	0.067	0.745	4.305	0.073	0.090
K	0.041	0.209	0.281	0.066	0.037	0.260	0.327	0.053	0.026	0.201	0.535	0.045	0.051
Na	0.131	4.933	5.032	0.315	0.138	5.091	5.366	0.278	0.830	5.693	7.069	1.055	1.149
Al	0.01	0.04	26.08	0.02	0.01	0.06	25.38	0.02	1.03	0.01	19.24	0.84	0.90
NH ₄	0.001	0.001	0.375	0.003	0.000	0.000	0.372	0.000	0.001	0.000	0.014	0.001	0.000
Cl	0.055	2.791	3.098	0.314	0.077	2.894	3.768	0.408	0.141	3.267	3.526	0.382	0.468
NO ₃	1.08	5.37	131.56	1.08	1.36	6.38	132.95	1.39	0.28	5.02	146.16	0.27	0.27
SO ₄	0.07	2.20	62.73	0.11	0.10	2.56	65.56	0.16	0.79	3.75	73.47	0.80	0.86
	コナラA ₀ 層				スギA ₀ 層				コナラA ₀ 層+マサ土				
	コントロール	pH3	pH1	樹幹流	コントロール	pH3	pH1	樹幹流	コントロール	pH3	pH1	樹幹流	樹幹流
pH	5.82	3.07	0.65	5.66	5.48	3.05	0.71	4.62	6.27	4.47	0.79	6.42	
Ec	8	1253	120816	40	13	1241	123006	45	73	1046	80017	94	
Ca	0.071	0.988	1.138	0.193	0.081	1.024	1.409	0.178	0.106	1.185	6.833	0.140	
Mg	0.024	0.470	0.914	0.077	0.042	0.431	0.936	0.044	0.035	0.525	13.261	0.050	
K	0.023	0.063	0.123	0.103	0.031	0.056	0.241	0.054	0.025	0.094	3.381	0.043	
Na	0.038	5.561	5.529	0.072	0.025	5.523	6.090	0.071	0.551	5.332	6.216	0.710	
Al	0.035	0.022	2.950	0.036	0.006	0.030	4.588	0.025	0.097	0.028	11.147	0.137	
NH ₄	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cl	0.013	3.222	10.792	0.068	0.014	3.218	16.390	0.072	0.035	2.975	9.311	0.064	
NO ₃	0.01	1.82	347.24	0.01	0.00	1.80	468.39	0.09	0.02	1.74	280.95	0.01	
SO ₄	0.01	3.07	484.98	0.05	0.02	3.07	654.91	0.06	0.16	2.79	396.06	0.21	
	コナラA ₀ 層+A層				スギA ₀ 層+A層				スギA ₀ 層+マサ土				
	コントロール	pH3	pH1	樹幹流	コントロール	pH3	pH1	樹幹流	コントロール	pH3	pH1	樹幹流	樹幹流
pH	5.00	4.05	0.85	5.07	5.07	4.26	0.82	4.92	6.12	5.40	0.80	6.26	
Ec	129	995	73641	150	136	1021	84149	160	71	974	79057	101	
Ca	0.556	1.406	3.094	0.550	0.656	1.815	2.749	0.725	0.107	1.136	4.939	0.121	
Mg	0.155	0.531	2.867	0.185	0.115	0.454	3.879	0.113	0.027	0.602	11.133	0.040	
K	0.046	0.101	0.530	0.097	0.038	0.084	0.672	0.049	0.025	0.091	3.292	0.031	
Na	0.109	5.333	5.139	0.146	0.107	5.286	5.585	0.166	0.553	5.293	5.947	0.795	
Al	0.043	0.088	12.710	0.060	0.022	0.078	12.189	0.044	0.097	0.019	11.243	0.084	
NH ₄	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000	0.000	0.118	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cl	0.058	3.010	10.681	0.083	0.042	3.199	12.995	0.094	0.021	3.227	14.197	0.080	
NO ₃	0.51	2.15	335.01	0.42	0.56	2.38	444.64	0.37	0.01	1.80	455.58	0.03	
SO ₄	0.07	2.46	465.38	0.11	0.11	2.48	611.49	0.15	0.18	3.09	626.31	0.23	

単位：Ec μS/cm カチオン，アニオン meq/L

ときに SO_4 イオンの増大が影響したと述べている。

Ec はいずれの組み合わせの場合も pH1 人工酸性雨の散布により、徐々に上昇し、コナラ A 層、スギ A 層、マサ土の場合に 14 日目から急に高くなった。A₀ 層の場合はコナラ、スギともに 2・4 日目から Ec が高くなり、その後も徐々に上昇した。A₀ 層と A 層を組み合わせると実験開始から徐々に上昇し、A₀ 層とマサ土の組み合わせでは直後から Ec が高く、その後ほとんど変化はみられなかった。Ec は pH が低下するにつれて大きくなると報告されており (汐月ら, 1991), ここでも pH1 人工酸性雨の散布で顕著な増大がみられた。

b) Al 濃度の変化および pH との関係

図 3 に A₀ 層通過水、土壌通過水の Al 濃度の変化を示す。A₀ 層通過水の Al 濃度は pH1 人工酸性雨の散布によってのみ検出され、コナラ A₀ 層では 10 から 0.1meq/L, スギ A₀ 層では 10 から 2meq/L へと時間とともに低下した。土壌通過水の Al 濃度も pH1 人工酸性雨の散布でのみみられ、コナラ A 層、スギ A 層、マサ土ともに 18 日目から急に高くなった。これに対して A₀

層と土壌を組み合わせた場合には pH1 人工酸性雨散布で Al が試験開始直後から検出され、時間とともに低下した。

A₀ 層および A₀ 層+A 層通過水の pH と Al 濃度の関係は図 4 に示すように、pH が低下すると Al 濃度が高くなり、明らかに Al の溶出が見られる。この傾向は A 層通過水で最も顕著に見られ、コナラ A 層では pH3 以下で、スギ A 層では pH2.5 以下で明らかであった。

マサ土については pH4 以上でもわずかに Al 濃度の上昇が見られた。これらはいずれも pH1 人工酸性雨を散布した場合であり、pH3 人工酸性雨、樹幹流散布では Al の溶出は見られなかった。A₀ 層通過水および A₀+A 層通過水では pH1 人工酸性雨散布の場合に Al の溶出が見られるが A 層のみの場合に比べると Al 濃度の上昇は小さかった。これは A₀ 層が存在することにより Al の溶出が抑制されたと言える。

c) カチオン濃度 (Ca, Mg, K, Na, NH₄)

図 5 にカチオン濃度の変化を Ca について示した。他のイオンについてはアニオンとともに平均値を表 2 に示

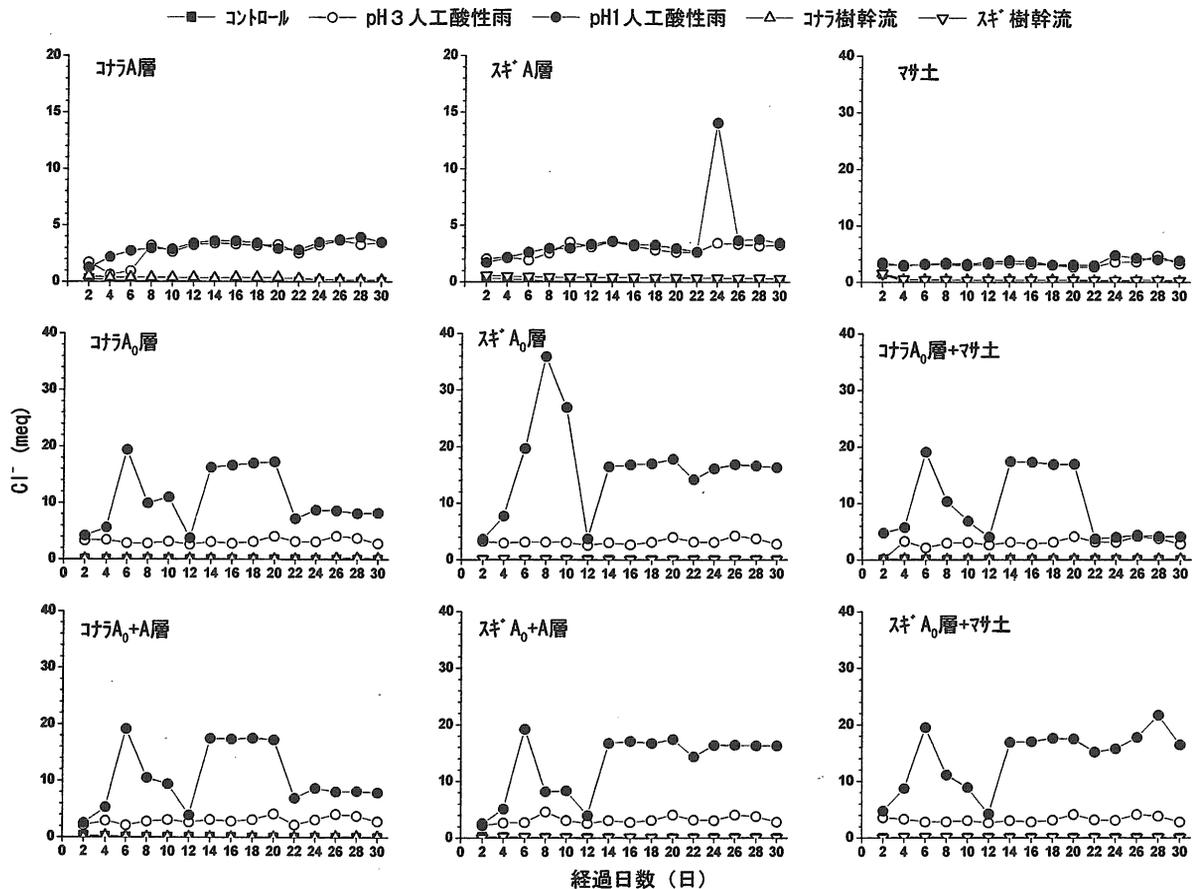


図 6 土壌通過水の Cl イオン濃度の変化

した。A₀層通過水のカチオン濃度は pH1, pH3 人工酸性雨散布の場合に高い値を示し、A₀層からの溶脱が認められ、特に Na でコントロール、樹幹流散布との差が大きく、K で差が小さかった。NH₄濃度はコントロール、樹幹流散布で溶脱がみられたがその濃度は極めて低かった。

土壌通過水のカチオン (Ca, Mg, K, Na) の濃度はコントロール、樹幹流散布では 2, 4 日目からやや高い値を示したが、それ以降は低濃度で推移した。これに対して、pH1, pH3 人工酸性雨散布で期間中を通して高い値を示し、特に Na, Mg, Ca の溶出が明らかであった。NH₄濃度はコナラ、スギ A 層で pH1 人工酸性雨散布の場合に時々高い値を示したが、その他の場合にはほとんど検出されなかった。

A₀層と土壌を組み合わせた実験では、カチオン濃度は基本的には実験開始直後に高い濃度を示し、徐々に低下する傾向を示した。しかし、Ca ではコナラ A₀層+マサ土、スギ A₀層+マサ土の場合 pH1 を除く 3 処理で変化はなかった。K ではスギ A₀+A 層、コナラ A₀層+マサ土、スギ A₀層+マサ土で pH1 を除く処理で変化を示さなかった。また、マサ土と組み合わせた場合に pH1

人工酸性雨散布の場合に 12 日目にピークを示す上昇傾向を開始直後から示した。Mg ではコナラ A₀+A 層の pH1 人工酸性雨散布の場合に 22 日目から上昇傾向を示し、スギ A₀+A 層、コナラ A₀層+マサ土、スギ A₀層+マサ土の pH1 人工酸性雨散布を除く 3 処理で変化がなかった。

また、Na については全ての組み合わせで pH1, pH3 直後を除きほぼ同じ濃度を示し、両者に明らかな違いは見られなかった。NH₄濃度はコナラ A₀+A 層、スギ A₀+A 層で 4~8 日に溶出した以外はほとんど検出されなかった。

以上のようにカチオンの土壌通過水への溶出は酸緩衝の第 2 段階の交換性イオンによる中和によるものと考えられ、樹幹流、pH3 人工酸性雨で同様の傾向を示したものと考えられる。これに対して pH1 人工酸性雨では Al の溶出に見られるように第 3 段階の二次鉱物による中和がおこったものである (竹中ら, 1997, 石塚ら, 1990)。

d) アニオン濃度 (Cl, NO₃, SO₄)

図 6 にアニオンの一例として Cl 濃度の変化を示した。

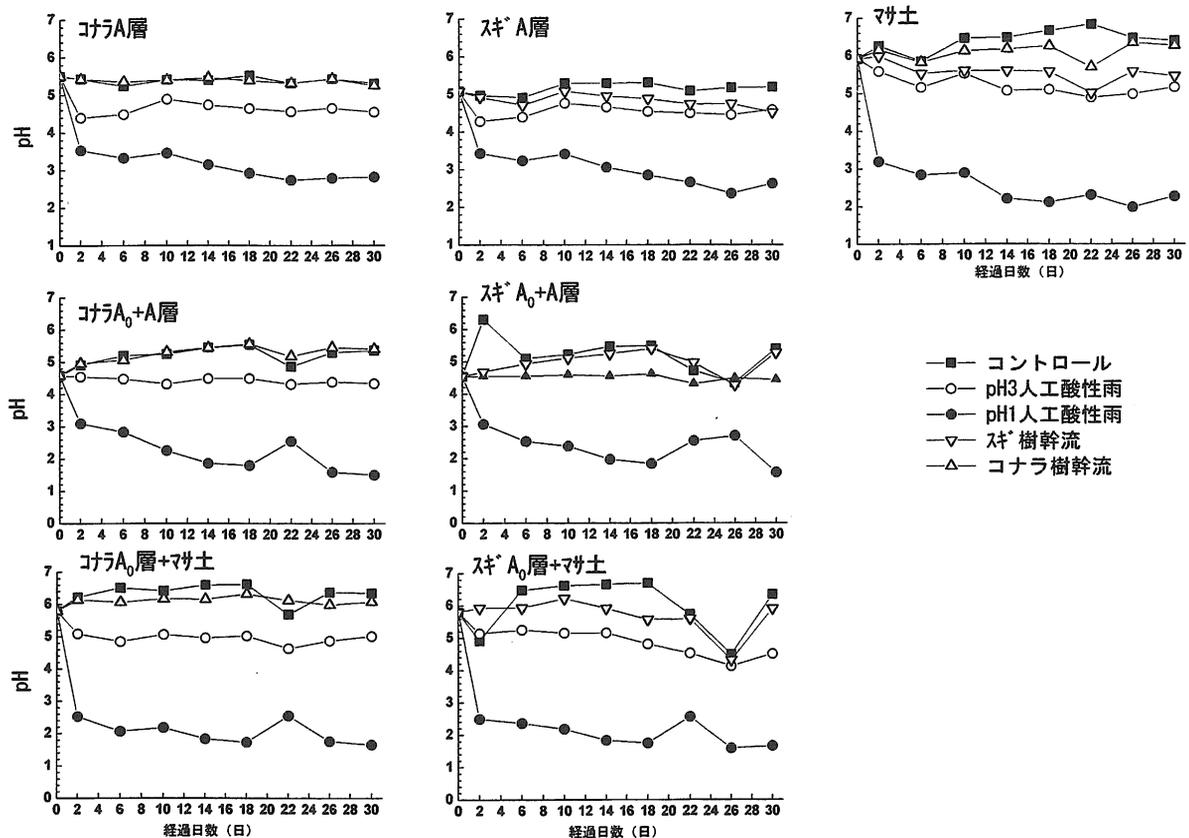


図 7 土壌 pH の変化

表3 土壌からのイオン溶脱量 (g/m², 土壌通過水—散布水で算出)

散布水	コナラ A 層				スギ A 層				マサ土				
	コントロール	樹幹流	pH3	pH1	コントロール	樹幹流	pH3	pH1	コントロール	コナラ樹幹流	スギ樹幹流	pH3	pH1
Ca ²⁺	1.8	1.6	17.9	20.0	2.7	4.4	18.3	26.4	1.5	2.1	1.4	18.6	69.8
Mg ²⁺	0.3	0.3	3.9	4.5	0.2	0.4	2.9	4.0	0.4	0.5	0.4	4.4	27.5
K ⁺	-0.8	0.2	5.5	5.7	-1.1	0.7	4.8	7.2	-1.3	0.6	-0.1	4.1	10.8
Na ⁺	1.2	1.1	62.7	56.9	1.2	1.3	52.8	63.6	11.3	12.0	12.6	64.6	80.6
NH ₄ ⁺	0.0	-0.8	0.0	2.6	0.0	-0.2	0.0	2.7	-0.0	0.00	-0.0	0.0	0.1
Al ³⁺	0.0	0.1	0.2	120.1	0.0	0.1	0.3	121.2	5.0	3.8	4.2	0.1	89.2
Cl ⁻	1.2	1.8	-2.6	-2.4	1.6	4.7	-10.1	-24.5	3.0	6.5	9.5	-5.6	-165.1
NO ₃ ⁻	38.5	34.6	21.9	3988.7	44.8	45.3	17.3	-6521.2	9.6	9.3	9.4	97.9	-7615.8
SO ₄ ²⁻	1.7	1.3	-22.6	1450.2	2.4	3.4	-24.9	-2821.2	23.1	20.9	23.6	9.8	-11446.6
散布水	コナラ A ₀ 層				スギ A ₀ 層				コナラ A ₀ 層+マサ土				
	コントロール	樹幹流	pH3	pH1	コントロール	樹幹流	pH3	pH1	コントロール	コナラ樹幹流	スギ樹幹流	pH3	pH1
Ca ²⁺	0.8	2.0	9.5	11.1	0.9	1.8	10.1	11.6	1.3	-0.4		11.7	87.4
Mg ²⁺	0.1	0.6	2.4	5.6	0.2	0.3	2.2	5.1	0.2	0.1		2.7	91.2
K ⁺	0.6	1.6	1.4	2.7	0.7	0.5	1.3	5.1	0.6	-1.2		2.0	74.2
Na ⁺	0.2	0.5	58.5	58.8	-0.0	0.5	58.9	47.3	7.8	9.5		53.4	70.0
NH ₄ ⁺	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0		0.0	0.0
Al ³⁺	0.2	0.2	0.1	16.2	0.0	0.1	0.2	23.2	0.5	0.7		0.1	59.1
Cl ⁻	-1.6	0.4	64.5	229.5	-1.6	0.5	65.1	-3323.9	-1.1	0.6		57.3	195.0
NO ₃ ⁻	-0.9	-2.2	-194.0	12012.4	-0.9	0.7	-194.5	-11924.0	-0.4	-0.5		-197.8	9446.1
SO ₄ ²⁻	0.0	1.0	22.2	13205.3	0.3	1.0	22.8	12492.6	4.1	4.1		12.1	10588.5
散布水	コナラ A ₀ 層+A 層				スギ A ₀ 層+A 層				スギ A ₀ 層+マサ土				
	コントロール	樹幹流	pH3	pH1	コントロール	樹幹流	pH3	pH1	コントロール	コナラ樹幹流	スギ樹幹流	pH3	pH1
Ca ²⁺	7.0	4.7	14.9	39.1	8.4	9.3	19.5	28.0	1.3		1.2	10.8	54.7
Mg ²⁺	1.1	1.2	3.0	19.6	0.8	0.9	2.4	32.6	0.1		-0.1	3.2	72.9
K ⁺	1.1	0.2	2.4	12.0	0.9	0.4	1.9	21.1	0.6		-0.1	1.9	70.1
Na ⁺	1.3	1.8	55.3	54.5	1.2	2.0	54.6	43.2	7.9		10.7	52.8	44.0
NH ₄ ⁺	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0		-0.0	0.0	0.0
Al ³⁺	0.2	0.3	0.4	73.3	0.1	0.2	0.4	73.9	0.5		0.4	0.1	60.3
Cl ⁻	-0.4	1.1	59.7	222.9	-0.9	1.3	63.7	-3396.8	-1.4		0.5	66.8	-3375.5
NO ₃ ⁻	18.7	13.5	-180.4	11244.2	20.2	11.9	-172.9	-12910.5	-0.7		-1.4	-194.1	-12780.7
SO ₄ ²⁻	1.6	2.3	4.4	12361.8	2.5	3.3	5.3	11157.2	4.5		5.4	25.6	11312.7

A₀層通過水の Cl 濃度は pH1, pH3 人工酸性雨散布の場合のみ溶出が見られ, pH1 で pH3 よりも高かった。

A 層通過水の Cl 濃度は樹幹流散布の場合に全ての土壌で高い値を示し, pH1 人工酸性雨散布の場合にコナラ, スギ A 層で高い値を示した。A₀層と A 層を組み合わせた場合には Cl 濃度は A₀層のみと同様に pH1, pH3 人工酸性雨散布の場合のみ溶出が見られ, pH1 で pH3 よりも高かった。

NO₃, SO₄ 濃度は pH1 人工酸性雨散布の場合のみ全ての土壌で時間とともに上昇の傾向を示し, pH1, pH3 人工酸性雨散布では散布水の濃度をそのまま反映した。A₀層と土壌を組み合わせると NO₃ 濃度はコントロール, 樹幹流散布の場合に A₀+A 層で徐々に低下し, SO₄ 濃度は A₀層+マサ土で徐々に低下した。

井上らは(1993)ヒノキ林の土壌浸透水の SO₄ 濃度は表層土壌ほど高く, 下層で溶脱が大きくなるとしている。

表4 実験開始前後の A₀ 層および土壌の交換性塩基量

		A ₀ 層のみ				A 層土壌のみ								
		A ₀ 層				A 層								
		Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na	
		開始時	6.31	0.26	0.03	0.01	開始時	2.34	1.41	0.39	0.21			
コナラ	終了時	コントロール	5.39	0.25	0.01	0.00	コナラ	終了時	コントロール	0.34	0.32	0.04	0.02	
		樹幹流	4.67	0.24	0.01	0.01			樹幹流	0.26	0.33	0.04	0.03	
		pH3	4.12	0.19	0.01	0.03			PH3	0.22	0.38	0.04	0.17	
		pH1	0.48	0.04	0.00	0.02			PH1	0.00	0.08	0.03	0.13	
		開始時	9.84	0.22	0.02	0.01	開始時	3.55	1.32	0.46	0.17			
スギ	終了時	コントロール	8.95	0.20	0.01	0.00	スギ	終了時	コントロール	0.38	0.31	0.05	0.02	
		樹幹流	7.10	0.21	0.01	0.01			樹幹流	0.40	0.33	0.05	0.03	
		pH3	9.08	0.19	0.01	0.04			PH3	0.44	0.41	0.05	0.17	
		pH1	0.53	0.14	0.01	0.02			PH1	0.00	0.13	0.03	0.14	
		開始時	10.21	1.87	0.50	0.87	開始時	10.21	1.87	0.50	0.87			
		終了時	コントロール	0.67	0.53	0.04	0.06	マサ土	終了時	コントロール	0.67	0.53	0.04	0.06
		終了時	スギ樹幹流	0.93	0.59	0.04	0.06			スギ樹幹流	0.93	0.59	0.04	0.06
		終了時	コナラ樹幹流	0.91	0.58	0.03	0.06			コナラ樹幹流	0.91	0.58	0.03	0.06
		終了時	PH3	0.67	0.53	0.04	0.06			PH3	0.67	0.53	0.04	0.06
		終了時	PH1	0.56	0.54	0.04	0.11	PH1	0.56	0.54	0.04	0.11		
A ₀ 層 + A 層土壌														
		A ₀ 層				A 層								
		Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na	Ca	Mg	K	Na	
		開始時	6.31	0.26	0.03	0.01	開始時	3.08	1.63	0.46	0.41			
コナラ	終了時	コントロール	3.73	0.23	0.01	0.01	コナラ	終了時	コントロール	0.03	0.45	0.07	0.04	
		樹幹流	3.65	0.24	0.01	0.01			樹幹流	1.65	0.80	0.10	0.09	
		pH3	3.20	0.20	0.01	0.03			pH3	0.03	0.47	0.07	0.18	
		pH1	0.05	0.12	0.01	0.02			pH1	0.00	0.74	0.07	0.16	
		開始時	9.84	0.22	0.02	0.01	開始時	4.07	1.46	0.49	0.40			
スギ	終了時	コントロール	6.40	0.22	0.01	0.01	スギ	終了時	コントロール	0.53	0.57	0.09	0.04	
		樹幹流	5.02	0.21	0.01	0.01			樹幹流	0.62	0.58	0.09	0.05	
		pH3	5.78	0.20	0.01	0.02			pH3	0.20	0.63	0.09	0.19	
		pH1	0.03	0.10	0.01	0.02			pH1	0.00	0.76	0.07	0.17	
		開始時	6.31	0.26	0.03	0.01	開始時	5.84	1.82	0.48	0.88			
コナラ	終了時	コントロール	3.32	0.24	0.02	0.01	マサ土	終了時	コントロール	1.43	0.77	0.09	0.11	
		コナラ樹幹流	2.87	0.25	0.04	0.00			コナラ樹幹流	0.04	0.51	0.09	0.04	
		pH3	2.38	0.21	0.03	0.03			pH3	1.54	0.79	0.09	0.17	
		pH1	0.00	0.06	0.02	0.02			pH1	0.00	0.70	0.14	0.08	
		開始時	9.84	0.22	0.02	0.01	開始時	5.84	1.82	0.48	0.88			
スギ	終了時	コントロール	6.56	0.22	0.01	0.00	マサ土	終了時	コントロール	1.46	0.78	0.09	0.12	
		スギ樹幹流	4.55	0.21	0.01	0.01			スギ樹幹流	1.54	0.79	0.09	0.07	
		pH3	5.71	0.21	0.02	0.03			pH3	1.15	0.77	0.08	0.16	
		pH1	0.35	0.10	0.01	0.02			pH1	0.01	0.72	0.15	0.08	

単位：A₀ 層は meq/100g dry weight, 土壌は meq/100g soil

また、酸性雨によって土壤浸透水の SO_4 のが2, 3倍高くなるとしている。本実験で SO_4 イオンが pH1, pH3 人工酸性雨散布で高くなったのと同様の結果といえよう。

2. 土壤からのイオンの溶出量

前節で検討した土壤通過水のイオン濃度は、土壤中で酸緩衝能がはたらきイオン交換がおこった結果である。そのまま土壤からのイオンの溶出とすることは出来ない。そこで、土壤通過水の溶存イオン量から人工酸性雨散布による負荷イオン量を差し引いて、イオン溶出量を求めて表3に示した。

A_0 層からはすべてのカチオンで溶出が見られ、コナラとスギに大きな差は見られなかった。また、散布水の違いで比較するとコントロール、樹幹流、pH3 人工酸性雨、pH1 人工酸性雨の順に溶脱量が多くなり、酸性が強い溶液を散布するほどカチオンの溶出が大きくなった。アニオンに関しては SO_4 イオンがカチオンと同様の傾向を示したのに対して、 Cl 、 NO_3 イオンはコナラで溶脱がおこり、スギでは吸着がおこるという逆の傾向を示した。

A 層またはマサ土からの溶脱量は A_0 層の場合と同様に K イオンのコントロールを除いてカチオンで明らかな溶脱の傾向が見られた。また、散布水の酸性の強さの順に溶脱量が増大する傾向が明らかであった。土壤の種類で比較すると、コナラ A 層・スギ A 層の間には大きな差はないが、マサ土からのイオン溶脱量は pH1 人工酸性雨散布の場合に明らかに多くなった。アニオンについては NO_3 、 SO_4 イオンともに pH1 人工酸性雨散布の場合にコナラ A 層では溶脱が、スギ A 層では吸着がおこる傾向を示した。

A_0 層と A 層を組み合わせた場合のカチオンの溶脱量は、 A_0 層のみ、A 層のみの場合と同様の傾向を示し、コナラ A_0 層+A 層、スギ A_0 層+A 層、コナラ A_0 層+マサ土、スギ A_0 層+マサ土のすべてにおいて、散布水の酸性度の強いほど溶脱が多くなった。しかし、マサ土との組み合わせでは樹幹流散布の場合に一部のイオンで溶脱が見られない場合があった。アニオンに関しては A_0 層、A 層と同様に pH1 人工酸性雨散布の場合に Cl 、 NO_3 イオンはスギ A_0 層と組み合わせると吸着され、コナラ A_0 層と組み合わせると溶脱されるという傾向の相違がみられた。 SO_4 イオンについてはカチオンと同様の傾向を示した。土壤浸透水の NO_3 濃度は林外雨、林内雨、樹幹流より低くなり、特に表層で検出できなかつ

た(井上ら, 1993)としているが、本実験で NO_3 イオンが土壤に吸着された原因はこの点にあるとも考えられるが、井上らが樹木に吸収されたとしているのと実験条件が異なり本実験では樹木による吸収はありえない。この点についてはその原因は不明であり、再検討を要するであろう。

表4は土壤中の交換性塩基量を実験の開始前と終了時で比較したものである。この表からも散布水の pH が低いほど、実験終了時の土壤の交換性塩基量が減少しており、塩基の溶脱がおこっていることが明らかである。 A_0 層中の交換性塩基量の減少は A_0 層のみの実験では pH1 を除いて緩やかであるが、A 層またはマサ土と組み合わせた場合には A_0 層の交換性塩基の減少が大きくなる傾向を示した。

以上の点から、土壤中のカチオンの溶脱には散布水の pH の違いが大きく影響しており、土壤中で H^+ イオンとの交換が行われることによって、土壤の酸性化が進行すると考えられる。同時に土壤と A_0 層の組み合わせが A_0 層からの塩基の溶脱を促進している。これは土壤との接触により A_0 層の分解が促進されることを示している。

3. 土壤 pH の変化

人工酸性雨の散布にともなう土壤の pH の変化を図7に示した。コナラ、スギ A 層ともに pH1 の人工酸性雨を散布すると、2日目から pH は 3.5 前後に低下し、さらに徐々に低下した後 18 日目以降には pH3.0 以下になった。この傾向はマサ土についても見られ、スギ、コナラ A 層よりも pH が低くなった。これに対して、pH3 の人工酸性雨の散布による土壤の pH の低下は小さく、コナラ、スギ土壤で 4.5 前後、マサ土で 5.0 強であった。一方、樹幹流散布、コントロールの場合、土壤 pH の変化はほとんど見られず、マサ土では逆に pH が上昇する傾向を示した。

A_0 層と A 層とを組み合わせた実験ではコナラ A_0 +A 層、スギ A_0 +A 層、コナラ A_0 層+マサ土、スギ A_0 層+マサ土ともにコントロール、樹幹流散布では土壤 pH の低下は見られなかった。pH3 の人工酸性雨の散布によってもコナラ A_0 +A 層、スギ A_0 +A 層の場合は pH の変化は見られなかった。しかし、コナラ A_0 層+マサ土、スギ A_0 層+マサ土の場合には pH3 の人工酸性雨でも土壤 pH は 5.0 前後に低下した。pH1 の人工酸性雨を散布した場合はいずれの組み合わせでも土壤 pH は低下速度に差はあるものの 30 日目には 2.0 前後に低下した。

コナラ，スギの A 層は A₀ 層が存在することによって pH3 程度の酸性雨では土壌 pH の低下は起こらないが，pH1 の酸性雨では A₀ 層の有無に関係なく土壌 pH の低下が起こることが明らかとなった。

引用文献

- 平井敬三・加藤正樹・岩川雄幸・吉田桂子：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，土壌水の pH. 日林論 **101**: 243-245, 1990,
- 平井敬三・加藤正樹・岩川雄幸・吉田桂子：樹幹流が林地土壌に与える影響（Ⅲ）土壌水の深さ別 pH 及び塩基動態. 日林論 **103**: 253-254, 1992,
- 稲垣昌宏：土壌深度による土壌溶液変化及び林分比較. 日林九支論集 **50**: 131-132, 1997
- 井上克弘・横田紀雄・村井宏・熊谷直敏・望月純：富士山麓におけるブナ林，ヒノキ林の雨水及び土壌浸透水の水質とブナの酸性雨中和機能. 日土肥誌 **64**(3): 265-274, 1993
- 石塚和裕・高橋正通，高橋美代子：人工酸性雨による土壌の pH 緩衝能. 日林論 **101**: 249-250, 1990
- 石塚和裕：酸性降下物に対する土壌緩衝能の実体と評価. 森林立地 **34**(1): 26-35, 1992
- 岩井宏寿・在原栄子：都市緑地の架橋保全機能に関する検討－硫酸水及び硝酸水散布による樹木の半農と土壌への影響. 千葉県林試業務報告 **23**: 31-32, 1989
- 越地正：コナラ林における人工酸性雨処理の影響. 日林
関東支論 **50**: 91-92, 1999
- 松浦陽次郎・堀田庸，荒木誠：関東地方におけるスギ林表層土壌の pH 低下. 森林立地 **32**(2): 65-69, 1991,
- 松浦陽次郎：樹幹流と土壌の酸性化の実態. 森林立地 **34**(1): 20-25, 1992,
- 中尾登志雄・野田高博・黒木嘉久：スギ樹幹流の土壌への影響. 日林九支論集：**46**: 197-198, 1993
- 中尾登志雄・黒木嘉久・宮内拓郎：森林土壌通過水による水質変化. 日林九支論集：**50**: 133-136, 1997
- 森貞和仁・河室公康・川添強，永友忠行：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. 日林論 **101**: 247-249, 1990,
- 真田悦子・太田誠一・真田勝，大友玲子：林内雨，樹幹流が表層土壌の化学性に及ぼす影響. 日林論 **103**: 255-256, 1992,
- 高田徹・中田誠：林床植生の異なる森林における降雨の性質変化と酸の緩衝能. 日林論 **108**: 203-204, 1997
- 竹中千里・恩田裕一・榊原岳史・笹間崇・酒井佳美・只木良也・野々田稔郎：ヒノキ人工林における酸中和過程－大型人工降雨実験による追跡－. 森林立地 **39**(1): 29-35, 1997
- 汐月美奈子・中尾登志雄・河内益栄・黒木嘉久：スギ・ヒノキ樹幹流の酸性度と土壌への影響. 日林九支論集：**44**: 167-168, 1991,
- 米田吉宏・柴田叡弼・岡孝紀・和口美明：スギ・ヒノキ林及び粉林で採取した林内雨と樹幹流の性質及びそれらが表層土壌に与える影響. 日林関西支論 **4**: 47-50, 1995