

酸性雨生態系等影響実態調査研究（氷ノ山での実態調査と室内実験）

大気・地球環境室

九鬼貴弘、吉田篤史、田中長義、田中卓実、尾田喜夫

環境化学室

池山恒平、門木秀幸（～H15）

林業試験場 森林管理研究室 井上牧雄 中村徳和

Abstract

Acid rain (deposition) has been observed within Tottori prefecture, and there are effects from acidic matter (SO_x, NO_x) originating from China and surrounding countries, especially in northwestern seasonal winds in the winter. This has caused a trend of increased acidity in winter deposition.

The extent of damage caused by acid rain within the prefecture has not been made clear. Although it is said that there are many acidic buffers in the ecosystem of soils, future developments are unknown because there are many unclear points about the situation and mechanisms. It is also said that once an ecosystem is influenced, recovery can be very difficult.

Knowing this, we set up near Mt. Hyonosen, known as an observation point for deposition, because mountainous regions are easily affected by acid rain. We investigated the mountain stream, the soil, and plants, which are representative of an ecosystem, in order to obtain information about the effects of acid rain to Tottori prefecture's ecosystem (Fig1-2, 1-3). We obtained the following knowledge:

1) Mountain stream

The stream was basically neutral and resistant to acidification, but there is a possibility that the stream may be slightly affected during the snowmelt period and times of heavy rain. (Fig3-1)

2) Plants (forests) and Soil

We concluded that the soil of Japanese cedars were high in acidity from an earlier investigation.

But this time, after conducting a survey on Japanese cedars and a broad-leaved forest, we could not affirm that the decline of trees was caused by the acidification of the trees and undergrowth.

We are also trying to foresee future effects to the ecosystem. Soil is the key to ecosystems because most rainfall must permeate through soil before filtering into the water system or being absorbed by plants (Fig1-1).

It is thought that when rainwater reaches the earth, its properties change through the process of interacting with soil as it penetrates through. Because "soil penetrated water" exhibits these properties, it can provide better and direct information pertaining to the effects on plants and the water system (Fig2-2, 2-3).

Taking the above fore-mentioned into consideration, we've conducted an experiment on the actual state of soils by reproducing columns of "soil layers" simulating brown forest soil (Mt. Hyonosen) and andisol (Mt. Daisen). We obtained the following knowledge by observing the effects from showering the soil with artificially manufactured acid rain, based on observation date of rainfall, and measuring the composition and acidity of the water after it penetrates through the soil layers (Fig2-5). These are the results;

- 1) When we administered a load equivalent to 10-15 years of actual acid rain (deposition) to the soil, in a relatively deep layer (depth: 20 ~ 80cm), we noted a decline in pH levels, and a rapid increase and peak of the elution of Al, which affects plants and aquatic life.
- 2) Before (1), we observed the rapid increase and peak of the elution of basic cation, Ca²⁺ etc in the soil penetrated water."
- 3) Based on (1) and (2), the possibility of the ecosystem of Tottori being affected by the acidification of soil in the future has been suggested.

1 はじめに

酸性雨は地球環境問題の代表的な1つであり、ヨーロッパや北米では森林の枯死や河川・湖沼での魚類の死滅等の被害が生じた。酸性雨(降水)は県内でも観測されており、特に冬場の北西の季節風により、中国大陸側諸国起源の酸性原因物質(硫酸化合物、窒素化合物)の影響を受け、冬場に酸性度が高くなる傾向である(図1-1参照)。

現在のところ、酸性雨が原因であることが明らかな生態系への影響は確認されていない。土壌等の生態系の酸に対する緩衝能が大きいことによると言われているが、その実態や機構等について不明な点が多く、また将来的にどうなるのか判っていない。一方、生態系への影響は一度顕在化すると回復困難であると言われる。

このことを踏まえ、酸性雨の県内生態系への影響実態把握を行うため、影響を受けやすいと考えられる山岳部のうち、降水観測点のある氷ノ山周辺で、水系(つく米川水系の渓流等)の水質調査、スギ林内での植生調査及び土壌調査を実施し、報告した²⁾。

平成17年度は、融雪時の補足調査を含めて水質調査を継続実施するとともに、植生については、広葉樹林を追加して樹木衰退度等の調査を実施した(図1-2、1-3参照)。

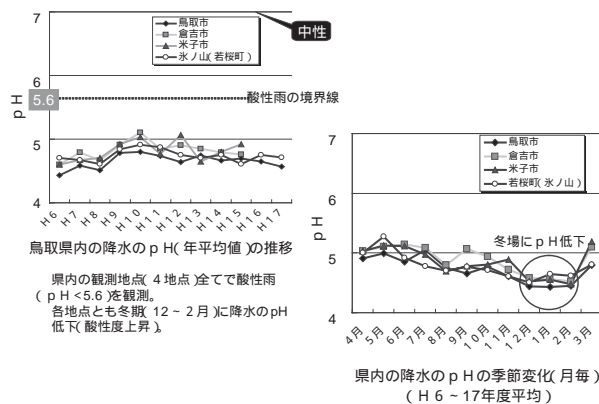


図1-1 鳥取県内の酸性雨の状況

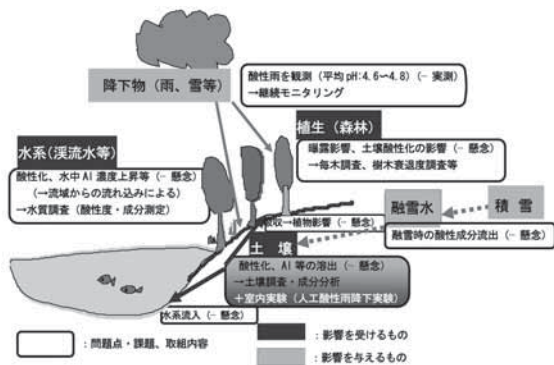


図1-2 酸性雨の生態系影響と調査研究について

実態調査と併せて、将来的な影響の予測・評価のため、降水の大半が一旦土壌に浸透して水系に流入又は植物に吸収されることから土壌に着目し(図1-2参照)土壌(上記調査地点を含む山岳部土壌)に「人工酸性雨」を継続的に降下させて土壌(浸透水)の変化を深さ毎に捉える室内実験を実施した¹⁾。

その結果、一部の表層土壌で酸性化の兆候(浸透水pH低下とAl濃度の上昇傾向)が認められたこと¹⁾、酸性雨の影響は長期的で徐々に進行するものであることを踏まえ、平成17年度も引き続き人工酸性雨の降下実験を継続した。

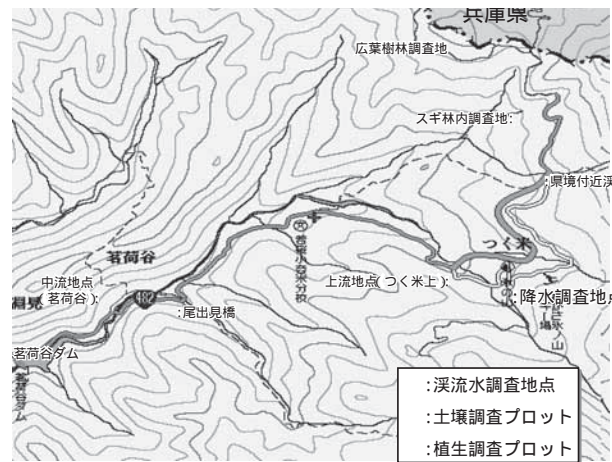


図1-3 実態調査の調査地点(氷ノ山周辺) 降水調査地点周辺で渓流水、土壌・植生の実態調査を実施

2 実態調査(現地調査)

1) 渓流水調査

氷ノ山を源流とする「つく米川」水系渓流等5地点で水質調査を実施した(*印の地点:より影響を受けやすいと考えられる上流の支流部渓流についてH16年度から追加実施)。

地点:上流(つく米) 中流(茗荷谷) 茗荷谷ダム、県境付近溪流*、尾出見橋*(図1-3参照)

回数:1回/月(台風・秋雨等の長雨時、及び融雪時に頻度を上げて実施)

分析項目・方法:

ポリ瓶に満水まで採取して気相を残さないように密栓、氷冷して持ち帰り、以下の項目について測定。

pH:ガラス電極法(採水時に実施)

アルカリ度:0.1mol/l-HCl滴定-ガラス電極法

EC：導電率法

Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺：

ディスク型メンブランフィルター（MILLIPORE MillexR-LH、孔径0.45μm）で濾過し、イオンクロマトグラフ法で測定。

溶解性Al等：のフィルターで濾過し、HNO₃を添加して加熱・濃縮後、ICP発光分析法（超音波ネブライザー使用）で測定。

2) 植生調査（林業試験場で実施）

「土壌・植生モニタリング手引書（平成15年3月環境省地球環境局）」³⁾に従い実施した。

地点：氷ノ山県境付近スギ林及び広葉樹林（若桜町氷ノ山国有林21林班、図1-2参照）

調査時期：1回/年（夏～秋）

広葉樹林：平成17年10月13日

スギ林：平成17年11月2日

調査プロット：

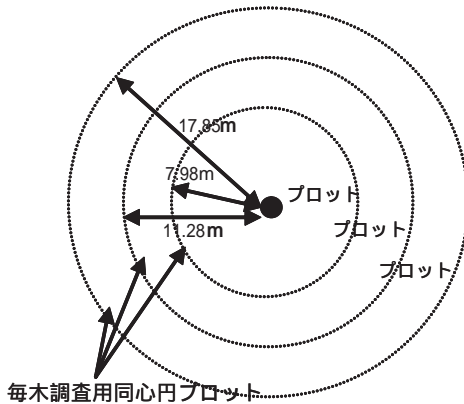


図2-1 調査地内の植生調査プロット
スギ林、広葉樹林内に各1箇所ずつ設定。

酸性雨による植物への潜在的影響の早期発見には、調査対象森林地域における植物相の変化を詳細に記述する必要がある。

この変化を記述するため、大・中・小3つの同心円からなるプロットをスギ林、広葉樹林内に各1箇所設定し（図2-1）、3つの各計測プロットで表2-1のとおり調査を実施した。

なお、調査対象木すべてに対し、個体識別のためのナンバーテープを付した。

表2-1 調査のための計測プロット区分

計測プロット（同心円） 半径・面積	計測対象草木と調査内容
（半径：7.98m、 面積：200m ² ）	低木および草本層の植生（樹高あるいは草高1.3m未満）を調査対象とし、種別優占度を測定。
（半径：11.28m、 面積：400m ² ）	亜高木層の植生を調査対象とし、胸高直径4～18cmのすべての樹木について樹高と胸高直径を測定。
（半径：17.85m、 面積：1000m ² ）	高木層の植生を調査対象とし、胸高直径18cm以上のすべての樹木について樹高と胸高直径を測定。

毎木調査：プロット内の調査対象木について、樹種名、胸高直径及び樹高を以下のとおり計測した。

樹種名：和名で記載。

胸高直径DBH：斜面側が高い位置にある樹幹側で樹高1.3m部の樹木直径を0.1cm単位で計測。

樹高：最も高い木と最も低い木を含む20本以上の木を選定し、測高器、測桿等を用いて測定して0.1m単位で記録。

下層植生調査：樹木に比べて環境変化により敏感であると考えられる下層植生について、プロット内の最小円の計測プロット内（半径7.98m、面積200m²）中に見られる樹高1.3m以下の全ての樹木、草、シダ類について、その植物名と優先度（種別優先度）を表2-2の優占度区分に従って記載した。

表2-2 優占度の区分

区分（優占被度級）	その種の被度
5	> 75%
4	51～75%
3	26～50%
2	6～25%
1	1～5%又は多数個体で<1%
+	<1%

樹木衰退度調査：樹木衰退の要因として、大気汚染や酸性雨による影響の他、気象的影響（強風、豪雨等）、生物的影響（動物、病虫害、材の腐朽）や人的影響（造林施業、伐採）等の外的生長阻害因子も考えられ、これらを推定するには、長期的モニタリングが必要とな

る。この調査は、定期的に樹木の特徴を観察記録し、周辺の環境要因を踏まえて衰退原因を推定するものである。

対象樹木の選定：同心円プロットの中心から12m離れた、東西南北の4地点周辺において、それぞれ優占木5、4、5、4本計18本を選び、「モニタリング対象木」にした。

樹木衰退度の観察：葉の壊死、白化、変色、異常落葉、梢端枯れをポイントとして観察。

記載方法：表2-3の項目・評価基準で点数化して記載。

樹木衰退原因の推定：病害虫或いは病理解析等を実施して原因を推定し、衰退原因と推定理由を記載。

表 2 - 3 樹木衰退度調査の測定項目及び評価基準

項目	評点	衰退度評価基準
樹 勢	0	旺盛な生育状態を示し、被害が全く見られない
	1	いくぶん被害の影響を受けているが、あまり目立たない
	2	明らかに異常が認められる
	3	生育状態が劣悪で回復の見込みがない
	4	枯死
樹 形	0	自然の樹形を保っている
	1	若干の乱れはあるが、自然形に近い
	2	自然樹形の崩壊がかなり進んでいる
	3	自然樹形が完全に崩壊され、奇形化している
	4	枯死又は枯死寸前
枝の生長量	0	正常
	1	少ないが、それほど目立たない
	2	短く細い
	3	極端に短い
梢端の枯損	0	なし
	1	多少あるが、目立たない
	2	かなり多い
	3	著しく多い
	4	枯死
枝葉の密度	0	枝と葉の密度のバランスがとれている
	1	枝と葉の密度のバランスが少し乱れている
	2	やや疎
	3	枯葉が多く著しく疎
葉の変形度	0	正常
	1	少し変形している
	2	明らかに変形している
	3	変形が著しい
葉の大きさ	0	正常
	1	少し小さい
	2	明らかに小さい
	3	著しく小さい
葉 色	0	正常
	1	少し異常
	2	異常
	3	著しく異常
葉 の 障 害	0	健全
	1	少しある
	2	明らかにある
	3	著しく多い

3) 室内実験 (土壌への人工酸性雨降下実験)

この研究では、酸性雨による生態系への影響の実態 (現在の状況) の把握と併せて、将来の状況の予測・評価も目指している。

降水の大半が一旦土壌に浸透した後に水系へ流出又は植物に吸収されることを踏まえ、土壌は「生態系の要」として捉えて着目し、酸性雨による土壌の変化に係る知見を得て、生態系への影響の機構把握や将来予測に資することとしている。

地表に達した降水は、土壌表層から深層部へと浸透していき、その過程で土壌との相互作用による変化を受けながら (酸緩衝作用も含む) 「土壌浸透水」にはこれらが反映され、影響に係るより直接的な知見が得られると考えられる (図2-2)。

自然の状態の土壌は、表層から深層へと何層かの「土壌層」に分かれ、層毎に性質 (物理的性質、成分含有量等) や置かれる環境等が異なる (図2-3)。浸透した降水は、深層まで達するものもあれば、比較的浅い部分を流出するものもある。

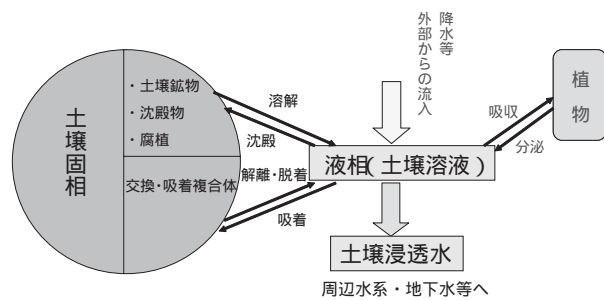


図 2 - 2 「土壌浸透水」について

土壌浸透水は、土壌浸透の過程で起こる変化を反映するとともに、水系や植物への影響を考える上で、より直接的な情報を与えると思われる。

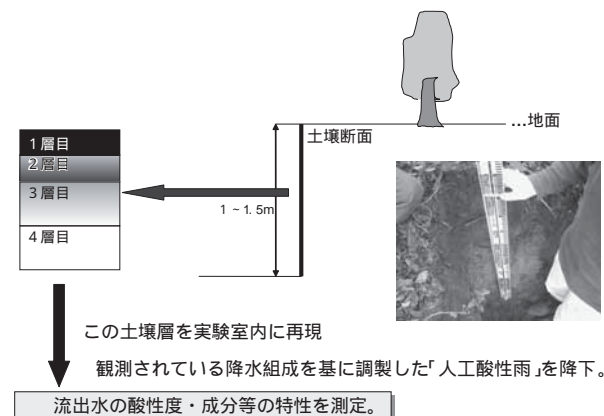


図 2 - 3 実際の土壌と再現

...上~下へと層に分かれ、層位毎に性質が異なる

以上のことを踏まえ、実態調査を行った地点の「土壌層」をカラム内に再現し、当所に設置されている人工気象室の降雨装置で「人工酸性雨」を降下させ、土壌層各層からの浸透水の変化を追う室内実験を継続実施した。

供試土壌^{1) 2) 3) 4)}

酸性雨の影響を受けやすいと思われる山岳部の、実態調査でデータを得た以下の2地点の、2ヶ所/地点×2地点=4ヶ所の土壌を供試。

氷ノ山スギ林褐色森林土壌(鳥取県八頭郡若桜町地内、兵庫県境付近): 本実態調査の土壌・植生調査地点土壌。平成16年度に現地調査・分析等実施。
 大山山麓ブナ林黒ボク土壌(鳥取県西伯郡大山町地内): 「平成15年度環境省酸性雨モニタリング調査(土壌・植生)」実施地点土壌。

これら4ヶ所で幅約1m×奥行約2m×深さ約1mの穴を掘り、その一面(斜面上方側)に不攪乱の調査断面を作成して調査・層位分けし、各層毎に土壌を採取。

を風乾・粉砕、ふるい通し(孔径2mm)して調製した「風乾細土試料」を供試した。

「土壌層カラム」の作成^{1) 5)}

現地調査結果(層分類、層厚)及び土壌密度・水分含量測定結果を基に、以下のとおり算出。

現地土壌各層の土壌(粒径 2mm)による密度(g/cm³)を測定。

現地調査で、1層目、2層目...、のように層分けする際に決定する各層の厚さL cmと、土壌層カラムの断面積(内径6cm $S = 3 \times 3 \times 3.14 = 28.26 \text{ cm}^2$)から、各土壌層がカラム断面積分の広さに占める場合の体積 $V = L \times S \text{ (cm}^3\text{)}$ を算出。

で調製した「風乾細土試料」の水分含量を測定し、の結果と併せて、現地土壌層を再現するのに必要な各層土壌の「風乾細土試料」の重量を算出・秤取した。

層毎の情報を得るため、4層に層位分けした各土壌について、図2-4のとおり土壌層を再現した。

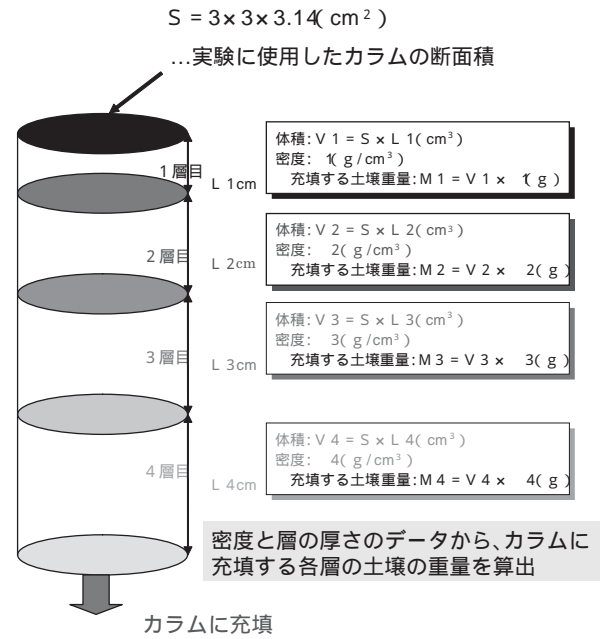
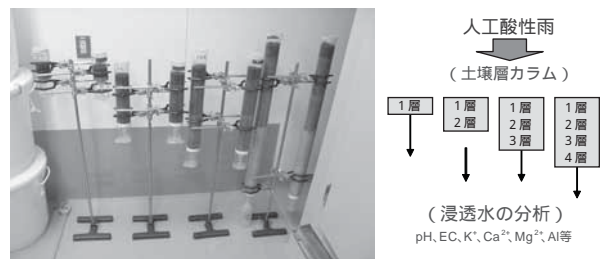


図2-4 「土壌層」の再現について

市販の亚克力樹脂製パイプ(長さ1m、内径6cm)を適当な長さ(土壌層に応じて決定)に切断し、実験用クランプ、スタンド等で組み立てて、で算出・秤取した各層土壌試料を下層から順に充填し、厚さの異なる「土壌層カラム」を作成(図2-5)。

ブランク試験として降雨装置や雰囲気及びカラムの材質の影響を確認し、降下する「人工酸性雨の実測値」を得るため、テフロン製沸騰石100gのみを詰めたカラムを2連作成。



深さ別の情報を得るため、以下のとおり土壌層を再現。写真左から順に a) d)

a) 1層目	降水が1層目を通過後の浸透水を測定
b) 1層目+2層目	" 2層目を通過後の "
c) 1層目+2層目+3層目	" 3層目を通過後の "
d) 1層目+2層目+3層目+4層目	" 4層目に到達後の浸透水を測定

図2-5 深さ毎の土壌浸透水に係る知見を得るための実験系

...各層毎の土壌を順に充填し、深さの異なる土壌層を再現

人工酸性雨の調製¹⁾

実験に用いる土壌が、氷ノ山褐色森林土壌、大山黒ボク土壌と、いずれも山岳地帯の土壌であることから、この実験に用いる「人工酸性雨」は、県内の降水データのうち、山間部である若桜町（氷ノ山スキー場）の降水観測値（H6～H15年の加重平均値）を基に調製した。

前回の報告の時点で、実際の酸性雨の約5～10年分の酸を添加したところで、氷ノ山土壌の一部の表層土壌で、pH低下と溶出Al濃度の増加傾向が認められたことから、その後の推移を捉えるとともに、20年後、30年後といった将来を予測・評価するための知見を得るため、「人工酸性雨（pH3.0）…他の共存イオン濃度を実際レベルに保ちつつ装置の限度値まで酸性度を高めて調製したもの」による実験を継続した。

具体的調製方法等は以下のとおり。

[H⁺]は全てH₂SO₄、HNO₃由来とし、添加するH₂SO₄、HNO₃量を決定。

塩として存在するイオン濃度の決定

- 1) 降水データと の算出結果から、塩として存在するNO₃⁻、SO₄²⁻濃度を算出。
- 2) 1)を海塩性(ss)と非海塩性(nss)とに分類。
- 3) 1)と2)の結果を合わせて算出。他の溶存陽・陰イオンについても決定。

特級試薬を用いて の濃度の1000倍溶液（原液）を調製し、これを蒸留水で希釈（25ml 25Lに重量希釈）して目的の「人工酸性雨」を調製。

人工酸性雨の降下・土壌浸透水の回収等

人工気象室の降雨装置を用い、 の「土壌層カラム」に の「人工酸性雨（pH3.0）」を降下させ、浸透水を装置に取り付けたボトルに回収した。

降下方法・浸透水の回収方法等は以下のとおり。

人工酸性雨の降下：1回の実験につき、人工酸性雨を40mm / hの強度で3～5分間連続降下させる操作を約10分間隔で約2～3時間にわたって繰り返した。

土壌浸透水の回収： の操作終了後約1夜放置し、土壌層カラムを通過・浸出してきた「土壌浸透水」を、カラム下部に取り付けた重量既知の500ml細口ポリ瓶（重量m₀(g)）に集めた。

降水量の算定： の土壌浸透水入りポリ瓶の重量m(g)を測定し、重量差m - m₀(g)をポリ瓶に

回収された浸透水量（降水量）V（g ml=cm³）とし、カラムの断面積S（cm²）から、降水量（「土壌層」を通過した人工酸性雨量）X（mm）を以下のとおり算定した。

$$X(\text{mm}) = V(\text{cm}^3) / S(\text{cm}^2) \times 10(\text{mm/cm})$$

酸負荷量の算定

で算定した降水量を基に、降下させた酸負荷量が実際の降水（pH4.7）ベースで何年分に相当するのかを以下のとおり算出し、以降の解析に用いた。

$$Y(\text{年分}) =$$

$$X(\text{mm}) \times 10^{-3.0} / 10^{-4.7} \div 200(\text{mm/年})$$

$$= \{ V(\text{cm}^3) / S(\text{cm}^2) \times 10(\text{mm/cm}) \}$$

$$\times 10^{-3.0} / 10^{-4.7} \div 200(\text{mm/年})$$

降下した人工酸性雨の実測：土壌を詰めないカラムからの浸透水（ - 参照）を測定し、各土壌に降下した「人工酸性雨の実測値」として解析した。

土壌浸透水の分析（項目・方法）

で得られた浸透水を、以下のとおり測定した。

pH：得られた浸透水をガラス電極法で測定。

溶存イオン類（Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺等）：

得られた浸透水をディスク型メンブランフィルター（MILLIPORE MillexR - LH孔径0.45μm）で濾過し、イオンクロマトグラフ法で測定。

溶出金属類（Al等）：

と同じ方法でろ過した浸透水を、ICP発光分析法で測定。

3 結果・考察

1) 渓流水調査

pH、アルカリ度（酸緩衝能の指標）について

（図3-1参照）

調査開始時からの継続調査地点3地点について、平均値（H13～17年度平均）で傾向（季節変動）を捉えると、

a) 基本的には中性（pH>7.0～7.5）で、緩衝能が一定レベル以上の状態（アルカリ度>0.2meq / l。アルカリ度<0.2meq / lとなると酸感受性が高い状態であるとされる）で推移していた。

b) どちらの値も、上流<ダム湖<中流となり、3地点とも冬場から春先に低下（酸性度が上昇し緩衝能が低下）する傾向であった。

毎月に測定値の推移を見ると、冬場～春先にかけて、上流部を中心にpH<7、アルカリ度<0.2meq / lという状態を観測した。また、これ以外の時期（夏～秋期）にも低下することが判った（昨年秋台風豪雨時に低下を確認）。

基本的には水系（渓流水）は中性で、酸への緩衝能力もあるが、上流部を中心に、冬期～春先にかけては融雪水の影響を、それ以外の時期ではまとまった降水時の流入水の影響を受けてpHやアルカリ度が低下するものと考えられる（（3）参照）。

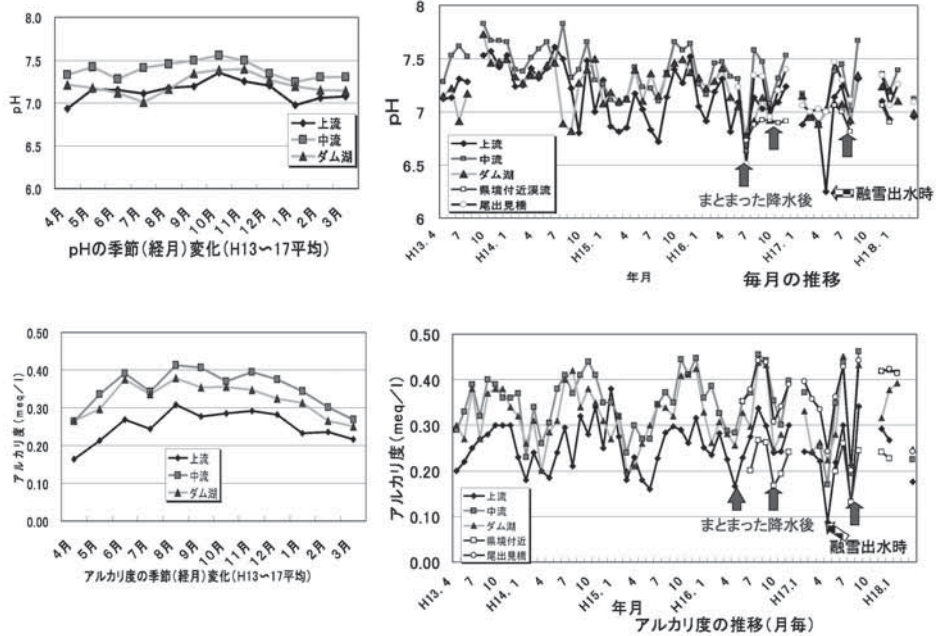


図3-1 渓流水調査結果（pH、アルカリ度）

成分（陽・陰イオン）濃度の推移（図3-2、3-3参照）
成分（陽・陰イオン）濃度の季節変動を中心に、年間を通じた5年間のデータが存在する3地点（上流、中流、茗荷谷ダム）の結果を示す。

陽イオン（Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺）濃度の推移
a) 5年間の濃度の平均は以下のとおりで、年間を通じた変動は比較的小さかった。

K⁺：上流>中流>ダム

Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺：中流>ダム>上流

b) 降水中の濃度（若桜町のH6～15平均値...Ca²⁺：0.25、Mg²⁺：0.18、K⁺：0.12、Na⁺：1.3mg / L）よりも遙かに高く、降水が地表到達後に流域の土壌等から供給されるため（土壌等の緩衝作用...3）室内実験結果参照。）と考えられる。

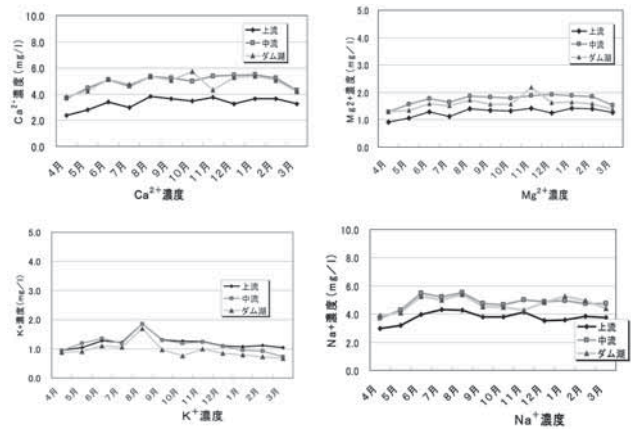


図3-2 渓流水の塩基性陽イオン濃度の季節変動（H13～17平均）

陰イオン（Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻）濃度推移

a) 濃度の平均値の順は、これら3成分ともダム>中流>上流であった。

b) 陽イオンと比較すると季節変動が大きく、冬季に増加傾向であった。

c) 調査地点周辺の降水のこれら濃度 (Cl⁻: 2.4、SO₄²⁻: 1.8、NO₃⁻: 0.97mg / l...若桜町のH6 ~ H15平均値) との差は比較的小さく、降水の状態を反映しやすいものと考えられる。
 d) 3成分とも冬期に上昇していた。

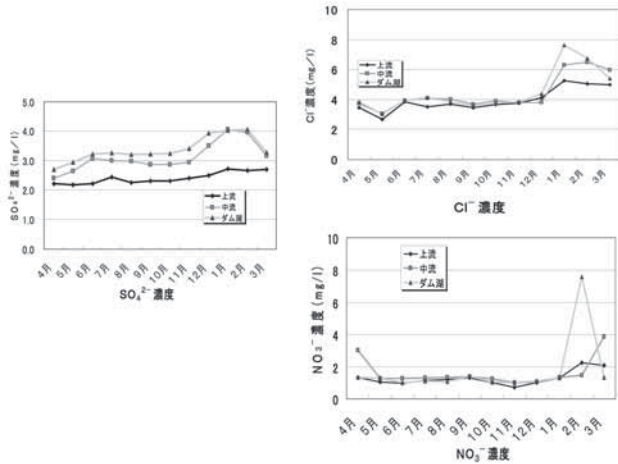


図 3-3 渓流水の陰イオン濃度の季節変動

融雪時の調査結果

酸性雨の湖沼・河川等への影響（魚類の減少・死滅等）が顕在化した北欧等では、融雪時に積雪中に蓄積された酸性成分が短期間に流れ込むことによる水生生物への影響（アシッドショック）が報告されている^{10) 11) 12)}。

現地は県内有数の豪雪地帯であり、毎月の調査結果からもその傾向が現れている。

H17年3～4月の調査で、融雪出水時のデータを得て、その前後のデータとともに図にまとめた。なお、平成17年4月7日は融雪出水時であった（この年は3月に豪雪もあり、積雪が例年よりも遅くまで残留していたが、この日、急激な気温上昇で融雪が進み出水量が急激に増加した）。

その結果、融雪出水時に上流でpH、全地点でアルカリ度の低下が確認された。また、塩基性陽イオン濃度の低下が確認され、H16年秋の長雨・豪雨時よりもその度合いが大きいことが判った。

積雪中の酸性成分を含んだ融雪水が、豪雨時と同様に、土壌表面を一気に流出し、土壌に浸透して緩衝作用を十分に受けることなく、水系に流れ込んだためと考えられる^{7) 8) 9)}。

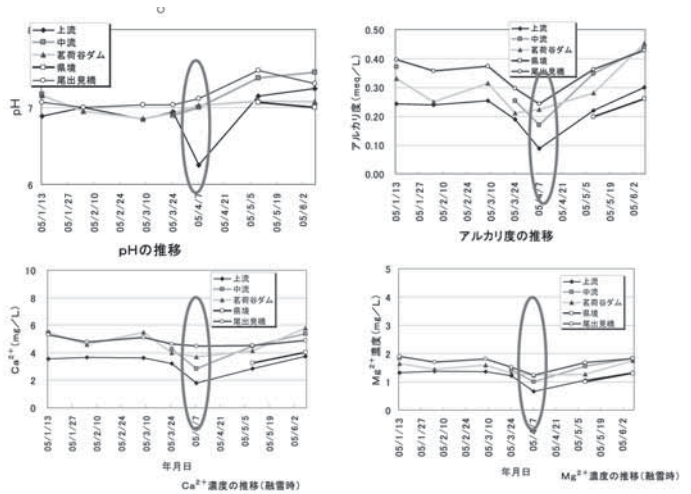
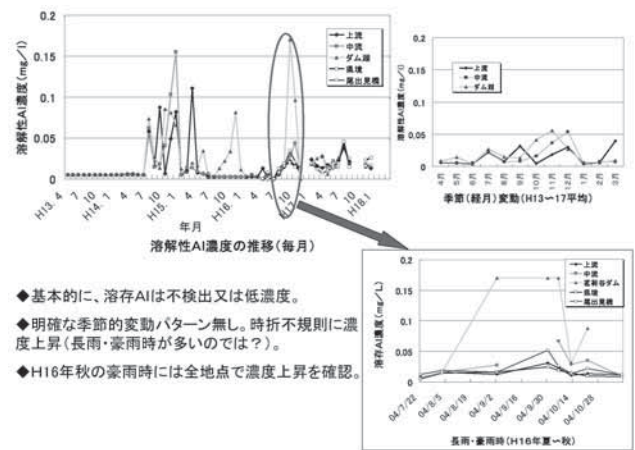


図 3-4 融雪時調査（H17年春季）

溶存Alについて

酸性化に伴って主に流域土壌等から溶出して水系に流れ込み、水生生物に影響を与えるとされるAl（溶解性Al）は、ほとんど検出されていないが、不規則に、時折低濃度で検出されている。H16年秋の豪雨時には調査地点全地点で検出（最大：H16年9月30日、溶存Al：0.025～0.17mg / L、pH：6.5～6.9）された。pHと溶存Al濃度とが複合的に影響を与えるとのことであるが、この検出の状態が水生生物に影響を及ぼすレベルのものか否かについては、検討する必要がある。



- ◆基本的に、溶存Alは不検出又は低濃度。
- ◆明確な季節の変動パターン無し。時折不規則に濃度上昇(長雨・豪雨時が多いのでは?)。
- ◆H16年秋の豪雨時には全地点で濃度上昇を確認。

図 3-5 溶存Al濃度の推移

2) 植生調査 (実施機関: 林業試験場)

広葉樹林調査

調査地は、氷ノ山周辺地域のうち、若桜町氷ノ山国有林21林班の広葉樹類優占地域 (東経134° 29' 14"、北緯35° 22' 05"、標高960m) に設けた (図1-3)。

調査プロットは南南西に面した山腹上部の緩斜面 (傾斜度: 25°) で、高木層をケヤキとウリハダカエデが優占する落葉広葉樹林であった。

表3-1 大円プロットの調査結果

胸高直径18cm以上の個体				
NO.	個体NO.	種名	樹高	胸高直径
1	F-1	ウリハダカエデ	14.4	24.0
2	F-2	イタヤカエデ	11.4	30.0
3	F-3	ウリハダカエデ	14.6	21.3
4	F-4	ウリハダカエデ	8.2	20.7
5	F-5	ケヤキ	10.7	41.1
6	F-6	ケヤキ	14.6	37.5
7	F-7	ケヤキ	17.1	19.3
8	F-8	イタヤカエデ	17.1	18.2
9	F-9	ケヤキ	13.9	23.0
10	F-10	ケヤキ	13.6	29.0
11	F-11	ミズキ	18.6	19.0
12	F-12	ミズキ	15.2	20.0
13	F-13	ウリハダカエデ	18.1	35.7
14	F-14	ミズキ	15.9	33.2
15	F-15	イタヤカエデ	14.0	26.5
16	F-16	ウリハダカエデ	19.1	44.1
17	F-17	ケヤキ	17.0	18.6
18	F-18	ケヤキ	13.3	17.0
19	F-19	ケヤキ	12.3	18.8
20	F-20	ケヤキ	12.0	42.2
21	F-21	ウリハダカエデ	14.1	29.6
22	F-22	アズキナシ	11.9	19.2
23	F-23	ウリハダカエデ	12.5	39.2
24	F-24	ウリハダカエデ	16.0	39.6
25	F-25	ウワミズザクラ	16.7	35.3
26	F-26	ミズキ	19.7	34.6
27	F-27	コバノトネリコ	11.5	19.3
28	F-28	ケヤキ	9.0	19.6
29	F-29	ミズキ	21.5	29.8
30	F-30	ケヤキ	14.8	47.5
31	F-31	ケヤキ	24.8	40.0
32	F-32	ウリハダカエデ	13.1	32.1

毎木調査

今回調査した標高域 (960m) の原植生は、ブナとミズナラの優占する落葉広葉樹林であったと推察されるが、高木層の優占種はケヤキとウリハダカエデで、その他イタヤカエデ、ミズキ、ウワミズザクラなどが占めていた (表3-1)。優占種2種について

みれば、ウリハダカエデの分布がランダムであったのに対してケヤキは比較的均等分布であったことから、本林分は恐らくブナ-ミズナラ林伐採後に造成したケヤキ人工植栽林であると考えられた (ただし、手入れなどの痕跡はまったく認められず)。

表3-2 中円プロットの調査結果

胸高直径4cm以上、18cm未満の個体				
NO.	個体NO.	種名	樹高	胸高直径
1	A-1	イタヤカエデ	8.2	11.9
2	A-2	ウリハダカエデ	5.3	7.6
3	A-3	ケヤキ	7.8	8.8
4	A-4	オヒョウ	8.8	10.8
5	A-5	オヒョウ	12.5	15.8
6	A-6	ヤマボウシ	4.0	4.8
7	A-7	ヤマボウシ	5.6	7.9
8	A-8	オヒョウ	6.3	8.5
9	A-9	ケヤキ	6.9	5.2
10	A-10	ケヤキ	8.7	11.0
11	A-11	ヤマボウシ	4.7	4.9
12	A-12	ヤマボウシ	7.2	4.9
13	A-13	ヤマボウシ	4.3	5.0
14	A-14	ヤマボウシ	4.3	5.8
15	A-15	ウリハダカエデ	13.1	15.3
16	A-16	ケヤキ	4.8	4.6
17	A-17	イタヤカエデ	13.2	16.2
18	A-18	ケヤキ	7.8	7.0
19	A-19	コハウチワカエデ	8.7	11.5
20	A-20	ケヤキ	4.2	4.1
21	A-21	ミズキ	8.5	9.6
22	A-22	ヤマボウシ	3.8	4.0
23	A-23	ウリハダカエデ	9.6	14.6
24	A-24	イタヤカエデ	6.2	6.0
25	A-25	イタヤカエデ	8.8	10.5
26	A-26	ウリハダカエデ	12.6	15.5
27	A-27	コバノトネリコ	6.6	6.0
28	A-28	ケヤキ	7.8	5.8
29	A-29	イタヤカエデ	9.3	11.9
30	A-30	イタヤカエデ	6.0	5.6
31	A-31	ヤマボウシ	5.2	8.6
32	A-32	ヤマボウシ	6.3	5.5
33	A-33	ヤマボウシ	5.8	5.1
34	A-34	ヤマボウシ	5.7	5.0
35	A-35	ヤマボウシ	7.4	6.8
36	A-36	ヤマボウシ	5.9	6.0
37	A-37	イタヤカエデ	7.7	5.6
38	A-38	ミズキ	6.8	6.7
39	A-39	コハウチワカエデ	12.3	15.4
40	A-40	コハウチワカエデ	4.4	9.8
41	A-61	ウリハダカエデ	3.6	4.0

亜高木層については、ヤマボウシの密度が最も高かったが、サイズは比較的小さかった。その他の樹

種ではウリハダカエデ、イタヤカエデ、コハウチワカエデなどのカエデ類やミズキなどが多くを占め、比較的密な亜高木層(1,000本/ha)を形成していた(表3-2)。

恐らく、ケヤキ植栽後、風や鳥によって運ばれてきたカエデ類やヤマボウシ、ミズキなどの種子が林内で芽生え、上層木密度が比較的粗(320本/ha)であったことからあまり消滅することなく、密な亜高木層の形成に至ったと考えられる。

下層植生調査

下層植生の構成種は多様で、ウリノキやミヤマイボタのように明るい林内を好む種とガマズミやクロモジなどのように比較的暗い林内でも生育できる種が共存しているのが特徴的であった(表3-3)。

今後は樹冠の発達に伴い、比較的暗い林内でも生育できるミヤマガマズミやクロモジなどの割合が増してくると考えられる。

樹木衰退度調査

結果は表3-4に示した。調査対象木はウリハダカエデ6本、ケヤキ6本、イタヤカエデ3本、ミズキ2本、アズキナシ1本であった。いずれの調査木も枝葉密度、枝成長とも正常～ほぼ正常で、梢端枯れは認めなかった。樹形については、いずれの調査木も「ほぼ正常」であったが、樹勢は正常であった。また、葉に関してもすべての調査木が大きさ、色とも正常で、変形や傷害はみられなかった。

以上のように、すべての調査木は健全で、衰退現象はまったくみられなかった。

スギ林調査

調査地は平成16年度に既設で、若桜町氷ノ山国有林21林班のスギ人工林(標高920m、東経134°29'32"、北緯35°21'58")であった。

調査プロットは西に面した山腹急斜面(傾斜度:40°)で上方に国道482号が通っている。

毎木調査、下層植生調査(平成16年度実施)

- a) 調査対象樹種のほとんどがスギで、ミズキやトチが混在。
- b) 調査実施樹木種・数
 - ・小円内：17本(スギ17本)
 - ・中円内：14本(スギ13本、ミズキ1本)
 - ・大円内：45本(スギ43本、ミズキ1本、トチ1本)
- c) 下層植生調査を小円プロット内で実施。

低木層：5種、草本層：42種

樹木衰退度調査：表3-5参照

平成16年度に選定した調査対象木(スギ19本、ミズキ1本)について、サイズを測定し、樹木衰退度の観察と樹木衰退原因の推定を行った。

調査したスギ19本中2本(個体No. I103, H66)に衰退現象が観察された。

表3-3 小円プロットの調査結果(低木層・草本層の調査結果)

胸高直径4cm以上、18cm未満の個体			高さ1.3m未満の個体			
NO.	個体NO.	種名	樹高	NO.	種名	優占度
1	A-41	ヤマボウシ	2.6	1	ウリノキ	1
2	A-42	ヤマボウシ	3.0	2	サンショウ	2
3	A-43	タニウツギ	2.1	3	チマキザサ	1
4	A-44	ウリハダカエデ	2.7	4	エゾアジサイ	3
5	A-45	イタヤカエデ	2.0	5	アキチヨウジ	1
6	A-46	ミズキ	2.4	6	ミズキ	1
7	A-47	ミズキ	2.4	7	ナガバノモミジイチゴ	1
8	A-48	コバノトネリコ	3.5	8	ムラサキシキブ	1
9	A-49	クロモジ	1.9	9	ヤマボウシ	1
10	A-50	ミヤマガマズミ	1.8	10	ハイイヌツゲ	+
11	A-51	ミヤマガマズミ	2.6	11	クロモジ	1
12	A-52	ミヤマガマズミ	2.2	12	ミヤマイボタ	2
13	A-53	ミヤマガマズミ	1.8	13	クルマバソウ	1
14	A-54	ミヤマガマズミ	1.8	14	チヂミザサ	2
15	A-55	ミヤマガマズミ	3.0	15	コマユミ	+
16	A-56	ミヤマガマズミ	2.9	16	コハウチワカエデ	1
17	A-57	ミヤマガマズミ	2.7	17	ヤマボウシ	+
18	A-58	ミヤマガマズミ	4.3	18	シシウド	+
19	A-59	ヤマボウシ	3.0	19	ホウチャクソウ	+
20	A-60	ヤマボウシ	4.5	20	ヤマジノホトトギス	+
21	A-62	イタヤカエデ	2.6	21	タムラソウ	+
22	A-63	イタヤカエデ	3.8	22	ツタウルシ	+
23	A-64	ハイイヌガヤ	1.6	23	エイザンスミレ	+
24	A-65	ケヤキ	1.3	24	コタチツボスミレ	+
25	A-66	クロモジ	1.3	25	サルナシ	+
26	A-67	ミヤマイボタ	4.0	26	マルバフユイチゴ	+
27	A-68	イタヤカエデ	2.8	27	コスミレ	+
28	A-69	クロモジ	1.8	28	シオデ	+
29	A-70	コバノトネリコ	1.8	29	オオナルコユリ	+
30	A-71	ヤマボウシ	3.6	30	クサボタン	+
31	A-72	ヤマボウシ	3.8	31	アカソ	+
32	A-73	クロモジ	1.4	32	ゴマナ	+
33	A-74	クロモジ	1.4			
34	A-75	クロモジ	1.3			
35	A-76	アオハダ	2.8			
36	A-77	アオハダ	2.6			
37	A-78	アオハダ	2.6			
38	A-79	アオハダ	2.2			
39	A-80	コハウチワカエデ	2.0			
40	A-81	ヤマボウシ	3.6			
41	A-82	コバノトネリコ	1.7			
42	A-83	ヤマボウシ	1.3			

衰退原因は、衰退個体の樹高が周辺木よりも著しく低いことから、樹木の成長過程で生長（樹高、幹の太さ、枝の密度、根貼り等）の個体間が生じ、他の個体よりも生長の悪い個体が、周りの木が陰になるなどしてさらに生長に差がつく（これを「庇圧」といい、一種の自然淘汰作用のようなもの）ことに

よって、衰退したものと考えられた。これら2本は前年（平成16年）にも衰弱木と判定され、衰退原因も今回と同様被圧と推定されていた。

衰退が認められた2本の樹木の周辺に存在する他の樹木の状態はいずれも健全であった。

表3-4 平成17年度 酸性雨生態系影響調査に係る樹木衰退度調査の結果（落葉広葉樹林調査地）

No.	個体No.	方位	樹種名	サイズ		樹勢	樹形	枝成長	梢端枯れ	枝葉密度	葉に関する調査			
				樹高	胸高直径						変形	大きさ	色	障害
1	F-1	N	ウリハダカエデ	14.4	24.0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	F-2	N	イタヤカエデ	11.4	30.0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	F-3	N	ウリハダカエデ	14.6	21.3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	F-5	N	ケヤキ	10.7	41.1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
6	F-7	E	ケヤキ	17.1	19.3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	F-8	E	イタヤカエデ	17.1	18.2	0	1	0	0	1	0	0	0	0
8	F-9	E	ケヤキ	13.9	23.0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	F-10	E	ケヤキ	13.6	29.0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10	F-12	E	ミズキ	15.2	20.0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
11	F-14	S	ミズキ	15.9	33.2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
12	F-15	S	イタヤカエデ	14.0	26.5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13	F-16	S	ウリハダカエデ	19.1	44.1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
14	F-17	S	ケヤキ	17.0	18.6	0	1	0	0	1	0	0	0	0
15	F-18	S	ケヤキ	13.3	21.3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
16	F-21	W	ウリハダカエデ	14.1	29.6	0	1	0	0	0	0	0	0	0
17	F-22	W	アズキナシ	11.9	19.2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
18	F-23	W	ウリハダカエデ	12.5	39.2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
19	F-24	W	ウリハダカエデ	16.0	39.6	0	1	0	0	0	0	0	0	0

参考) 各項目の衰退度基準

基準	樹勢	樹形	枝成長	梢端枯れ	枝葉密度	変形	大きさ	色	障害
0	正常	正常	正常	なし	正常	正常	正常	正常	正常
1	ほぼ正常	ほぼ正常	ほぼ正常	有り	ほぼ正常	ほぼ正常	ほぼ正常	ほぼ正常	ほぼ正常
2	異常	やや崩壊	短・細	多い	疎	変形	小	異常	有り
3	劣悪	奇形	極めて短	著多い	著変形	著疎	著小	著異常	著多い
4	枯死	枯死		枯死					

表3-5 平成17年度 酸性雨生態系影響調査に罹る樹木衰退度調査の結果（スギ林調査地）

No.	個体No.	方位	樹種名	樹高	胸高直径	樹勢	樹形	枝成長	梢端枯れ	枝葉密度	変形	大きさ	色	障害
1	H60	E	スギ	24.0	42.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	H61	E	スギ	23.0	37.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	H62	E	スギ	23.1	35.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	H63	E	スギ	20.0	34.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	I103	E	スギ	10.8	23.8	2	2	2	0	2	0	1	0	0
6	I90	W	スギ	16.0	36.5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	H46	W	スギ	17.5	46.0	0	1	1	0	2	0	2	0	0
8	H47	W	スギ	17.0	28.7	0	1	0	0	1	0	0	0	0
9	H48	W	スギ	16.5	33.6	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10	H49	W	スギ	18.2	30.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	H55	S	スギ	17.5	36.0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
12	H64	S	ミズキ	14.0	22.0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
13	H65	S	スギ	17.5	37.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	H56	S	スギ	16.2	29.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	H53	S	スギ	19.2	54.0									
16	H66	N	スギ	11.3	20.6	3	3	2	0	2	0	2	0	0
17	H67	N	スギ	16.0	23.4	1	1	1	0	1	0	0	0	0
18	C40	N	スギ	15.0	20.9	1	0	0	0	1	0	0	0	0
19	H68	N	スギ	14.5	35.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0
20	H69	N	スギ	15.2	24.4	1	1	1	0	1	0	0	0	0

備考) 調査項目において衰退度2~3を呈した個体が見られたが、原因はいずれも被圧によるものであった。

参考) 各項目の衰退度基準

基準	樹勢	樹形	枝成長	梢端枯れ	枝葉密度	変形	大きさ	色	障害
0	正常	正常	正常	なし	正常	正常	正常	正常	正常
1	ほぼ正常	ほぼ正常	ほぼ正常	有り	ほぼ正常	ほぼ正常	ほぼ正常	ほぼ正常	ほぼ正常
2	異常	やや崩壊	短・細	多い	疎	変形	小	異常	有り
3	劣悪	奇形	極めて短	著多い	著変形	著疎	著小	著異常	著多い
4	枯死	枯死		枯死					

3) 室内実験 (土壌への人工酸性雨降下実験)

浸透水のpHの推移について

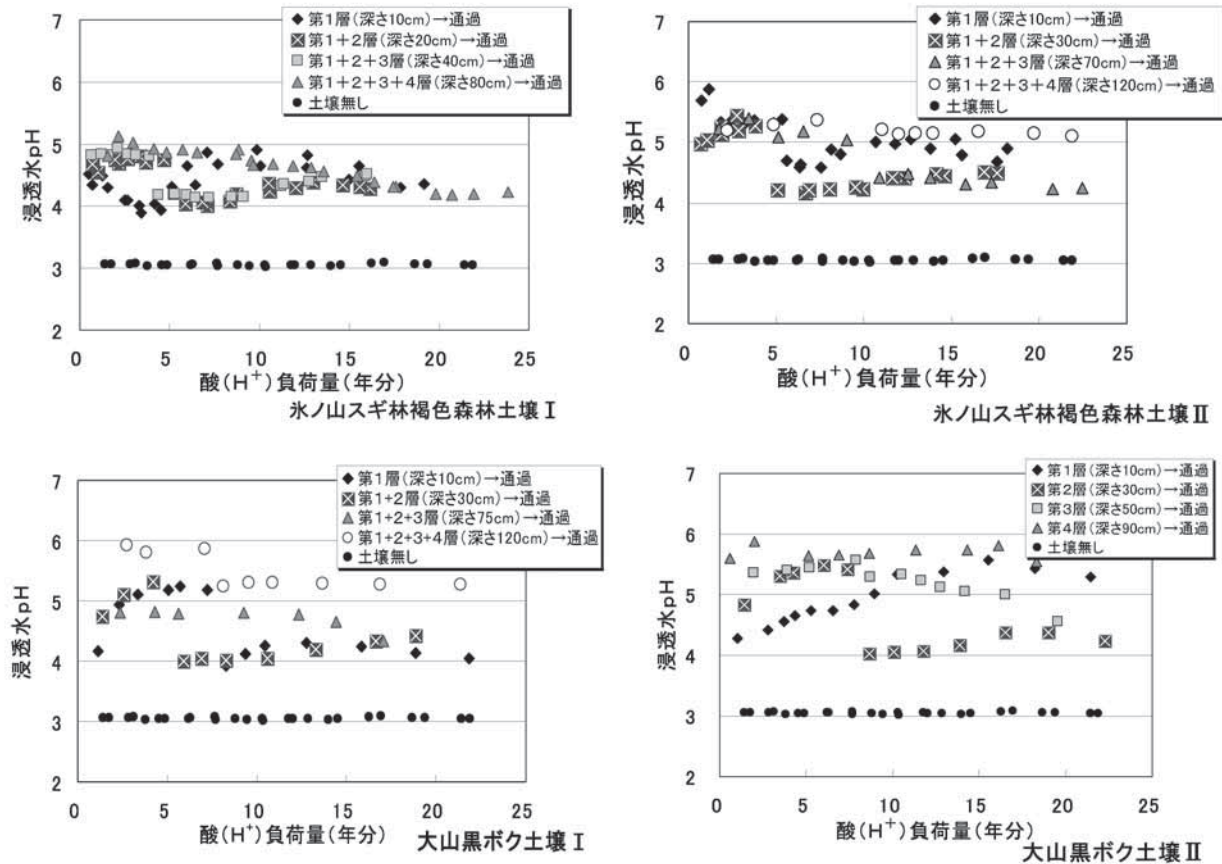


図 3 - 6 浸透水pHの推移

全ての浸透水で降下した人工酸性雨よりもpHが上昇し、土壌の酸緩衝能が示された。

表層土壌 (深さ ~ 10cm) の浸透水のpHは、やや複雑な推移を示した (低下傾向で推移した後上昇する等) が、緩衝能は比較的大きいと思われる。

比較的深い部分 (深さ約20 ~ 80cm部分) で、以下のとおり浸透水のpH低下が起こった。

a) 氷ノ山褐色森林土壌

深さ20 ~ 30cm部分 (- 2、3層、 - 2層): 酸負荷量が降水ベースで約5 ~ 10年分となる頃浸透水のpHが低下。

70 ~ 80cm部分 (- 4層、 - 3層): 酸負荷量が降水ベースで約10 ~ 15年分となる頃pHが低下。

b) 大山黒ボク土壌

深さ10 ~ 30cm部分 (第2層): 酸負荷量が降水

ベースで約5 ~ 10年分となる頃pH低下。

深さ50 ~ 80cm部分 (第3層): 酸負荷量が降水ベースで約10 ~ 15年分となる頃pH低下。

深さ1m以深部分 (氷ノ山、大山、 - 4層目) では、約20年分の酸負荷を与えてもpH低下傾向は認められなかった。

Alの溶出について

元来Al化合物は、土壌の骨格となる粘土鉱物を構成することから土壌中には固体として多量に存在する。これが土壌の酸性化に伴って溶出し、生育する植物に影響を及ぼしたり、水系に流入して魚類等の水生生物に影響を及ぼすとされることから、前回に引き続き、土壌からのAl溶出に着目した。

浸透水中の溶存Al濃度の推移 (Al溶出の推移) を図3 - 7に示す。

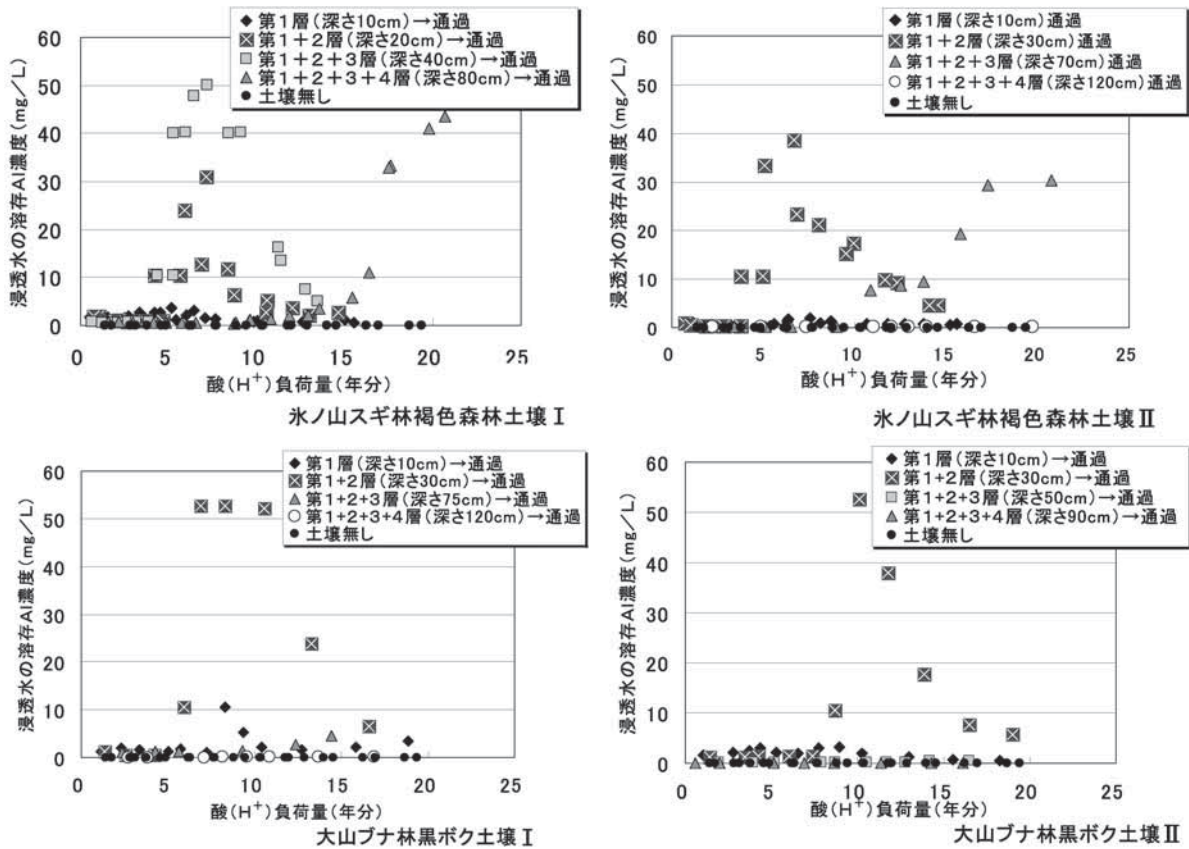


図3-7 浸透水の溶存Al濃度の推移 (Al溶出の推移)

浸透水のpH変化(低下)に対応して溶出Al濃度が推移し、特にpHが4.0付近まで低下すると、急激に濃度が高くなる傾向であった¹³⁾。

比較的深い部分(深さ約20~80cm部分)で、高濃度のAl溶出ピークが以下のとおり認められた。

a) 氷ノ山褐色森林土壌

深さ20~40cm部分(- 2層、3層、 - 2層)で、酸負荷量が降水ベースで約5~10年分となる頃に溶出ピーク(Al濃度: 約30~50mg/L)が認められた。

深さ70~80cm部分(- 4層、 - 3層)で、酸負荷量が降水ベースで約15~20年分となる頃に溶出ピーク(Al濃度: 約30~40mg/L)が認められた。

b) 大山黒ボク土壌

深さ30cm部分(、 - 2層)で酸負荷量が降水ベースで10年前後分となる頃に溶出ピーク(Al濃度: 約50mg/L)が認められた。なお、それ以深では溶出量の目立った増加は認められ

なかった。

前回の報告で、表層土壌の一部(氷ノ山 - 1層、深さ10cm)でAl溶出が認められ(2~3mg/L)、濃度もやや上昇傾向であったが、その後、顕著な濃度の増加は認められなかった。

氷ノ山、大山ともに、深さ約1m以深では、実際の酸性雨の約20年分に相当する酸を降下させても、浸透水中のAlは不検出又はごく低濃度(降下した人工酸性雨と同程度)であり、溶出したAlが再沈殿又は吸着等により、不溶化したものと考えられる。

上記のAl溶出の推移について、酸負荷量の増加に対して継続的に増加し続けるのではなく、極大値(ピーク)を形成するような推移であることから、土壌中に存在するAlのうち、比較的溶出しやすい形態のもの(交換性Al等)が、先ず溶出したものと考えられる。

深さ20~80cm部分のピーク時の溶出濃度は、植物の地下部(根)の生長が抑制されるとされる濃度(10mg/L以上)よりも高く⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、将来的な植生へ

の影響、特にこの辺りの深さに根が存在している樹木等への影響の可能性が懸念される。

水系への流入及び水生生物への影響の可能性も否定できないが^{(11) (12)}、土壌への浸透後から水系への流入に至るまでの水の流れに係る知見（土壌のどれくらいの深さまで浸透した水がそれぞれの程度流れ込むのか？等）が必要である。

塩基（ Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^{+} ）の溶出について

浸透水中の塩基性陽イオン濃度の推移を図3-8～3-10に示す。

Al溶出濃度増加に先だって、 Ca^{2+} 等の塩基性陽イオンの高い濃度の溶出ピークが認められた。同様に、下方への浸透に伴う溶出ピークの時間差が認められたが、ピーク高さ（濃度）はほぼ同じであった。

について、実態調査で得た実験前の土壌分析結果より、「交換性塩基（土壌に吸着されているこれら塩基性陽イオン）」が表層部（第1層～2層、特に1層目）に多く存在していて下層部（第3層以深）には少なかったことから、酸負荷によって、先ず表層部の「交換性塩基」が交換・溶出し、土壌と相互作

用しつつも、AlのようにpH変動による変化（沈殿・溶解）やそれ以深の土壌からの供給を受けずに、下方へと移動していったものと考えられる。

塩基性陽イオン各々ついて着目すると、 Ca^{2+} と Mg^{2+} が類似したパターンで推移し、 K^{+} がやや異なっていた。イオンの価数（電荷）や大きさによる土壌との相互作用の違い、及び土壌中の存在形態の差等に起因すると考えられる。

酸緩衝作用に伴って表層の塩基が溶出・流亡することが示唆された。

深さ約1m前後以深部からの土壌浸透水中のこれら濃度は、やや増加傾向にあるものの、低く変動も小さかった。第4層目土壌には交換性塩基が比較的少ないことに加え、表層部での酸緩衝作用の結果、浸透水がこの位置に達する段階では流れてくる浸透水のpHが高くなっていて、 H^{+} によるこれらの陽イオンの新たな交換・溶出が生じにくいためであるとされる。

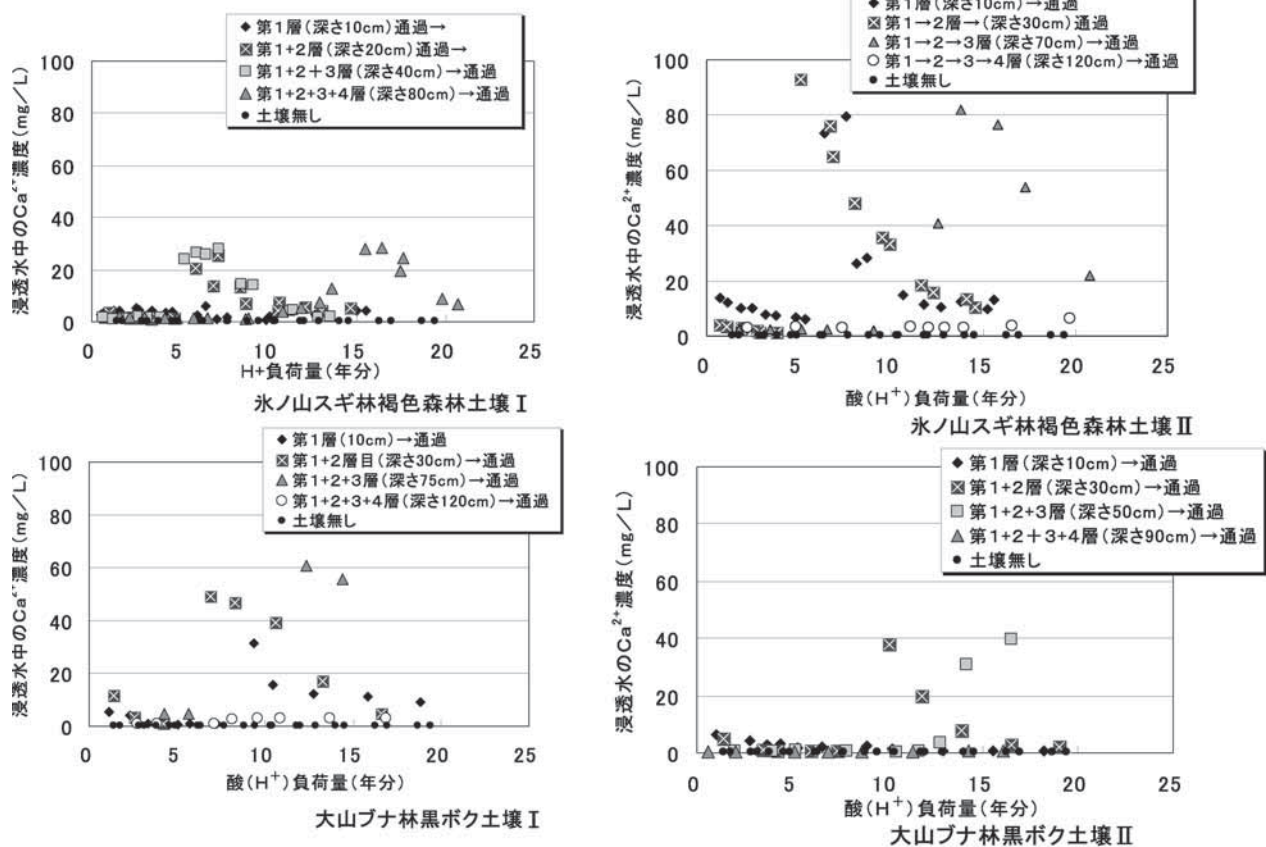


図3-8 塩基性陽イオン溶出の推移（ Ca^{2+} ）

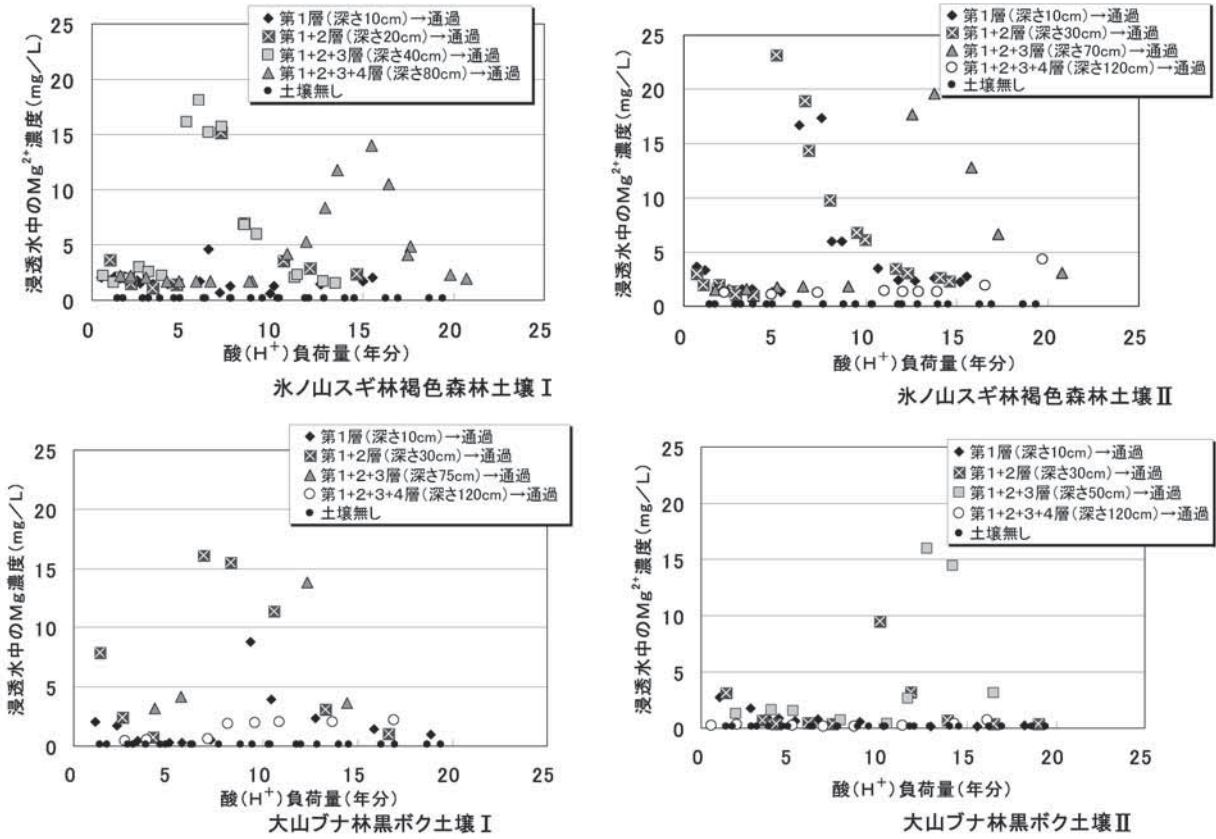


図 3-9 塩基性陽イオン溶出の推移 (Ma²⁺)

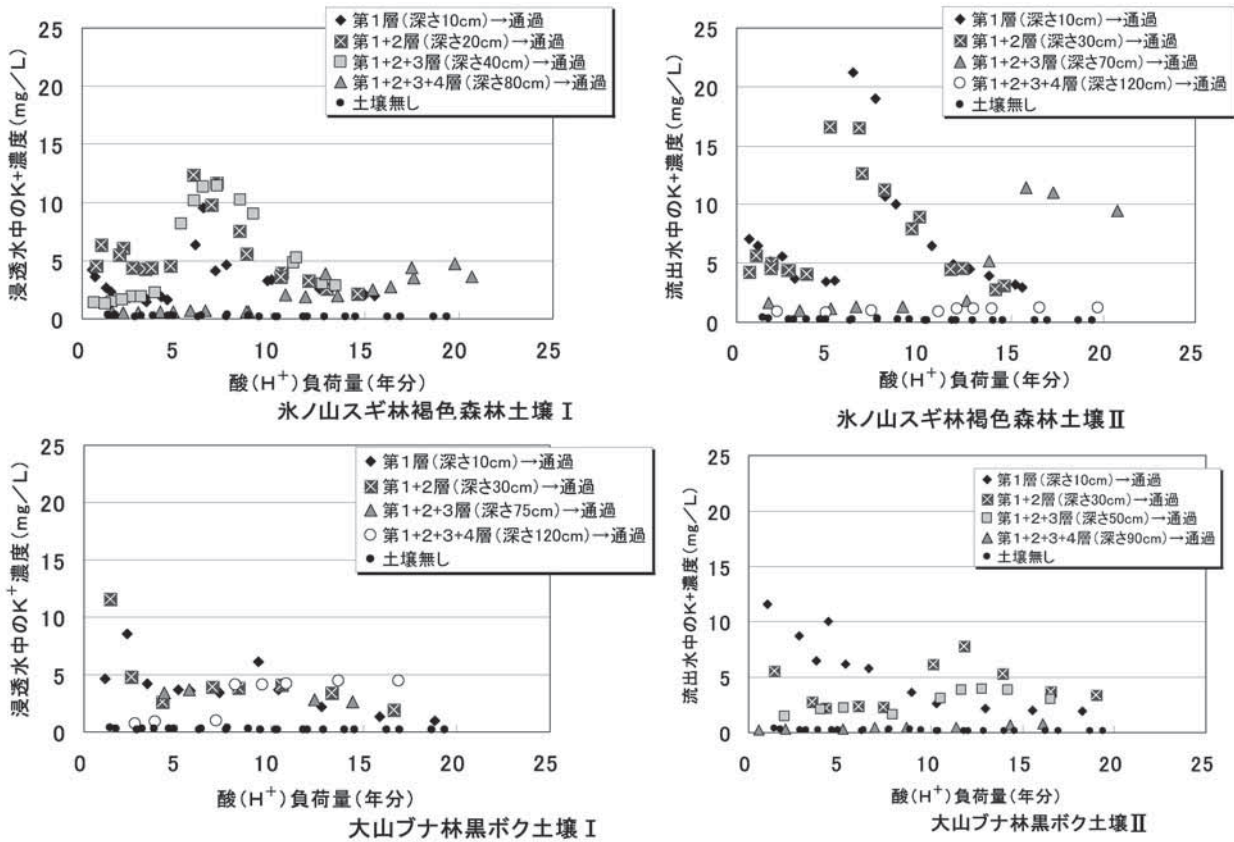


図 3-10 塩基性陽イオン溶出の推移 (K⁺)

4 まとめ

1) 現在の状況について (現地調査結果)

渓流水

基本的には水系 (渓流水) は中性 (pH 7) で、酸に対する緩衝能もある程度有している (アルカリ度 > 0.2 meq / L) が、以下のことが判った。

- 季節的変動として、上流部を中心に、冬場から春先の融雪時にかけて pH、アルカリ度共に低下する傾向であった。
- 毎月個別のデータから、融雪時 (3 月末 ~ 4 月初頭) や豪雨時に一時的に pH やアルカリ度が低下することが確認された。

酸性化に伴って溶存濃度が上昇し、水生生物に影響を与えるとされる Al は、基本的には不検出又は低濃度であるが、豪雨時等に一時的に濃度が上昇することが確認された。

土壌・植生

土壌 (氷ノ山スギ林土壌) について、前回報告した調査結果から、以下のとおり酸性度が強いことが判っている。

- 土壌 pH は 4 ~ 5 台前半と全般的に酸性で、特に表層部で pH が低い傾向。
- 交換性陽イオンについて、表層部で比較的塩基性陽イオン (Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+) の割合が高いが、全般的には酸性陽イオン ($\text{Al}(\text{OH})_n^{(3-n)+}$ 、 H^+) の割合が高かった。

植生 (樹木) は、以下のとおり酸性雨が原因と考えられる樹木等の衰退は認められなかった。

- 広葉樹林 (ケヤキ等) : 樹木は健全な状態で衰退は認められなかった。
- スギ林 : 一部の樹木で衰退が確認されたが、当該木の樹高が周辺木よりも著しく低いこと等から、底圧 (自然淘汰作用) によると推定された。

2) 将来の状況について

生態系の要として土壌に着目し、土壌に人工酸性雨を降下させる室内実験より、以下のことが判った。

室内実験で土壌に約 10 ~ 15 後分の酸性雨に相当する酸負荷を与えた時点で、やや深い部分 (深さ 20 ~ 80 cm 部) で pH 低下や高濃度の Al 溶出ピークが認められ、将来的に土壌が酸性化してこのような現象が起きる可能性が示唆された。

に先だって、 Ca^{2+} 等の塩基性陽イオンの溶出ピークが認められ、酸性雨に対する土壌の緩衝作用の一面が示されるとともに、併せて、植物の生育に必要なこれら成分が流亡していくことも示された。

この結果は、均一に調製した土壌を用いて植生や傾斜が無い条件で得たものである。実際には (現地土壌) には植物が生育していて、また、地形や浸透性の影響も考えられる (図 4 - 1 参照)。実際の生態系への影響の正確な評価にはこれらの影響等も把握する必要があり¹²⁾、今後の課題である。

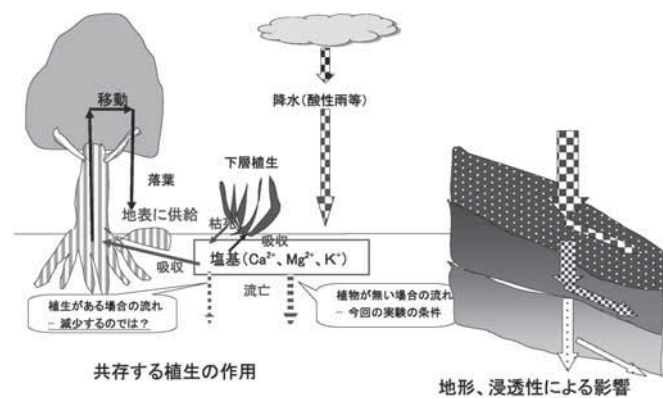


図 4 - 1 実際の現状の状況について

参考文献

- 九鬼貴弘他 (2005) 「鳥取県衛生環境研究所報第45号」 p28 ~ 38
- 九鬼貴弘他 (2005) 「鳥取県衛生環境研究所報第45号」 p39 ~ 51
- 環境省地球環境局 : 「土壌・植生モニタリング手引書 (2003)
- 日本土壌肥料学会監修・土壌環境分析法編集委員会編 : 「土壌環境分析法」 博友社 (1997)
- 飯村康二・本名俊正他 (1994) 「酸性雨の日本海沿岸における実態と砂丘地の土壌 - 植物生態系に及ぼす影響 (平成3 ~ 5 年度科学研究費補助金研究成果報告書)」 p42 ~ 88
- 日本化学会編 : 季刊化学総説 No14 「陸水の化学」 学会出版センター (1992)
- 鈴木啓助 : 渓流水の酸性化をもたらす融雪水, 地球環境 Vol. 9, p49 ~ 60 (2004)

- 8) 越川昌美・高松武次郎：土壌 - 河川 - 湖沼系におけるアルミニウムの動態と化学，地球環境Vol.9，p83～91（2004）
- 9) 中島拓男・落合正宏・伏見碩二・浜端悦治：酸性雨と渓流水，琵琶湖研究所所報第20号，p34～41（2001）
- 10) 環境庁地球環境部監修：「地球環境の行方 酸性雨」中央法規 p89～139（1997）
- 11) 佐竹研一編（2000）「酸性雨研究と環境試料分析 - 環境試料の採取・前処理・分析の実際 - 」愛智出版 p92～114
- 12) 佐竹研一編（1999）「酸性環境の生態学 - 酸汚染と自然生態系を科学する - 」愛智出版 p135～154
- 13) 一國雅己・岡崎正規編（1989）「土の化学 - 季刊化学概説No.4」学会出版センター p96～109