

C-3. 酸性物質の臨界負荷量に関する研究

(1) 植物における臨界負荷量に関する研究

② 根の生理活性阻害に関与する酸性物質の実験的研究

研究代表者 森林総合研究所 堀田 庸

(委託先)

通商産業省工業技術院 名古屋工業技術研究所

融合材料部 環境技術研究室

松井春夫 山本哲夫

平成5年～7年度合計予算額 14,253千円

(平成7年度予算額 4,888千円)

[要旨] 酸性雨などの慢性的、長期的な降雨によって、硫黄酸化物や窒素酸化物などの酸性降下物が土壤に負荷されたとき、我が国の代表的な樹木であるスギ、ヒノキ、アカマツなどの針葉樹の衰退、退化につながるものが懸念されている。このような現状に対処するため、これらの針葉樹の根の生理活性阻害に関与する酸性物質の臨界負荷量に関する基礎的データを得る目的で研究を進めた。根の正常な生育を阻害する要因として、酸性降下物からくる、硫酸イオンと硝酸イオン、近年大気中の濃度の増加が指摘されているモニアンモニウムイオン¹⁾などの影響を明らかにするために、針葉樹の幼苗(2年～3年)の水耕栽培を行い、根を中心に苗の成育状態を3年にわたって観測した。実験は、環境の酸性化によって樹木の根が受ける影響を想定して、従来から採用されている水耕栽培法²⁻⁷⁾とは異なった独自の方法を用いた。これらの実験を通じて、pHの影響、栄養塩の摂取の様子と成育の関係などから生理活性阻害要因を追求し、環境悪化にともなうわが国の森林樹木保護のための有効な対策手段確立のための基礎的データを提供する。

[キーワード] 根の生理活性、水耕栽培、針葉樹苗、酸性イオン、アンモニウムイオン

1. 序

森林面積の国土に占める割合が世界第二位(67%)であるわが国においても、近年、酸性雨などの影響で、森林の衰退、枯死といった現象が少しずつ顕在化する傾向にある。^{8, 9)} 環境悪化によるものと考えられるこれらの森林樹木の衰退現象に対して、それを説明する諸説が出されているが、未だ共通に認識される結論までには至っていない。¹⁰⁾ また、欧米における森林樹木の衰退現象が報告されている地域と、わが国のケースとは、気象的条件、地質的条件などが大きく異なり、それらの地域で得られたデータを、そのままわが国のケースに当てはめるのは困難である。これらの実状から、水耕栽培などを応用した実験室レベルで樹木を栽培し、得られたデータを基に、樹木が本来備えている、環境変化に適応するための生理栄養学的な生理活性の本質を見極めて、正常な生育を阻害する要因を追求することが、重要な対策の一つと考えられる。

2. 研究目的

スギ、ヒノキ、アカマツの水耕栽培実験を通して、環境悪化の影響が考えられる化学物質とこれらの針葉樹の根を中心とした正常な成育との関係を明らかにすることを目的とした。具体的には、硫酸イオンの濃度が根の成育に与える影響と硝酸イオンの根による吸収の特性、針葉樹苗の一年を通じた窒素要求量の季節的変動の把握、栄養塩としてのカルシウムイオンの特性、及び水素イオン、アンモニウムイオンなどの過剰負荷が成育に及ぼす影響などについての基礎的データを得ることを目的とした。

3. 研究方法

温室の中に20 lのポリエチレン容器を設置し、ポンプにてエアレーションを行いながら、スギ、ヒノキ、アカマツ（2年及び3年苗で開始）の水耕栽培を行った。本研究で考案した水耕栽培法は次のようなものである。1）水耕栽培溶液中の栄養塩は、土壤溶液中に通常検出される主要な必須元素9種類（陽イオン5種類、陰イオン4種類）に限定して与え、微量必須元素は与えない。実験には次のように調整した3種類の原液を用いた。A液（3 l）：NaCl、2 g；K₂PO₄、10 g；(NH₄)₂SO₄、10 g、B液（500 ml）：CaCl₂・2H₂O、10 g、C液（300 ml）：MgCl₂・6H₂O、10 g。水耕溶液は、A液より100 ml，B液より10 ml，C液より5 mlを容器に取り、蒸留水で19 lとして用いた。この溶液中の各イオンの濃度（meq・l⁻¹）は次のようである。Na⁺、0.060；K⁺、0.419；NH₄⁺、0.264（～0.500）；Ca²⁺、0.142（～0.510）；Mg²⁺、0.086（～0.240）；Cl⁻、0.288（～0.625）；NO₃⁻、0.173（～0.405）；PO₄³⁻、0.246；SO₄²⁻、0.264（～0.750）。括弧内の数字は補足実験に用いた濃度範囲を示す。2）水耕溶液は原則として20日間使用して更新したが、栄養塩の消費が多い時期には7日間または14日間に短縮した（3月～4月、10月）。3）水耕溶液の減少量と日々の溶液中の各イオンの濃度をイオンクロマトグラフィー（横河アナリティカルシステムズIC7000、陰イオン、陽イオン用各1台）によって測定し、栽培中に水は添加しない。1回の栽培期間終了時に栽培開始時の液量まで水を添加した後、栽培液中の栄養塩濃度を測定し、栽培期間中に根が採取したトータル栄養塩量を算出した。

温室内に水耕栽培による各種苗の成長と比較するため、巾45 cm，高さ50 cmの土耕用ポットを設置し、水耕栽培実験用苗と同じものを植え、観察した。ポット内には、東京大学農学部附属愛知演習林、赤津事業区32林班にて採取した乾性褐色森林土壌B₂型のB層を充填した。

4. 実験結果

4-1. 2年間ににおける水耕栽培および土耕栽培の集約

3年にわたって続けてきた針葉樹苗の水耕栽培、および比較のため行ってきた褐色森林土壌を用いた土耕栽培のうち、スギ苗とヒノキ苗の24苗について、過去2年間の結果を集約し、表-1に示した。林木の水耕溶液としては、Sach液、Knop液、（栄養塩濃度～19 meq・l⁻¹）、Hoagland液（栄養塩濃度～20 meq・l⁻¹）などが知られている。これらの水耕溶液は、栄養塩濃度が実際の林地の土壤溶液に比較してかなり高く、したがって日本で行われた実験では、五分の一程度に希釈した水耕溶液が実験に用いられることが多い。しかし、加藤ら¹¹⁾によれば硝酸カルシウムが蓄積したスギ林の土壤溶液では、硝酸イオンのみで35 m

表－１．スギ（*Cryptomeria japonica*）、ヒノキ苗（*Chamaecyparis obtusa*）の土耕および水耕栽培結果（1993年6月1日より1995年5月31日まで）

苗 試料	栽培方法	2年後の結果	苗の成長結果		葉の損傷率	p H変化	
			実験開始時	終了時 (c m)		実験開始時*	終了時*
スギ							
1	土耕	生存	41.2	58.3	3%以内		
2	土耕	生存	50.8	67.9	3%以内		
3	水耕	426日後枯死	43.5	52.3	100%	7.21	4.32
4	水耕	生存	57.1	73.2	5%以内	7.16	4.12
5	水耕	生存	33.5	48.2	5%以内	7.23	3.86
6	水耕	355日後枯死	58.1	64.7	100%	7.18	3.72
7	水耕	生存	56.5	72.2	7%以内	7.22	3.20
8	水耕	生存	53.1	70.0	5%以内	7.20	3.42
9	水耕	204日後枯死	48.9	54.9	100%	7.25	3.65
1 0	水耕	生存	52.8	69.3	5%以内	7.19	3.46
1 1	水耕	76日後枯死	40.5	40.6	100%	3.00	2.86
1 2	水耕	65日後枯死	52.2	52.5	100%	3.00	2.79
ヒノキ							
1	土耕	生存	43.5	50.1	3%以内		
2	土耕	生存	51.1	67.3	3%以内		
3	水耕	生存	49.0	64.8	5%以内	7.18	4.12
4	水耕	576日後枯死	52.0	63.0	100%	7.22	3.96
5	水耕	329日後枯死	47.0	54.0	100%	7.20	4.10
6	水耕	451日後枯死	56.1	66.1	100%	7.28	3.86
7	水耕	生存	49.5	64.3	7%以内	7.33	3.76
8	水耕	620日後枯死	53.5	68.4	100%	7.40	3.77
9	水耕	生存	55.5	67.2	7%以内	7.11	3.66
1 0	水耕	344日後枯死	52.0	58.6	100%	7.28	3.75
1 1	水耕	75日後枯死	42.6	42.6	100%	3.00	2.86
1 2	水耕	65日後枯死	51.8	51.8	100%	3.00	2.78

*一定期間の水耕栽培における代表的な例を示す

$\text{eq} \cdot \text{l}^{-1}$ といった高濃度の値が報告されている。本研究では栄養塩の種類として、上述した9種類の土壤溶液中に検出される主要なイオンに限定し、濃度も約 $1 \text{ meq} \cdot \text{l}^{-1}$ とした。水耕栽培の実験における基本的条件の設定は、その研究目的によって異なるものだと考えられる。本実験では、なるべく厳しい実験条件下で、苗がどれほど耐えうるのか、成育を続けていくための必要最小条件は何かを引き出すことを第一の目的とし、そのため、微量必須元素は与えず、栄養塩濃度も低濃度に保った。表中のpHの変化は、一回の水耕栽培期間における水耕栽培開始時のpH値と終了時のpH値の代表的な一例を示す。スギ苗の5サンプル、ヒノキ苗の3サンプルが7%以内の葉の損傷率で2年間成育することができた。苗の葉の損傷率は黄変した葉の容量と緑色の健全な葉の容量の割合を実験終了後に重量測定して算出した。これまでに同条件下で一番長く成長している苗は、葉の損傷率が約30%で3年6ヶ月にわたって生存しているスギ苗である。

これらの結果から、微量必須元素を与えなくともその他の栄養塩の摂取がうまくできれば、水耕栽培を始めた時にすでに蓄えていた微量必須元素を有効に利用して、少なくとも1年以上苗を成育を可能にしているものと考えられる。

4-2. 水耕溶液のpH

水耕溶液のpHとスギ、ヒノキ、アカマツの苗の成育との関係を調べるため、pH4.0からpH2.8まで0.2きざみで酸性にした水耕溶液を各種用意し、3ヶ月間観測した。その結果、pH3.2の水耕溶液まではこれらの苗は順調に成長した(図-1)。一方、水耕溶液のpHが3.0および2.8で開始したこれらの苗はいずれも3ヶ月以内に枯死した。これらの結果および表-1の結果から推測して、本実験環境下で苗が成育可能な溶液の酸性度の限界はpH3.2のあたりにあるものと考えられた。

4-3. 栄養塩の段階的摂取

水耕溶液中の栄養塩の濃度変化の典型的な例を図-2に示した。図に示したように、根は溶液中に存在する栄養塩を好みの順番に従って段階的に摂取する。2年間に行った約200回の栽培結果から、根の栄養塩の要求度を年間の栄養塩消費量をもとに計算し、次のような順位とインデックスを求めた。これらの値は、スギ、ヒノキ、アカマツに共通なものである。

NH_4^+	NO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	PO_4^{3-}	Na^+	Cl^-	SO_4^{2-}
(10)	(5)	(3)	(2.5)	(2)	(2)	(0.5)	(0.5)	(0.5)

インデックスの値は、 NH_4^+ の値を10と定め、他のイオンの値は一年を通じた消費量の値から相対的に算出した。これらの値は、根が順調な成育を可能にしていくための主要な栄養塩の必要度を相対的に表したものである。土壤溶液中にこれらのイオンが存在するとき、根は好みのイオンから優先的に摂取していくことが示唆された。

図-2よりもう一つ重要な実験結果を読みとることができる。 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} イオンのリアルタイムの濃度を示す3つの線に、いずれも変化点(減少から増加に変化している点)が見られることである。これらの3つのイオンは上に示したように、根にとって要求度の低いものである。従ってそんなに多くは摂取されない。実際には計算曲線に示されたようにわずかずつ摂取されて

図-1 (上)

水耕溶液のPHとスギ、ヒノキ、アカマツ苗の成育の関係

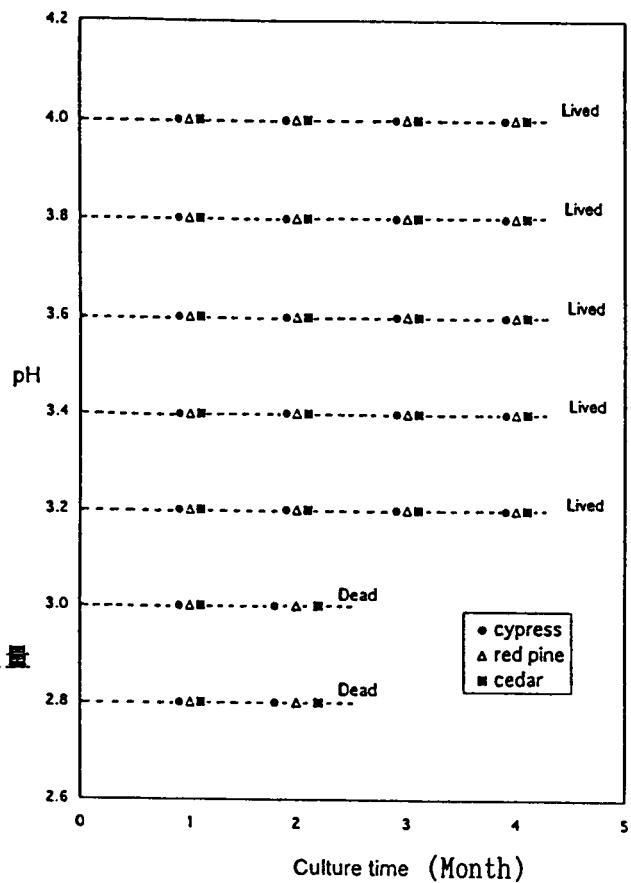
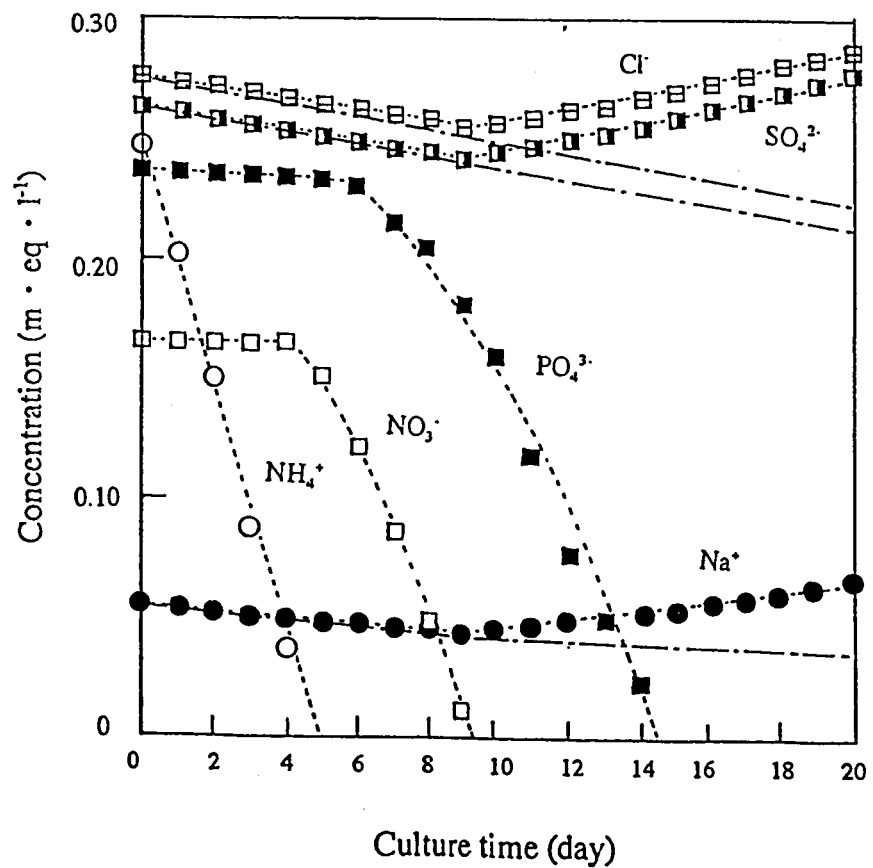


図-2 (下)

水耕溶液中の各イオンの濃度変化
鎖線はリアルタイムの濃度 (CR)
と液量の減少量から計算した
計算濃度 (CC) を表す。

($CC = CR \times (\text{リアルタイムの液量} / \text{水耕開始時の液量 (19 l)})$)



いるにすぎない。これらのイオンの濃度が増加しているように見えるのは、この変化点を境に根による水の吸収が増加し、液量が減少していることによるものである。この変化点は水耕溶液中の SO_4^{2-} イオンや PO_4^{3-} イオンの濃度には関係がなく、唯一、 NO_3^- イオンの濃度に関係している。すなわち、硝酸イオンが水耕溶液中から完全に摂取されてなくなったときから、水の吸収が増加していることを示すものである。これらの実験結果から、実際の林地でも過剰な窒素化合物の負荷が、樹木の水吸収を阻害するものではないかと推定することができる。

4-4. 水耕溶液中の硫酸イオンの濃度と根の育成状態

硫酸イオンの濃度を随時変化させた場合の根の育成状態を観察した。典型的な例を写真1, 2に示した。水耕溶液中に硫酸イオンを全く含まない場合にも、スギ、ヒノキ、アカマツとも少なくとも300日は順調に育成した。硫酸イオンの濃度 $0.001 \sim 0.025 \text{ (cmol} \cdot \text{l}^{-1})$ では、写真1, 2に示した結果と比較して、ほぼ中間の育成であった。硫酸イオンの摂取量は春の苗の成長期(3月~4月)にほぼ集中しており、その量は9種類の栄養塩の中でも最低のレベルである。また、この期間以外一年を通じて摂取される量は総量でも3, 4月の十分の一程度である。従って、硫酸イオンの過剰負荷は、明らかにこれらの樹木の育成にとって、栄養塩的にもプラスに作用せず、むしろ根の育成にとってはマイナス効果をもたらすものと考えられた。硫酸化物の森林土壌への負荷は、硫酸イオンに伴ってもたらされる水素イオンの効果を主に考察されるべき性質のもの、と考えられた。

4-5. 窒素摂取量の季節的変動

水耕栽培実験による最大の利点は、溶液中の栄養塩の減少は特別な化学反応が起こらない限り根から苗への摂取量と考えられ、生理栄養学的な栽培苗の生態が観測できることである。図-3に、スギ苗による窒素摂取量の季節的変動値を求めた結果を示した。窒素摂取量の変動において、二つのピークが春と秋に観測された。これらのピークは新芽の成長に対応している。その最大値と最小値は約十倍の開きがあり、少なくとも、自然界においてもこのような樹木の窒素要求量にかなりの季節的変動があるものと予測される。水耕栽培で得られた結果を、直接現実起こっている現象に当てはめて考えるには、多少無理があるように考えられる。地上部の苗の各部の栄養分の分析、樹液中の各成分の変化など木の総合的な分析を行って、樹木の一年を通じた栄養塩の循環に関して定量的な収支計算を行わない限り、決定的な結論を引き出せないという欠点を合わせ持っている。水耕栽培における基本的な条件の設定は研究目的によってそれぞれ異なるものと考えられるが、少なくとも樹木のライフサイクルの一つの節目である一年間実験を続けるのであれば、かなりラフな条件下で実験を行っても目的にかなった成果がある程度期待できるものと考えられた。土壌条件が全く同一な林地は考えられず、従って、極めて簡素化した系における水耕栽培の実験であっても、得られた実験結果から樹木が生来持っている生理栄養学的な本質の一部を垣間見ることは可能であると考えられる。

4-6. 樹木自身の酸中和能力

スギ、ヒノキ、アカマツの苗の水耕栽培における観察の結果より、カルシウムイオンが、環境の酸性化に対応する根の防御機構に深く関与していることが考察された。第一に、これらの針葉

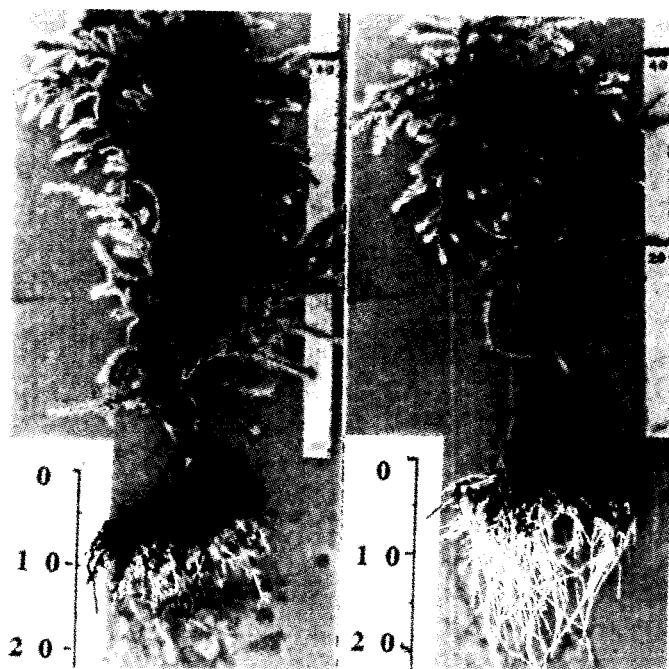


写真 1. スギ苗 70 日後の根の生育状態

左：硫酸イオン濃度 = 0.025 cmol/L
 右： " = 0

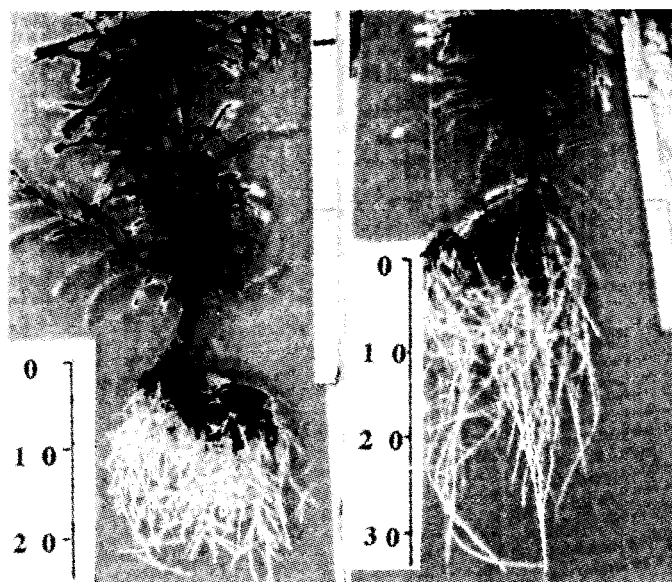
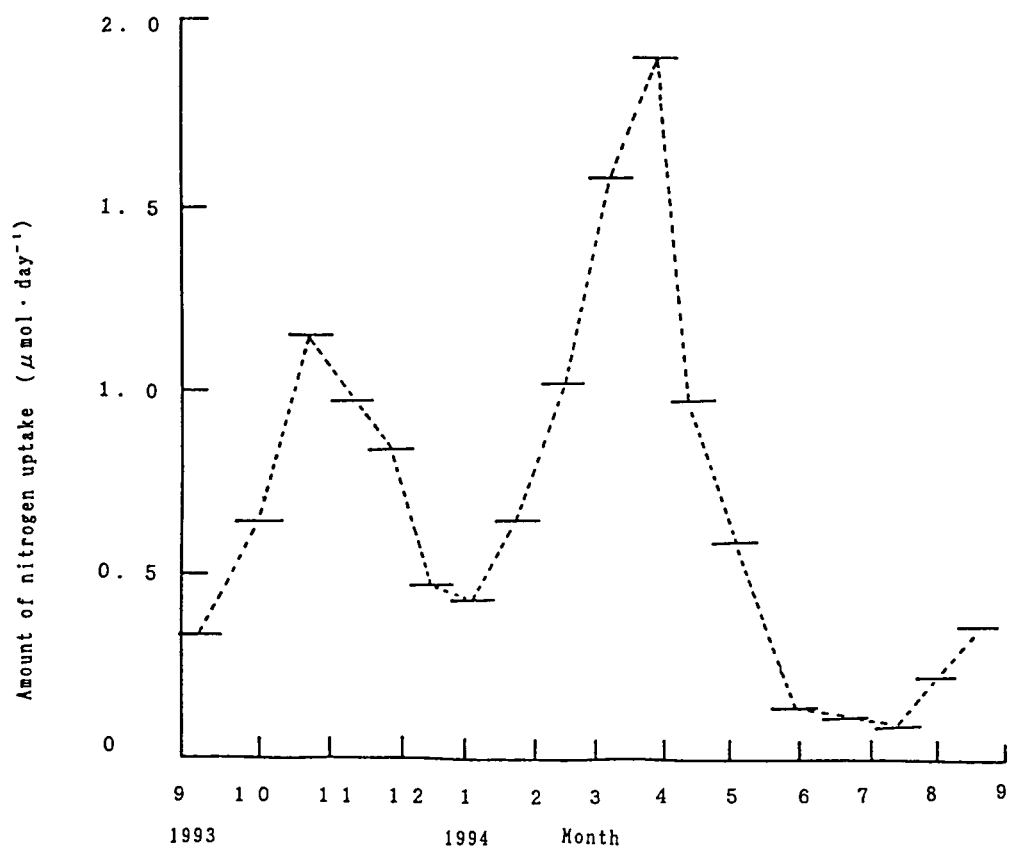
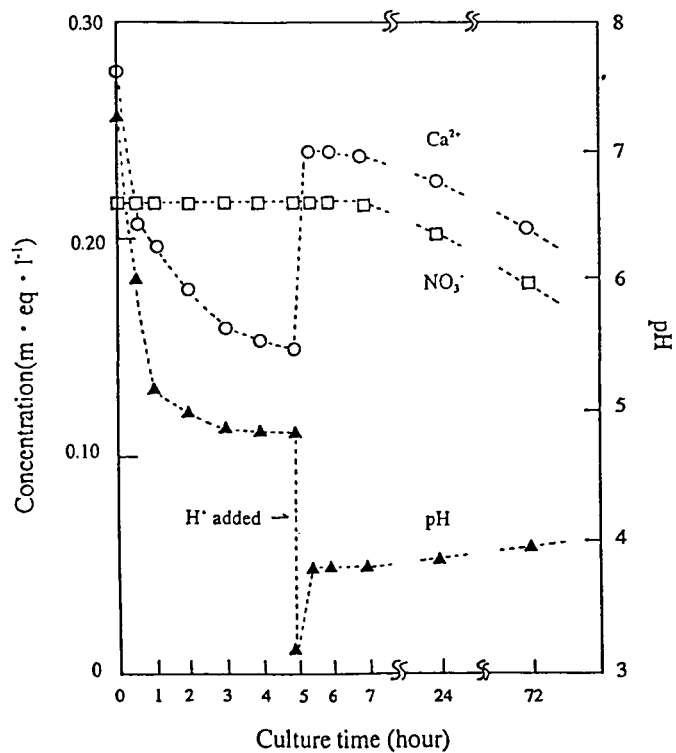


写真 2. スギ苗 140 日後の根の生育状態

左：硫酸イオン濃度 = 0.025 cmol/L
 右： " = 0



図－3 窒素摂取量の季節的変動（スギ3年苗）



図－4 水耕溶液中の Ca^{2+} 及び NO_3^- イオンの濃度変化と pH の関係（スギ3年苗、 H^+ added は HClO_4 を添加）

樹苗は弱酸性（pH 4.6～5.0）を好む傾向を示した。すなわち、水耕溶液がpH 5.0以上の中性に近い場合には、根より水素イオンを排出し外液にカルシウムイオンがある場合にはこれを取り込み弱酸性の環境をつくる。この反応は素早く進行し、水耕を初めて1時間以内に90%以上が進行し、長くて3時間以内にはほぼ完了した。また、この反応は非代謝的反応である。水耕液が中性の場合には、根によるカルシウムイオンの摂取は2段階によってなされる。まず、非代謝的な取り込みが起こり、続いて代謝的な第二段階の取り込みが進行する（図-4）。このように根がまず第一段階として弱酸性の環境を造るのは、中性付近の環境では、栄養塩としての無機陽イオンが水酸化物として沈殿したり、加水分解反応を起こしポリマーなヒドロキソ錯体を形成し、取り込みが難しくなることが一つの原因ではないかと考えられる。次に、酸を強制的に水耕溶液に添加して、強制的に更に強い酸性環境をつくると、根よりカルシウムイオンがすみやかに排出され、水耕溶液のpHは上昇した。これらの実験結果より、針葉樹苗の根はその表面近くのフリースペースに水素イオンとカルシウムイオンを蓄えていて、外部の環境の変化に対応できる体制を整えているものと推定された。ヒノキ、アカマツについても同様な実験を行い、樹木自身の示すこのような緩衝作用はこれらの苗に共通であることを見出した。

実験結果より、これらの苗の根の酸中和能力の値を下記のように求めた。

$$0.062 - 0.123 \text{ mmol H}^+ \cdot \text{dry root g}^{-1}$$

5. 考察

臨界負荷量に関しては、欧米、カナダなどで報告された研究成果を直接わが国の森林林地に適用するには問題があると思われる。すなわち、土壌成分の違い、降雨量の違い、植林されている樹種の違いなどがあるからである。わが国独自の酸性降下物に関する臨界負荷量を算出するための研究が要求されている。わが国でこれまでに得られた多くの研究成果の利用とわが国の特徴を加味した新しい計算法が必要である。本課題で研究した結果から確実なことが一つ言える。それは、樹木の根の周囲の環境が水素イオン濃度が $0.63 \text{ mmol H}^+ \cdot \text{l}^{-1}$ 以上に増加した場合には、スギ、ヒノキ、アカマツなどは確実に枯死に向かうと推定される。そこで、本研究で得られた結果より、水素イオン濃度を基礎にした次のような負荷指数を提案する。

$$\begin{aligned} \text{負荷指数 (H}_{\text{CL}}) = & \text{酸負荷量 (H}_\text{L}) - \text{土壌の緩衝能力 (H}_{\text{B1}}) (= \text{H}_{\text{SOIL}} - \text{H}_{3.2}) \\ & - \text{土壌溶液の緩衝能力 (H}_{\text{B2}}) (= \text{H}_{\text{SOILN}} - \text{H}_{3.2}) \\ & - \text{樹木の緩衝能力 (H}_{\text{B3}}) \end{aligned}$$

$$\text{H}_{\text{CL}} = 0 \quad \text{臨界負荷量} \quad \text{H}_{\text{CL}} < 0 \quad \text{安全状態} \quad \text{H}_{\text{CL}} > 0 \quad \text{危険状態}$$

わが国における年間の酸負荷量（H_L）は多くの地域によって測定されている（例えば、酸性雨調査研究報告書、愛知県名古屋市、平成6年度）。これらの値から基本的な3つの緩衝能（土壌、土壌溶液、樹木自身）によって中和される水素イオンの量を差し引いた値が $0.63 \text{ mmol H}^+ \cdot \text{l}^{-1}$ 以下であるかどうかを目安にする、という考え方である。土壌の緩衝能力（H_{B1}）は実際の林地の土壌を用いてpH 3.2になるまで酸で滴定し、求めることができる。土壌溶液の緩衝能力（H_{B2}）

も同様に土壤溶液を酸で滴定することにより、求めることができる。樹木の緩衝能力 (H_{B3}) は本研究によって見いだされたものであり、図-4 に示したように樹木苗を用いた実験によって求めることができる。更なる研究において実際の林地での負荷指数の算定に取り組む予定である。

6. まとめ

栄養塩の少ない状況、微量必須元素の欠乏、強酸性の状況などの厳しい環境下でスギ、ヒノキ、アカマツなどの苗の水耕栽培を行った。溶液の pH が 3.0 というような強酸性下では栄養塩の摂取などが不可能となって苗は 100% 枯死したが、溶液の pH が中性から 3.2 の範囲では根自身がある程度の緩衝作用を示し、急激な環境変化に対処している様子が観測された。3 年間のわが国の主要な樹木苗の水耕栽培実験を通じて得られた結果を要約すると、第一に、根の周囲の環境が pH 3.2 以下に酸性化すれば健全な成育は困難である。第二に、健全な樹木の成育には、栄養塩、特に窒素の摂取が一番重要であり、窒素の摂取が不可能になれば完全に枯死する。第三に、水の正常な吸収が不可欠であり、土壤溶液中の硝酸イオン濃度と水の吸収には関連性が見いだされた。すなわち、硝酸イオンの増加は水の吸収をある程度阻害するものと考えられた。

7. 本研究により得られた成果

本研究により得られた成果は次のようなものである。

- 1) 最も重要な栄養塩である窒素に関して、水耕溶液にアンモニウムイオンと硝酸イオンを与えたとき、アンモニウムイオンを選択的に第一ステップとして摂取し、無くなったところで硝酸イオンを第 2 ステップとして摂取する段階的、選択的窒素摂取の傾向がスギ、ヒノキ、アカマツの苗に共通して存在することを明らかにした。
- 2) 根が正常に成育できる環境は土壤溶液の pH が 3.2 の辺りにあることを明らかにした。
- 3) スギ苗の一年を通じた窒素摂取量の季節的変動値を定めることが出来た。
- 4) 一年を通じた苗の生長に対応した窒素摂取量の二つのピークがあることが明らかとなった。
- 5) スギ苗の一年を通じた窒素摂取量の最高値と最低値では、約 10 倍の開きがあることが判明した。
- 6) 水耕溶液中の硝酸イオンが完全に吸収されたあとは、根による水の吸収が増加することが見いだされた。
- 7) 根の周囲の環境が急激に酸性化した場合には、根が蓄えているカルシウムイオンによる緩衝作用が働くことが予測される基礎的データを得た。
- 8) カルシウムイオンによるこのような緩衝作用は非代謝的な反応であると考えられた。
- 9) わが国における酸性降下物の森林林地に対する臨界負荷量に関して、土壤溶液中の水素イオン濃度を算定基礎とする基本式を提案した。
- 10) スギ、ヒノキ、アカマツの自身の酸中和能力の値 (H_{B3}) を実験より求めることができた。

8. 参考文献

- 1) B. Nihlgard: Ambio, 14, 2~8 (1985).
- 2) T. Ingestad: Physiol. Plant. 50, 353 364 (1980).

- 3) T. Ingestad: Plant. Cell and Envir., 5, 443 453(1982).
- 4) G. Agren: Physiol. Plant., 64, 17 28 (1985).
- 5) T. Ingestad, A.S. Arvery, and M. Kahr: Physiol. Plant., 68, 575 582 (1986).
- 6) A.J.S. McDonald, T. Ericsson, and T. Ingestad: Physiology of Trees, 199 219 (John Wiley & Sons, New York, 1991).
- 7) A. Jenkins, D. Water, and A. Donald: J. Hydrol. 124, 243 261(1991).
- 8) 藤井久雄: 森林科学、11, 50~57 (1994).
- 9) 谷本丈夫、小金沢正昭、吉武 孝: 関東北部山地における森林の衰退現象、1996年度森林立地学会講演会要旨集(1996).
- 10) 小池孝良、真田 勝、太田誠一: 日本土壤肥科学雑誌、64, 704~710 (1993).
- 11) 加藤秀正ほか: 土肥誌、66, 39 ~ 47(1995).

〔国際共同研究などの状況〕

① 森林樹木の酸性雨対策研究として、「カナダー日本二国間国際協力研究(Canada-Japan Agreement on Science and Technology Cooperation)、研究課題 ; 酸性化の過程、酸性化の環境影響及びその工学的対策」に参画し、カナダ林野局(Forestry Canada, Natural Resources Canada, 研究対策本部、Hull, Quebec)の研究者達と1991年より研究成果情報の交換を行っている。

② 環境影響に関わる測定技術に関する、日本ースウェーデン国際協力(AIST-NUTEK, 課題名: Technology concerning the problem of measuring environmental effects)を1969年以来、チャルマース工科大学環境化学科と協力して行っている。1995年9月から約一ヶ月相手方研究者(Dr. Olle Ramnas 助教授)を名古屋に招聘し、大都市における大気中の有害有機化合物の測定研究を実施した。

研究発表の状況

学会発表

- (1) 松井春夫: 針葉樹苗の水耕栽培における窒素の吸収とカルシウムイオンの挙動、日本土壤肥料学会中部支部第69回例会、中部土壤肥料研究会第79回例会、平成1994年1月(津市)
- (2) 松井春夫: 針葉樹苗の水耕栽培における無機イオンの吸収と根の成育状態、第105回日本林学会大会、1994年4月(東京)
- (3) 松井春夫、山本哲夫: 針葉樹苗の水耕栽培における無機イオンの吸収パターン、日本土壤肥料学会中部支部第70回例会、中部土壤肥料研究会第80回例会、1994年5月(名古屋)
- (4) 山本哲夫: 岩石透過液体の帯電; 電気学会全国大会、平成7年3月(北海道)。
- (5) H. Matsui: Effects of acidity of the water culture solution on uptake of nutrients by the root of Japanese cedar(*Cryptomeria japonica*) and Japanese cypress(*Chamaecyparis obtusa*), 5th International Conference on Acidic Deposition, Acid Reign '95; June 1995, (Goteborg, Sweden) .

(6) 松井春夫、山本哲夫、Olle Ramnas : 樹木苗の水耕栽培における基本的条件の設定、第44回日本林学会中部支部大会、1995年10月(長野)。

(7) 酒井佳美、只木良也、松井春夫 : 名古屋大学校内二次林とタケ林における樹幹流及び林内雨の成分変化、第44回日本林学会中部支部大会、1995年10月(長野)。

(8) 酒井佳美、只木良也、松井春夫 : タケの樹幹流・林内雨成分の特性 : 第107回日本林学会大会、1996年4月(筑波)。

論文

○(1) H.Matsui : Effects of acidity of the water culture solution on uptake of nutrients by the root of Japanese cedar(*Criptomeria japonica*) and Japanese cypress(*Chamaecyparis obtusa*), *Water, Air, & Soil Pollution*, 85, Issues 1-4, 1131~1136(1995).

○(2) 松井春夫 : 樹木苗の水耕栽培における基本的条件の設定、第44回日本林学会中部支部大会論文集、235~238(1996)。

○(3) 酒井佳美、只木良也、松井春夫 : 名古屋大学校内二次林とタケ林における樹幹流及び林内雨の成分変化、第44回日本林学会中部支部大会論文集、229~231(1996)。

○(4) 松井春夫、第5回酸性降下物に関する国際会議と「ブラック・トライアングル」山岳地帯訪問の報告、*森林科学*、16, 74~75(1996)。