

# 市街地環境緑化に関する研究

—緑化樹の生育と路面凍結防止剤—

古川仁・片倉正行・遊橋洪基\*

## 緒言

都市の快適な生活に環境緑化の果たす役割は大きい。近年、街路樹、公園樹に衰退も見受けられる。この原因として、根元の踏圧、舗装による根系周辺土壌の乾燥と酸素不足、排気ガス、舗装路面からの輻射熱、病害虫の発生、コンクリート構造物による土壌のアルカリ化等が考えられる(小沢他1975、山家1973)。

また、寒冷積雪地域では冬期間の交通安全確保のため道路へ散布される凍結防止剤による路側帯植物の衰退も報告されている(古川他1995、井上他1979)。

凍結防止剤と植物の関連についての報告は少なく(古川他1995、春木他2000、板倉1975、今野他1987、宮本他1994)、不明な点も多いので、両者の関連について調査を行った。

## 1 緑化樹の衰退度調査

### 1.1 目的

市街地の緑化樹衰退現状を把握するため、道路々側帯緑化樹の生育状況調査、土壌調査を行った。

### 1.2 調査地と調査方法

#### 1.2.1 調査地

松本市、塩尻市、岡谷市、諏訪郡下諏訪町の10路線20地点(plot 1~20)を調査地とした。また、植栽されていた11樹種(イチイ、ケヤキ、ユキヤナギ、ナナカマド、ニシキギ、シナノキ、ハナミズキ、キリシマ、サツキ、オオムラサキ、ドウダツツジ)の比較対照地として長野県林業総合センター構内を選定した。

これらの概要は表-1のとおりである。

#### 1.2.2 緑化樹の生育状況

各調査地点の路側帯に植栽されていた平均的緑化樹1本を調査木とし、その活力を表-2に示した樹木活力指標法(科学技術庁資源調査会1972)により判定して、その平均値を評価値とした。調査は1992年~1995年の毎年夏季に1回行った。な

表-1 緑化樹の衰退度調査地

調査地点	概要
路線1 (plot 1~4)	塩尻市街地と岡谷市を結ぶ4車線の主要幹線国道。車両通行量が多い。
路線2 (plot 5~6)	松本市内の2車線の市道。住宅街に近く車両通行量は少ない。
路線3 (plot 7~9)	塩尻市中心街を通る2車線の市道。車両通行量は比較的少ない。
路線4 (plot 10~11)	松本市中心街を通る4車線の県道。国道19号線と松本市街との連絡道路の一つで、通行車両は比較的多い。
路線5 (plot 12)	松本市内を通る主要幹線国道。2車線で、車両通行量が多い。
路線6 (plot 13~14)	松本市中心街を通る4車線の県道。車両通行量が多い。
路線7 (plot 15~16)	松本市内を通る2車線の市道。幹線国道間の連絡道路としての利用が多く、車両通行量が多い。
路線8 (plot 17)	松本市郊外の住宅地を通る2車線の市道。車両通行量は少ない。
路線9 (plot 18~19)	岡谷市中心部を通る2車線の県道。車両通行量は比較的多い。
路線10 (plot 20)	岡谷市と諏訪市を結ぶ下諏訪町内の4車線の県道。車両通行量が多い。
長野県林業総合センター	約50年生アカマツが優占、標高870m。土壌はB <sub>lo</sub> (火山灰母材)、年平均降水量1,180mm、年平均気温10.1℃、雨量指数80.8℃・月、最深積雪深30cm。

\*元長野県林業総合センター研究技監兼育林部長

表-2 樹木活力指標の評価基準 (科学技術庁 1972)

測定項目	評 価 基 準			
	1	2	3	4
樹勢	旺盛な生育状態を示し、被害がまったく見られない。	いくぶん被害の影響を受けているが、余り目立たない。	異常が明らかに認められる。	生育状態が劣悪で回復の見込みがない。
樹形	自然樹形を保っている	若干の乱れはあるが、自然樹形に近い。	自然樹形の崩壊がかなりすすんでいる。	自然樹形が完全に崩壊され、奇形化している。
枝葉の密度	正常、枝および葉の密度のバランスがとれている。	ふつう、1に比してやや劣る。	やや疎。	枯れ枝が多く、葉の発生が少ない。密度がいちじるしく疎。
葉色	正常。	やや異常。	かなり異常。	いちじるしく異常。
ネクロシス	なし。	わずかにある。	かなり多い。	いちじるしく多い。

お、路線9、10については1993年～1995年に調査を行った。

### 1.2.3 土壌化学性

調査木根元付近の表層土壌 (深さ0～5 cm) を採取し、温風乾燥機 (80℃、48時間) で乾燥後、2 mmの円孔ふるいを通過したものを分析試料とし、ガラス電極法 (土壌標準分析・測定委員会1993) でpH (H<sub>2</sub>O) を、原子吸光法 (土壌標準分析・測定委員会1993) で交換性カルシウム (以下Ca<sub>(EX)</sub>とする)、交換性マグネシウム (以下Mg<sub>(EX)</sub>とする) の定量を行った。原子吸光法には、試料細土5 gに1 N酢酸アンモニウム液100 mlを加え、1時間振とう後ろ過したものをを用いた。

## 1.3 結果と考察

### 1.3.1 生育状況

樹木活力指標法によって得た評価値をA～Dの4段階 (表-3、小沢他1975) にあてはめ判定した (表-4)。

路側帯に最も多かったのはキリシマ、サツキ、オオムラサキといったツツジ属の低木であった。これらは他の高木と組み合わせて配植されており、A「生育良好」からC「かなり元気なし」に判定されるものが認められた。これらに次いで多かったのがイチイで、大半が先のツツジ属と組み合わされて配植されていた。イチイはA「生育良好」、

表-3 調査木の活力判定 (小沢ら 1975を改変)

判定	状態	評価値
A	生育良好	1.00 ~ 1.75
B	やや元気なし	1.76 ~ 2.50
C	かなり元気なし	2.51 ~ 3.25
D	瀕死状態	3.26 ~ 4.00

B「やや元気なし」に判定され、路線1のイチイは衰退が目立った。また、路線1ではキリシマの衰退が著しく、ここではユキヤナギだけが良好な生育を示していた。また、ハナミズキは1ヶ所のみだったが衰退が目立った。

### 1.3.2 土壌化学性

土壌pHは、20地点中18地点が弱アルカリ性を示した (表-4)。図-1に路側帯土壌と、対照とした林業総合センター構内 (アカマツ二次林) の土壌pHとCa<sub>(EX)</sub>濃度の関係を示したが、路側帯土壌は対照に比べ、pH、Ca<sub>(EX)</sub>濃度とも高く、pHとCa<sub>(EX)</sub>濃度には正の相関がみられた (図-1)。このことから路側帯土壌が弱アルカリ性を示すのは、カルシウム富化によるもので、その原因としては周囲のコンクリート製構造物からのカルシウム供給 (小沢他1975、新延他1997、高遠1993、山根1978)、および凍結防止剤によるカルシウム富化 (古川他1995) が考えられた。

また、路側帯のCa<sub>(EX)</sub>濃度は12.2～39.7me/100gと高い値を示し、小沢ら (1975)、新延 (1997) が調査した市街地土壌の結果と類似した。

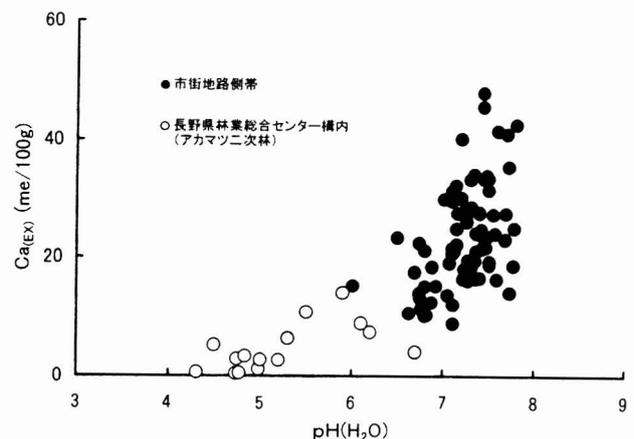


図-1 土壌pHとカルシウム濃度の関係

表-4 緑化樹の衰退度調査結果

調査地点	plot	樹種	生育状況		土壌化学性*2		
			樹高 (m)	活力判定 (評価値*1)	pH(H <sub>2</sub> O)	交換性カルシウム (me/100g)	交換性マグネシウム (me/100g)
路線1	1	ユキヤナギ	0.8	A (1.00)	7.25	26.8	0.91
	2	イチイ	2.1	B (2.07)	7.55	39.7	0.68
		ユキヤナギ	0.8	A (1.32)			
	3	イチイ	2.1	B (1.84)	7.36	36.4	1.00
クリシマ		0.6	C (2.75)				
4	イチイ	2.2	B (2.33)	7.34	27.5	0.53	
	クリシマ	0.6	C (2.74)				
路線2	5	イチイ	2.1	A (1.18)	6.40	18.7	4.03
		ニシキギ	1.0	A (1.28)			
		サツキ	0.4	A (1.47)			
		ドウダ'ンツツジ	0.7	A (1.39)			
6	オムラサキ	0.6	A (1.47)	6.75	14.0	0.69	
路線3	7	クリシマ	0.8	A (1.47)	7.60	28.2	0.69
		サツキ	0.7	A (1.20)			
	8	クリシマ	0.7	A (1.55)	6.87	12.2	0.66
9	ケヤキ	7.0	A (1.58)	7.22	27.2	1.15	
路線4	10	ケヤキ	8.0	A (1.55)	7.19	20.6	0.70
		ニシキギ	0.9	A (1.26)			
		クリシマ	0.7	A (1.33)			
		オムラサキ	0.9	A (1.32)			
11	ドウダ'ンツツジ	0.9	A (1.13)	7.39	25.3	0.81	
路線5	12	オムラサキ	0.9	A (1.54)	7.00	20.8	0.46
		ドウダ'ンツツジ	0.9	A (1.63)			
路線6	13	ナカマド	4.9	B (1.85)	7.27	24.7	0.97
		ドウダ'ンツツジ	0.8	A (1.40)			
14	シナノキ	6.0	A (1.31)	7.35	21.7	0.61	
	クリシマ	0.6	A (1.32)				
路線7	15	ニシキギ	0.8	A (1.56)	7.05	17.4	0.38
		サツキ	0.4	A (1.24)			
	16	ニシキギ	0.7	A (1.60)	7.09	21.4	0.70
16	サツキ	0.4	A (1.45)	7.38	20.6	0.51	
	ナカマド	6.1	A (1.49)				
路線8	17	サツキ	0.4	B (1.88)	7.52	25.7	0.84
		イチイ	1.7	A (1.35)			
路線9	18	オムラサキ	0.6	A (1.33)	7.32	19.5	1.19
		イチイ	2.4	A (1.42)			
19	クリシマ	0.6	A (1.53)	7.66	18.7	0.47	
	ハミズ'キ	3.5	C (1.93)				
路線10	20	オムラサキ	0.6	A (1.74)	5.43*3	4.8*3	0.41*3
		ハミズ'キ	3.5	C (1.93)			
長野県 林業総合 センター	対照	イチイ、ケヤキ、ユキヤナギ、ナカマド、ニシキギ、シナノキ、ハミズ'キ、クリシマ、サツキ、オムラサキ、ドウダ'ンツツジ		A (1.00)			

\*1 樹木活力指標法で判定した各測定項目の平均値。

\*2 4年間(路線9、10は3年間)の平均値。

\*3 各樹種の根元土壌の平均値。

なお、この数値は、対照としたアカマツ二次林に比較して2~7倍の数値であった。

マグネシウムは葉緑素の構成成分であるため、緑化樹にとって重要な元素の一つであり、伊達(1986)によると土壌中のMg<sub>(EX)</sub>量が、0.41 me/100g以下で不足とされている。今回の調査地点の大半は0.41me/100g以上のMg<sub>(EX)</sub>が検出され、マグネシウム量はおよそ満たされているといえた。

図-2に調査木の樹木活力指標法による評価値と土壌pHの関係を示した。これによるとpH6.5を超えるあたりから緑化樹の衰退が目立ってきている。また、樹種別にみると、イチイ、ナカマドはpHが高くなるに従い衰退傾向が認められ、イチイは弱酸性土壌に適するという菊住(1979)と一致した。高木性のケヤキ、シナノキ、灌木性のユキヤナギ、ニシキギはpHが高くなっても評価値1に近い正常のものもある。前三者について

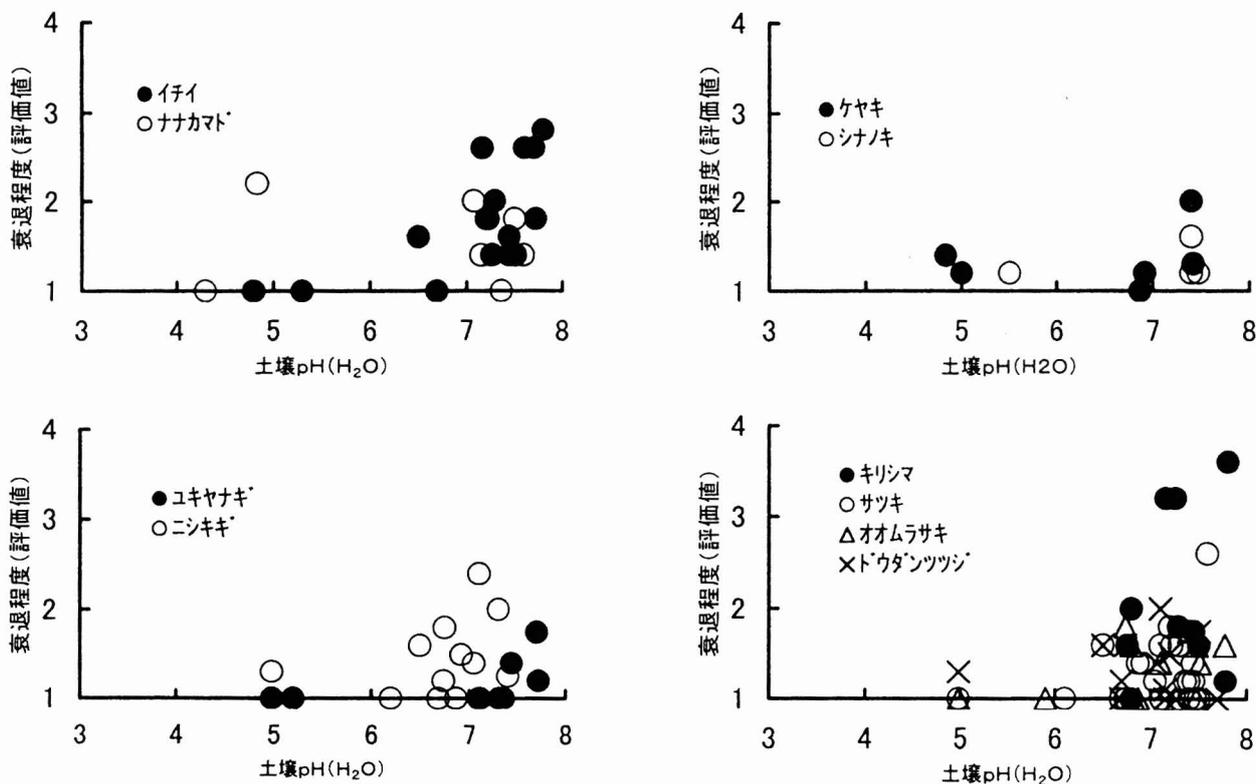


図-2 路線帯土壌 pH と緑化樹衰退程度の関係

は耐アルカリ性があるという苧住 (1979) と一致した。

キリシマ、サツキ、オオムラサキ、ドウダンツツジの生育状況は、土壌 pH6.5以上で衰退の目立つものもあるが、被害のみられないものも多く、土壌化学性との間に相関関係はみられなかった。また、評価値が2以上と高い値を示しているものがキリシマ、サツキにみられるが、これらは1994、1995年の記録的な夏季の高温、少雨 (日本気象協会長野センター1995、1996a) による干害とみられた。表層土の乾燥が特に著しかったことも観察されており、高温、少雨の気象状況がこれら根系分布の浅い緑化樹の衰退原因となったと考えられた。

## 2 凍結防止剤による土壌化学性変化と緑化樹の生育

### 2.1 目的

寒冷積雪地域では近年冬期の凍結防止剤散布の影響と考えられる路側帯植物の衰退が一部に見受けられ始めた (古川他1995、井上他1979)。凍結防止剤が植物体内に侵入する経路には、通行車両によってはね上げられた凍結防止剤が植物体表面から侵入するものと、根からの吸水とともに侵入

するもの (井上他1979) があり、前者については樹木の枝葉に凍結防止剤を溶かした水溶液を付着させ、植物体の反応を観察した例が数件 (春木他2000、稲葉他1979、井上他1979) あるが、後者についての研究例 (稲葉他1979) は少なく不明点が多い。ここでは凍結防止剤の一種、塩化カルシウム (以下  $\text{CaCl}_2$  とする) について検討を行った。

### 2.2 路側帯土壌の化学性変化

#### 2.2.1 方法

ポリエチレン製円柱型ポット (内径9.5cm、深さ11.5cm、底部に  $\phi$ 1.5mmの水抜き孔30個が均等配置) に長野県林業総合センター苗畑土壌を九分目まで詰め、松本市、塩尻市の5地点 (表-5) に各2個設置した。ポットは雨水等が周辺から流れ込まないように上端1cmが地上に出るように埋め込み、調査地点A~Dでは路側帯の道路側から約60cmの位置に暴露した。調査地点Eは、近隣に道路がなく、凍結防止剤の散布がない当センター苗畑内とした。なお、設置と回収は毎年行い (表-6)、ポットに詰めた土壌は暴露前後に  $\text{Ca}_{(\text{EX})}$ 、 $\text{Mg}_{(\text{EX})}$  の定量を行った。

さらに深さ別のカルシウム濃度を検討するため、ポットを設置したA地点付近で土壌を約2~5cmごとに採取可能な深さまで採取した。採取は

1996年の、凍結防止剤散布期の過ぎた5月上旬、夏の7月下旬、凍結防止剤散布前の11月下旬の3回とした。採取した土壌はCa<sub>(EX)</sub>の定量を行った。

2.2.2 結果と考察

暴露前後のポット内土壌のCa<sub>(EX)</sub>、Mg<sub>(EX)</sub>濃度を表-7に示した。また、暴露前のCa<sub>(EX)</sub>、Mg<sub>(EX)</sub>濃度に対する暴露後の濃度差を図-3に図示した。Mg<sub>(EX)</sub>濃度はほとんど変化がみられず、対照地(E)の変化と比較したところ有意差(t検定、P<0.05)はなかった。Ca<sub>(EX)</sub>は対照地(E)を除いた全ての地点で濃度が上昇する傾向がみられ、A、B、Dの平均値とEの平均値の差に有意差(t検定、P<0.05)が認められた。

A、B、Dは、主要幹線国道沿い、標高の高い山間部を通る道路沿いであることから、C(住宅街に近い市道沿い)に比べ道路への凍結防止剤(CaCl<sub>2</sub>)の散布が多いと考えられ、道路表面に散布された凍結防止剤(CaCl<sub>2</sub>)は通過車両によってまきあげられ、ポット内に入り、A、B、Dのカルシウム濃度を上昇させたと考えられた。

なお、1994年はCa<sub>(EX)</sub>の暴露後の数値が減少している(表-7)が、これはポット回収6~5日前にかけて24mm(長野県林業総合センター観測)の雨が降ったため、ポット内を雨水が下方に移動し、その雨水とともにカルシウムがポットから流亡したものと考えた。表-8に各年のポット回収10日前の降水量を示したが、これからも1994年のポット回収前には降水が多かったことがうか

がえた。さらに、調査年ごとの冬期間(12月~翌年3月)の降雪深1cm以上の日数を表-8に示したが、1994年の調査期間は降雪日数が少なく、凍結防止剤の散布量も他の年と比べて少なかったものと推測できる。これらの原因により1994年のCa<sub>(EX)</sub>濃度は暴露前に比べ濃度が低下したと考えた。

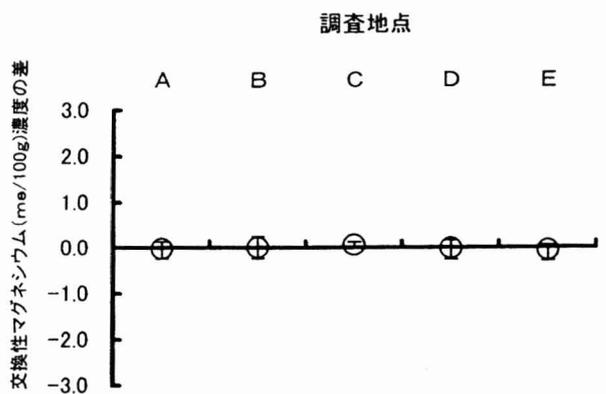
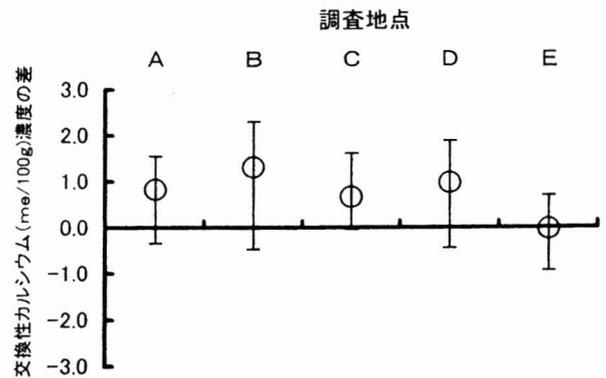
図-4に深さ別の土壌中Ca<sub>(EX)</sub>濃度について示した。凍結防止剤散布期の過ぎた5月、散布前の11月では、表層よりも深い地点ほどCa<sub>(EX)</sub>濃度が高かった。これは冬期間道路に散布された凍結防止剤が路側帯に混入し、その主成分であるカルシウムが降雨によって表層から下層へと移動しているものと考えた。また、夏の7月には表層付近が下層の値よりも高い値を示しているが、これは採取日以前2週間は一時的な雷雨(日本気象協会長野センター1996b)があった以外まとまった雨がなかったことから調査地点が乾燥し、乾燥による土壌中水分の地表方向への移動に伴い、カル

表-5 路側帯土壌化学性変化調査地点

地点名	概要
A	主要幹線国道沿い(4車線:路線1)。
B	2つの主要幹線国道の交わる交差点沿い。A地点から約300m。
C	住宅街に近い市道沿い(2車線)。
D	山間部を通る県道沿い(2車線)。
E	林業総合センター苗畑(対照)。

表-6 路側帯土壌化学性変化調査のポット設置日と回収日

回	設置日	回収日
1	1992年12月18日	1993年3月15日
2	1993年12月14日	1994年3月25日
3	1994年12月8日	1995年4月5日
4	1995年12月14日	1996年3月28日



○:平均値  
 上限:最大値  
 下限:最小値

図-3 暴露前後のポット内土壌のカルシウムとマグネシウムの差

表-7 路側帯土壌化学性変化調査の暴露前後の土壌中カルシウム、マグネシウム濃度

試験年	交換性カルシウム濃度 (me/100g)				交換性マグネシウム濃度 (me/100g)			
	1992	1993	1994	1995	1992	1993	1994	1995
暴露前 調査地	2.07	0.94	1.12	0.32	0.20	0.12	0.35	0.03
A	3.22	2.49	0.78	1.25	0.13	0.26	0.11	0.15
B	3.35	3.25	0.65	2.43	0.15	0.20	0.12	0.28
C	2.03	2.55	*	0.74	0.22	0.25	*	0.09
D	2.89	2.82	0.68	1.94	0.20	0.29	0.09	0.10
E	1.93	1.63	0.18	0.59	0.18	0.16	0.06	0.09

\*: ポット紛失

シウム濃度も表層付近が高くなったと考えた。

これらのことから路側帯土壌では、CaCl<sub>2</sub> を主成分とする凍結防止剤の散布によってカルシウム濃度が上昇し、時間経過とともにその濃度が垂直的に大きく変動していると推定した。

### 2.3 塩化カルシウム添加がイチイ、アカマツ苗木に与える影響

#### 2.3.1 試験の場所

長野県林業総合センター構内苗畑に素焼き製植木鉢 (10号) を埋め込み、植木鉢内にイチイとアカマツの苗木を植栽した。なお、植木鉢は使用前に48時間浸水し、植木鉢に含まれる水溶性成分の除去を行った。苗畑への埋め込みは植木鉢上端5cmを地上部分に出し、周辺からの雨水等の流入を防いだ。なお、植木鉢内の土壌表面の高さと苗畑の表面の高さが同じとなるようにした。

林業総合センター苗畑はアカマツ二次林を伐採造成したもので、造成前の土壌型はBl<sub>D</sub> (火山灰母材)であった。

#### 2.3.2 試験材料

試験材料にはイチイとアカマツの2年生苗木を用いた。添加した凍結防止剤は一般に使用されることの多いCaCl<sub>2</sub>を用いた。

苗木は1995年5月18日に植栽し、6月28日にCaCl<sub>2</sub>を苗木、鉢に直接触れないように注意しながら土壌表面へ添加した。添加量は植木鉢内の土壌カルシウム濃度が表-9となるようにし、高濃度添加区 (40me/100g)、中濃度添加区 (20me/100g)、低濃度添加区 (10me/100g)、無添加区の4区を設けた。供試木は各2本、試験育苗期間は2年間とした。

表-8 ポット回収前の降水量と各年の降雪記録日数

調査年	ポット回収 10日前の 降水量 (mm)*1	1 cm以上の降雪を 記録した日数 (日) (12月~翌年3月)*2
1993	2.0	16
1994	15.0	12
1995	50.0	10
1996	13.0	14

\*1: 長野県林業総合センター (調査地に最も近い気象観測施設) 観測値

\*2: 松本測候所観測値

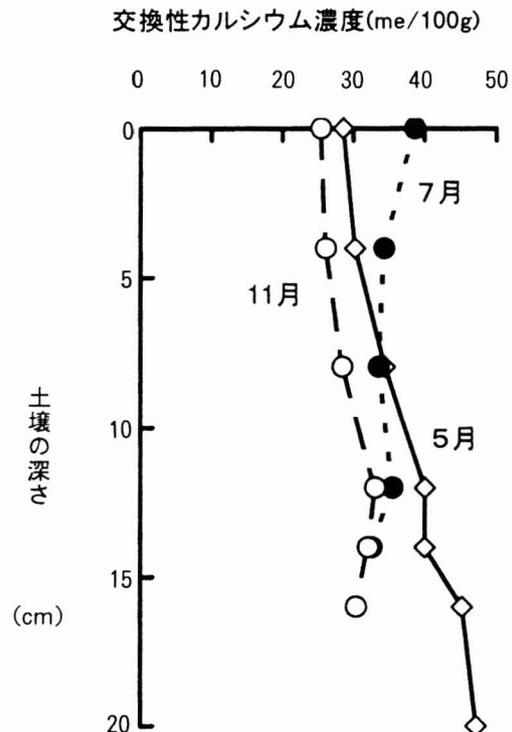


図-4 路側帯土壌の深さ別カルシウム濃度 (調査: 1996年)

なお、高濃度添加区（40me/100g）のカルシウム濃度は、先述の「1 緑化樹の衰退度調査」で最も高濃度のカルシウムが検出された地点とほぼ同じとなるよう設定した。

### 2.3.3 苗木の成長量ならびにカルシウム濃度

5月中旬と当年成長が停止した9月末に根元直径と苗長の測定を行い、下式によって肥大成長率、伸長成長率を求めた。

$$\text{肥大・伸長成長率} = \frac{(\text{9月の測定値}) - (\text{5月の測定値})}{(\text{5月の測定値})} \times 100$$

さらに「1 緑化樹の衰退度調査」と同様に樹木活力指標法による苗木の活力調査を行った。調査はCaCl<sub>2</sub>添加3週間後（1995年7月19日）、当年成長が終了した添加年秋（1995年9月28日）、添加翌年春（1996年5月13日）、添加翌年秋（1996年9月27日）に行った。

育苗2年目の秋（1996年9月27日）に苗木は葉、枝・主軸、根の部位に分け温風乾燥機（60℃、48時間）で乾燥後現存量の測定を行った。また、1個体当たり60枚の当年葉を無作為に抽出し、長さ、乾重の測定を行った。その後、葉、主軸、根は乾式と湿式灰化の併用法（作物分析法委員会1975）、原子吸光法（土壤標準分析・測定法委員会1993）でCa濃度の定量を行った。アカマツは地上部のみ（葉、枝・主軸）で現存量を測定し、Ca濃度の定量を行った。

### 2.3.4 結果と考察

表-10、11にイチイとアカマツの苗長と地際直

表-9 凍結防止剤添加試験のカルシウム添加量

試験区	添加カルシウム量(me/100g)
高濃度添加区	40
中濃度添加区	20
低濃度添加区	10
無添加区	0

表-10 塩化カルシウム添加区のイチイ苗木の成長

試験区	Ca添加量 (me/100g)	苗長 (cm)				地際直径 (cm)			
		添加当年		添加翌年		添加当年		添加翌年	
		5月	9月	5月	9月	5月	9月	5月	9月
高濃度添加区	40	42.3	43.6	45.5	49.5	1.2	1.3	1.4	1.6
中濃度添加区	20	40.5	42.3	44.3	47.5	1.0	1.1	1.2	1.4
低濃度添加区	10	42.0	46.2	46.5	56.8	1.1	1.2	1.2	1.6
無添加区	0	43.8	49.3	50.3	58.0	1.0	1.2	1.2	1.6

径の測定結果を、図-5にCaCl<sub>2</sub>添加当年と翌年の肥大成長率、伸長成長率を示した。肥大成長、伸長成長ともCaCl<sub>2</sub>添加量の多い区ほど成長率が低い傾向がみられた。なお、添加当年の成長率が添加翌年に比較して全体的に低い傾向が認められるが、これは一般に苗木植栽年の成長が低くなるためと考えた。樹木活力指標法による調査（図-6）では、無添加区も含め、添加当年秋、翌春に衰弱傾向がみられたが、これは添加当年夏季の記録的な高温と少雨（日本気象協会長野センター1996a）による影響と考えた。

#### 2.3.4.1 イチイ

イチイはCaCl<sub>2</sub>添加後3週間目から、高・中濃度添加区で当年葉の緑色が無添加区に比較して薄くなる葉色異常が生じた。葉色異常の発生部位に特異性はなく、苗木全体に異常が生じた。添加後4週間目には高濃度添加区で根元付近の葉が枯死脱落する個体がみられた。葉色異常と葉の枯死脱落は、CaCl<sub>2</sub>の多量添加で土壤がアルカリ化した結果、土壤中の鉄、マンガンが植物体にとって利用できない不可給態（宮崎1966）となり、イチイの葉緑素生成が阻害されたためと考えた。

添加後4週間目以降、葉色異常の進行や、他の形態異常発生はなく、翌春には全ての区で葉の展開がみられた。また、翌春は高濃度添加区の葉が脱落していた部位でも葉の再生がみられたが、苗木全体の樹勢は低く、添加翌年秋の調査でも苗木の樹勢は低かった。先述の「1 緑化樹の衰退度調査」で土壤のCa<sub>(EX)</sub>濃度が高かった地点でも同様な症状のイチイがみられた。

肥大成長率、伸長成長率は添加当年、翌年とも高濃度添加区ほど低下し（図-5）、CaCl<sub>2</sub>添加による成長阻害と判断された。添加翌年の成長率に低濃度添加区と無添加区とでは差はみられず、低濃度のCaCl<sub>2</sub>添加はほとんど影響を与えないといえた。

現存量は葉、枝・主軸、根とも高濃度添加区ほど低い値を示した。CaCl<sub>2</sub>添加による現存量の減少は根に顕著に現れ、高・中濃度添加区の根量は無添加区の4割以下であった。

添加翌年の新葉の長さ、乾重にも高・中濃度添加区と、低濃度添加区、無添加区とで差異 (t検定:  $P < 0.01$ 、図-7) がみられ、添加量の多い区の葉は矮小化した。また、部位別のカルシウム含量を図-8に示したが、高濃度添加区ほど葉のカルシウム含量が高くみられたことから、イチイの樹体内に取り込まれた過剰なカルシウムは葉に蓄積されたといえた。

### 2.3.4.2 アカマツ

アカマツは、CaCl<sub>2</sub>添加後2週間目より高・中

濃度添加区で針葉の先端から褐変が発生し始めた。褐変した葉は当初枝葉下部に多く、3週間目からは頂端部にも褐変葉が発生し、低濃度添加区でも枝葉下部の葉の先端にわずかな褐変が発生した。4週間目には高・中濃度添加区の下部枝先が枯れはじめ、その3日後に高濃度添加区の1個体が枯死した。

枝葉下部の葉の先端から褐変が生じるという症状は、アカマツの根元に塩水を散布した場合の症状 (高橋他1965) と同様で、凍結防止剤による被害徴候は塩害によるものと同一であるという稲葉ら (稲葉他1979) の報告と一致した。

4週間目以降の状態を図-6に示した。CaCl<sub>2</sub>添加直後から高濃度添加区ほど葉の褐変をとまな

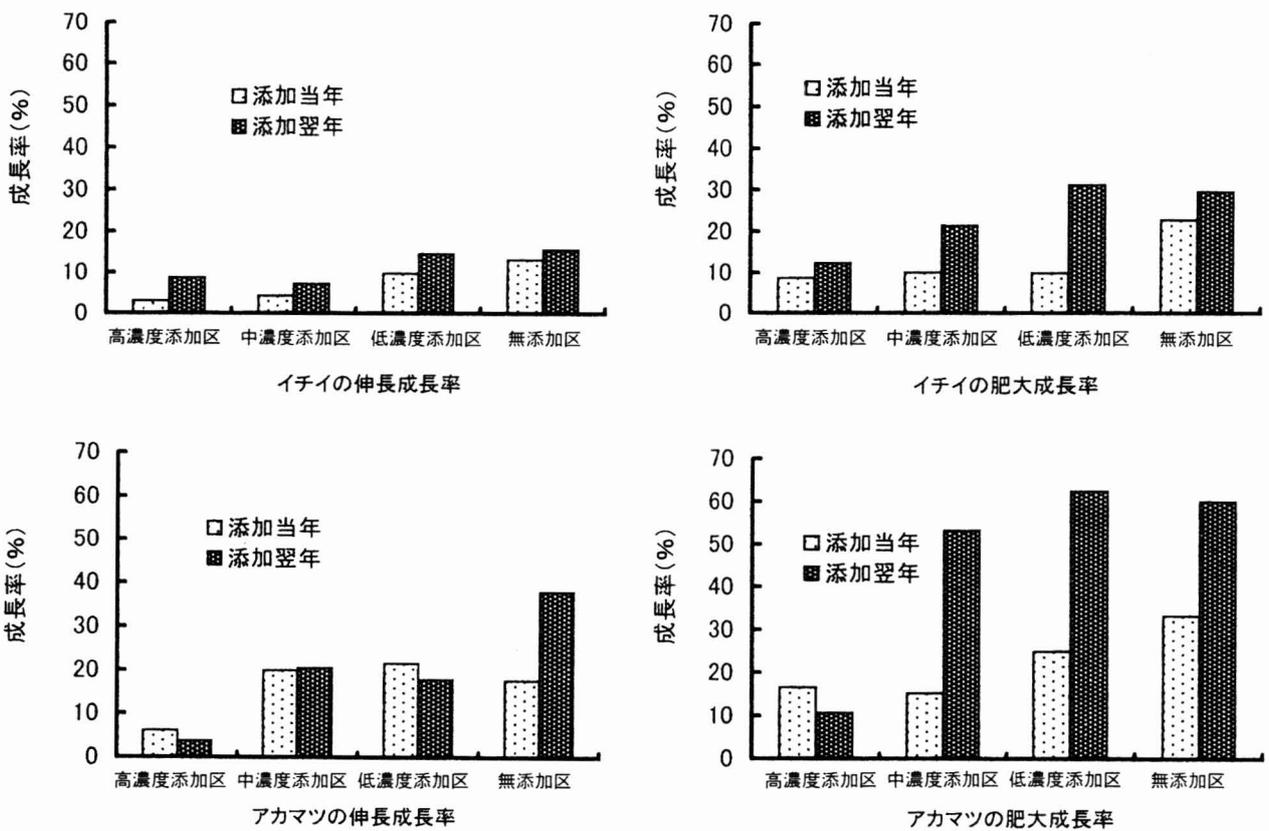


図-5 塩化カルシウム添加区別のイチイ、アカマツの成長率

表-11 塩化カルシウム添加区のアカマツ苗木の成長

試験区	Ca添加量 (me/100g)	苗長 (cm)				地際直径 (cm)			
		添加当年		添加翌年		添加当年		添加翌年	
		5月	9月	5月	9月	5月	9月	5月	9月
高濃度添加区	40	33.8	35.9	37.0	38.4	1.2	1.4	1.4	1.6
中濃度添加区	20	34.5	41.5	41.5	50.0	1.3	1.5	1.5	2.3
低濃度添加区	10	33.5	38.7	39.0	46.0	1.2	1.5	1.6	2.6
無添加区	0	32.5	38.3	39.5	54.5	1.2	1.6	1.9	3.2

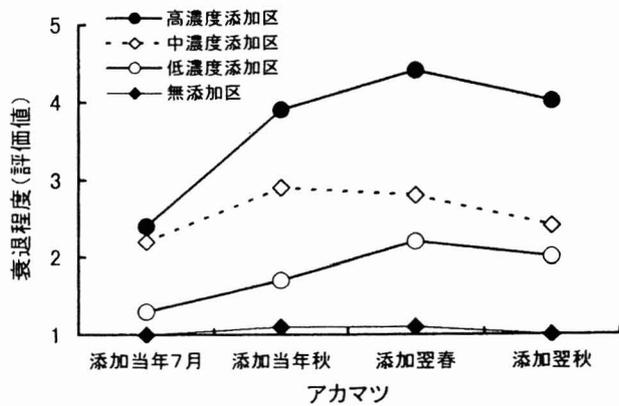
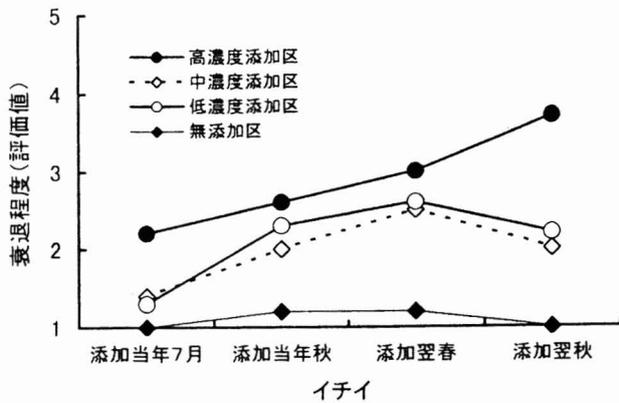


図-6 塩化カルシウム添加後のイチイ、アカマツの衰退程度

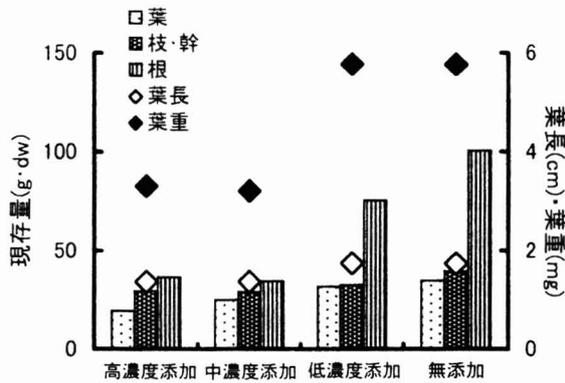


図-7 イチイの現存量と葉長、葉重

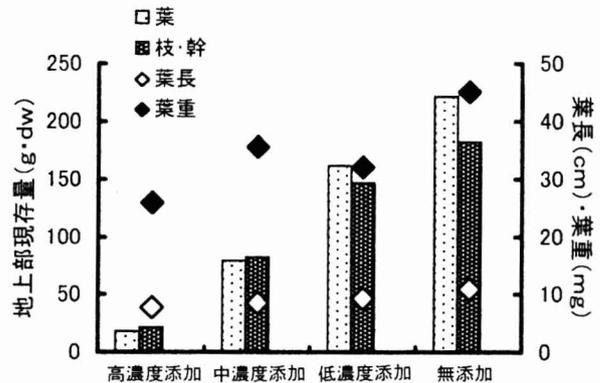


図-9 アカマツの地上部現存量と葉長、葉重

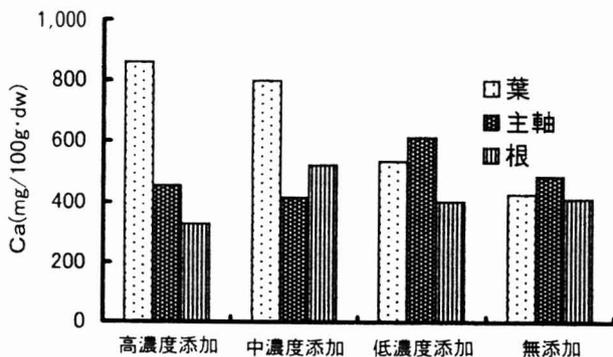


図-8 イチイの部位別カルシウム含量

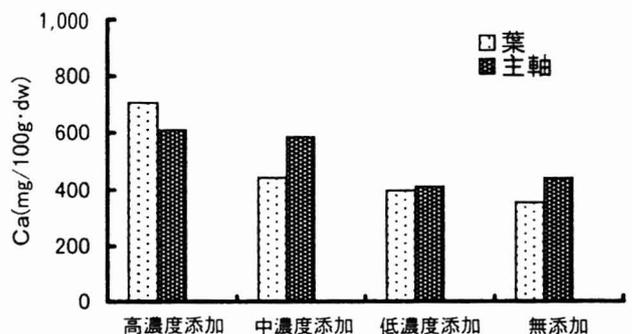


図-10 アカマツの部位別カルシウム含量

う衰退が著しかったが、翌春には全ての区で葉の展開がみられ、秋には樹勢に回復傾向がみられた。

添加当年の肥大成長率はCaCl<sub>2</sub>添加量に応じて低くなり、添加翌年でも高濃度添加区のみは引き続き低成長率で推移した(図-5)。また、伸長成長率は高濃度添加区で際だって低かった。

地上部現存量(図-9)は無添加区で最も大きく、CaCl<sub>2</sub>の添加量が多い区ほど少なかった。また、葉の長さ、乾重も無添加区で最も大きく、無添加区と添加区で有意差(t検定: P<0.01、図-9)が認められた。また、カルシウム含量は葉、主軸ともCaCl<sub>2</sub>添加量に比例して増加する傾向がみられ、添加されたカルシウムが樹体内に吸収されていると判断できた(図-10)。春木ら(2000)、芝本(1977)によるとカルシウム過多は植物の生育を阻害するとされているので、アカマツの場合もこのカルシウム蓄積が生育を阻害していると考えた。しかし、イチイの葉に認められたほどのカルシウム蓄積はみられず、添加翌春から衰退が低下する傾向(図-6)がみられたことから、イチイに比較するとCaCl<sub>2</sub>に対する耐性は高いと考えた。

### 3 まとめ

道路々側帯に植栽されている緑化樹の中に衰退しているものがあることを確認した。路側帯土壌はアルカリ化している地点が多くみられた。この原因の一つとして周囲のコンクリート構造物等からのカルシウム供給が考えられたが、本調査では凍結防止剤散布が大きな原因と推定された。

路側帯土壌の化学性調査を行ったところ、主要幹線国道、高標高地点を通る道路々側帯で冬期間のカルシウム上昇がみられ、この原因は凍結防止剤 (CaCl<sub>2</sub>) の散布にあると判断された。

CaCl<sub>2</sub> の緑化樹に対する影響を明らかにするため、イチイ、アカマツ苗木の根元周辺土壌に CaCl<sub>2</sub> を添加したところ、高・中濃度添加区では添加後 2～3 週間目から葉色異常がみられ、その後葉の枯死脱落が生じた。イチイでは翌春に枯死脱落部位から新葉の再生がみられたが、新葉の長さ、重量は無添加区に比較して劣った。添加翌年のイチイは葉の再生はみられたが、樹勢回復傾向はみられなかった。アカマツは翌春には新葉の展開がみられ、秋には樹勢回復傾向がみられた。

また、土壌中 Ca<sub>(EX)</sub> 濃度の最高値を示し、冬期間の土壌中 Ca<sub>(EX)</sub> 濃度の明らかな上昇がみられた路線 1 (plot 1～4) では、常緑性のイチイ、キリシマの衰退が著しかったが、ユキヤナギの生育は良好だった。凍結防止剤に対する耐性は、冬期間落葉し、休眠状態となる落葉樹が高い (宮本 1994) とされている。これは落葉することで凍結防止剤が葉表面から樹体内に吸収されることを防ぐためと言われているので、凍結防止剤が散布されることの多い場所の緑化木としては、高木はハルニレ、ケヤキ、シナノキ、エゴノキ (苧住 1979、長野県 1992) などが、低木としてはウツギ、シモツケ、ユキヤナギ (苧住 1979、長野県 1992) などが適当と考えられた。

なお、本研究を行うにあたり、建設省 (現国土交通省) 国道工事事務所松本国道出張所、松本市役所建設部管理課の方々に多大のご協力を賜りました。ここに記して感謝いたします。

### 4 要旨

道路々側帯の緑化樹に、衰退がみられ、その一因として土壌のアルカリ化が考えられた。路側帯

の土壌 pH はカルシウム濃度と正の相関を示し、カルシウム濃度は冬期間に上昇することから、この原因は凍結防止剤 (CaCl<sub>2</sub>) の散布にあると判断された。

イチイ、アカマツ苗木の土壌に高濃度の CaCl<sub>2</sub> を添加したところ、葉色異常が生じ、翌春展開した新葉は矮小化した。葉には無添加区の約 2 倍のカルシウムが認められた。

### 引用文献

- 1) 伊達昇 (1986) : 緑化木の土壌改良と施肥(1)、農業と科学、7) 1-4
- 2) 土壌標準分析・測定法委員会編 (1993) : 土壌標準分析・測定法、354pp、博友社、東京
- 3) 古川仁・片倉正行・遊橋洪基 (1995) : 路面凍結防止剤による路側帯土壌の化学性変化と植物の生育、日林中支論43、237-240
- 4) 後藤和秋 (1977) : 葉分析による林木の栄養診断にたいする 2・3 の考察、林試研報290、35-75
- 5) 春木雅寛・上野義晴 (2000) : 道路凍結防止剤の植物への影響、日林北支論48、151-153
- 6) 稲葉孝己・本多侓・三澤彰・大泉紀男 (1979) : 高速道路沿道植栽木に対する路面凍結防止剤の影響に関する研究、日本造園学会春季大会研究発表要旨
- 7) 井上省子・里内勝 (1979) : 凍結防止剤の植物に及ぼす影響 : 滋賀県立短大学術雑誌(20)、12-15
- 8) 板倉忠三 (1975) : 雪氷路面の氷結防止用薬剤散布の効果とその植生に対する副作用に関する実験的研究、北海道工大研究紀要1-25
- 9) 科学技術庁資源調査会 (1972) : 高密度地域における資源利用と環境保全の調和に関する勧告、102-121
- 10) 苧住昇 (1979) : 樹木根系図説、1121pp、誠文堂新光社、東京
- 11) 今野和彦・山田秀樹・佐藤夫二男・相原良之・関敏彦・角田行 (1987) : スパイクタイヤによる大気汚染と道路粉じんの実態調査-融雪剤散布に伴う植樹帯への影響-、公害と対策23、154-158
- 12) 今野和彦・山田秀樹・佐藤夫二男・高橋陽子・

- 関敏彦・角田行・渡辺正彦・国井清（1984）：  
スパイクタイヤによる大気汚染と道路粉じんの  
実態調査（第6報）—融雪剤散布にともなう環  
境大気への影響について—、仙台市衛生試験所  
報14
- 13) 宮本修司・高木秀貴・大沼秀次・美馬大樹  
（1994）：凍結防止剤の植物への影響に関する調  
査—一般国道230号を例として—、10寒地技術  
シンポジウム、195-200
- 14) 宮崎 榊（1966）：苗木育成法、257-262、  
高陽書院、東京
- 15) 長野県（1992）：緑の環境づくり、300pp
- 16) 日本気象協会長野センター（1995）：長野県  
気象年報1994年版（平成6年）、96pp
- 17) 日本気象協会長野センター（1996a）：長野  
県気象年報1995年版（平成7年）、97pp
- 18) 日本気象協会長野センター（1996b）：長野  
県気象月報1996年7月、38pp
- 19) 小沢知雄・川上忠夫・北沢清・萩原信弘・近  
藤三雄・市村匡史（1975）：街路樹の生態に関  
する基礎的研究—街路樹の生育状況と根圏樹土  
壌状態との関係について—、造園雑誌39、23-  
34
- 20) 作物分析法委員会編（1975）：栽培植物分析  
測定法、59-63、養賢堂、東京
- 21) 芝本武夫（1977）：森林の土壌と肥培、71-  
80、農林出版株式会社、東京
- 22) 新延陽子・西村武二（1997）：街路樹土壌の  
物理性と化学性、高知大学農学部演習林報告24、  
39-51
- 23) 高遠宏（1993）：都市緑化のための効果的施  
肥、森林と肥培155、7-14
- 24) 高橋啓二・堀江保夫（1965）：植物の耐塩水  
性（1）—防潮林構成植物選定のための実験—、  
林試研報183、131-150
- 25) 山根一郎（1978）：図説日本の土壌、p.120、  
朝倉書店、東京
- 26) 山家義人（1973）：東京都内における樹木衰  
退の実態、林試研報257、101-107