

# スギ葉内成分と樹勢

菅 邦子 大橋 毅

## 要 旨

酸性雨がスギの生育に及ぼしている影響を把握することを目的として、都内に生育しているスギの葉内の栄養塩類濃度を葉の栄養条件の観点から検討した。

都内のスギの葉内栄養塩類濃度及び全窒素濃度を全国の平均的な値と比べると、全窒素はいずれの地点でも平均または平均よりやや高めであった。Mg<sup>2+</sup>とCa<sup>2+</sup>は一部地点を除きほぼ平均的な値であった。一方、K<sup>+</sup>は檜原を除きやや低めであって、特に三鷹では明らかに葉内成分濃度が低かった。しかし、樹勢等の目測観察評価値と葉内の成分濃度との関係についてみると、葉内のK<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>がやや低い値を示した地点でも、樹勢は特に悪くなっておらず、樹勢と葉内成分との間には明確な関係が認められなかった。

以上のように、葉内のK<sup>+</sup>濃度がやや低い傾向にはあるものの、酸性雨が葉や土壌から栄養塩類を溶脱したり、栄養塩類濃度のバランスを乱すことによって、スギの生育を阻害しているとする明確な証拠を得ることはできなかった。しかし、葉内栄養塩類濃度が低い地点のスギについては、今後とも継続的な監視が必要であろう。

キーワード 栄養塩類、酸性雨、酸性降下物、スギ

## The Nutrient Cations in Needles (*Cryptomeria japonica*)

Kuniko Suga and Takeshi Oohasi

### Summary

In order to detect the effect of acid rain on the growth of *Cryptomeria japonica*, we have measured the concentration of some nutrient cations and total nitrogen in the leaves of *Cryptomeria japonica* growing in Tokyo Metropolitan area.

The concentrations of total nitrogen in the leaves of *Cryptomeria japonica* in Tokyo Metropolitan area were a little higher than those in other areas of Japan. The concentrations of Mg<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup> in Tokyo were nearly equal to those in other areas. On the other hand, the concentrations of K<sup>+</sup> in Tokyo area except those obtained at Hinohara site were lower than those in other areas. Especially, the concentration of K<sup>+</sup> obtained at Mitaka site were clearly lower than those in other areas.

However, the clear difference in the tree activity of *Cryptomeria japonica* was not observed between the sites where the difference in the concentration of K<sup>+</sup> was observed.

The results obtained in this study do not show that there is no correlation between the concentration of nutrient cations in the leaves and the tree activity of *Cryptomeria japonica*, but show that a continuous

more detailed monitoring is required to clarify the effect of acid rain on the growth of trees like *Cryptomeria japonica*.

Keywords: nutrient cations, acid rain, acid deposition, *Cryptomeria japonica*

### 1 はじめに

ヨーロッパやアメリカでは、大規模の森林衰退が報告されており、その原因として大気汚染や酸性雨の影響が検討されている。わが国の山岳部でも森林衰退がいくつか報告されており、酸性雨の影響が懸念されている。

北欧のように土壌が発達しておらず栄養塩類が少ない地域では、酸性雨の影響で $Mg^{2+}$ 等の栄養塩類の溶脱が促進されて欠乏症が起こるといふ。わが国では現在まで酸性雨による明確な栄養塩類の欠乏症状は報告されていない。しかし可視症状が発現しなくても、葉内の栄養状態を見ることによって栄養塩類の欠乏傾向を知ることができる<sup>2)</sup>。

そこで、スギ衰退の要因解明の一手段として、スギの $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 等の栄養塩類濃度を分析し、樹勢（衰退度）との関係について検討した。なお、分析に先だつ前処理時の洗浄液についてもイオン成分を測定したので以下にあわせて報告する。

### 2 調査方法

#### (1) 採取地点

#### ア スギ枝葉

枝葉の採取地点は図1に示した次の6地点である。①自然教育園（目黒）、②国際キリスト教大学（三鷹、ICU）、③蓮生寺（多摩）、④長泉寺（町田）、⑤阿伎留神社（五日市）、⑥檜原神社（檜原）。採取個体は各地点とも3株とした。

#### イ スギ樹皮及び土壌

樹皮及び土壌の採取地点はICU、阿伎留神社、高尾山の3地点である。なお、土壌はスギの周囲3～4方向について採取して、1か所の試料とした。

#### (2) 採取日

#### ア 枝葉

枝葉の採取は、上記6地点で1993年2月22日～3月11日に行った。

#### イ 樹皮及び土壌

樹皮及び土壌の採取は、ICU、阿伎留神社、高尾山の3か所で、1994年2月（冬期）と6月（春期）の二回行った。

#### (3) 採取方法

#### ア 葉の採取



図1 調査地点の位置

注1 ●印：葉内成分の調査地点 御霊檜原神社 阿伎留神社 国際キリスト教大学 長泉寺 蓮生寺 自然教育園

注2 ○印：樹皮成分及び土壌の調査地点 高尾山薬王院 阿伎留神社 国際キリスト教大学

高所作業車または梯子を用い、枝の先端から約30cmの枝葉を採取した。採取位置は上方（地上7～18m）及び下方（地上3～7m）の2か所とし、採取方位は原則として南としたが、実際には採取可能な方位がそれぞれの個体毎に異なっていた。採取個体毎の樹勢（衰退度）、胸高直径、採取高さ等は表1に示した。

表1 スギ葉採取条件

地域名 地点名	個体 番号	樹高 m	胸高 直径cm	採取 方位	採取高 m		クロフィル		スギ 樹勢	
					上部	下部	a	b		
1993年2月										
檜原	1	30	122	SSW	12	7	0.85	0.27	1	
檜原神社	2	25	82	WSW	9	5	0.79	0.24	1	
	3	13	45	SW	8	3	0.93	0.29	1	
	平均	23	83				0.85	0.27	1.0	
五日市	1	25	83	N	15	7	0.81	0.25	2	
阿伎留 神社	2	18	48	SSW	14	6	0.62	0.17	2	
	3	23	70	N	16	3	0.79	0.23	2	
	平均	22	67				0.74	0.21	2.0	
町田	1	20	62	NNE	9	4	1.21	0.35	4	
長泉寺	2	18	44	NW	8	3	1.32	0.40	2	
	3	15	39	WNW	15	4	1.08	0.30	4	
	平均	18	48				1.20	0.35	3.3	
八王子	1	15	35	SSW	15	4	0.76	0.22	2	
蓮生寺	2	17	44	SSW	17	3	0.86	0.25	2	
	3	18	32	NE	18	5	0.91	0.27	2	
	平均	17	37				0.84	0.25	2.0	
三鷹	1	15	32	SSW	7	5	1.09	0.32	3	
国際キリスト 大学	2	18	32	SSW	8	5	1.31	0.41	3	
	3	20	39	SSW	7	4	1.48	0.43	2	
	平均	18	35				1.29	0.38	2.7	
目黒	1	16	50	NE	9	5	1.13	0.34	3	
自然 教育園	2	11	22	E	9	5	0.96	0.26	2	
	3	12	22	SE	8	5	0.90	0.27	2	
	平均	13	31				0.99	0.29	2.3	

注：クロフィル含有量の単位はmg/生重g

#### イ 樹皮の採取

スギ樹皮は、高さ1.5m～2mの樹皮を厚さ0.1mm～0.2mmにはぎ取った。

#### ウ 土壌の採取

スギの胸高直径80cm以上の大径木では、原則的に根元から2m、それ以下では約1m離れた地点で採取した。採取層の区分は、A0層をのぞき0～5、5～10と5cm刻みで20cmまで層別に採取した。

#### (4) 分析方法

##### ア 葉の洗浄液及び葉の分析

採取した枝葉は現地で生重100gあたり100mlの純水で洗浄し、0.45μmのメンブランフィルターでろ過したものを一次洗浄水とした。さらに500mlの純水で二次洗浄した葉を年枝毎に区分し、105℃、24時間～48時間乾燥し粉碎した。その後、硝酸：過塩素酸で湿式灰化して分析

試料とした<sup>3)</sup>。一次洗浄水はイオンクロマトグラフィーで、陽イオンと陰イオンを分析した。また、採取サンプルの一部について、クロロフィル及び全窒素、全炭素量を測定した。

#### イ 樹皮の分析

乾燥粉碎して、土壌と同様な抽出処理を行い<sup>4)</sup>、遠心分離後に0.45μmメンブランフィルターでろ過した。そのろ液についてpH (H<sub>2</sub>O)、EC及びイオン成分を測定した。樹皮のpHは、土壌pH測定法に準じて測定し<sup>4)</sup>、水添加量は乾重の10倍量になるようにした。

#### ウ 土壌の分析

土壌pH (KC 1) と土壌pH (H<sub>2</sub>O) の測定<sup>4)</sup>は、2.5倍量の水を添加して行った。土壌水溶性成分の分析は、前述の上澄み液の一部を0.45μmメンブランフィルターでろ過したものを、樹皮と同じ方法で行った。

### 3 調査結果及び考察

#### (1) 葉の洗浄成分濃度と降水時期

一次洗浄成分の大部分が葉面に付着した水溶性物質と考えられる。そこで、葉面付着成分と葉採取期前の降水状況との関係について検討した。図2に一次洗浄液のイオン量を生重当たりの濃度として示した。図中の数値は順に採取日から直近の降水日までの日数と採取日前2週間までの累積降水量 (mm) である。また、スギの採取日とそれ以前の降水状況を図3に示した。町田では7mmの降水がありその後採取日まで11日間降水が無かったため、洗浄成分濃度はいずれの陰イオンでも高かった。これに対し、五日市では採取日当日までの2週間に合計31mmの降水があり採取当日の朝にも弱い雨があって、採取後の洗浄陰イオン量は町田の1/10程度であった。

スギ葉内から溶出してくる硫酸イオンの量はごく少ないことが知られている<sup>5)</sup>。以上の結果から葉に付着していた硫酸イオンは採取前の降水で大部分が流されたと考えられる。一方、目黒の累積降水は9mm程度で、洗浄効果は完全ではなかった。交通量が多い都市域では、ディーゼル排ガス中の油性成分の葉面付着量が多いため純水による洗浄では十分でなかったと推測された。この図で明らかなように、スギ葉の洗浄液濃度は、地域の違いよりも降水量及び非降水時の累積時間に大きく左右されていた。

葉上の硝酸イオンは、降水の蒸発によって残された硝

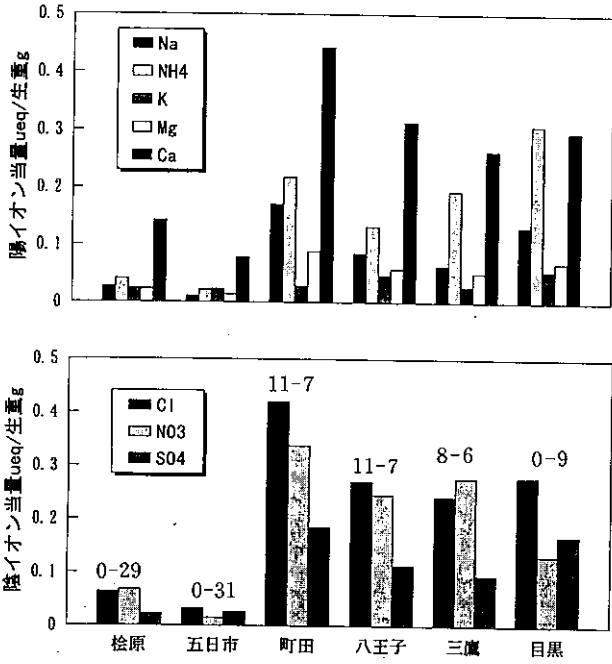


図2 スギ葉からの水溶性付着物の地点比較  
注：下の図中の数値は、前回降水日までの降水間隔（日）と採取2週間前までの累積降水量（mm）

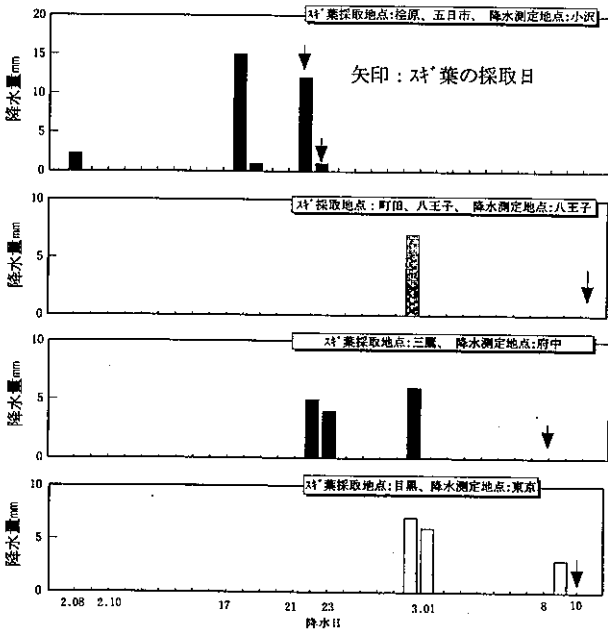


図3 スギ葉採取日と直近日の降水量  
↓印：葉の採取日 梶原 2.22, 五日市 2.23, 町田 3.11, 八王子 3.11, 三鷹 3.08, 目黒 3.10

酸塩の他に、乾性沈着として硝酸ガスまたはNH<sub>4</sub>塩等のエアロゾルの形で葉表面に存在する。市街地付近ではスギ林内雨のpHは林外雨とほぼ同じ値を示し<sup>6),7)</sup>、清浄地では林内雨は林外雨より高いpHを示す<sup>8)</sup>。このことからみて、葉に乾性沈着した硝酸は葉上でNH<sub>4</sub><sup>+</sup>を捕捉したり、葉中のK<sup>+</sup>等の塩基と塩を作って存在していると考えられる。また、降水間隔が長いと降水による洗浄効

果が小さいので、一部は栄養源として直接葉面吸収される。散布された栄養塩類が葉面で50%吸収されるまでの時間は植物によって異なるが、尿素体窒素では1時間から1日半程度とされている<sup>9)</sup>。窒素の形態や散布濃度によって吸収時間が異なるが、この時間を目安として考えると、窒素の葉面での挙動を検討するにあたって晴天日が連続する場合には葉面吸収量を考慮に入れる必要があると考えられる。

(2) 洗浄成分濃度の相互関係

全体的にイオン相互の相関は高く、Mg<sup>2+</sup>-Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>-Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の関係が良好であった。硝酸、硫酸、アンモニアは大気中をガスまたはエアロゾルとして、Mg<sup>2+</sup>やCa<sup>2+</sup>は粒子状で葉面に沈着するため、これらの成分との相関が良かった。しかし、K<sup>+</sup>はどの成分ともそれほど良い相関がみられな

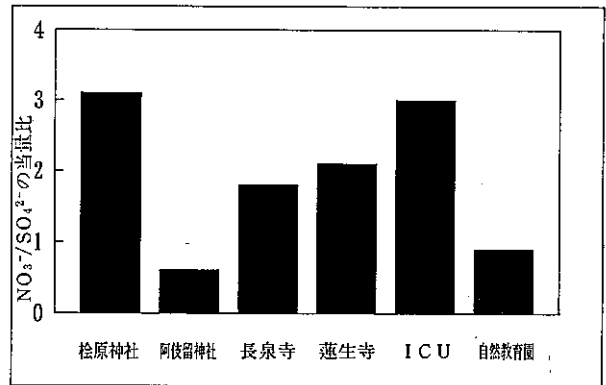


図4 スギ洗浄溶液のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>当量比  
注：数値は3個体及び上下枝葉の平均値である。採取日は1993年2月

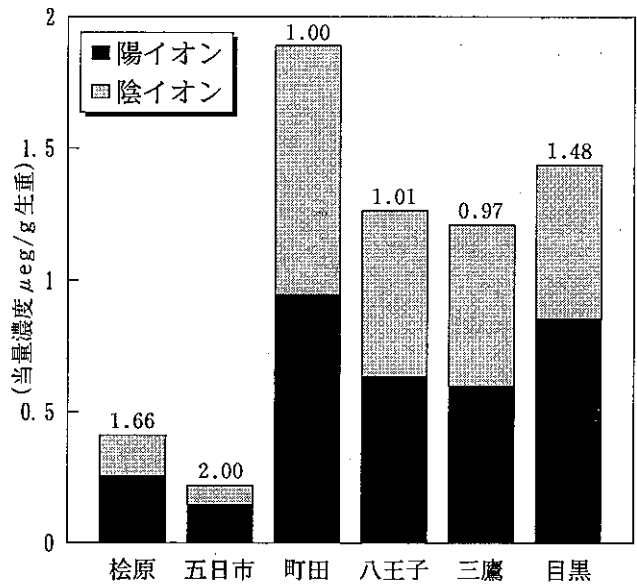


図5 スギ葉洗浄成分陽陰当量比  
注：図内の数値は、陰イオン/陽イオンの比である。

かった。これは $K^+$ の起源の違いを示唆しており、洗浄時に葉内から溶出した $K^+$ のために大気由来成分との相関が低かったのであろう。

図4によれば、葉面からの洗浄液濃度の $NO_3^-/SO_4^{2-}$ 比は目黒、五日市を除き1より大きい。周辺環境のガス濃度や降水濃度を考慮しなければならないが、硝酸塩の方が葉面に吸着しやすいことが関与しているであろう。

図5には陽イオン、陰イオンの当量の割合を示した。

季節的には、冬期に比べ夏期では光化学反応によりガスまたはエアロゾル状の $NO_3^-$ や $SO_4^{2-}$ の生成が促進されるため、大気から葉面への陰イオン沈着量が多くなると考えられる。なお、スギ採取位置による葉面付着量の差には一定の傾向は認められなかった。

### (3) スギ葉内の栄養塩類成分と樹勢との関係

スギ葉内栄養塩類濃度を図6に示した。日本各地のスギの葉内成分濃度は、 $N: 1.09-1.16\%$ ,  $P: 0.09-0.15\%$ ,  $K: 0.50-0.76\%$ ,  $Ca: 0.31-0.95\%$ ,  $Mg: 0.10-0.25\%$  (W/W) である<sup>10)</sup>。この値と都内のスギ葉内成分含有量を比べてみると、 $N$ は1.1-1.4%で、檜原、五日市、目黒では平均的な値の範囲内にあったが、町田、三鷹、八王子ではそれをやや上回った。 $Mg^{2+}$ では檜原で平均的な値より若干低かった。また $K^+$ は檜原で平均的な値を上回った他はいずれのスギも若干低めであり、特に三鷹では0.26%で明らかに低い値を示した。この他、檜原の $Ca^{2+}$ 、五日市の $Mg^{2+}$ が都内の他の地点より明らかに低かったが、成分濃度としては日本各地のスギ林の平均的な値の範囲内であった。

葉内の $Mg^{2+}$ が少なかった檜原のスギ樹勢観察では $Mg^{2+}$ 欠乏症等の葉のクロロシス症状は観察されず、その他の地点よりむしろ樹勢が良い方であった。 $K^+$ がやや低めの調査地点でも肉眼で見える限りにおいては異常は認められなかった。

なお、 $Ca^{2+}$ 、 $K^+$ 、 $Mg^{2+}$ は1-2年葉で含有量が高く古い葉になるに従って含有量が低下する傾向が認められた。しかし目黒では逆のパターンとなっていた。前にも触れたように、油性付着物質が多い都市域では純水による葉面付着物質の洗浄が不十分となり、古い葉ほど多い付着成分を葉内成分として測定していたためであろう。また、採取高中部と下部の葉との成分含有量の差は、ばらつきが大きく明瞭ではなかった。

表1にスギ葉内のクロロフィルa及びクロロフィルbの含有量の分析結果を合わせて示した。クロロフィルb

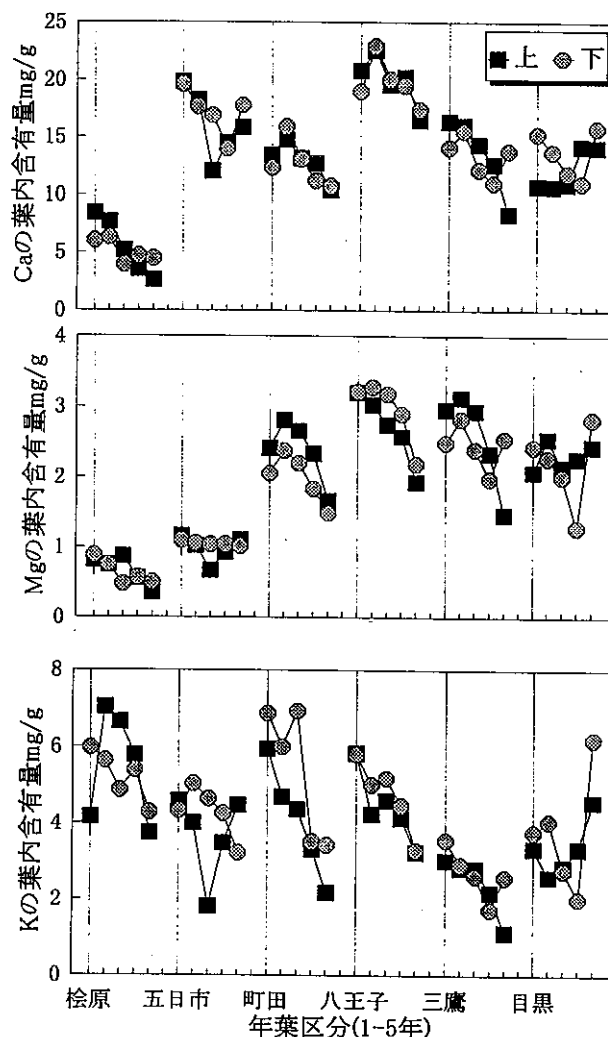


図6 スギ葉内の栄養塩類

注1: 地点毎に図中左から1年葉から5年葉の値をプロットした。  
注2: 採取日は1993年2月

はクロロフィルaより青色光の利用効率が高い特徴を有するが<sup>11)</sup>、枝の上下でクロロフィルaとクロロフィルbの含有率に大きな差がなく、クロロフィル含有量と樹勢との関係は認められなかった。

### (4) 葉内成分と土壌の栄養塩類濃度の関係

葉内と土壌の $H^+$ 、 $K^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 濃度の関係について図7にまとめて示した。

表層土壌pH (0-5cm) と葉内成分との関係を見ると、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ は土壌pHが上がるに従って葉内成分が増える傾向にあった。一方、 $Mg^{2+}$ ではこの反対に土壌pHが高い地点では葉内成分が少ない傾向が認められた。葉内と土壌の同一成分間の関係についてみると、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ と $Mg^{2+}$ とも土壌成分濃度が高い地点ほど葉内成分濃度も高くなる傾向にあった。

このように、土壌のpH及び成分濃度と葉内成分濃度との関係は、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ では正の相関があり、 $Mg^{2+}$ は $K^+$ 、

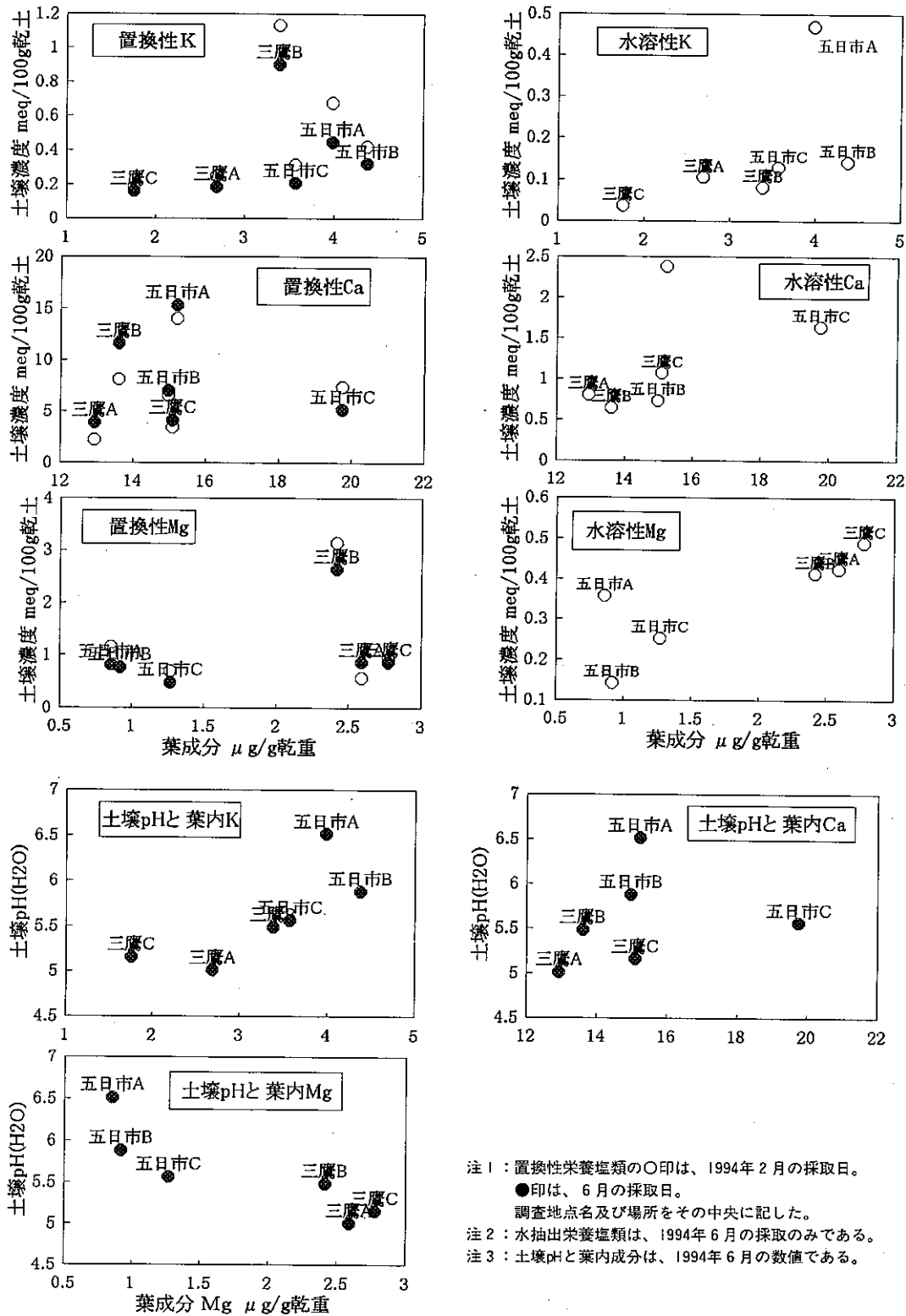


図7 土壤と葉内成分の関係

Ca<sup>2+</sup>とはやや異なる挙動を示すようにみられた。

(5) スギ樹皮のpHの特徴

スギ樹幹流は非常に低いpH (pH 3 台) を示すので、スギ樹幹周辺の土壌を酸性化しているという<sup>12)</sup>。しかし、樹皮に関する化学的な性質については現在までほとんど研究されておらず、スギ樹幹流の低いpHが何に由来するのかは<sup>13)</sup>良くわかっていない。

表 2 に95年冬期と春期の樹皮成分分析結果を示した。スギ樹皮抽出液の3個体平均水素イオン濃度は、94年冬はpH3.4-3.5の範囲にあり、94年春ではpH3.2-3.7であった。樹皮と同日に採取した三鷹のスギ樹幹流はpH3.3-3.5で、採取個体が異なるにしては比較的良く樹皮pHと一致していた。また、三鷹のコナラ樹皮抽出液はpH4.1、樹幹流はpH4.4で、やや樹皮抽出液のpHがやや低目であったが、どちらもスギのpHより明らかに高い値を示した。コナラの樹幹流と樹皮抽出液のpHに差があるのは、コナラの樹幹流下量がスギよりかなり多いことによる希

釈効果のためと見られる<sup>7)</sup>。

地域的には、冬期春期とも三鷹のpHが最も高く、高尾、五日市ではやや三鷹のpHがより低い値を示した。季節的な相違についてみると、全体的に冬期と春期の樹皮抽出液のpHの差は小さく、高尾、五日市では春の方が最高値、最低値とも0.1-0.2程度低かった。しかし三鷹のpH最低値は冬より0.4高かった。

(6) 樹皮及び樹幹流成分濃度の関係

図 8 に1994年6月22日に採取した樹皮及び樹幹流について、樹皮抽出液と樹幹流の成分当量濃度の関係を示した。スギの陰イオン成分濃度合計値に対する各陰イオンの比率は樹皮及び樹幹流ともほぼ同じレベルであった。一方、陽イオン当量濃度合計値に対する各陽イオン成分濃度の比をみると、K<sup>+</sup>では樹幹流に比べ樹皮抽出中の比が大きく、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>では小さい特徴を示した。以上の傾向はスギだけでなくコナラでも同様であった。なお、樹幹流採取日の林外雨はpH4.95であった。

表 2 スギ樹皮のイオン成分 (当量濃度1994年2月(冬期)と6月(春期)採取)

冬期採取 94.02		pH	EC	Na	NH <sub>4</sub>	K	Mg	Ca	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Fe	Zn	Mn	Al	
		遠心水	μeq/g													
三鷹 国際村塾教大	平均値	3.51	230	2.3	1.3	1.4	0.7	1.5	2.5	1.7	3.9	-	-	-	-	
	最高	3.70	484	2.2	8.1	2.3	1.5	3.0	6.2	4.3	10.6	-	-	-	-	
	最低	3.12	113	0.3	0.9	0.7	0.3	0.8	0.5	0.4	1.2	-	-	-	-	
高尾 高尾山薬王院	平均値	3.39	252	1.7	2.2	1.5	0.9	2.3	3.7	3.7	3.8	-	-	-	-	
	最高	3.56	335	4.8	6.8	3.3	2.1	5.4	9.7	9.3	7.9	-	-	-	-	
	最低	3.22	180	0.4	0.7	0.7	0.2	0.4	0.9	0.9	1.2	-	-	-	-	
五日市 阿伎留神社	平均値	3.35	402	1.8	6.0	4.1	2.4	5.1	7.4	4.7	8.3	-	-	-	-	
	最高	3.44	562	2.4	12	6.3	6.1	6.6	10.6	9.0	16.4	-	-	-	-	
	最低	3.18	228	1.0	2.0	2.0	0.7	2.5	3.2	2.1	3.0	-	-	-	-	
春期採取 94.06		pH	EC	Na	NH <sub>4</sub>	K	Mg	Ca	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Fe	Zn	Mn	Al	
		遠心水	μeq/g													
三鷹 国際村塾教大	平均値	3.66	166	1.2	2.6	2.1	0.2	0.7	1.3	1.4	2.0	0.2	0.01	0.01	0.8	
	最高	3.73	180	1.4	3.1	2.7	0.2	0.9	1.4	1.5	2.2	0.2	0.01	0.02	1.0	
	最低	3.53	155	1.1	2.2	1.2	0.1	0.6	1.1	1.2	1.7	0.1	0.00	0.01	0.8	
高尾 高尾山薬王院	平均値	3.21	379	1.8	4.0	2.5	1.1	2.6	2.8	3.0	5.8	0.3	0.03	0.04	1.7	
	最高	3.31	456	3.0	7.4	3.6	1.9	4.2	4.8	5.8	8.8	0.5	0.05	0.08	2.6	
	最低	3.08	268	1.1	1.6	1.4	0.6	1.5	1.4	1.4	3.0	0.2	0.01	0.02	1.1	
五日市 阿伎留神社	平均値	3.22	725	2.9	19	7.4	2.7	9.0	9.9	6.7	19.9	0.2	0.05	0.14	2.4	
	最高	3.35	1096	3.4	26	9.2	5.6	16	14.4	8.7	33.1	0.4	0.09	0.26	3.4	
	最低	2.99	350	2.4	5.5	4.1	0.9	4.0	5.9	3.5	4.7	0.1	0.03	0.04	1.1	
(参考)	三鷹	コナラ n=1	4.13	103	0.7	1.7	4.1	0.3	1.2	0.5	0.7	1.1	0.1	0.01	0.03	1.0

注1: 採取した樹皮の厚さは0.1mm以内。

注2: 水素イオンの濃度は樹皮重量の10倍量の蒸留水で測定した。

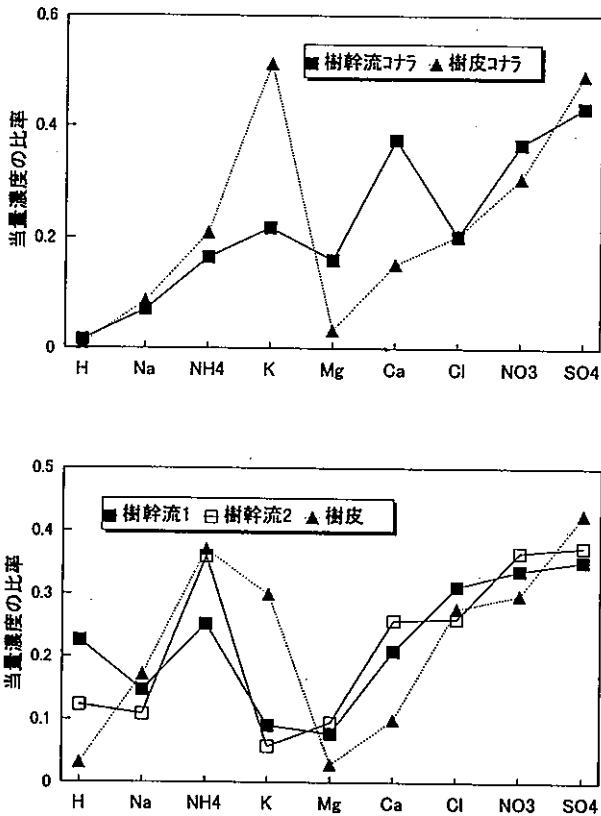


図8 樹幹流と樹皮抽出液の当量比の比較  
注：採取日は1994年6月

4 まとめ

都内に生育しているスギ葉の栄養条件について検討した。都内のスギの葉内栄養塩類濃度及び全窒素濃度を全国の平均的な値と比べると、全窒素はいずれの地点でも平均または平均よりやや高めであった。Mg<sup>2+</sup>とCa<sup>2+</sup>は一部地点を除きほぼ平均的な値であった。一方、K<sup>+</sup>は檜原を除きやや低めであって、特に三鷹では明らかに葉内成分濃度が低かった。しかし、樹勢等の目測観察評価値と葉内の成分濃度との関係についてみると、葉内のK<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>がやや低い値を示した地点でも、樹勢は特に悪くなっておらず、樹勢と葉内成分との間には明確な関係が認められなかった。

以上のように、葉内のK<sup>+</sup>濃度がやや低い傾向はあるものの、酸性雨が葉や土壌から栄養塩類を溶脱したり、栄養塩類濃度のバランスを乱すことによって、スギの生育を阻害しているとする明確な証拠を得ることはできなかった。しかし、葉内栄養塩類濃度が低い地点のスギについては、今後とも継続的な監視が必要であろう。

引用文献

1) 石塚和裕：酸性降下物に対する土壌緩衝能の実態と

評価, 森林立地, 34, (1), p.26-35, (1992) .  
 2) A.H.Fitler, R.K.M.Hay著, 太田安定ら翻訳：植物の環境と生理, 学会出版センター, p.94-107, (1985) .  
 3) 大橋 毅, 鈴木三郎：ケヤキの葉分析結果と樹勢との関係について, 東京都環境科学研究所年報, p.84-90, (1980) .  
 4) 大橋 毅, 菅 邦子：スギ生育土壌の化学的特徴, 東京都環境科学研究所年報, p.305-310, (1997)  
 5) 小林禧樹ら：森林樹冠への酸性沈着の影響評価 - 乾性沈着と溶脱の分別評価法の検討 -, 環境科学会誌, 8, (1), p.25-34, (1995) .  
 6) 久米一成ら：スギ、ヒノキの樹幹を流れる雨水成分の性質について, 静岡県衛生環境センター報告, 31, p.33-39, (1988) .  
 7) 菅 邦子ら：スギ、コナラの林内雨、樹幹流の性質について(1), 東京都環境科学研究所年報, p.324-327, (1995) .  
 8) 佐々朋幸ら：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pH固有値 -, 森林立地, 32, (2), p.43-58, (1990) .  
 9) 熊沢喜久雄, 西沢直子：植物の養分吸収, 東京大学出版会, p.107, (1980) .  
 10) 坂口勝美 (監修)：新版 スギのすべて, 全国林業改良普及協会, p.89, (1993) .  
 11) 田中 格ら：複層林下木ヒノキの当年生葉における比葉面積, 光合成能力, およびクロロフィルa・b比, 36, (2), p.22-30, (1994) .  
 12) 松浦陽次郎：酸性雨が森林生態系の物質循環に与える影響, 分かりやすい林業解説シリーズ100, 森林衰退-酸性雨は問題になるか-, 林業科学技術振興所, P.69-76, (1993) .  
 13) Keniti Satake et al: pH distribution in radial sections of the stem and root of *Cryptomeria japonica*, *Can. J. For, Res*, 26, p.503-507 (1996).