

# 大気の汚染が林木に及ぼす影響について (I)

本城尚正\*・妹尾俊夫\*・塩野裕司\*\*

TAKAAKI HONJYO\*, TOSHIO SENOO\* and YUUJI SHIONO\*\*

On the influence of air pollution on the forest trees

**要旨:** 大気汚染が林木(スギ)に及ぼす影響について、樹葉の分光反射特性を利用した赤外カラー画像のバイバンド比(R/G)を総合的な活力指標として、これに影響を及ぼすと考えられる元素含有量とその分布状態および生長をとりあげて検討した。

その結果の概要は次のとおりである。

- (1) 大気汚染度とバイバンド比には相関関係があり、汚染地区の活力低下が認められた。
- (2) 樹葉に含まれる全硫黄量は汚染度の高い林分ほど多い傾向を示した。
- (3) 重金属(Pb・Cd・Zn)は汚染林分の外皮において高い含有量を示した。これは大部分浮遊ばい塵に含まれた重金属類が付着したものと考えられる。
- (4) 汚染地区林木の内皮におけるカリウム含有量は、対照地区との比較において著しく低い値を示した。

## はじめに

わが国は高度成長時代に諸産業が目覚しく発展した。しかしその反面、公害や乱開発などにより発生した環境の悪化は大きな社会問題となっている。とくに大気の汚染は、人間の生命をも脅かすものとして、きわめて深刻である。石油危機以来、企業本位から住民本位への政策により、市街地をはじめ住宅地や各地で環境アセスメントが実施されている。各地の報告から、大気の汚染が次第に広域化し、慢性化しつつあることを知ることができる。

このように悪化した環境を浄化し、改善するためには、まず環境汚染・破壊の状態や程度を認識することが必要である。この場合、環境の悪化が生物へ及ぼす影響の度合を測ることによってわれわれ人間への生物学的環境指標をうることの方が、化学的・物理的指標を利用するよりも有効な手段と考えられる。つまり樹木は、それぞれの環境において固定的に、また長年月生存するものであり、その個体から生育してきた環境についての経時的情報を得ることができる。いわば、

それぞれの立地におけるモニターとして利用できるものと考えられる。

しかしながら、樹木をモニターとして利用して環境汚染を判定する方法を有効なものとするためには、その環境に生きる樹木の変化や諸反応を克明に観察し、それらの諸現象のメカニズムを明らかにすることが前提とならなければならない。一般的に、生物指標は個体差のバラツキが多いため、利用に先だち実施方法・結果の判定方法について、十分な検討が要求される。

そこで、筆者らは国道9号線が通過している京都府立大学大枝演習林を対象として、大気の汚染度が異なると推定されるスギ林分を用い、それぞれの林分における生長状態が大気の汚染にどのように影響を受けるものなのか検討を行なった。

## 調査地の概況

本調査の対象として選定した京都府立大学大枝演習林は図-1に示したとおりである。Plot-A および Plot-B はV字谷の沢筋に沿って走る国道9号線に隣接するスギ林分である。国道9号線の交通量は非常に

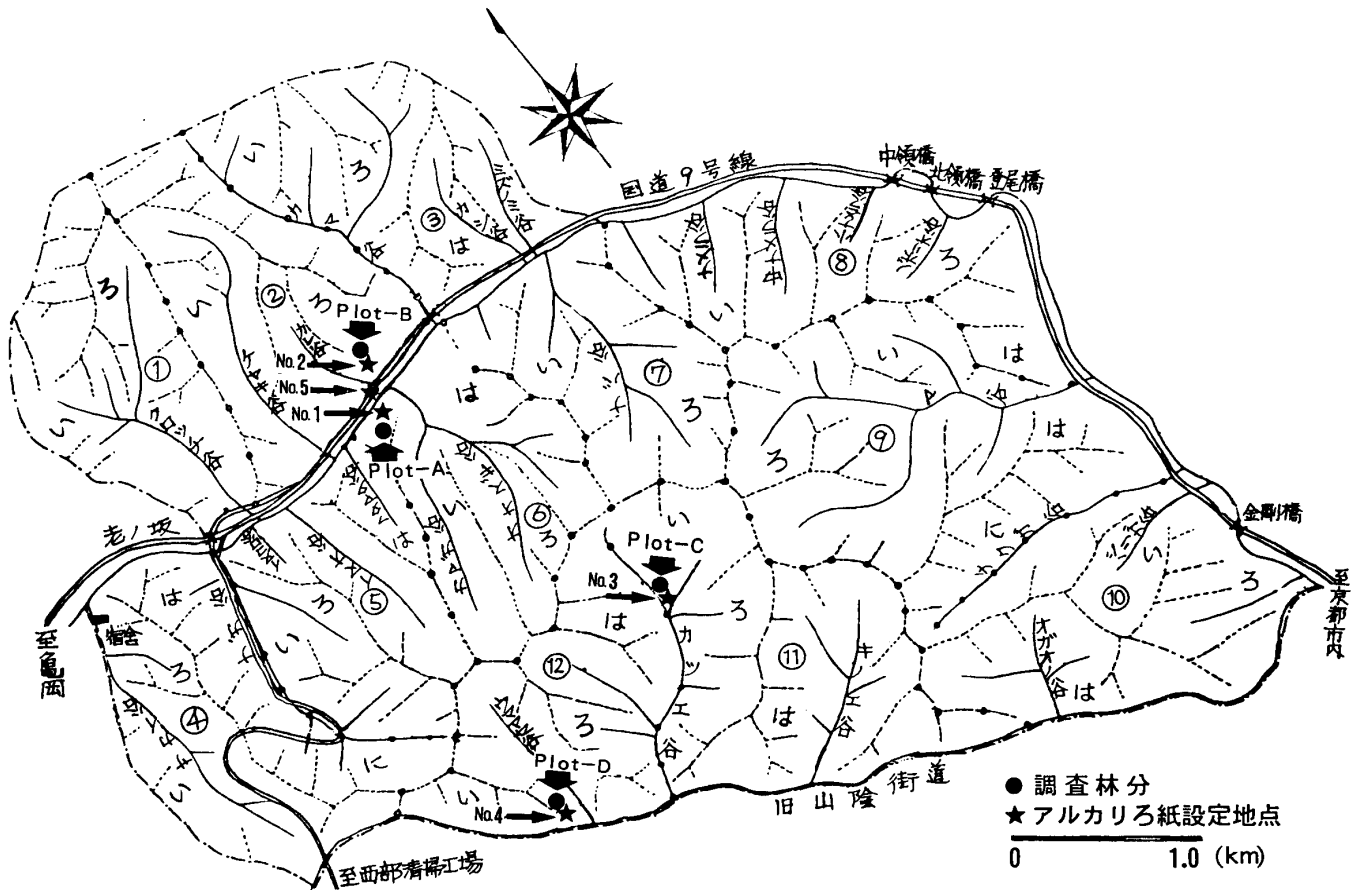
\*京都府立大学農学部附属演習林研究室

Experimental Forest Station, Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University, Kyoto, Japan.

\*\*京都大学大学院

Post Graduate Courses of Kyoto University, Kyoto, Japan.

昭和55年7月28日受理



図一 調査林分およびアルカリろ紙設定の位置図

多く、渋滞を度々重ね、そのうえ急勾配であるため、自動車は加速、減速を繰り返し、多量の排気ガスを排出する。またV字谷という地形のため、排気ガスは拡散することなく充満する。

このように、大気汚染濃度が非常に高いものと推定され、その結果として、樹木の生長に大気汚染が何らかの影響を及ぼしていると考えられる地域からは、調査地Plot-A および Plot-B を選定した。Plot-A は75年生スギ人工造林地（6林班い小班）、Plot-B は27年生ミョウケンスギ人工造林地（2林班ろ小班）である。

一方、それらの対照林分として、Plot-C の39年生人工造林地（11林班い小班）およびPlot-D の24年生人工造林地（12林班い小班）のスギ林分を選定した。この両林分は、演習林の南の境界を走る旧山陰街道側で、現在この道路は自動車の通行が不可能であり、また、国道9号線沿いの汚染された大気は尾根でしゃ断され大気汚染度は低いものと推定される。

## 試験方法

### 1 森林の調査

#### 1) 林況

調査林分の現況を把握するために、地形、下層植生など、林況調査を行なった。

#### 2) 林分現存量の推定

各調査林分において標準地を設定し、このプロット内に含まれる全林木の胸高直径を測定するとともに、標準木を単純無作為に抽出した。この標準木については樹高を測定し、D-H 曲線から径級別樹高を計算し、別に解析した径級別標準木材積から径級別胸高形数をえて各標準木材積を求め、さらに林分材積の推定を行った。

#### 2 標準木の計測法

##### 1) 樹幹析解法による生長量の推定

各調査林分のスギが現在に至るまで、どのような生長経過をたどってきたものかを推定するために、樹幹析解を行った。各林分を代表する標準木を析解木として選定し、標準的な析解方法<sup>1)</sup>を採用した。

##### 2) 枝量および幹材積の垂直分布

各林分の標準木を1 mごとに枝量と幹材積とについて、階層別配分量を測定した。

##### 3 大気汚染度調査

大気中には、極微量ではあるが、硫黄化合物が二硫

化水素・二酸化硫黄および硫酸塩の形で常に存在している。特別な事情がないかぎり、これらの硫黄化合物は、0.3~1ppbを越えない濃度範囲で広く大気中に分散していると推定されている<sup>2)</sup>。

しかし、二酸化硫黄については、発生が人為的な原因によるので、工業地域や都市周辺など、人の居住圏近くにおいては高い濃度で偏在する。また最近では、自動車からのNO<sub>2</sub>の排出が、大気を汚染する物質の中では高い割合を占めるようになってきた。

このような大気汚染の状況をふまえて、この調査では、NO<sub>2</sub>およびSO<sub>2</sub>濃度を測定し、調査地の汚染度の指標とした。測定方法としては、アルカリろ紙法<sup>3)</sup>を用いた。

#### 4 赤外カラー写真による活力判読

赤外カラー写真は、530~900nmまでの被写体の反射光を、人間の目で見られる400~700nmまでの画像に再現するものである。赤外カラー画像における健康な樹葉は近赤外域の反射率が高いため赤く写るが、その活力度合は、赤外線反射光量と可視光線域の反射光量との配合率による画像の色調の変化に現われる。すなわち、赤から青、そして黄、白と色調が変化するようにしたがって、活力の低下を示すことになるのである<sup>4)~8)</sup>。

そこで、樹葉の赤外カラー写真から画像の色分解によって赤要素と緑要素の比(R/G)を求め、これを樹木の活力指標とし、この値と他の指標値との相関性に基づいて活力評価基準を設定し、樹木の活力を推定することを試みた。

赤外カラー写真の撮影方法は、各プロットの標準木のクローネ上部、中部および下部の各部枝条の先端部から針葉を採取し、それを暗室内において人工照明下で撮影した。

4プロットからの供試材料の赤外線フィルムによる撮影は、昭和53年5月12日の試料を用いて行った。その撮影条件は既報と同様である<sup>8)~12)</sup>。

#### 5 針葉および材部の含有元素(S, Pb, Cd, Zn, K, N)の分析法

##### 1) 分析対象とした含有元素

大気汚染の影響によって、そこに生育を続けている樹木の葉や材部の含有元素が変化するかどうかを追跡するために、針葉および材部の含有元素の測定を行った。

硫黄は大気中の二酸化硫黄濃度によって樹葉に含まれる水溶性硫黄の含有量は異なる。この水溶性硫黄は硫酸に変化し、クロロフィル等の破壊を引きおこし樹葉の活動にとってマイナスになるものである。このた

め、葉中の濃度を測定することにより、大気汚染の程度を知るだけでなく、樹葉の健康度をも知る要素と考えられる<sup>10)~13)</sup>。しかし、この水溶性硫黄の単離は非常に困難であるため、不溶性硫黄を含む全硫黄を測定することにした。

つぎに重金属類は、ひとたび生物体内にとりこまれると排出されにくく、ほとんどが蓄積されるようである<sup>14)</sup>。この調査の対象である樹木においても、どのように吸収されどこに蓄積され生育にどのような影響を与えるのかなどについて解明することが要求される。そこで今回は、大気汚染濃度の高い地域と低い地域に生育するスギの針葉と材部の重金属(Pb, Cd, Zn)の含有量を測定し、生長とどのような関係にあるかを検討し、これらの因子が環境指標となりうるかを判定した。

最後に、植物の多量必須元素であるカリウム、窒素についても含有量を測定した。

カリウムは炭水化物生成を促進する作用をもち、吸収されたカリウムは速かに同化器官や生活作用の活発な部分に移動する<sup>15)</sup>。

窒素は蛋白質・葉緑素・レシチンなどの主要成分であるために、窒素が欠乏すると植物の発育はきわめて不良となることが考えられる<sup>16)</sup>。

これらの元素と樹勢の間には、現在までの研究成果<sup>10)~12)</sup>からみて、何らかの相関があるのではないかと考えられるので、このことについても検討を加えることとした。

##### 2) 分析試料の調製と分析方法

樹幹部の分析試料の採取部位は、標準木 No. 1 においては、伐根部位(0.0)と相対高1/10 h, 3/10 h, 5/10 h および 7/10 h とし、他の標準木 No. 2, No. 3 および No. 4 については1/10 h 部位とした。それぞれの採取部位から円板を採取し、採取した円板について外皮、内皮、1978年~1976年に形成された材部を、それ以前に形成された材部については5年輪ごとに剝がしとり乾燥し粉砕したものを分析試料とした。

また、針葉については各プロットの標準木のクローネを上部、中部および下部に区分し、それぞれの区分範囲から前年葉と前々年葉とにわけて採取し、乾燥後粉砕したものを分析試料とした。

定量分析法としては、全硫黄の定量は硫酸バリウム法<sup>17)</sup>により、重金属(Pb, Cd, Zn)については、硫硝酸分解法により分解した試料液について原子吸光法で定量した。なお、Pb, Cdの液層分離にはDDTC-MIBK抽出法<sup>18)</sup>を用いた。また、カリウムについても原子吸光法により求めた。窒素の分析には、柳本CN

コーダー MT500 型で行った。

結果および考察

1 調査林分の現況

1) 林況

調査林分はいずれもスギの一斉造林地で、林況は表一に示したとおりである。

Plot-A は国道 9 号線に面した北斜面の老齢林分(75 年生)である。平均傾斜 38° と相当な急傾斜であるが、斜面下部の土壌は肥沃で大径木がみられる。林分の平均胸高直径 30.9cm, 平均樹高 19.86 m であった。

Plot-B は 京都府動物管理指導所の 北側にある 27 年生林分で、南斜面のすり鉢状の林地である。平均胸高直径 16.2cm, 平均樹高 13.26m であった。この林分

表一 調査林分の林況 (スギ人工造林地)

	Plot-A	Plot-B	Plot-C	Plot-D
傾斜方向	北	南	西南西	東南
傾斜角度(°)	38	25	18	23
林齢(年)	74	27	39	24
生立密度(本/ha)	788	1892	1575	1343
平均胸高直径(cm)	30.9	16.2	20.2	17.7
林分材積 m <sup>3</sup> /ha	638.34±79.49	281.67±9.56	491.17±54.28	252.30±13.76
Plot の面積(m <sup>2</sup> )	393.3	222.0	311.2	230.9
Plot 内の本数(本)	31	42	49	31
下層植生	ア オ キ	ア オ キ	ア ラ カ シ	ア オ キ
	ア ラ カ シ	ア ザ ミ sp.	ノ イ バ ラ	ア セ ビ
	イ タ ド リ	ア ラ カ シ	イ ヌ ツ ゲ	ア オ ダ モ
	イ ヌ ガ ヤ	イ ヌ ツ ゲ	ウ ツ ギ	イ ヌ ツ ゲ
	エ ゴ ノ キ	イ タ ド リ	カクミノスノキ	ウ ツ ギ
	カ マ ツ カ	オ ニ ド コ	ク リ	カ ス ミ ザ ク ラ
	ク ロ モ ジ	カ ラ ム シ	コバノガマズミ	コバノガマズミ
	コ ア カ ソ	ス ス キ	ス ゲ sp.	コガクウツギ
	コ ア ジ サ イ	ソ ヨ ゴ	タ ラ ノ キ	サルトリイバラ
	コバノガマズミ	ド ク ダ ミ	ド ク ダ ミ	ス ノ キ
	コバノミツバツツジ	ナワシログミ	ナワシログミ	タニウツギ
	サルトリイバラ	ナガバモミジイチゴ	ニセアカシア	チゴユリ
	サネカズラ	ハイイヌガヤ	ヒイラギ	ドクダミ
	シヤガ	ヒサカキ	ヒサカキ	ヒサカキ
	シラキ	フ ジ	フ ジ	ヒイラギ
	ナガバモミジイチゴ	フユイチゴ	ヤブツバキ	ビロウドイチゴ
	ニワトコ	ミツバアケビ	ヤブムラサキ	フ ジ
	ネズミモチ	ミヤコイバラ	ヤブコウジ	ミツバアケビ
	ハナイカダ	ムラサキシキブ	ヤマウルシ	モチツツジ
	ヒイラギ	ノブドウ		リョウブ
ヒサカキ	ヤブツバキ		ヤブツバキ	
フユイチゴ	ヤマアジサイ			
フ ジ	ヤブコウジ			
ミツバアケビ	ヤマグワ			
モチノキ				
ヤブツバキ				
ヤブムラサキ				
ヤブニッケイ				
ヤマウルシ				
リョウブ				

はミヨウケンスギのサシキ苗を植栽したものである。

Plot-C は尾根から少しおりたカツエ谷に面した西南西斜面の39年生の林分で、平均胸高直径 20.2cm、平均樹高 16.58m である。

Plot-D はウママセ谷の東南斜面にある 24 年生林で枝打ちはほとんど行なわれておらず、平均胸高直径 17.7cm、平均樹高 13.24m 林分である。また、各プロットの下層植生の調査結果から推察しても、各プロットともスギの適地と考えられる。

2) 林分現存量

各調査地の 1.0 ha あたりの林分材積 ( $\hat{V}$ ) の推定を行った結果は次のとおりである。計算の過程を省略して林分材積の推定値のみを示す。

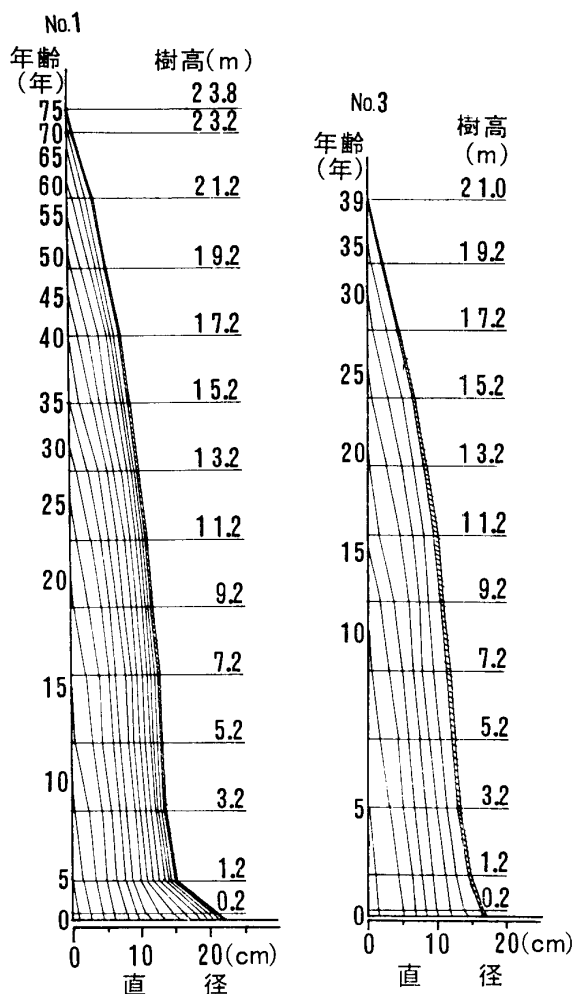
Plot-A :  $\hat{V} = 638.34 \pm 79.49$  (m<sup>3</sup>)

Plot-B :  $\hat{V} = 281.67 \pm 9.56$  (m<sup>3</sup>)

Plot-C :  $\hat{V} = 491.17 \pm 54.28$  (m<sup>3</sup>)

Plot-D :  $\hat{V} = 252.30 \pm 13.76$  (m<sup>3</sup>)

2 標準木の計測



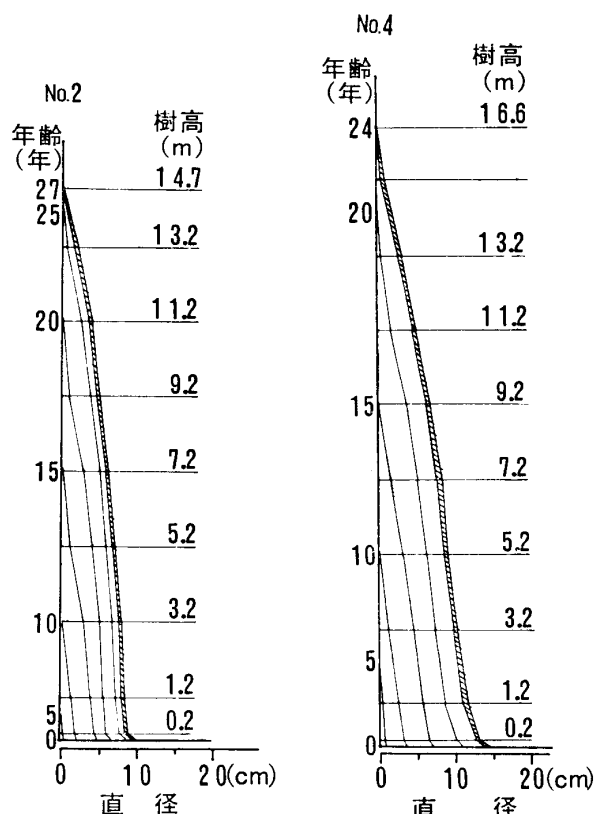
図一 標準木 (No. 1, No. 3) 樹幹析解図

1) 樹幹析解

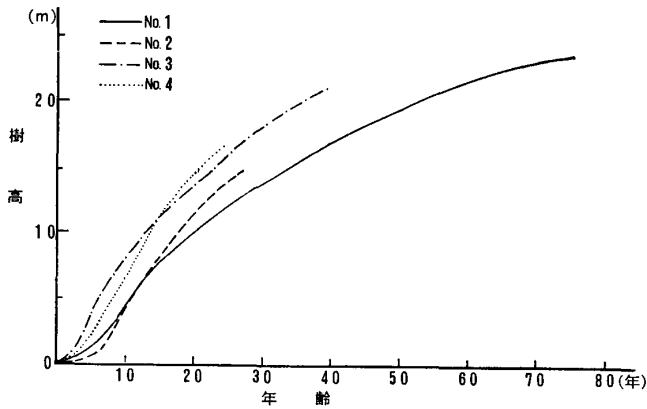
この目的は調査対象の各林分における過去の生長経過の推定にあることから、析解対象木は林分を代表するような個体として、胸高直径、樹高とも各プロットの平均値にもっとも近いものを選んだ。Plot-A の標準木を No. 1 とし、以下 Plot-B, Plot-C, Plot-D の標準木をそれぞれ No. 2, No. 3, No. 4 とした。それらの標準木を伐倒して樹幹析解の試料を採取すると同時に、生産構造図作成のため、各階層別に幹材積ならびに枝量を算定した。

析解資料のうち、樹幹析解図 (図一 2, 図一 3) ならびに樹高総生長曲線、連年材積生長曲線を図一 4, 図一 5 に示した。

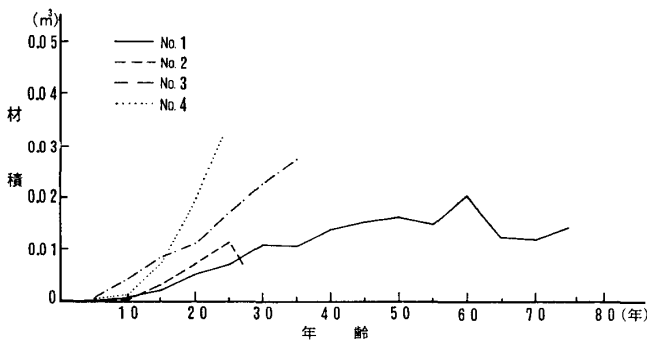
まず、樹高総生長曲線 (図一 4) をみると、地位に大きく左右されるが、後述するとおり大気汚染度の低い対照地域内の No. 3 および No. 4 の樹高生長は、汚染度の高い地域内の No. 1 および No. 2 のそれより優れていることがわかる。このように、汚染地域にある供試木の生長の衰えが著しいことがうかがえる。さらに、連年材積生長曲線 (図一 5) でみると、この傾向が一層明らかとなる。すなわち、汚染地区の若齢林分である標準木 No. 2 は 25 年以後急激に生長量がおちこんでいる。



図一 標準木 (No. 2, No. 4) 樹幹析解図



図一4 標準木別樹高総生長曲線



図一5 標準木別連年材積生長曲線

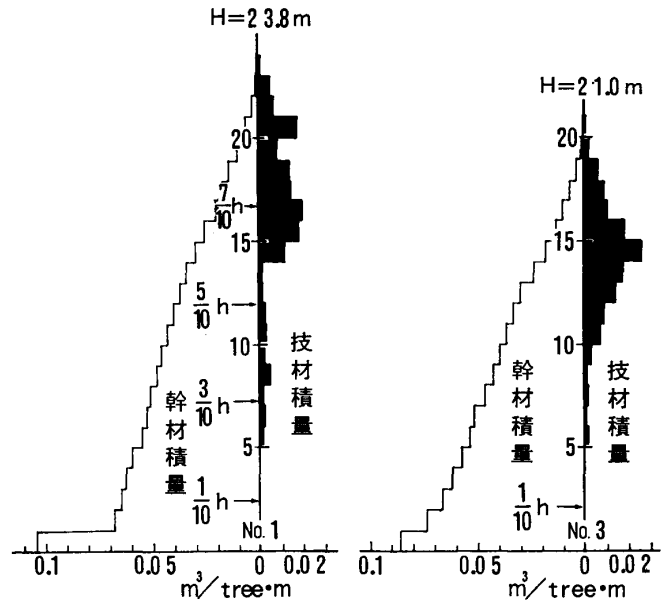
以上、樹高および材積の生長経過をみてきたが、No. 1 および No. 2 は、樹高・材積生長量とも全般的に低くとくに最近の生長量の低下は著しい。この生長量が低下した時期は、国道9号線の自動車の通過台数が急激に増加した時期に一致していることが注目される。

2) 枝量および幹材積の垂直分布

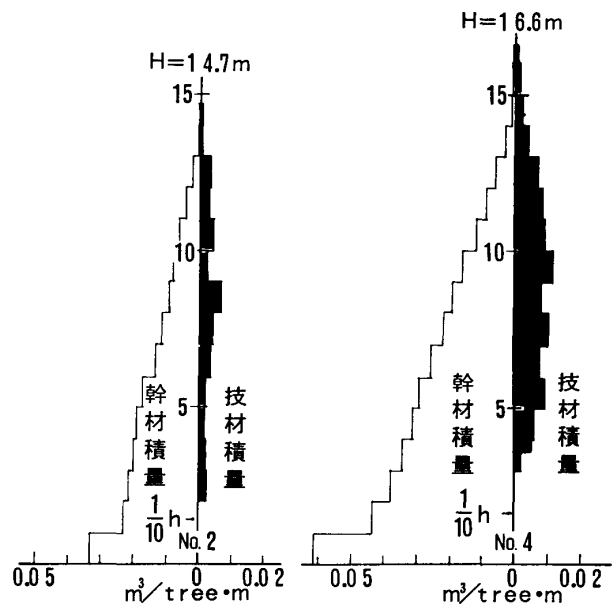
各標準木の枝量および幹材積の垂直分布は図一6 および図一7のとおりである。

まず、No. 1 と No. 3 の比較では、No. 1 の枝は着生状態が不規則であり、全体的に枝量が少なく、樹勢の衰退が進んでいるものと推定される。一方、No. 3 は垂直分布から判断して正常に生長しているものと思われる。つぎに若齢木の No. 2 と No. 4 を比較すると、No. 2 は立木密度の多い (1,892本/ha) ことにも起因するが、枝量が非常に少なく、幹材積も少なく、生長状態は貧弱である。これと対照的に、No. 4 は枝量、幹材積とも No. 2 に比較して多く、充実した生育状態にあることがわかる。

以上のように、大気汚染の影響が少ないと考えられる No. 3 および No. 4 は、国道9号線沿いの No. 1 および No. 2 よりも、枝量、幹材積とも多く、両者は正常な垂直分布をなし、正常な樹形を示している。



図一6 標準木の幹・枝量の垂直分布



図一7 標準木の幹・枝量の垂直分布

3 大気汚染度調査

各調査林分の現在の汚染度を測定するために、アルカリろ紙により図一1に示した地点(各プロットに1カ所ずつ「No. 1~No. 4」と国道9号線際の落石防止フェンスに1カ所「No. 5」、計5カ所)で測定を行った。その結果は図一8および図一9に示すとおりである。両図において、No. 5 は他の地点よりも著しく高く、国道際はきわめて排気ガス濃度が高いことがわかる。月別の推移をみると、梅雨期の6月はNO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>濃度とも低い、7~8月は夏期の交通量増加のためか、両者とも濃度が高くなっている。

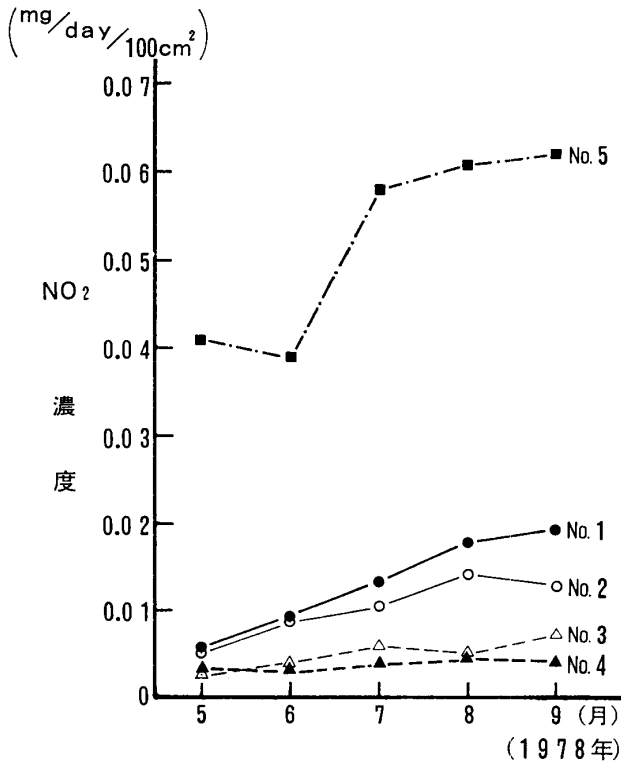
プロット別の濃度推移をたどると、NO<sub>2</sub>濃度は5月より漸増し、国道に面したNo. 1およびNo. 2はNo. 3およびNo. 4に比べて高い値を示している。

以上の結果から、No. 1およびNo. 2は自動車の排気ガスによる大気汚染度の高い地域であり、No. 3およびNo. 4は、前者に比較して低い地域であることが判明した。したがって、No. 1およびNo. 2の標準木が生立している林分を汚染地区と呼んで差支え

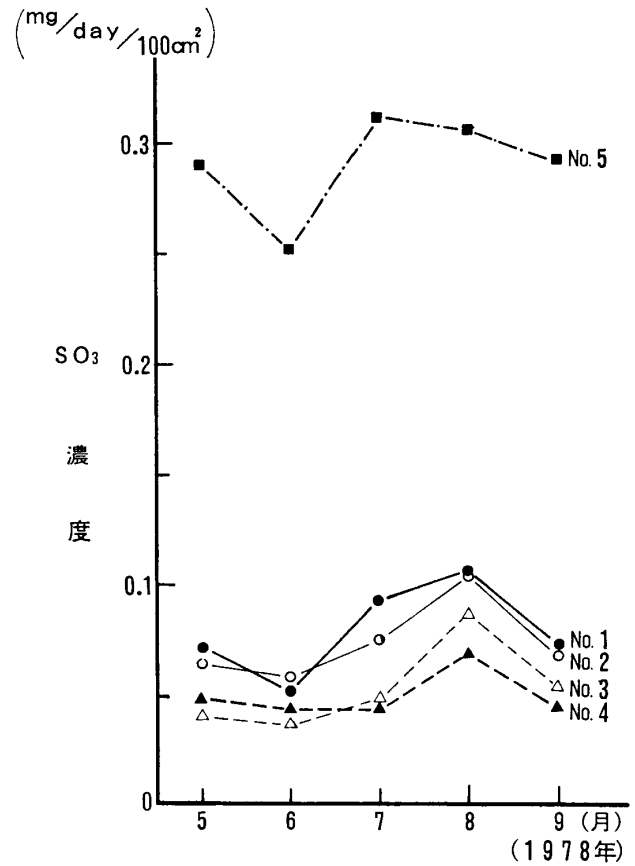
ないと考えられる。

4 赤外カラー写真による判読結果

各プロットの標準木 (No. 1~No. 4) のクローネを高さの層位別に上・中・下に3分割し、これら各部位における枝の先端部から針葉を採取したものを、前述



図一八 NO<sub>2</sub>濃度の月別推移



図一九 SO<sub>3</sub>濃度の月別推移

表一 二 スギ針葉の Bi-band 比およびその活力度

標準木	樹冠部位	R-band 透過濃度	G-band 透過濃度	Bi-band R/G	Ranks
No. 1	上	0.481	0.782	0.615	5
	中	0.613	1.058	0.580	4
	下	0.519	0.918	0.566	4
No. 2	上	0.479	0.675	0.710	5
	中	0.414	0.848	0.488	2
	下	0.434	0.725	0.600	5
No. 3	上	0.221	0.445	0.496	2
	中	0.449	0.844	0.532	3
	下	0.324	0.699	0.464	1
No. 4	上	0.258	0.568	0.454	1
	中	0.359	0.722	0.497	2
	下	0.376	0.869	0.433	1

の要領で赤外カラーフィルムによって撮影した。この結果得られたポジフィルムについて、赤バンドおよび緑バンドの分光濃度を求め、これに基づいて計算されたバイバンド比は表一2のとおりである。

なお、この表中のランクは、バイバンド比に関する全資料の平均値0.536 およびその標準偏差0.0840を用いて計算された平均値を中心に1/2偏差値の巾で表一3に示すような、5段階のランク付けに基づくものである。

表一3 バイバンド比によるランク付け

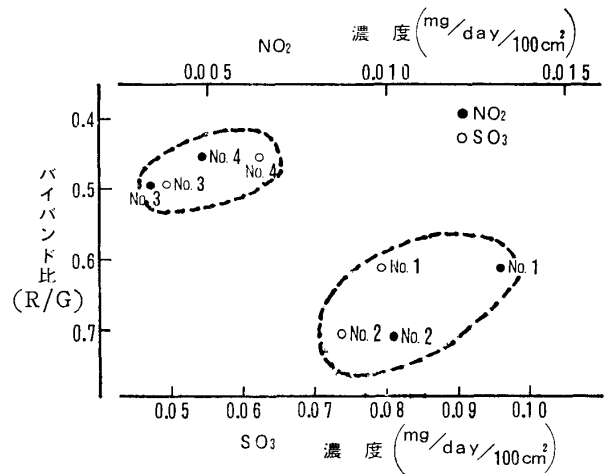
Bi-band ratio	Ranks
..... 0.476	1
0.476 ..... 0.516	2
0.516 ..... 0.556	3
0.556 ..... 0.596	4
0.596 .....	5

このランク付けによれば、活力順位は No. 4, No. 3, No. 2, No. 1 となるが、上位2本と下位の2本との間にはかなり大きな差異があるように見受けられる。そこで、前節で明らかにした大気汚染濃度と、このバイバンド比との相関性をみてみることにした。

図一10はバイバンド比と環境汚染濃度の相関図である。このように図化してみると、国道側の汚染地域にある標準木 No. 1 および No. 2 と対照地域の No. 3 および No. 4 とは明瞭に2つのグループとして区分される。

これまで示してきた結果を総括して考えると、活力指標として光学的手法によるバイバンド比を用いるこ

とは、活力の総合的・簡便的評価法として、充分実用性が認められるものと思う。



図一10 針葉のバイバンド比と環境汚染濃度との関係

### 5 針葉および材部の含有元素分析

#### 1) 全硫黄

針葉における全硫黄の定量分析の結果は、表一4に示したとおりである。クローネ上部がもっとも多く、層位が中部、下部と下がるにしたがって減少する傾向をみせている。これは枝条の影響で、層位が下がるにしたがって受光量が減少し、陰葉化して、気孔の開閉度が上部の先端部針葉に比較して少ないことから、気孔より侵入する二酸化硫黄のガス濃度は上部に比べて低くなり、全硫黄含有量も相対的に同様の傾向を示すものと考えられる。したがって、標準木別の汚染指標としては、上部の値を採用することが適当である。

上部における含有率の順位をみてみると、No. 1 が、

表一4 スギ針葉の含有元素定量分析結果

標準木	樹冠部位	S (mg/4.0g)	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Zn (ppm)	K (ppm)	N (%)
No. 1	上	3.65	0.1	0.05	6.78	3463	1.22
	中	2.17	0.2	0.29	11.08	3853	1.91
	下	1.83	tra.	0.03	9.78	4154	1.78
No. 2	上	3.16	0.3	0.04	8.56	5963	1.62
	中	2.29	0.5	0.02	8.42	5454	1.46
	下	1.52	1.1	0.10	10.20	6200	1.52
No. 3	上	2.06	tra.	0.01	6.74	4382	1.07
	中	1.81	0.1	0.12	10.08	4785	1.45
	下	1.64	0.2	0.03	7.63	4903	1.47
No. 4	上	1.60	tra.	0.07	7.92	7022	1.19
	中	0.95	tra.	0.01	11.22	4403	1.56
	下	1.39	tra.	0.13	11.14	5460	2.34



3.65mg/4.0g ともっとも多く、ついで No. 2, No. 3 No. 4 となっている。さらに上部針葉の全硫黄含有量と大気中の硫黄酸化物濃度との関係を見るために、両の相関図を図-11に示した。

これによれば、汚染濃度の高い地域と低い地域に生育する樹木の全硫黄含有量には、それぞれの汚染度に応じて差があることがわかる。

つぎに、含有量のもっとも多かった No. 1 について、樹皮および材部の全硫黄含有量を測定した結果は図-12のとおりである。これによると、外皮は樹幹の部位をとわず 1.5 mg/4.0 g 程度の高い値を示し、伐根部(0.0)を除くと、内皮は1.1mg/4.0g 程度であるが、材部は 0.6mg/4.0g 以下と急激に低下している。

なお、(0.0) 部位は1935年以降に形成された年輪では含有量が少し増えるが、また1950年から減少するといった、他の部位とは異なるパターンを示している。このような傾向が一般的なのかどうかについて確認するためには、資料数を増やして検討する必要がある。また、全体的にみてこのグラフの各傾向線のうち、1/10 h は(0.0) 部位を除く他の全部位のほぼ平均的な動向を示していると思われる。

そこで標準木間の 1/10 h 部位における含有量(図-13)を比較すると、外皮では No. 2 の含有量が一番高く、つづいて No. 1, No. 3, No. 4 の順になっている。No. 2 の含有量が No. 1 より外皮および内皮とも多いのは、立地条件から考えて、風向きと地形的な影響が強く働いたものと考えられる。材部においては、No. 3, No. 4 とも、0.2mg/4.0g とほぼ一定であるが、No. 1, No. 2 は1978~76年の年輪に 0.37mg/4.0g, 0.5mg/4.0g と高く、各年輪を通じて No. 3 および No. 4 より多く含まれている。

以上の結果から、針葉と外皮の全硫黄濃度値は環境状態をよく現わしているといえよう。

2) 重金属 (Pb, Cd, Zn)

鉛・カドミウムなどの金属は、もともと材中で生産されるのではなく、根より吸収されて材部に蓄積されると考えられる<sup>14)</sup>。

ところで、辺材細胞が死んでも、それらの原形質膜は半透膜性を維持し、水分および低分子溶質は遠心ならびに求心的に移動するが<sup>19)</sup>、金属類はおそらく、とりこまれた時点で固定されているとみられる。したがって、一年ごとの金属吸収量を明確に求めることができないまでも、経時的变化を相対的に知ることができるものと思われる。

樹幹部の鉛含有量の測定結果は図-14, 図-15のとおりで、外皮において高い値を示した。

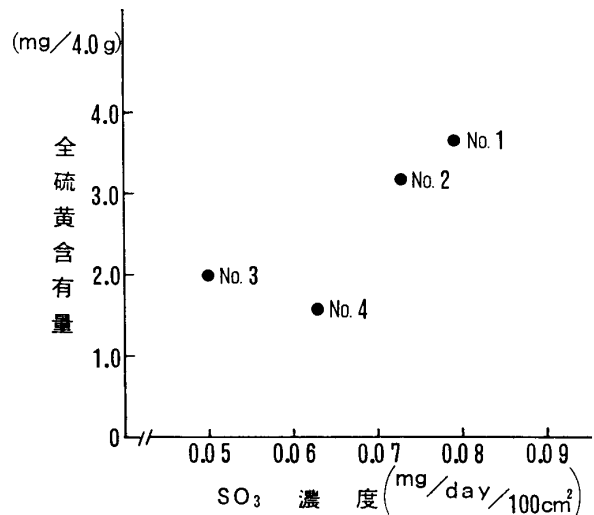


図-11 針葉(クローネ上部)全硫黄含有量と大気汚染濃度(SO<sub>2</sub>)との関係

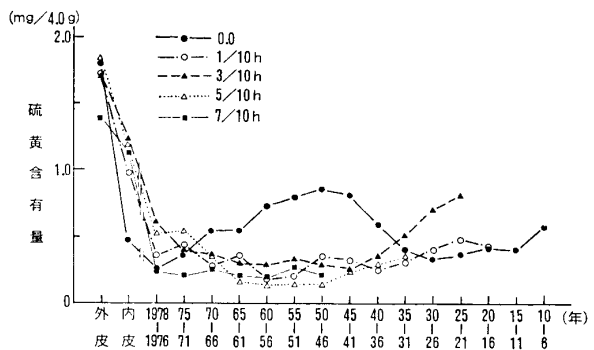


図-12 樹幹(No. 1)の部位・年齢別硫黄含有量

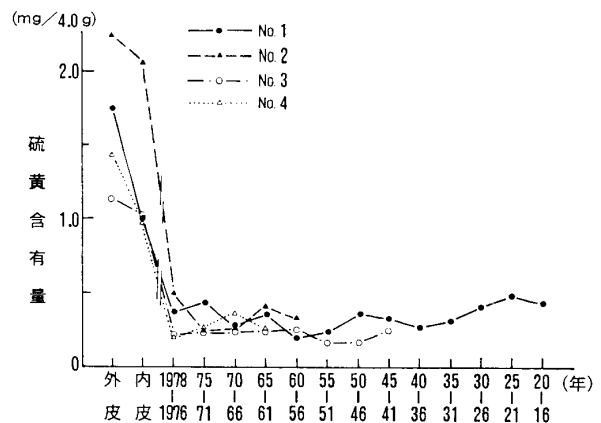
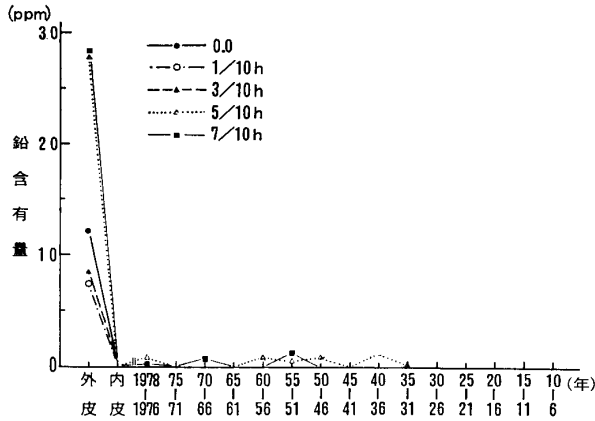
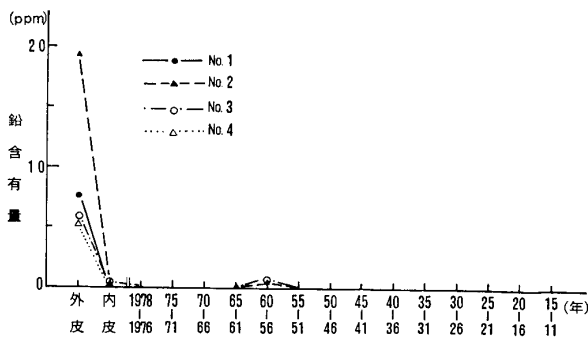


図-13 標準木別 1/10h 部位における硫黄含有量

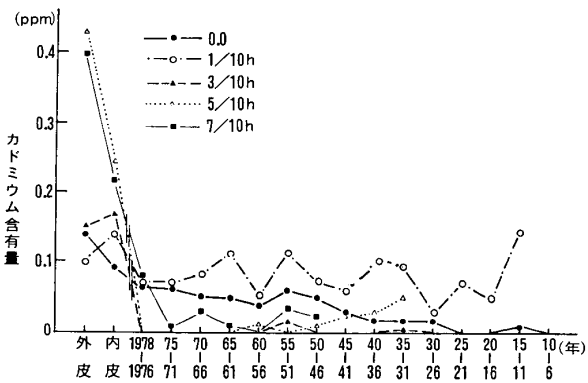
標準木別に 1/10 h 部位の鉛含有量をみると、外皮では No. 1 が約 20ppm、ついで No. 2 が 7.5ppm, No. 3 および No. 4 は 6 ppm 程度である。このように外皮には比較的多く含まれているが、内皮や材部では少ない。また、汚染地区林木の含有量は、対照地区に比較して多い。したがって、大部分は浮遊ばい塵によ



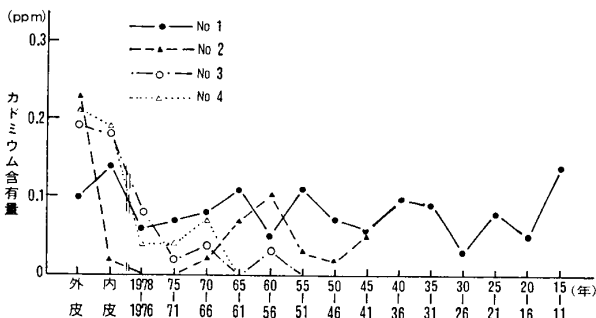
図—14 樹幹 (No. 1) の部位・年齢別鉛含有量



図—15 標準木別 1/10 h 部位における鉛含有量



図—16 樹幹 (No. 1) の部位・年齢別カドミウム含有量



図—17 標準木別 1/10 h 部位におけるカドミウム含有量

て、樹皮の表面に付着したものと推察される。

つぎにカドミウム含有量をみると、図—16および図—17のように、鉛とは異なりどの部位にも比較的多く含有されている。

標準木別の含有量の変化はいずれも樹皮に多いが、決まったパターンは認められない。だが汚染地域を試料の方がやや多い傾向にある。

亜鉛の含有量は、図—18および図—19のとおりである。亜鉛はカドミウムと異なり、材部の部位別含有量に大きな変化はみられない。含有量は、外皮について内皮に多く、材部は5 ppm以下である。標準木別にみても外皮を除いては大きな差異はみられない。

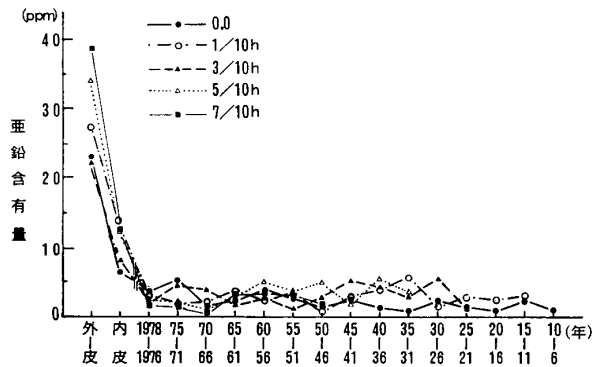
亜鉛は必須元素の一つとして全部位に均等に含有されているものと推定される。

針葉の重金属の含有量をみると(表—4)、鉛は材部と同様に含有量が少なく、カドミウム、亜鉛はどの試料にも、材部と同じかそれ以上の含有量がみられた。

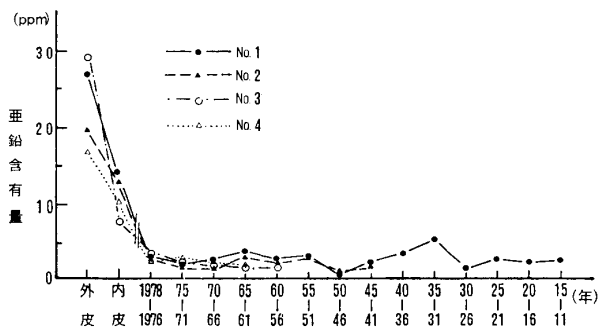
3) カリウム・窒素

植物体にとって、多量必須元素であるカリウムは、針葉・材部で、窒素については針葉について検討した。

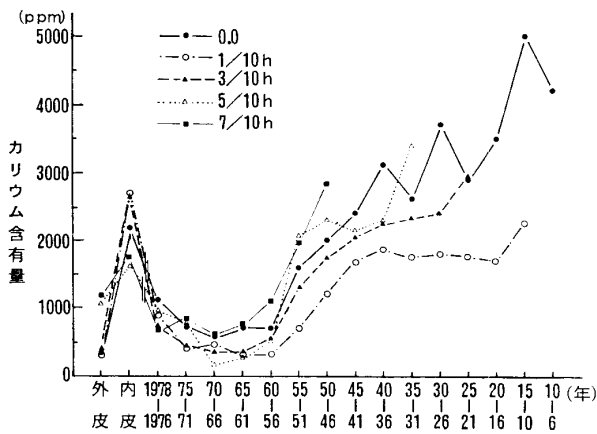
まず、No. 1 についてのカリウム含有量(図—20)をみると、外皮より内皮に含有量が多く材部においては辺材部より心材部が高い傾向を示し、心材部と辺材部との境界付近での落込みが目される。また部位別



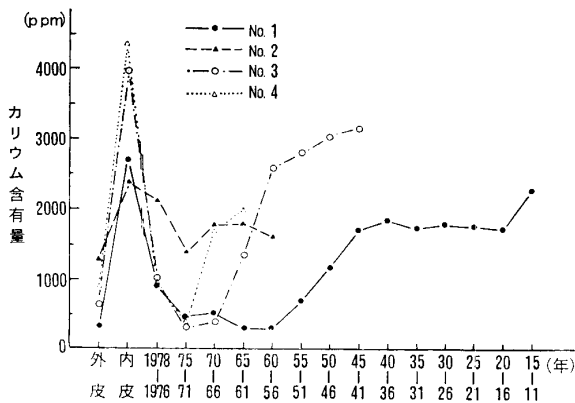
図—18 樹幹 (No. 1) の部位・年齢別亜鉛含有量



図—19 標準木別 1/10 h 部位における亜鉛含有量



図—20 樹幹（No. 1）の部位・年齢別カリウム含有量



図—21 標準木別1/10 h部位におけるカリウム含有量

にみると、外皮、材部では(0.0)部位が高く、1/10 hが低い値をとっている。そして梢端部に近づくにしたがって高くなる傾向にある。

ついでに相対高1/10 hについて、標準木別にみると(図—21)、内皮の含有量はNo. 3, No. 4で約4,000ppm、汚染地域のNo. 1, No. 2は2,500ppm程度と含有量が低くなっていることが特徴的である。

また、針葉のカリウム、および窒素の含有量は、表—4に示したとおりである。カリウムは3,800~7,022 ppmで内皮より多いが、部位や標準木別の変化に一定の傾向はみられなかった。窒素についても関連性は把握できなかったが、今後、環境変化との関係については、さらに詳細な解析が必要と考えられる。

総合考察

樹木の活力指標としてとりあげたバイバンド比と、それに影響すると考えられるいくつかの要因との個別的关系は前述のとおりである。ここでは、それらの関係を総合的にとらえることによって、活力指標とし

て用いたバイバンド比に対して、どの要因が強い影響を持つかを検討し、本実験でとりあげた要因の適否や測定方法などについて考察を行う。

検討の方法としては、バイバンド比を基準変数、材中の鉛・カドミウム・硫黄・亜鉛・カリウムおよび窒素の各含有量を説明変数とする重回帰分析により行った。

得られた重回帰式は

$$\hat{Y} = 0.113S + 0.043Zn + 0.048Pb - 0.086N - 0.161Cd + 0.043$$

重相関係数：R = 0.869

なお、 $\hat{Y}$ ：バイバンド比の推定値

S, Zn, Pb, N, Cd：木材中の各元素含有量となり、この回帰式の有意性の測度となるF値は、

$$F = 6.18 > \frac{5}{19} F = 5.64 \text{ (1\%有意水準)}$$

で著しく有意であることが認められた。したがって、この回帰式は有効なものと考えられる。

つぎに、各要因が基準変数の変化量にどれだけ影響しているかを、要因別の寄与率によってみることにする。この寄与率の大小順は、硫黄49.0%、亜鉛12.0%、鉛9.1%、窒素4.1%、カドミウム1.3%となり、これら各要因での寄与率合計が約75%に達している。したがって、各要因の相対的な貢献度は、ほぼこれに近いものと考えられる。

以上の結果から、もっとも寄与率の高かった針葉に含有する全硫黄について検討してみた。その結果、全硫黄含有量とバイバンド比の関係は、次式のようになった。

$$Y = 0.076X + 0.379$$

$$r = 0.70$$

X：全硫黄含有量 (mg/4.0g)

Y：バイバンド比

r：相関係数

これを図示すると、図—22のとおりである。この結果から、バイバンド比と針葉中の全硫黄濃度との関係は高い。また、大気中の硫酸化物と針葉中の全硫黄濃度は関係が深い(図—12)ことから、大気中の二酸化硫黄などの硫酸化物は針葉の活力を低下させる大きな要因であると考えられる。

このように検討をすすめてくると、樹木の活力や生長に大気汚染物質は、大きな影響を与えていることがわかる。

近年、大気汚染は広域化を示しているため、汚染の影響が低いと考えられている林地も、しだいに汚染が慢性化し、林木の生産力を低下させていることもあ

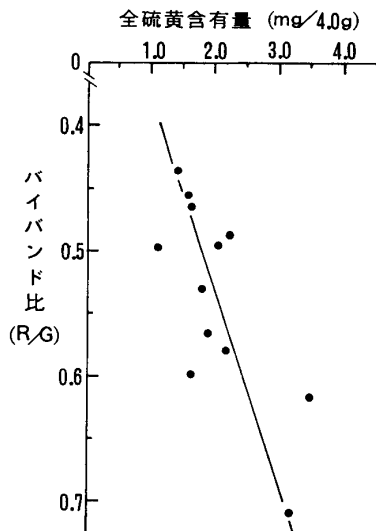


図-22 針葉のバイバンド比 (R/G) と全硫黄含有量との関係

りうると考えられる。したがって、今後、樹木の生理学的特性・土壌等を含め、常に林分の汚染状況を把握するとともに、今回用いたような光学的手法をもさらに発展させたり、リモートセンシングデータを利用することにより、林分の活力状態を総合的にしかも広域的に知ることが必要であろう。

なお、回帰分析は、京都大学大型計算機センター（主システム M-190）により、SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) の Function REGRESION を利用して行ったものである。

### 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、御指導を賜った京都府立大学 本吉瑠璃夫教授、服部共生教授ならびに試料の採取、測定、分析など御協力をいただいた京都府立大学 米林甲陽助教授、山田秀和博士、日野中学 中江三郎教諭、滋賀県今津県事務所 川道直介技師の各位に厚く感謝の意を表します。

### 引用文献

1) 中山博一 (1957): 林木材積測定学, 金原出版, 187-194

- 2) 松中昭一編(1979): 図説環境汚染と指標生物, 朝倉書店, 60
- 3) 日本薬学会編 (1973): 衛生試験法注解, 金原出版, 1139-1140
- 4) Philip L. Johohson (1969): Remote Sensing in Ecology., Univ. of Georgia Press, 17-28
- 5) アジア航測 K.K. (1974): 新しい写真技術, 赤外カラー写真, 7-11
- 6) キヤノンイメージ編集室 (1974): Remote Sensing, キヤノン K.K., 305-310
- 7) 日林協開発部 (1974): 赤外カラー写真, とくに植生との関連について, 航測技術情報シリーズ, 1, 6-7
- 8) 妹尾俊夫 (1978): リモートセンシングによる林木の活力評価のための基礎的研究 (I), 京府大演報, 21, 6-9
- 9) —— (1979): —— (II), ——, 22, 25-35
- 10) 本城尚正 (1976): 京都における大気汚染と樹木の活力度との関係 (1), 京府大学報, 28, 109-120
- 11) 本城尚正・妹尾俊夫・塩野裕司 (1980): ——, (II), 京府大演報, 24, 23-33
- 12) ——・——・—— (1980): —— (III), 京府大学報, 31, 17-124
- 13) 安藤萬喜男 (1975): 環境と生物指標, 1, 共立出版, 25-39
- 14) 鈴木 哲 (1975): 安中市 Cd 汚染地区のスギの年輪中の Cd, Zn, Pb 含有率, 日林誌, 57, 45-52
- 15) 芝本武夫 (1977): 森林の土壌と肥培, 地球出版, 75
- 16) 塘 隆男 (1971): 苗畑施肥と林地肥培, 地球出版, 26-27
- 17) 農林省農業技術研究肥料化学科 (1970): 植物中のいおうの定量について, 農技研肥料化学資料, 136, 8-9
- 18) 千葉盛人・渡部欣愛 (1972): 公害分析指針, 土・水・土壌編, 1, b, 23-27
- 19) 樋口隆昌 (1969): 樹木生化学, 共立出版, 189

### Summary

As the synthetical index of the tree vitality, we investigated the infrared bi-band ratio (R/G) of the leaf of SUGI (*Cryptomeria japonica* D. Don), which based on the characteristics of the spectral

reflectances, so as to clarify the influence of air pollution on the forest trees. Moreover, we examined some factors, those were supposed to concern the vitality, volume increments, chemical

elements, and their distribution.

Results were as follows;

1. The bi-band ratio had a positive correlation-ship between air pollution, and the trees, in the polluted areas, showed the vital decay.

2. Total sulfur contents in the leave also had a positive correlationship between air pollution.

3. High contents of heavy metals (Pb, Cd, Zn) were found at the outer bark of the trees, in the polluted areas. It was assumed that this was caused by the catchement of the floating dust.

4. Potassium contents of the inner bark, in the polluted areas, were lower than the control.