

京都における大気汚染と樹木の活力度との関係 (Ⅲ)

本城 尚正*・妹尾 俊夫*・塩野 裕司**

TAKA AKI HONJYO*, TOSHIO SENOO* and YUUJI SHIONO**

Relation between air pollution and vitality of tree in Kyoto (Ⅲ)

要旨: 大気汚染の進行にともなう、樹木は当然生理的障害を被り、樹勢は衰退するものと考えられる。その衰退の状態を早期にしかも適確に把握しようと、大気汚染度と樹木の活力度との関係について、継続調査を行っている。

本報告は、イチヨウ葉を用いて、光学的測定法によって樹木の活力の評価を行い、同時に活力差の要因と思われる大気汚染濃度、葉面付着汚染物質質量、葉中全硫黄含有量および葉の呼吸量などについて測定を行い検討を加えた。

その結果、活力評価の指標とした葉のバイバンド比 (R/G) と諸要因としてとりあげた、大気汚染度、葉面付着汚染物質質量、葉中全硫黄含有量とは正の相関関係が、また、葉の呼吸量とは負の相関関係が認められた。すなわち、本研究でとりあげた簡単な光学的測定法は、樹木の活力評価に対して有用なものと考えられる。

緒 言

経済の高度成長によって、われわれの生活は非常に豊かなものとなった。しかし、その反面公害として種々の問題をも生みだしている。

そのひとつとして大気汚染があげられる。汚染された大気が植物に及ぼす影響は極めて複雑であって、汚染物質の種類や濃度、気象条件、植物の種類そして生育している土壌などの環境条件によって、影響のあらわれ方もさまざまである。

したがって、大気汚染が植物に与える影響について検討を行うためには、影響を及ぼすと考えられる各種の条件をできるだけそろえ、長期にわたる継続調査が必要であろう。

樹木は長期間同一場所で生育をつづけているので、特定の環境のもとで長期間作用した環境要因の影響が

積算されたものとしてあらわれるから、この生育形や生活形を利用することは、物理化学的測定結果よりも、はるかに環境汚染については、適確な判定ができるものと推定される。

筆者等は、環境汚染による樹木の衰退の状態を早期にしかも適確に把握しようと、大気汚染と樹木の活力について、継続調査を行っている。

今回は京都市およびその南部に隣接する地域を調査地とし、最近、植物の活力評価の手法として注目を浴びている、赤外カラー写真による光学的手法を用いて樹木の活力の評価を行い、それと同時に活力の衰退の要因となっていると思われる諸要因の中で、外的要因として SO_3 、 NO_2 の濃度、葉面に付着しているばい塵量、内的要因として、葉の呼吸量、葉中の硫黄量についても測定を行い検討した。

* 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 Course of Kyoto University, Kyoto, Japan.

昭和54年7月28日受理

材料および方法

1 供試材料

供試樹種としてイチョウ (*Ginkgo biloba* Linn.) を選定した。イチョウは大気汚染に対して耐性が強いとされており、¹⁾²⁾³⁾ 活力測定には多少の疑問点もある。しかし、イチョウは1科1属1種で他の植物との交雑がないため、遺伝的にもっとも安定し、しかも大気汚染の進行が問題になっている全国各地の市街地に広範囲にわたって、街路樹等として植栽されているので、環境汚染との関係を検討するには、総合的にみて適当と判断して、イチョウを供試樹種として選定した。

調査地点は京都市内および京都市の南部に隣接する宇治市内より、Table 1 および Fig. 1 に示した8地点を選定した。

なお、交通量の少ない綴喜郡宇治田原町と京都府立大学構内の2地点を対照地とした。

採取時期の選定基準は、イチョウ葉が十分開葉した時期、夏期、そして落葉の準備に入る時期の3期として、1977年6月16日、8月7日および10月7日に供試材料の採取を行った。

採取にあたっては選定した採取地点で、肉眼的観察により、正常な生育状態の個体を選んで供試木とした。

葉の採取にあたっては、地上3~4mの範囲にあって、陽光を十分受けている樹冠部を選び、各採取時とも同一の枝から葉を採取した。葉は採取後、直ちにポリエチレン袋に入れ、アイスボックス内に保存した。

2 実験方法

1) 赤外カラー写真による樹木活力評価

赤外カラーフィルムの感光波長 530~900nm の中で、近赤外といわれる700~900nmの波長域では、植物は他の被写体に比べて極めて高い反射率を示す。一方600~700nmの赤色波長域の反射率は低い。この特性は、植物の種類によって、あるいは同じ種類の場合でも活力差によって著しい差が生じる。⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾

この現象を赤外カラー画像上でみると、健全な植物の葉は赤外域の反射による赤色が強く発色し、活力の低下につれて青か黄、そして白へと1バンドずつずれて各波長帯が表示される。

この葉像色調はそれぞれの光のみを透過するフィルターを用いて分光し、濃度測定器によって数値化することができる。そこで赤外カラー画像上でのGバンド(色素の吸収量)とRバンド(赤外線域の反射光量)の濃度値の比(R/G)を求めることとした。なお、この比はポジフィルムの透過濃度を測定しているため、活力が良いときは赤色(R)の濃度値が小さくなり、

一方、赤スペクトルの吸収量が大きければ、緑色(G)の濃度値が大きくなることから、そのバイバンド比が小さいほど活力が良いことになる。

供試材料の赤外線フィルムによる撮影は、第1回採取の6月16日の試料を用いて、採取当日に行った。

撮影は暗室内での人工照明によるもので、フィルムはコダック社の Ektachrome Infrared 2443 で、光源は東芝陽光ランプ400Wに電圧安定器をつけて用い、入射角および反射角のいずれも45°となる位置にカメラを設置して行った。

試料は25×30cmの黒色紙の試料台に3~5層に重ね、全面敷きつめて、カメラの画面いっぱいになるよう撮影した。また、濃度測定はレスカ社製の Photo Pattern Analyzer PPA-250 A型によって、フィルターはコダック社の Wratten 25 (Rフィルター) および Wratten 93 (Gフィルター) を使用した。さらに走査スポットは0.08×0.08mmとして行った。なお濃度値は画面中央部を横にスキャンしたものを、そのスキャンライン長で除した平均値で示した。

2) 大気汚染調査

各調査地点の大気汚染度を測定し、他の測定結果と比較検討を試みた。測定方法は、1977年9月1日から9月30日の1カ月間、アルカリろ紙法¹⁰⁾を用いて、硫酸化物(SO₂)および窒素酸化物(NO₂)の測定を行った。

3) 葉面汚染物質質量

大気中の汚染物質によって、葉面が被覆されたり、気孔の機能が阻害されたりすれば、受光量が減少し、葉のガス交換率も低下して、光合成、蒸散などが低下することは明らかである。また降下ばい塵量の多い地域では、葉面汚染物質質量も多い傾向がみられている。¹¹⁾

したがって、葉面汚染物質質量の測定が、樹木の活力判定の一方法とすることが可能と考えられる。

葉面汚染物質質量の測定は次に示す方法によった。前述の調査日3回にわたって、各調査地点の供試木より50枚の葉を採取し、純水で葉面付着の汚染物質を刷毛を用いて洗い落とし、その洗液は蒸発皿に移し、蒸発、乾固後105°Cで乾燥し、汚染物質全量として測定した。

さらに、全量を電気炉で強熱(600°C)し、灼熱残渣量および灼熱損失量を求めた。なお、水洗葉は保存し、全硫黄量の測定試料とした。

4) 葉の呼吸量

植物は光合成によって蓄積したエネルギーを、必要に応じて有機物の酸化分解によって再び引きだし、生体内の種々の合成反応に使用する。このような目的で営まれる作用が呼吸作用である。¹²⁾ 植物の場合は、正

Table 1. Sampling Place

No.	
1	KITAYAMA st. (IWAGAKAKIUCHI-CHO, KITAKU, KYOTO C.)
2	RAKUHOKUKOKOMAE (SHIMOGAMO, NISHIHONMACHI, SAKYOKU, KYOTO C.)
3	KAWARAMACHI OIKE (NAKAGYOKU, KYOTO C.)
4	KAWARAMACHI GOJYO (SHIMOGYOKU, KYOTO C.)
5	KUJYO OHMIYA (MINAMIKU, KYOTO C.)
6	EX-OGURAIKE LAND EXTENSION OFFICE (OHGAWARA, OGURA-CHO, UJI C.)
7	OGURA (ROUTE 24, KAGURAGAWA, OGURA-CHO, UJI C.)
8	MAKISHIMA (KITAUCHI, MAKISHIMA-CHO, UJI C.)
9	UJITAWARA (UJITAWARA TOWN HALL. ARAKI, UJITAWARA T., TSUZUKI GUN, KYOTO PREF.)
10	KYOTO PREF. UNIV. (HANGI-CHO, SHIMOGAMO, SAKYOKU, KYOTO C.)

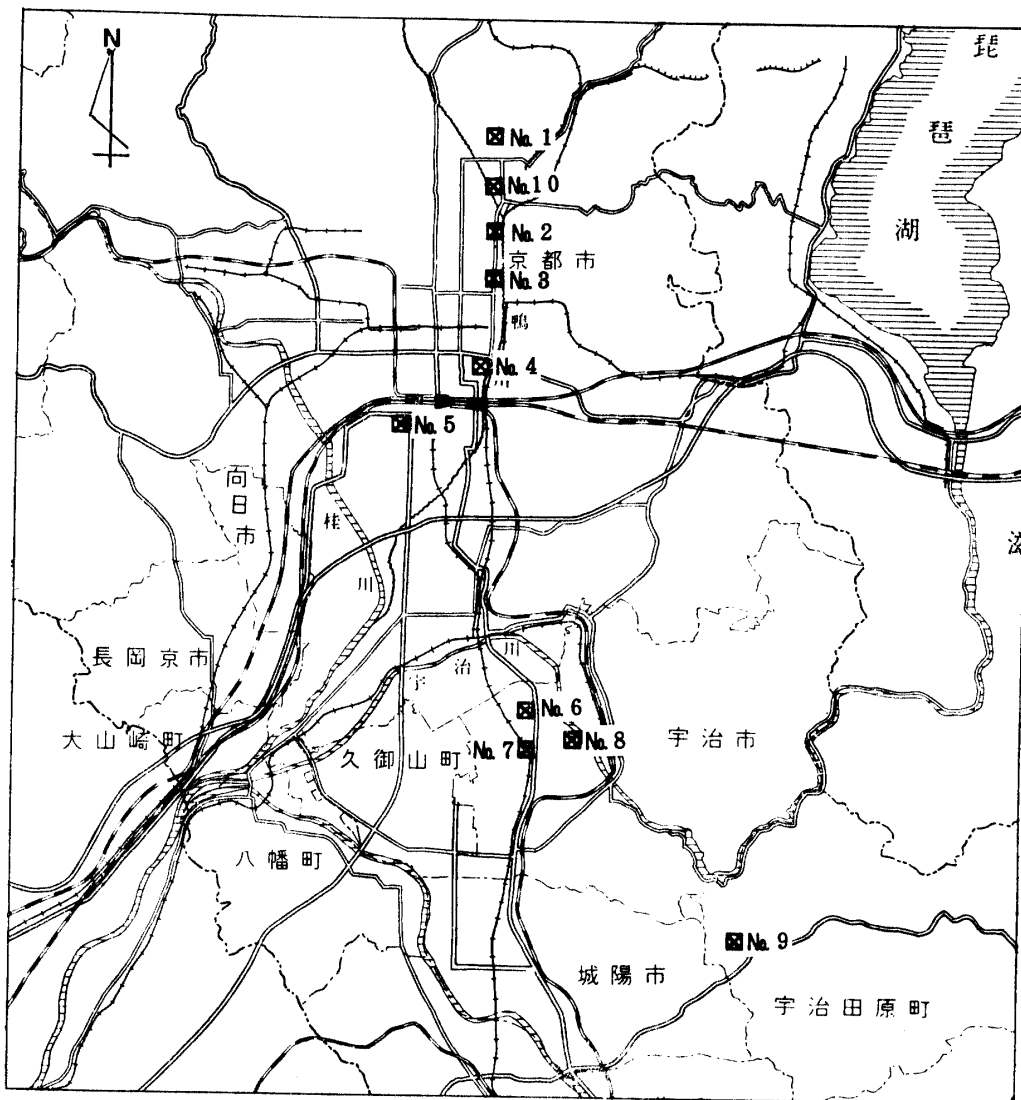


Fig. 1. Location of sampling plot

常呼吸で酸素のあるところで行われ、葉の気孔、茎の皮目などで、ガス交換を行っている。このガス交換を行っている葉の気孔が環境汚染によって、表面を汚染されたり、物理的に気孔がふさがれたり、また、有害物質により気孔の孔内細胞が、破壊されることなどによって、ガス交換は著しく阻害され、正常な生育は続けられなくなる。

このことを重視して、環境汚染度の判定の一方法として、葉の呼吸量を測定した。

測定は、日立堀場 - 植物同化作用測定装置 - ASSA - 1100型を用いて暗呼吸すなわち、放出される CO_2 量を測定して近似的な値を求めた。測定は8月7日の採取葉を用いて行った。

5) 葉中の全硫黄量

硫黄は、根と茎から吸収され、根から吸収された硫黄は、大部分有機態の不溶性硫黄を形成する。一方葉はガス交換によって大気中の低濃度の二酸化硫黄でも、よく吸収し、主として無機態の水溶性硫黄として葉内に蓄積されることが認められている。¹¹⁾¹³⁾ 一般に不溶性硫黄の含有量は、樹種により一定の幅をもっているが、水溶性硫黄の含有量は、樹種により異なるばかりでなく、大気中の硫黄酸化物の存在量により左右される。

このことから、全硫黄（不溶性硫黄と水溶性硫黄の和）を定量することによって、大気中から吸収された水溶性硫黄が推定でき、大気汚染度や樹木の活力判定の指標になるものと考えられる。

供試材料は、前述の3回にわたって採取したものを水洗葉と未水洗葉とにわけて定量した。定量方法は硫酸バリウム重量法¹⁴⁾を用いた。

結 果

1 赤外カラー写真による樹木活力評価

大気汚染が樹木の生育に影響を及ぼすとすれば、各調査地点のように異なった環境で生育している樹木にも当然生育状態（活力度）に差異があると考えられる。そこで光学的な方法によって樹木の活力度の検討を試みた。

まず、赤外カラー写真を撮影し、そのポジ画像より求めた。各試料のバンド濃度値ならびにバイバンド比の結果は、Table 2 に示したとおりである。赤外カラーフィルムは感度が非常に良いから、撮影条件や写真処理などの微妙な差異も画像の色の変化となってあらわれてくるのが考えられるので、ここでは濃度値の絶対値の比較はさけて、RバンドとGバンドとのバイバンド比として求めることによって、一部の補正すべ

Table 2. Bi-band ratio of GINKGO leaves
(16 Jun. 1977)

No.	R	G	R/G
1	0.32	0.75	0.43
2	0.36	0.78	0.46
3	0.38	0.71	0.54
4	0.41	0.78	0.53
5	0.36	0.76	0.50
6	0.37	0.81	0.46
7	0.37	0.77	0.48
8	0.35	0.84	0.41
9	0.31	0.77	0.40
10	0.32	0.76	0.42

き条件が相殺されるように考慮した。

また、今回の撮影には測定個所が10個所と少なかったため、1本のフィルムによる同一条件の撮影ならびに現像処理を行ったものであるから、フィルムの差異による補正は考慮する必要はないと思われる。

測定結果から、測定地10個所のバイバンド比の平均をとると0.46となり、バイバンド比にもとづく各測定地の樹木の活力評価をしてみると、No. 1（北山通り）、No. 8（宇治市榎島）、No. 9（宇治田原）および No. 10（府立大学構内）の4個所のバイバンド比の値は、他の地点の値に比べてかなり低く、良い環境条件にあり、生育は良好で活力度も高いと考えられる。これに反して、No. 3（河原町御池）、No. 4（河原町五条）および No. 5（九条大宮）の3個所は、バイバンド比が高いことから、相当悪い条件で生育していることがうかがわれる。その他の No. 2（洛北高校前）、No. 6（旧巨椋池土地改良区事務所）および No. 7（宇治市小倉）の3個所は、中間の値を示した。

樹勢衰退の原因は、大気汚染のみに起因するものではないが、大気汚染度の測定結果と樹勢の衰退度合とは相関関係があるものと推定される。

この両者の相関関係の評価については、調査地点別に他のいくつかの要因との相関性についても検討したうえで行わねばならないので、他の要因との相関関係もまとめて考察で述べる。

2 大気汚染調査

各調査地でのアルカリろ紙法による、大気汚染度 (SO_3 および NO_2) の測定結果を、Fig. 2 に示した。この結果から、 SO_3 および NO_2 とも同様の傾向を示している。すなわち、工場があり住宅が密集して、そのうえ大型自動車の交通量が多い地点である No. 5（九条大宮）、No. 4（河原町五条）および No. 3（河

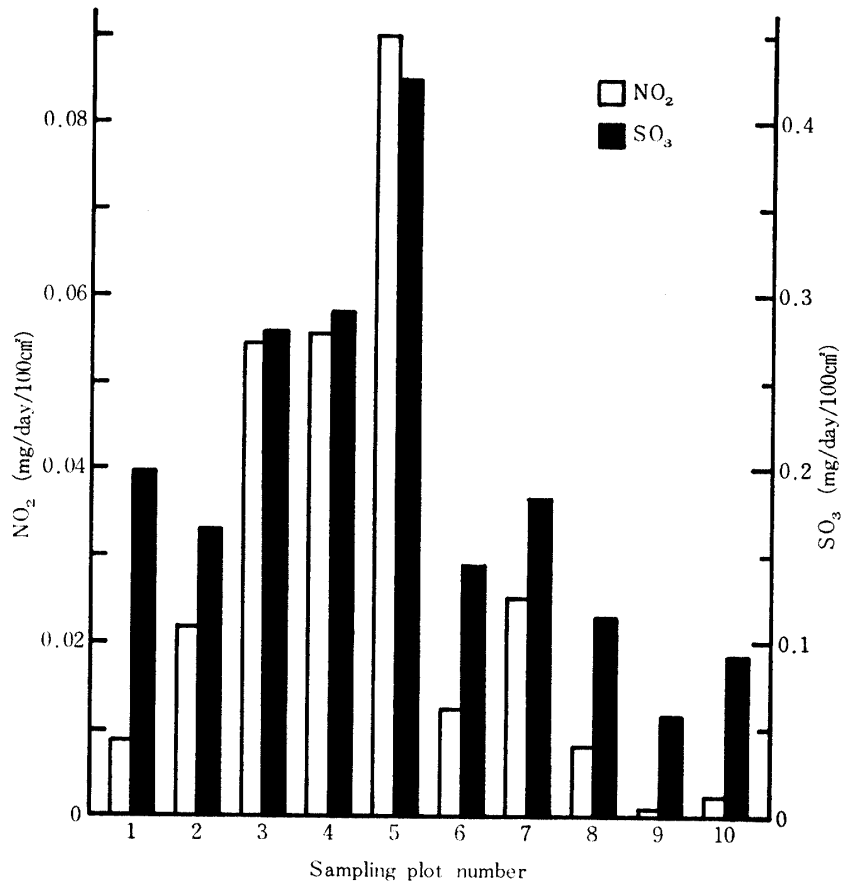


Fig. 2. Contents of NO₂ and SO₃ at sampling plot (1977 Sept.)

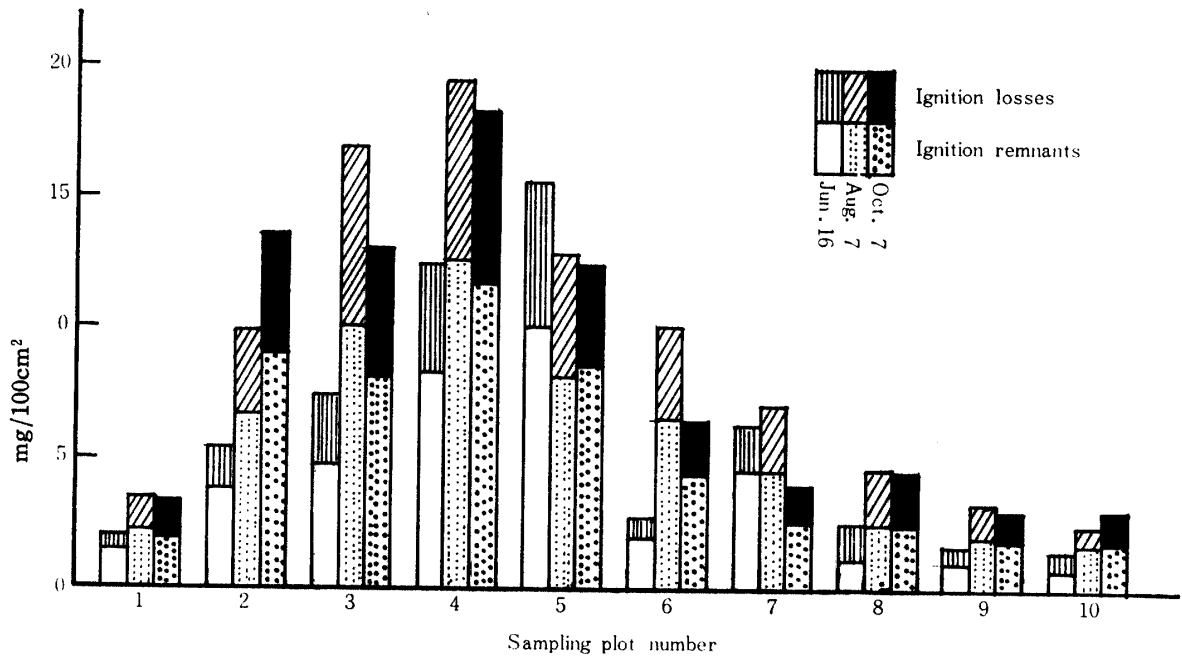


Fig. 3. Dry weight of dust on GINKGO leaves (1977)

原町御池)は高い値を示している。それとは逆に京都市郊外の南部の地域や住宅地で交通量の少ない地点の No. 9 (宇治田原), No. 10 (府立大学構内) および No. 8 (宇治市榎島)などは非常に低い値を示した。

3 葉面汚染物質質量

葉面汚染物質質量の測定結果は, Fig. 3 に示した。表示は葉面積 (片面基準) 当り $\text{mg}/100\text{cm}^2$ で示し, 成分表示として, 砂じん, 灰分などの無機成分である灼熱残渣量およびタール状物質などの有機成分である灼熱損失量をあげた。

経時的变化をみると, No. 5 (九条大宮) は国道1号線で京都の市街地域に入る交通の要所であるため, 特に交通量が多く, 大型車の通過台数も多いことから, 開葉当初の6月16日の測定時点で, すでに高い値を示しているのが特徴で, 他の地点と異なった傾向を示している。全般的にみて, 大気汚染度の高かった地点, すなわち, No. 3 (河原町御池), No. 4 (河原町五条) および No. 5 (九条大宮) は, 葉面に付着している汚染物質質量が多い。

なお, 成分比 (灼熱損失量, 灼熱残渣量) に関しては, 今回の測定結果では, 一定の傾向が認められず, 特に活力度との関係はみいだせなかった。

4 葉の呼吸量

前述のように葉面が汚染物質でおおわれ, 気孔までふさがれた葉とそうでない葉とでは, 当然同化量, 呼吸量が異なるのでそれらを測定することによって, 活力度を判定しようと試みた。その結果は, Fig. 4 に示したとおりである。

この結果から, 大気汚染度や葉面付着物質 (ば

い塵) 量の値が小さい No. 8 (宇治市榎島), No. 9 (宇治田原) および No. 10 (府立大学構内) は呼吸量が非常に高い値を示した。これに反して, 大気汚染度や葉面汚染物質質量の値の高い No. 3 (河原町御池), No. 4 (河原町五条) および No. 5 (九条大宮) の地点の呼吸量は極端に低い値を示している。このことが大気汚染などによって気孔に何らかの害を受けている葉は, 呼吸量が減少するという傾向が認められた。

5 葉中の全硫黄量

前にも述べたように, 樹木の葉はガスの影響を受けやすく, 主要な大気汚染物質である亜硫酸ガスをよく吸収し, 葉中の硫黄含有量が増加する。したがって, この硫黄含有量を定量することによって, 大気汚染の度合, すなわち活力度の推定も可能であると考えられるので, 葉中の全硫黄の定量を行った。

全硫黄の測定結果は, Fig. 5 に示したとおりである。この結果から, 水洗葉と未水洗葉とでは, 調査時期に関係なくどの調査地点でも, あまり差は認められなかった。また, 開葉後あまり経過していない6月16日の定量では, 各地点の葉中の全硫黄含有量は, No. 5 (九条大宮) を除いて, あまり著しい差異は認められなかったが, 日時が経過するとともに含有量は増加することが認められた。特に大気汚染度の高い地点, すなわち, No. 4 (河原町五条) および No. 5 (九条大宮) は, 全硫黄の増加量が極めて多い。つづいて No. 2 (洛北高校前), No. 3 (河原町御池) および No. 7 (宇治市小倉) で, 大気汚染度の低い No. 9 (宇治田原) および No. 10 (府立大学構内) は増加量も少ない結果となった。

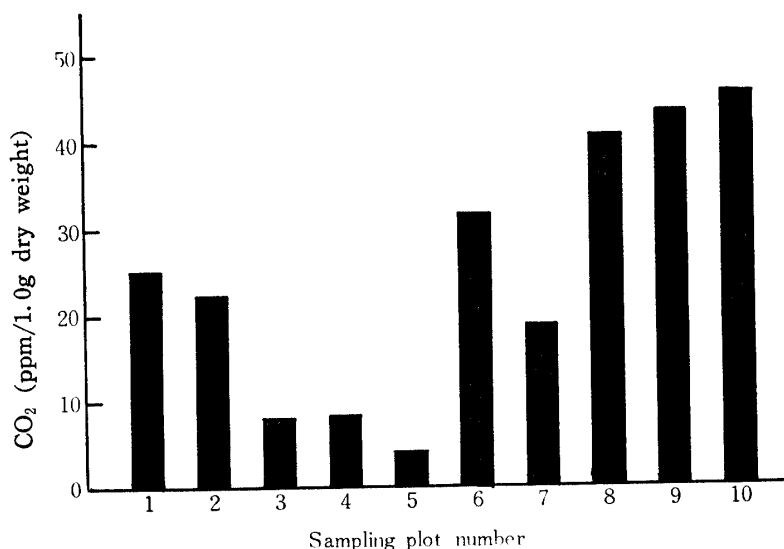


Fig. 4. Respiration volume of GINKGO leaves (7 Oct. 1977)

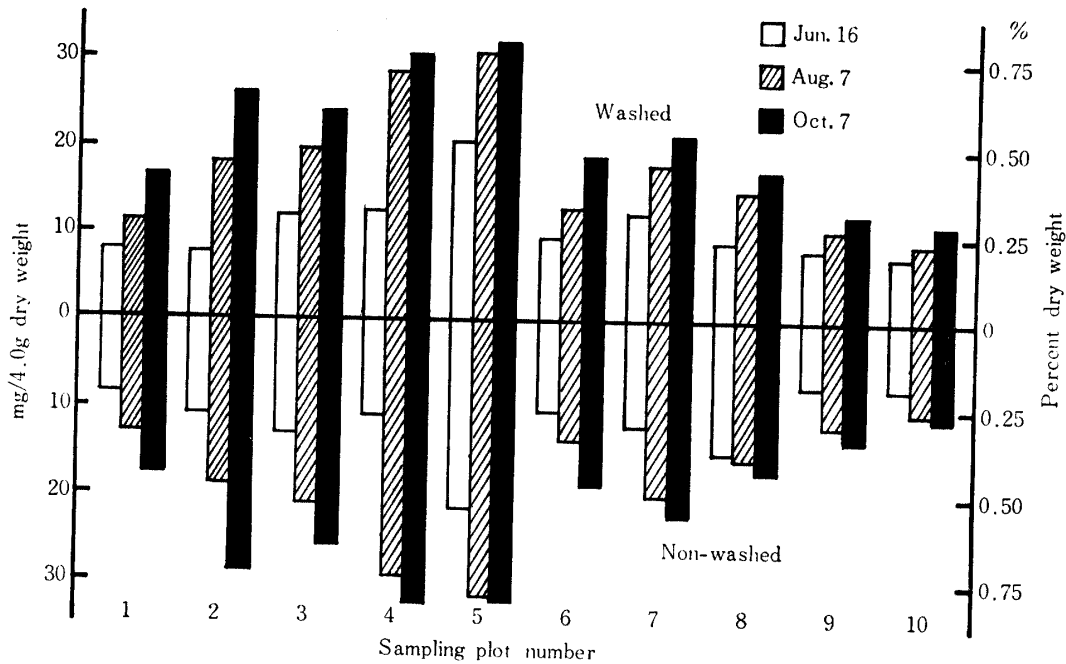


Fig. 5. Total sulfur contents of GINKGO leaves (1977)

なお、No. 2（洛北高校前）が、大気汚染度に比較して、葉中の全硫黄含有量が異常に高い値を示した理由は、丁度その測定時期と下鴨本通りの市電の廃線に伴う工事とが重なり、大型重機類が数多く投入されたためではないかと推定している。

以上の結果から、大気汚染と葉中の全硫黄含有量との間にも、ある程度の相関関係が認められた。

考 察

樹木が可視的な被害症状を発現する以前の状態にある葉を種々の観点から分析することによって、樹木の活力低下に影響を及ぼす諸因子について検討を行い、さらに測定結果にもとづいて樹木が大気汚染の指標となり得るか否かについても考察してみよう。

調査地のイチョウ葉を光学的測定法によって求めた

バイバンド比 (R/G) と、大気汚染度（アルカリろ紙法による SO₃ および NO₂）の測定値、そして、葉面汚染物質質量、葉の呼吸量および葉中全硫黄量の各測定結果を対象として、相互の相関を求めた。その結果は、Table 3 に示したとおりである。

この結果、それぞれの因子間に有意差が認められ、それぞれ相互に相関関係のあることが判明した。

すなわち、大気汚染度が高い地点では、バイバンド比は高く、葉面汚染物質質量および葉中全硫黄量は多くなり、呼吸量が減少することが明らかとなった。

このように、大気が汚染されることによって、植物はいろいろと生理的障害をきたし、さらにその汚染が進むと樹木の活力は、ますます低下するという傾向をとるものと考えられる。

したがって、樹木の活力度がその樹木の生育する地

Table 3. Correlation coefficients and significance test between SO₃, NO₂, R/G, D, CO₂ and S

	SO ₃	NO ₂	R/G	D	CO ₂	S
SO ₃	—					
NO ₂	0.929***	—				
R/G	0.798**	0.825**	—			
D	0.698*	0.749*	0.813**	—		
CO ₂	-0.921***	-0.897***	-0.914***	-0.772**	—	
S	0.841**	0.860**	0.825***	0.906***	-0.910***	—

R/G : Bi-band ratio

D : Dust

CO₂ : Respiration

* Significant at 0.05 level

** Significant at 0.01 level

*** Significant at 0.001 level

点での環境の状態を示し得るといえることがいえよう。すなわち、本研究に用いた簡単な赤外カラー写真から、バイバンド比を測定することによって、樹木の活力度の評価が可能であり、このバイバンド比がその地点での環境の汚染度の指標となり得るものと考えられるが、まだ多くの問題が残されているので、さらに詳細な研究の必要があるように思われた。

謝 辞

本研究を行うにあたり、御指導を賜った京都府立大学農学部 本吉瑠璃夫教授、ならびに試料収集などにご協力をいただいた京都府衛生部公害対策室の各位、および京都府立植物園技師 兼松信夫氏に心から謝意を表す。

引用文献

- 1) 埜田 宏 (1974) : 環境汚染と指標植物, 共立出版, 84-87
- 2) 松中松一 (1975) : 指標生物, 環境汚染を啓示する, 講談社, 58-59
- 3) 四手井綱英ほか (1976) : 森林保護学, 朝倉書店, 167-173
- 4) アジア航測 K. K. (1974) : 新しい写真技術, 赤外カラー写真, 7-11

- 5) キャノンイメージ編集室 (1974) : Remote Sensing, キャノン K. K., 305-310
- 6) 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
- 7) 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, 京府大学報, 28, 112-113
- 8) 妹尾俊夫 (1977) : 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) 建設省国土地理院 (1978) : 写真情報による都市環境調査技法に関する研究報告書, 80-83
- 10) 日本薬学会 (1973) : 衛生試験法注解, 金原出版, 1139-1141
- 11) 日本生態学環境専門委員会 (1975) : 環境と生物指標, 1, 陸上編, 共立出版, 2-6
- 12) 戸塚 績・木村 充 (1973) : 植物の生産課程, 生態学講座, 9, 共立出版, 44
- 13) 安藤万喜男・竹内正幸 (1973) : 樹木の葉の硫黄吸収能, 日林講, 84, 415-418
- 14) 農林省技術研究所肥料化学科 (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

Summary

As the environment advances in air pollution, trees must be suffered the physical damages, and results in vital decay.

We have been studing the relation between air pollution and vitality of trees. This time we have examined about ICHOU (*Ginkgo biloba* Linn.) leaves.

We have used the optical measurement for the estimation of vitality of trees, and investigated into some factors, — air pollution (SO_3 and NO_2), dust

weight on leaves, respiration volume of leaves, total sulfur contents in leaves, — which must have important effects on the vitality of trees.

As a result, bi-band ratio, obtained from optical measurement, has showed positive correlation to the air pollution, the dust, the sulfur contents, and negative correlation to the respiration.

This simple optical measurement are expected to be available method for the estimation of vitality.