

京都における大気汚染と樹木の活力度との関係(Ⅳ)

本城尚正*・妹尾俊夫*・塩野裕司**

TAKAAKI HONJYO , TOSHIO SENOO and YUUJI SHIONO

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

要旨 本報告は大気汚染と樹木の活力度との関係について、サクラの葉を供試材料として実施した京都府南部地域における調査研究の成果の概要である。活力度評価の指標とした葉のバイバンド比 (R/B) とその要因としてとりあげた大気汚染度 (SO₃, NO₂)、葉面付着汚染物質質量、葉中全硫黄含有量とはいずれも正の相関関係が認められた。

各要因がバイバンド比に及ぼす影響度の順位とその妥当性を回帰分析によって検討した結果、各要因の基準変量への寄与率の順位は、葉面付着汚染物質質量 78.4%、SO₃ 11.7%、NO₂ 1.4%、葉中全硫黄含有量 0.2% で、これらの寄与率合計 91.7% となった。したがって、ここで用いた要因で指標に対する影響力のほぼ全体の大きさとその順序を知ることができた。

したがって今回の実験では、用いた光学的手法の有効性を再確認することになった。

緒 言

植物の中でも特に樹木は、寿命が長くその生立場所における過去から現在に至るまでの環境条件を総合的に集積した形で表われてくる。このような樹木の特性を応用して、筆者らは環境の汚染と樹木の活力度との関係について継続的に測定し、特に樹木の衰退の状態を早期にしかも適確に把握する方法について検討するとともに、各地域の環境汚染の評価をも行ってきた。

前回までは京都市およびその周辺部において、主として街路樹として植栽されているイチョウを供試材料に用いたが、今回は京都府南部を対象として、大気汚染に弱いとされているサクラ(ソメイヨシノ)^{1),2)}を用いて検討を行った。

測定方法は、前回同様^{3)~5)}容易に測定しうる光学的測定法を主とし、あわせて活力低下の要因と考えられる因子について葉分析をもとりあげた。

本報告は以上のような方法によって調査測定した結果をもととして、京都府南部地域の大気汚染と樹木の活力度について検討を行ったものである。

材料および方法

1. 供試材料および採取地点

供試材料としてソメイヨシノ (*Prunus yedoensis* Matsum.) を選定した。いままで供試材料としてとりあげてきたイチョウが、今回の調査地点では極めて少なかったため、イチョウにかわってどの地点にも生立し、しかも大気汚染に敏感に反応するソメイヨシノを最も適当な供試材料とみなした。

調査地点は京都府の南部地域(宇治市、城陽市、八幡市、久世郡、綴喜郡、相楽郡)から Table 1 および Fig. 1 に示した14地点を選定した。なお、京都府立植物園を対照地としてとりあげた。

京都府の南部地域を選定した理由は、近年この地方は京都市、大阪市のベッドタウンとして都市化が目立つとともに、それに伴う産業の発展などとあいまって、各道路では交通渋滞や大気汚染がかなり進んできている。さらに、本地域は京滋バイパス、大久保バイパス、京奈バイパス、山城運動公園への進入道路など多くの道路計画があり、今後ますます大気汚染が憂慮

* 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.

** 京都府宇治市南宇治中学

Minamiuji Junior High School, Kyoto, Japan.

昭和56年7月6日受理

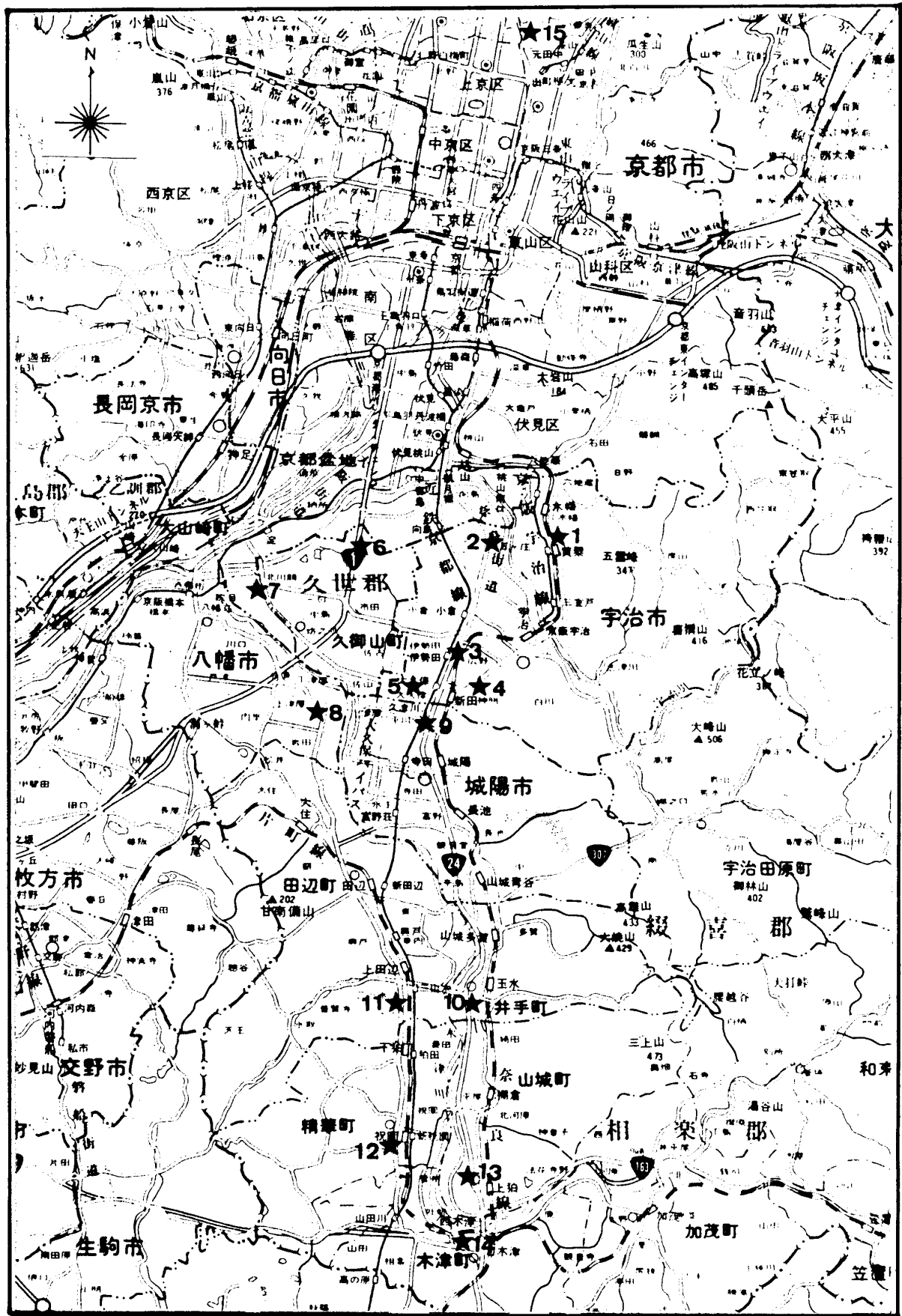


Fig. 1. Location of sampling plot.

Table 1. Sampling Plot

No.	
1	Gokasho Uji City 宇治病院 (宇治市五ヶ庄芝東54)
2	Makishima Uji City 京都文教短期大学 (宇治市槇島千足80)
3	Ogura Uji City 宇治市立小倉小学校 (宇治市小倉西畑13)
4	Hirono Uji City 京都府立城南高等学校 (宇治市広野丸山10)
5	Ohkubo Uji City 陸上自衛隊大久保駐とん地 (宇治市大久保町)
6	Kumiyama Town Kuze District レストラン京阪 (久世郡久御山町東一口)
7	Yawata Yawata City 京都府立消防学校 (八幡市八幡樋之口15-15)
8	Koutsuya Yawata City 大谷 優宅 (八幡市上津屋浜垣内18)
9	Hirakawa Joyo City 上田 将宅 (城陽市平川横道48)
10	Ide Town Tsuzuki District 京都府井手保健所 (綴喜郡井手町井手橋ノ木)
11	Tanabe Town Tsuzuki District 田辺町立三山木小学校 (綴喜郡田辺町三山木南垣内6)
12	Seika Town Sohraku District 小西幹男宅 (相楽郡精華町祝園榎ヶ坪27)
13	Yamashiro Town Sohraku District 上狛車庫前 (相楽郡山城町上狛)
14	Kizu Town Sohraku District 木津町役場 (相楽郡木津町南垣外110)
15	Sakyo-Ku Kyoto City 京都府立植物園 (京都市左京区下鴨半木町)

されるので、今後の基礎資料としても現在の環境の状態を把握しておくことが必要と考えられるため本地域をとりあげた。

試料とするサクラの葉の採取時期は、現在までの測定結果により夏期から秋期にかけて行うことが望ましい^{3)~5)}ので、1979年7月31日と11月1日を選び供試材料の採取を行った。

その採取方法は正常な生育状態の個体を選定し、その個体から地上3.0~4.0mの範囲にあって、陽光が十分あたる樹冠部の枝を選び、各採取時とも同一の枝か

ら葉を採取した。なお、採取後は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

現在までの研究結果^{3)~5)}から、樹木の活力が樹葉の近赤外線域の分光反射率、赤外カラー写真によるパイバンド比など光学的測定によって、早期に判定しうることが可能と考えられるので、今回の測定においてもこれらの光学的測定を用いた。さらに、活力度に最も相関関係の大きいことが判明している葉面付着汚染物質質量、葉中の全硫黄含有量を分析するとともに、調査地の大気汚染度を並行して測定し、それぞれの要因について解明を試みた。

以下に前報と一部重複するがその実験方法について述べる。

1) 葉の分光反射率による活力評価

樹木の葉の分光反射曲線は、既報告^{3)~5)}にも示したとおり、可視光線波長域(400~700nm)の540nm付近(肉眼では緑と感知できる波長域)で同一の健全な樹種については共通したピークを持ち、植物の種類や何らかの理由で葉緑素が破壊されるとこのピークに差が生じて、相互に区別できるようになる。また、700nm以上の近赤外線波長域になると、葉の分光反射率は、可視光線波長域より大きな反射率を示し、かつ活力の低下による反射率の差が、可視光線域のそれよりもはるかに大きくなる。つまり可視光線域より、近赤外線域の葉の分光反射率の特性をとらえた方が効果的である^{6)~9)}とすることができる。ここでは、前報⁴⁾と同様の方法で分光反射計を用いて、供試材料の分光反射率を測定し、その近赤外線域の反射率より樹木の活力度の判定を試みた。

2) 赤外カラー写真による樹木活力評価

黒体でない物体は、入射する電磁波を反射する性質をもち、入射量と反射量との比を反射率と呼んでいる。それは物体の種類により、また波長によってさまざまであるが、葉緑素をもつ樹木の分光反射特性は他の非植物体とはことなっており、明らかに識別しうる共通パターンを緑色域から近赤外線域の波長帯にかけて持っている。

しかし、この共通パターンは樹種別、生理的活性度のちがいによって微妙に変化する^{6)~8)}。本調査では、この特徴ある変化量を赤外線カラーフィルムでとらえ、その色調差を数値化することによって樹木活力度を推定しようとするものである。

測定にはその観察条件を統一する必要があるので、採取した試料を前報⁴⁾と同様の方法で撮影し、濃度計によってそのポジフィルムの赤要素と青要素の濃度比

(R/B) を求め、その値の大小によって評価した。

使用したカメラはアサヒペンタックス SP, フィルターはコダックのゼラチンフィルター Wratten No. 12, 濃度計は明日香工業社の OZ 802 型を用いた。

3) 大気汚染調査

各要因の妥当性をうるため調査地点の大気汚染度についても測定を行った。汚染度としてはアルカリろ紙法¹⁰⁾による硫酸酸化物 (SO₂) および窒素酸化物 (NO₂) の測定値を用いた。

測定は7月1日～7月31日に行った。

4) 供試木の葉分析

本調査の主目的は、樹木の活力度を前項に示した光学的測定法によって、初期症状のうちに適確に判定しようとするものであるが、その光学的測定に対するグランドトゥースとして、樹葉の分析をあわせて行った。

(1) 葉面付着汚染物質質量 (粉塵量)

樹葉が粉塵で被覆されると、当然種々の生理的障害があらわれ、活力差が生ずる^{9), 10)}と考えられているので、葉面の付着汚染物質質量の多寡を活力判定の指標とすることとした。

測定は2回の調査日 (1979年7月31日および11月1日) に各試料木から、50枚ずつ葉を採取し、筆を用いて水洗し、その洗液を蒸発、乾固して汚染物質質量とした。さらに電気炉で強熱し、灼熱損失量および灼熱残渣量を求めた。

(2) 葉中の全硫黄含有量

前報⁴⁾でも述べたように、樹木の活力度とその葉中に含まれる全硫黄とは高い相関関係が認められるので、今回のサクラについても前回と同様に硫酸バリウム重量法¹⁰⁾を用いて、全硫黄量を定量した。

定量は前述の2回にわたって、水洗葉、未水洗葉について行った。

結果と考察

光学的測定法によって求めた測定結果およびその適用性について検討を行うために、まず測定を行った各要因別に検討し、最後に、総合的な考察を行う。

1. 葉の分光反射率による活動評価

サクラ葉の分光反射率の測定結果についてみると、可視域では各調査時期、各調査地点において著しい差は認められなかったが、近赤外線域の700～900 nmでは各採集葉の特性が顕著にあらわれた。この範囲の数値を平均すると Table 2 のとおりである。

この測定結果をみると、どの調査地点においても夏期の7月31日より秋期の11月1日の測定値が低くなっている。これは汚染による樹勢の衰退が主な原因と

Table 2. Mean reflectance of IR-band

Plot No.	Jul. 31	Nov. 1
1	72.21	57.95
2	70.43	51.30
3	65.08	46.86
4	67.84	49.60
5	69.48	55.55
6	60.01	44.73
7	65.85	47.06
8	72.33	58.71
9	70.11	59.19
10	62.06	45.77
11	71.78	59.72
12	65.64	51.10
13	66.47	49.04
14	63.88	47.32
15	79.95	64.84

考えられるが、その他にサクラは落葉樹であって、11月には落葉の準備期に入るため、葉の活力が低下していることも影響しているものと考えられる。

調査地点別にみると、大型自動車の交通量が多く、しかも渋滞を重ねる No. 6, 10 および 14 の地点では反射率は低い値を示しており、活力の低下を意味している。この低い値は、交通量の多い道路から離れている植物園 (No. 15) が高い反射率を示しているのと対照的である。

このように、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、大気汚染度との間に相関関係があるものと推定される。

Table 3. Bi-band ratio (R/B)

Plot No.	Jul. 31	Nov. 1
1	0.457	0.601
2	0.473	0.618
3	0.576	0.663
4	0.480	0.638
5	0.466	0.605
6	0.625	0.689
7	0.563	0.658
8	0.449	0.555
9	0.460	0.540
10	0.617	0.677
11	0.439	0.523
12	0.589	0.621
13	0.542	0.633
14	0.613	0.642
15	0.403	0.500

2. 赤外カラー写真による樹木の活力評価

各供試葉のポジ画像により求めたバイバンド比 (R/B) の測定結果は、Table 3 に示すとおりである。赤外カラー写真は、その応用原理において前述の分光反射率測定と同様であるが、バイバンド比と分光反射率との間の相関関係を各測定日別にみると

7月31日測定結果 $r = -0.930^{***}$

11月1日測定結果 $r = -0.966^{***}$

(***: 有意水準 0.01%)

となり、両者間には非常に高い相関関係が認められた。つぎに、バイバンド比と近赤外線域の平均反射率との

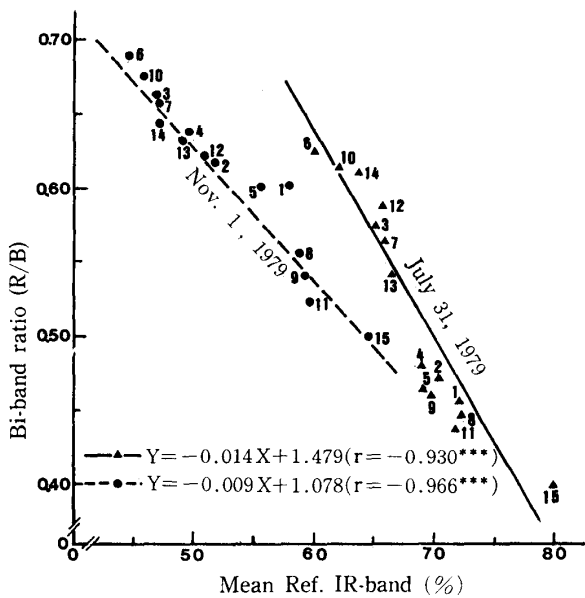


Fig. 2. Relation between Bi-band ratio (R/B) and mean reflectance of near IR-band.

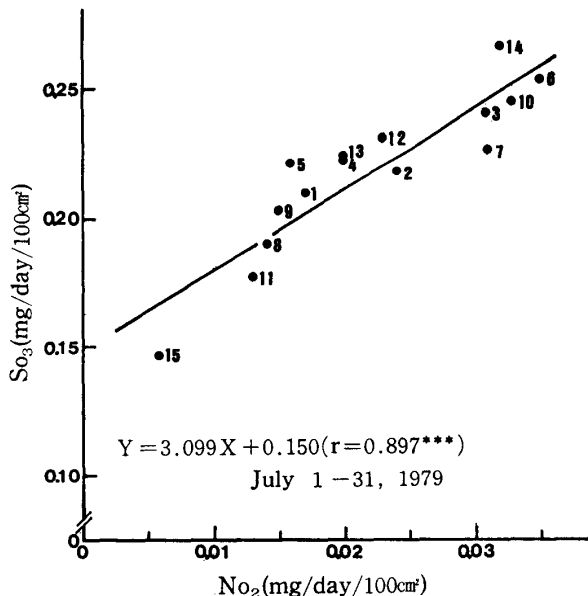


Fig. 3. Relation between SO₃ and NO₂.

関係を図示すると、Fig. 2 のとおりである。

これらの結果から分光反射率と高い相関関係にあるバイバンド比も、活力度の評価に応用できるものと考えられる。

3. 大気汚染調査

各調査地点で、アルカリろ紙法により大気中の硫黄酸化物 (SO₃ mg/day/100 cm²) および窒素酸化物 (NO₂ mg/day/100 cm²) を測定した。

その結果は、Fig. 3 に示したとおりである。この結果から交通量の多い地点、渋滞が重なる地点 (No. 3, 6, 7, 10, 14) では汚染度が高い傾向にある。この傾向は、前項の結果と同様に植物園 (No. 15) が低い値を示していることと対照的である。

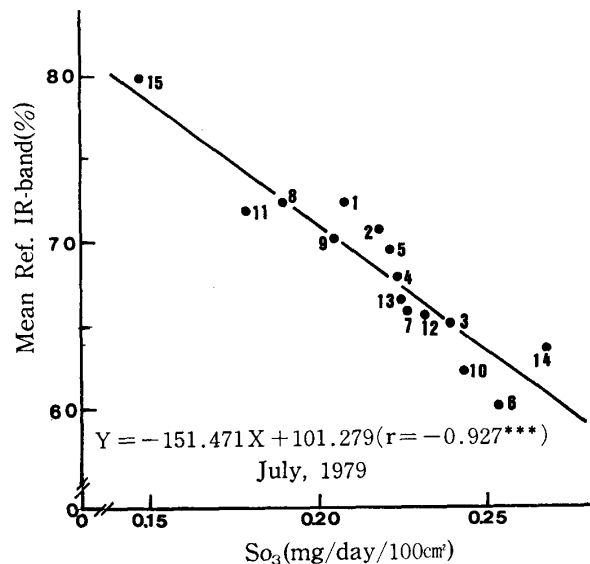


Fig. 4. Relation between mean reflectance of near IR-band and SO₃.

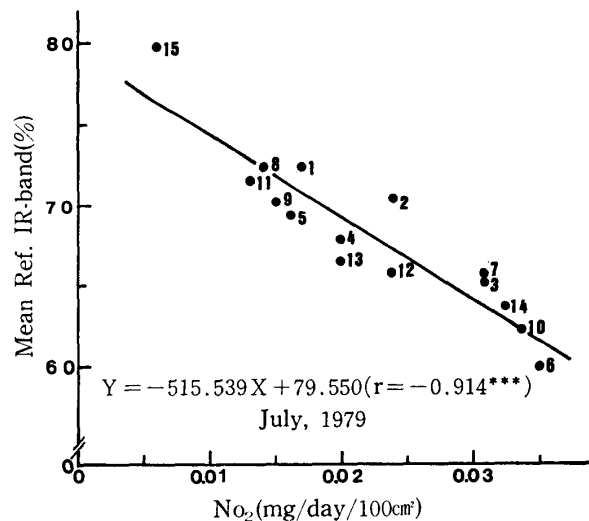


Fig. 5. Relation between mean reflectance of near IR-band and NO₂.

また、SO₃ と NO₂ の間には高い相関関係 (r=0.897***) が認められ、SO₃ 濃度の高い地点では NO₂ 濃度も高い値をとっている。

つぎに、7月測定の大気汚染度と近赤外線域平均反射率およびバイバンド比との関係をみると、Fig. 4, 5, 6 および 7 に示すとおりで、非常に高い相関関係が

認められる。

このことから、大気汚染度の高い地域に生育している樹木は、そうでない地域に生育している樹木と比較して、著しく樹勢が衰退しているものと推察される。

4. 葉面付着汚物質量

測定結果は、Fig. 8 に示したとおりであり、経時的に

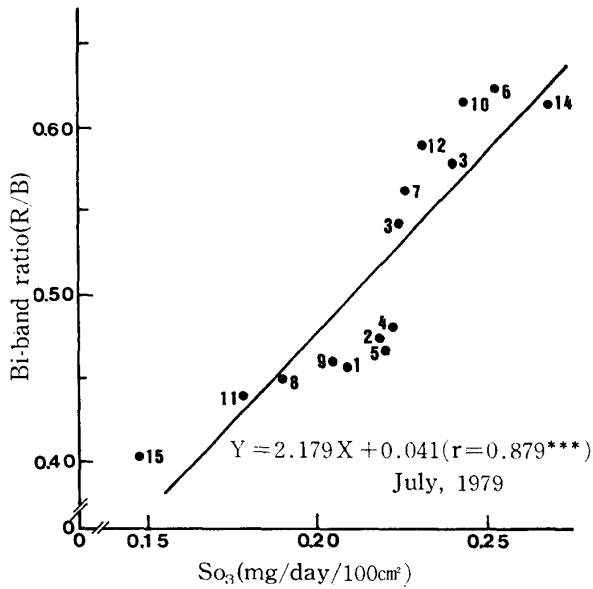


Fig. 6. Relation between Bi-band ratio (R/B) and SO₃.

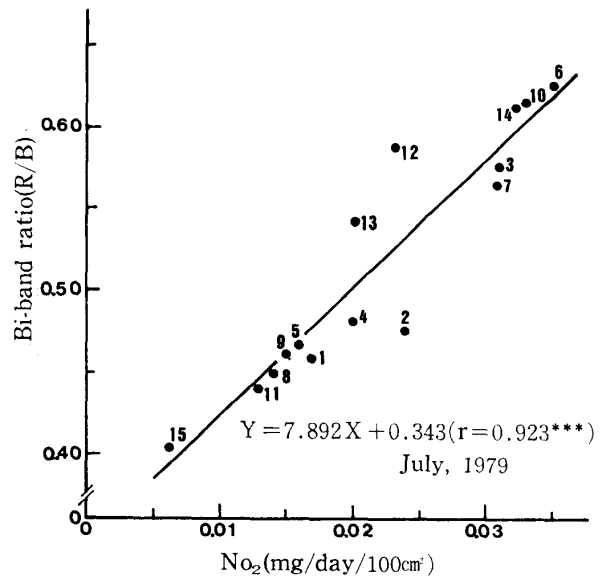


Fig. 7. Relation between Bi-band ratio (R/B) and NO₂.

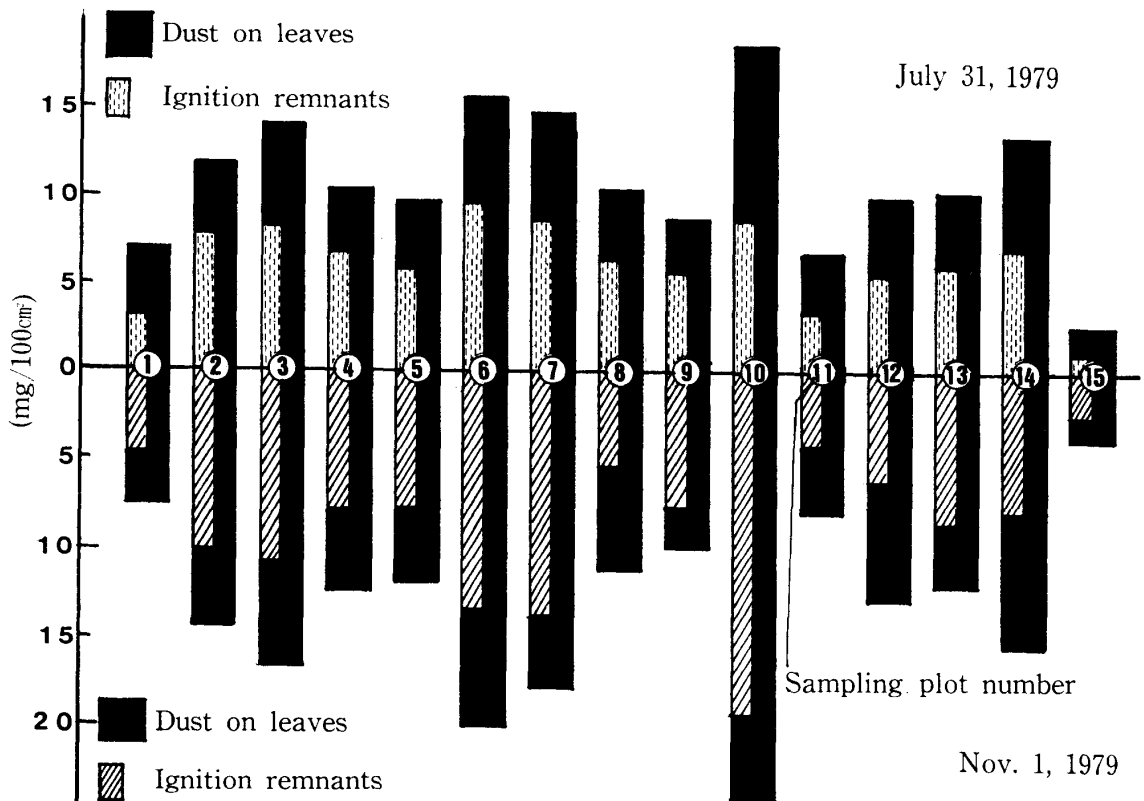


Fig. 8. Dry weight of dust on the leaves.

葉面付着汚染物質質量が増加していく傾向が認められる。

葉面汚染物質によって受光量が減少し、ガス交換能力が低下して、光合成、蒸散作用などが阻害されるから、葉面付着汚染物質と樹葉の活力度との間には密接な関係があることが認められている^{5)~7),10)}。

そこで、近赤外線域平均反射率と葉面付着汚染物質との関係を図示すると、Fig. 9 および10のとおりである。

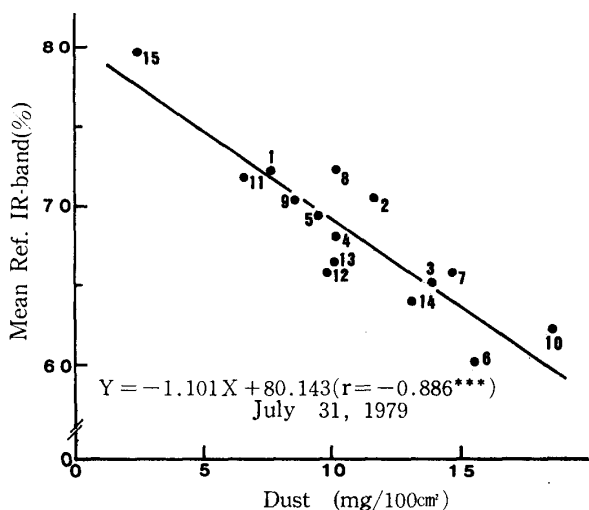


Fig. 9. Relation between mean reflectance of near IR-band and dry weight of dust.

この図から明らかなように、両者間には7月31日、11月1日いずれの測定期においても著しい相関関係が認められ、葉面付着汚染物質の多い地点ほど、樹木の活力が低いと推定される。成分比（灼熱残渣量、灼熱損失量）に関しては、前回のイチョウ葉同葉、特に

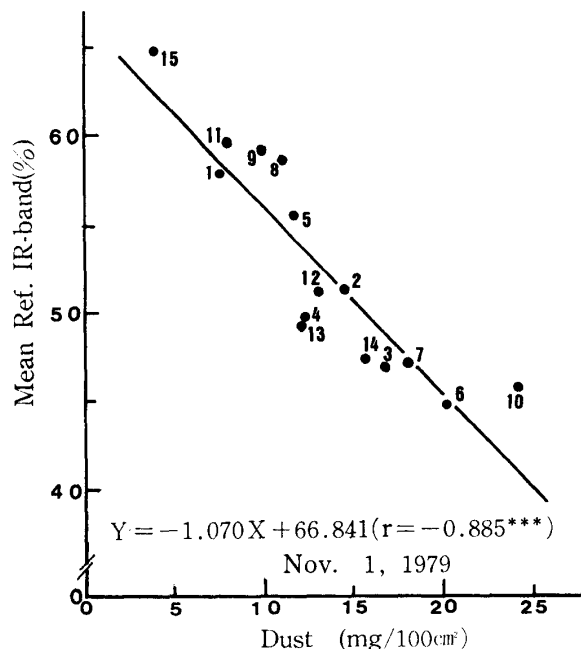


Fig. 10. Relation between mean reflectance of near IR-band and dry weight of dust.

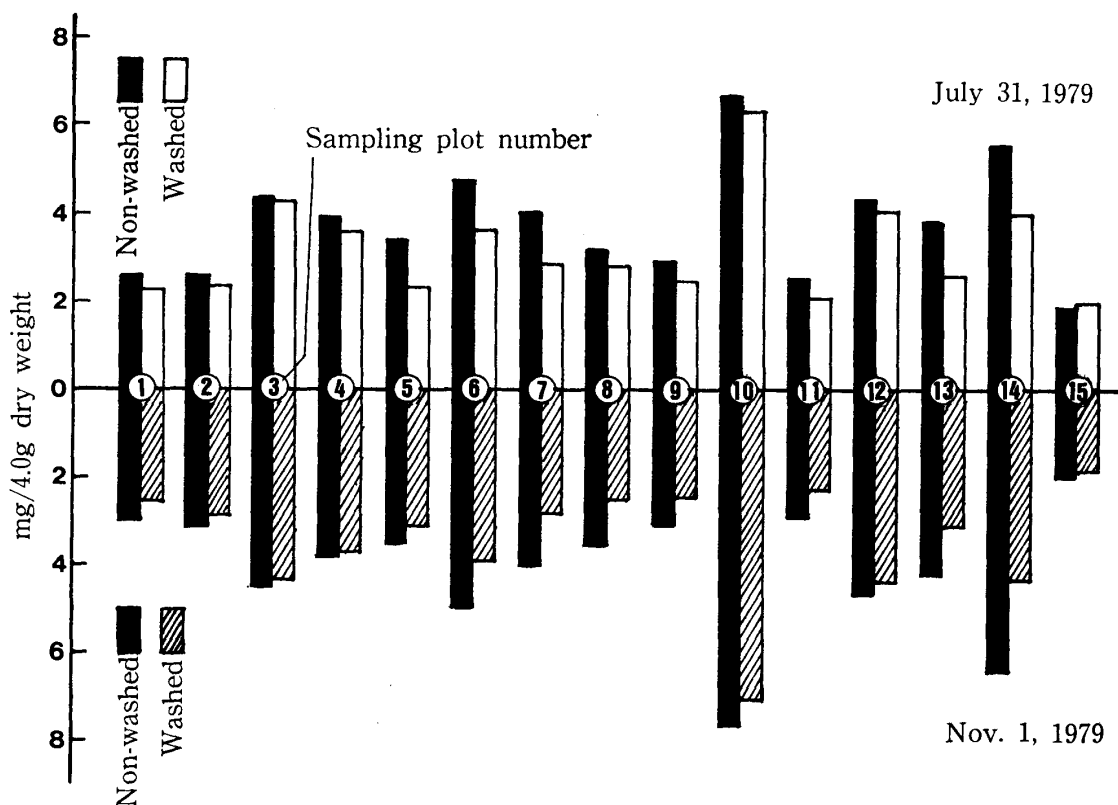


Fig. 11. Total sulfur contents in the leaves.

活力度との関係はみいだせなかった。

5. 葉中の全硫黄含有量

葉中の全硫黄の定量結果は、Fig. 11 に示したとおりである。前報⁴⁾でも述べたように、樹葉は亜硫酸ガスを容易に吸収し、葉中の硫黄含有量が増加する。したがって、硫黄の定量を行うことによって、樹木の活力度とともに生立地点の汚染度も推定できることになる。

本実験は、供試材料としてサクラをとりあげたが、イチョウ同様大気汚染度の高い地点の樹葉は、全硫黄の含有量も多い傾向が認められた。この関係を明らかにするため、7月測定の大気汚染度(SO₃)と葉中の全硫

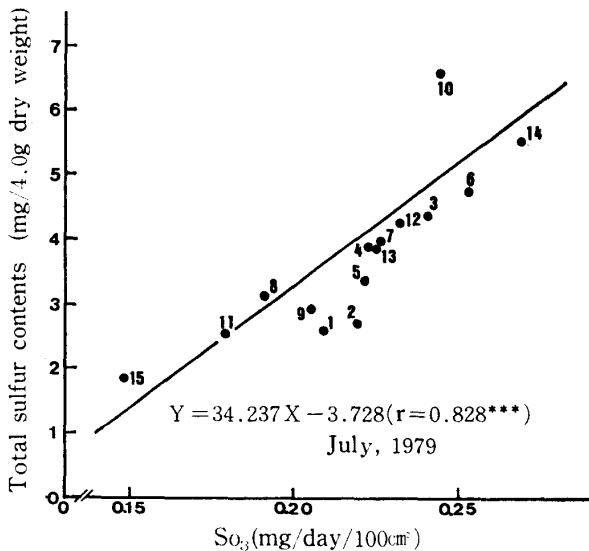


Fig. 12. Relation between total sulfur contents in the leaves and SO₃.

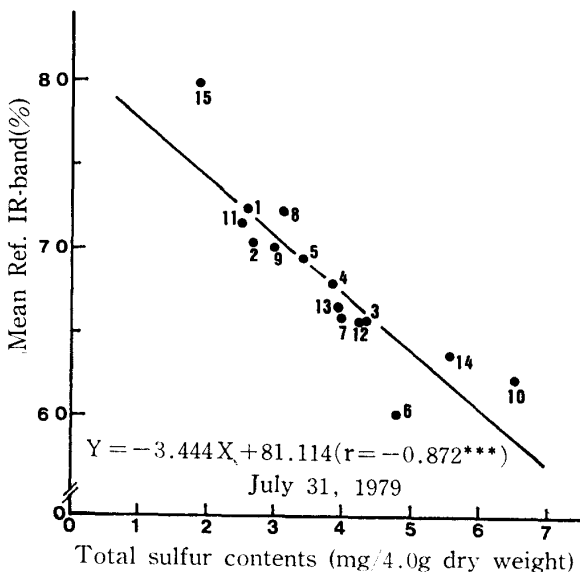


Fig. 13. Relation between total sulfur contents in the leaves and mean reflectance of near IR-band.

黄含有量との関係を図示すると、Fig. 12 のとおりで、両者間には非常に高い相関関係 (r=0.828***) が認められた。

すなわち、葉中の全硫黄の含有量は、大気中の硫黄酸化物の含有量に比例するものと考えられ、いままでの結果を併せ考察すると、葉中全硫黄含有量の多い個体は活力が低下しているといえる。このことを裏づけるために今回活力度の評価に用いている光学的測定法によって11月1日に測定した近赤外線域平均反射率と葉中全硫黄含有量との関係をみると、Fig. 13 のとおりで、両者間には高い相関関係が認められた。

総合考察

ここでは、これまでとりあげたいくつかの要因を総合的にとらえ、樹木の総合的活力指標であるバイバンド比に対する影響力の順位を明らかにするとともに、本実験でとりあげた要因の適否についても検討する。

検討の方法としては、バイバンド比を基準変量とし、葉面付着汚染物質、葉中の全硫黄含有量、試料採取地点における大気中の SO₃、NO₂ の含有量を説明変量とする重回帰分析を採用した。

本実験では、7月31日と11月1日の2回調査を行っているため、それぞれの月別に検討することとした。7月の試料で得られた重回帰式は

$$\hat{Y} = 92.555 - 0.249 D - 0.677 S - 78.970 SO_3 - 86.144 NO_2 \dots\dots ①$$

重相関係数：R=0.956

\hat{Y} : バイバンド比の推定値 D: 葉面付着汚染物質 S: 葉中の全硫黄 SO₃, NO₂: 大気中の汚染度

11月の試料で得られた重回帰式は

$$\hat{Y} = 79.424 - 0.344 D + 0.563 S - 81.652 SO_3 - 306.059 NO_2 \dots\dots ②$$

R=0.957

また、これら重回帰式の有意性の測度となるF値は、それぞれ

$$F_{①} = 26.77 > F_{10}^4 = 11.28 \text{ (0.1\%有意水準)}$$

$$F_{②} = 27.46 > F_{10}^4 = 11.28 \text{ (0.1\%有意水準)}$$

となり、著しく有意であることが認められ、この重回帰式は有効なものであることが明らかとなった。

つぎに、各要因の基準変量への寄与率の順位をみると、7月では葉面付着汚染物質 78.5%、SO₃ 8.3%、葉中の全硫黄 4.4%、NO₂ 0.2% となったのに対して、11

月では葉面付着汚染物質 78.4%, SO₃ 11.7%, NO₂ 1.4%, 葉中の全硫黄0.2%となり, 葉中の全硫黄と NO₂ の順位が入れ替わった。これら各要因での寄与率合計は両月とも91%を越えていることから, 各要因の相対的な貢献度はほぼこれに近いと考えられる。

このようにみえてくると, ここで用いた要因は各相互間において, いずれも高い相関性を有しているため, どれをとりあげても有効であることがわかる。ただ今

回の基準変量としたバイバンド比のような光学的判読法による数値は, 葉面に付着している汚染物質質量の多寡によって大きく変動するものと考えられる。

いずれにしてもイチョウ同様今回のサクラにも採用したバイバンド比の実用性は認められた。

なお, 7月および11月の結果について総括表にまとめてみると, Table 4 および5 のとおりとなる。

Table 4. Summary table (July 31)

Variables	Multi. R	R ²	RSQ Change	Simple R	B	Beta
Dust	0.88627	0.78547	0.78547	-0.88627	-0.24934	-0.20078
Total S	0.91080	0.82956	0.04409	-0.87165	-0.67685	-0.17130
SO ₃	0.95526	0.91252	0.08296	-0.92685	-78.96967	-0.48321
NO ₂	0.95634	0.91459	0.00207	-0.91358	-86.14388	-0.15265
Constant					92.58497	

Table 5. Summary table (November 1)

Variables	Multi. R	R ²	RSQ Change	Simple R	B	Beta
Dust	0.88519	0.78357	0.78357	-0.88519	-0.34403	-0.28466
Total S	0.88639	0.78567	0.00212	-0.77460	0.56347	0.12944
SO ₃	0.94999	0.90249	0.11680	-0.90511	-81.65198	-0.39641
NO ₂	0.95737	0.91655	0.01406	-0.94358	-306.05920	-0.43032
Constant					79.42431	

Multi. R : Multiple corr. coeff.
 RSQ Change : Proportion
 Simple R : Simple corr. coeff.
 B : Regression coeff. & Constant
 Beta : Standard partial regression coeff.

謝 辞

本研究を遂行するにあたり, 終始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御協力同頂いた京都府立植物園 木幡 欣一園長, 同技術課長補佐 長村 祐次氏および京都府公害対策室の関係各位に心から謝意を表する。

引用文献

- 1) 松中昭一(1975): 指標生物, 環境汚染を啓示する, 講談社, 東京, 56-57.
- 2) 四手井綱英ほか(1976): 森林保護学, 朝倉書店, 166-173.
- 3) 本城尚正・妹尾俊夫・塩野裕司(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, 112-118.
- 4) ——・——・——(1979): ——(Ⅲ), ——, 31, 120-124.
- 5) ——・——・——(1980): ——(Ⅱ), 京府大演報, 24, 26-33.
- 6) 妹尾俊夫(1978): リモートセンシングによる樹木の活力評価のための基礎的研究(Ⅱ), 京府大演報, 22, 25-35.
- 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) キヤノンイメージ編集室(1974): Remote Sensing, キヤノン K. K., 305-310.
- 9) 日本写真測量学会(1980): 空中写真の判読と利用, 鹿島出版会, 東京, 214-217.
- 10) 日本薬学会(1973): 衛生試験法注解, 金原出版, 東京, 1139-1141.
- 11) 日本生態学会環境問題専門委員会(1975): 環境と生物指環, 1, 陸上編, 5-6.

Summary

This paper presents a part of investigation on quantifying the vital decay of trees by air pollution through the optical analysis.

In this paper, we have examined using the leaves of SAKURA (*Prunus yedoensis* Matsum.) in southern district of Kyoto prefecture.

Results were as follows:

As a synthetical index of tree vitality, the bi-band ratio (R/B) has showed positive correlations between some factors such as air pollution (SO_3 , NO_2), amount of dust on leaf surface, total sulfur contents in the leaves.

We have done the multiple regression analysis so as to clarify the effectiveness of each factors against the bi-band ratio.

The ranking of proportion of each factors against the bi-band ratio was as follows; 1. dust on leaf surface 78.4% 2. SO_3 11.7% 3. NO_2 1.4% 4. total sulfur contents 0.2%-total proportion 91.7%.

In consequence, we got to infer the loading of each factors to the vital decay.

This analysis brought the reaffirmation of applicability of the optical analysis.