

大気汚染地域における松の衰弱徴候とその数 量化による被害度判定法

II, 衰弱徴候の数量化による被害度の表示と調査事例

津野 幸人^{*}・佐藤 亨^{**}

Pine Tree growth as Influenced by a Polluted Atmosphere
II. Estimation of the growth sinking of pine trees by
examining the external changes in trees affected by
a polluted atmosphere

Yukindo TSUNO* and Tōru SATO***

**Division of Arid Land Agro-ecology, Sand Dune Research Institute, Faculty
of Agriculture, Tottori University.*

***Laboratory of Crop Science, Faculty of Agriculture, Ehime University.*

Summary

In the previous report, the author clearly illustrated the symptoms of growth sinking of pine trees in the air polluted area of the Seto Inland Sea District. The aspects of the growth of pine trees at several places was evaluated according to the method of investigation, giving the marks for various characteristics of the symptoms of growth sinking.

The statistical data was arrived at by noting the differences of pine trees in total marks allotted between an air polluted area and an un-polluted area. It was established that the pine trees grown in an air polluted area showed damage to growth in terms of visible and invisible characteristics.

Experiments were carried out using 3 year old pine trees in order to determine the invisible damage caused by SO₂ gas on photosynthesis. The photosynthetic activity of pine leaves, exposed to various concentrations of SO₂ gas for 30 minutes became depressed in proportion to the concentrations, and also the required recovery was parallel to the concentrations of SO₂ gas. The recovery time of photosynthesis of the exposed plants was 5 hrs, as a minimum, at 1 ppm of gas concentration.

※ 農学部附属研丘利用研究施設 乾地生態部門

※※ 愛媛大学農学部作物学研究室

1. 緒 言

大気汚染地域と大気清浄な地域とで、松の生育状態に大きな差異のあることが前報で明らかとなった。前報では松の衰弱徴候群のいくつかをとりあげ、それに対する配点を各調査項目の末尾に記した。本報ではその配点に従って各地の松を採点し、大気清浄な地区の松との間に統計的に有意な差異があるかどうかを検定した。また、主要な大気汚染物質と考えられるSO₂ガスを松幼植物に処理し、光合成作用に対する阻害の実態を調査した。

本研究は農林省農業技術研究所の委託研究の一環として実施されたものである。研究実施にあたり愛媛大学農学部作物学研究室の専攻生各位から熱心な御協力をいただいた。専攻生、稲田好輝、中尾義広、山崎康夫、入倉修一、多田隅美知子の各位に対して深甚なる謝意を表する次第である。

2. 方法および材料

現地調査は1972年と1975年の両年におこなった。1972年の調査地および調査日は前報と同様である。1975年には11月6日から8日にかけて倉敷市、福山市および広島県宮島の松を調査した。

調査方法は前報の配点基準にしたがって作成した調査用紙に被調査樹の点数を記入した(第1表参照)。測定場所には地名を記入するとともに、別に用意した地図にも場所を記入した。汚染源からの距離は、汚染源が明確につかめない場合は空欄とした。本年枝および昨年枝の伸長量は釣竿の先に10cm毎に印をつけて、調査枝に接近させ、それを基準として双眼鏡で長さを読みとった(高木のみ)。葉の変色についてはマツクイムシによる変色と、汚染物質による変色とが混同されるという懸念があるが、前者は枝全部の葉が一斉に変色するが、後者は葉群の一部とかまたは葉の部分にしか変色が現れないので区別するのは比較的容易である。落葉率は枝の全長に対して、葉の着生部分の長さの比率で求める。落葉枝および頂芽優勢の有無は赤マツで15m、黒マツで10m以下の樹高のものに対してのみ調査をおこなった。樹勢には、木自身の老令化の程度が関与するので、調査対象木としては10~15m以下の木を選ぶことが望ましい。樹勢の判定については調査者の主観的な要素が関与するので参考までに調査したのであって、

第1表 調査用紙と採点基準

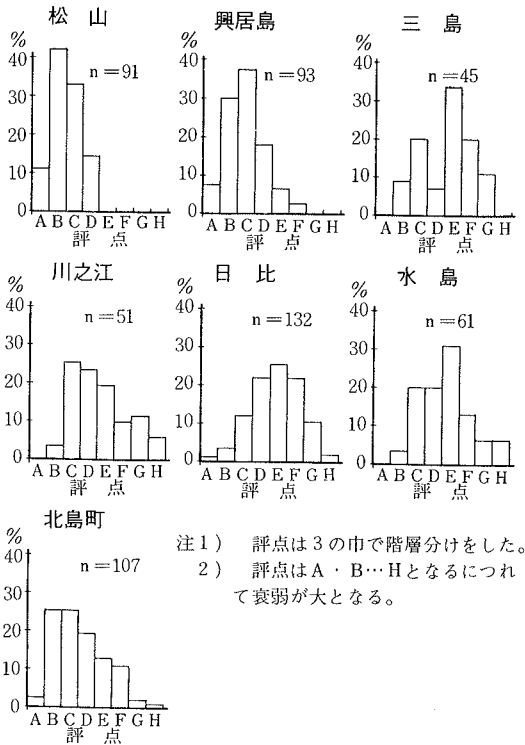
| | |
|-------------------------------------|---|
| 1. 測定者氏名 | |
| 2. 測定月日 | |
| 3. 測定場所 | |
| 4. 道路・線路からの距離(m) | |
| 5. 汚染源からの距離(m) | |
| 6. 松の種類 | 赤 黒 |
| 7. 樹高(m) | |
| 8. 胸高直径(cm) | |
| 9. 本年枝の伸長量(cm) | (採点は前報第7図より求める) |
| 10. 本年葉の変色 | 著(4) 少(3) 無(0) |
| 11. 昨年葉の変色 | 著(3) 少(2) 無(0) |
| 12. 昨年葉の落葉率(%) | 0~20%0, 21~40%1, 41~60%(2) 61~80%3, 81~100%4) |
| 13. 昨年比(昨年伸長量/本年伸長量) | 生数字(小数点以下切りすて) |
| 14. しだれ枝現象 | 有(1) 無(0) |
| 15. 落葉枝(赤マツ15m以下のみ判定) 黒マツ10m以下) | 多(3) 少(2) 無(0) |
| 16. 頂芽優勢(赤マツ15m以下のみ判定) 黒マツ10m以下) | 有(0) 無(1) |
| 参考1. 樹冠の減少 | 有 無 |
| 参考2. 樹勢 | 優 良 可 不可 |
| MEMO; ()内の数字を○で囲む。 | |

これには配点を与えていない。

光合成作用の測定は3年生アカマツのポット栽培されたものを材料として行なった。空調装置つきの同化箱⁸⁾に上記材料を収容して、これに所定流量の空気を送り、同化箱出入口のCO₂濃度差に流量を乗じてCO₂同化量を測定した。CO₂濃度の検出には差動型赤外線炭酸ガス分析計を使用した。

3. 結果および考察

(1) 生育状態の数量化による松の被害程度の判定
上述の基準で求めた各調査項目の採点を合計することにより、個体の総合的な被害程度を示す評点⁹⁾がえられる。この評点を3の中¹⁰⁾で階層分けし、各地域ごとにその頻度分布を求めると第1図のとうりである。大気清浄地域の松山、興居島には、衰弱の最も進行したことを示す階層であるG、Hには分布がなく、被害の軽い階層のA~Dに多く分布し、A~Dを合せた分布は松山において100%、興居島92%を



第1図 評点(衰弱程度)の頻度分布

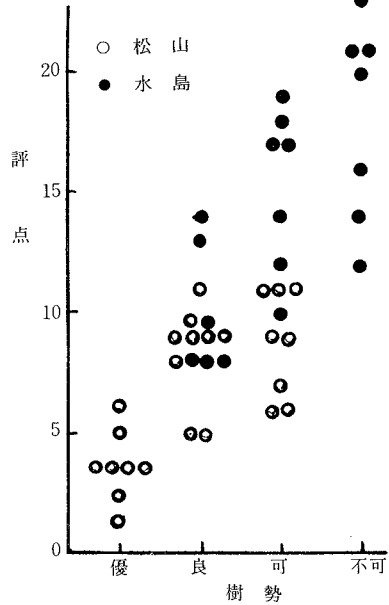
占めた。一方、大気汚染地域においては、Aにはほとんど分布せず、三島、川之江、水島においては全くない。また、G~Hの分布がいずれにもみられ、E~Hに分布する割合は、三島64%、川之江47%、日比61%、水島57%、北島町27%となっている。このように評点の階層分布には、大気汚染地域と大気清浄地域の差があらわれており、さらに、この差は X^2 検定により統計的に有意な差であることが明らかになった(第2表)。

また、この評点は、各調査者の採点、評価に個人

第2表 X^2 検定による有意差検定

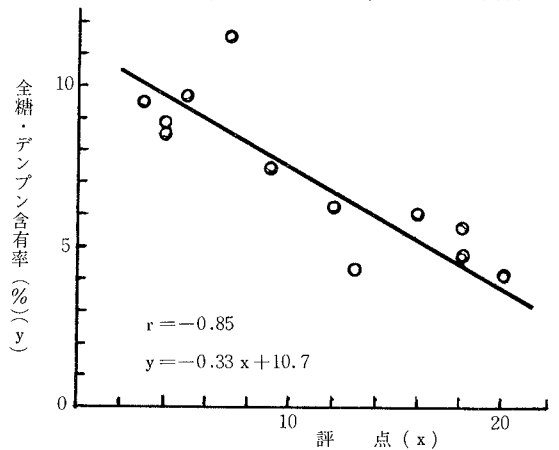
| 検定地区 | 確率 | 有意差 |
|---------|-----------------|-----|
| 松山——興居島 | $0.1 < P < 0.2$ | なし |
| 松山——三島 | $P < 0.001$ | あり |
| 松山——川之江 | $P < 0.001$ | あり |
| 松山——日比 | $P < 0.001$ | あり |
| 松山——水島 | $P < 0.001$ | あり |
| 松山——北島町 | $P < 0.001$ | あり |

差があるにもかかわらず、外見的にみた樹勢との間に、高い相関がみられた(第2図)。さらに、同程度



第2図 外見的にみた樹勢と評点との関係

の樹高のアカマツを選んで、その本年伸長枝条内における炭水化物(全糖+デンプン)有率と評点との間の相関をとると、 $r = -0.85$ という高い負の相関があった(第3図)。評点の高い、すなわち樹勢の

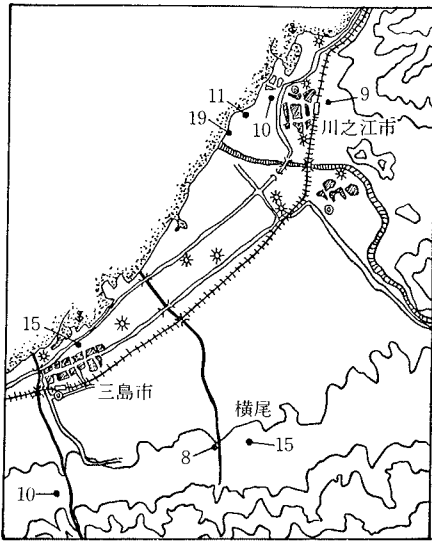


第3図 同程度の樹高(樹高5~8m, 胸高直径7~15cm)のアカマツにおける評点と全糖・デンプン含有率との関係

衰えた松では、本年伸長枝の炭水化物量が少ないことは注目値する。

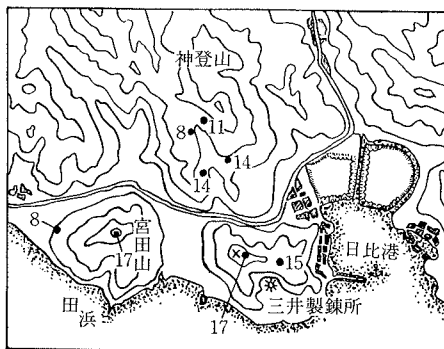
ここで2つの地域について、この測定法により得

られた松の生育状態の詳細を明らかにしておこう。
伊予三島、川之江では、製紙工場群のある市街地で高い評点を示すとともに、そこから3km近く離れた横尾においても15という高い評点を示し、汚染が相当進み、かつ広域におよんでいると判断できる。事実、地元の人のお話では、近年この山麓地帯の松の枯死が著しく、そのため多くの松が伐採されたという(第4図、注：評点は調査地点での平均値)。



第4図 伊予三島、川之江付近の調査地と評点(平均値)

また、日比においては、製錬所の煙突を中心に高い評点を示す地点が分布し、この製錬所による大気汚染の進行が明瞭に示されている(第5図)。第4、5図に記入した評点は数本の松の評点の平均値であるが、局所的には評点10以下のものがあり、これらは通常の生育状態を示すものであって、今後どの様



第5図 日比付近の調査地と評点 (×印は煙突)

な経過を示すかは予測できない。この種の調査は特定木を選定してかなり長期的な観察が必要だと考えられる。

しかしながら、以上の結果より総合的に判断して第1表の調査項目にもとづく採点方法は、大気汚染の程度を測定するのに有効なものであるといえる。ただ樹木の生育、特に本年枝の伸長量などは時期的な推移を伴う²⁾ものであり、異なる地域間を比較するとき、あくまでも測定調査時期は揃えておかなければならない。本方法の適用に際して、この点は十分に考慮する必要がある。

1975年には調査時期を変えて11月初旬に同様な調査をおこなった。その結果は第3表にまとめてある。同表で記号Aは玉野市と岡山市を結ぶ国道30号線の

第3表 11月初旬における調査例(1975年)

| 記号 | 場 所 | 樹 勢 | 評点 | S | n | 松の種類(本) | |
|----|------------------|-----|------|------|----|---------|-----|
| | | | | | | 黒マツ | 赤マツ |
| A | 玉野市 国道30号線沿 | 不 可 | 12.8 | 5.73 | 8 | 5 | 3 |
| B | 玉野市 小 学 校 横 | 優 | 5.8 | 3.31 | 6 | 4 | 2 |
| C | 玉野市 寺 の 山 門 | 可 | 6.8 | 2.45 | 4 | — | 4 |
| D | 倉敷市 鷺羽山展望台 | 良 | 6.8 | 2.49 | 5 | 5 | — |
| E | 倉敷市 鷺羽山スカイライン | 不 可 | 13.6 | 3.11 | 17 | 10 | 2 |
| F | 全 上 | 不 可 | 18.3 | 2.81 | 8 | 3 | 5 |
| G | 福山市 日本鋼管正門前 | 可 | 8.8 | 2.63 | 4 | 4 | — |
| H | 福山市 日本鋼管附近 | 不 可 | 14.6 | 3.78 | 12 | 5 | 7 |
| I | 全 上 | 可 | 12.8 | 3.38 | 6 | 5 | 1 |
| J | 福山市 天 神 山 | 可 | 11.5 | 2.76 | 10 | 3 | 7 |
| K | 宮 島 | 不 可 | 11.9 | 4.38 | 7 | — | 7 |
| L | 全 上 | 良 | 8.4 | 2.68 | 8 | 3 | 5 |
| M | 鳥取市 砂丘研究所 | 優 | 5.6 | 1.64 | 11 | 10 | — |

注) S：標準偏差 n：調査本数

谷間の松であるが、自動車排煙のために一見して樹勢が衰弱していることが観察され、評点も12.8であった。ところが、1km程度離れた市内の小学校横の松は生育良好で評点は5.8であり、ここでも大気汚染の局在性を如実に示している。

生育衰弱の特に著しいのは鷺羽山スカイラインの中央部で、工場地帯の排煙が直接山腹に接触する地点であった。ここでは、ほとんどの松が枯死し、それに代わってヤシヤブシが旺盛に生育しているのが

見られた。一見すれば山は緑色で覆われ、大気汚染による被害は見すごされるであろうが、大気汚染に抵抗性の強い樹種への交替が進行しているのである。

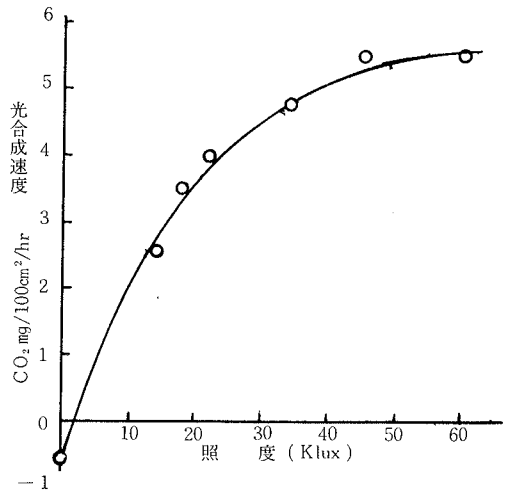
福山市においても、日本鋼管の工場が操業を開始して以来、松の衰弱がはげしいことが観察されている。工場正門前(記号G)では、さほどの衰弱は見当らなかったが、工場から約2km離れたH、I地点の評点は14.6と高く、約5km離れた蔵王、天神山々麓の松(記号J)でも評点は11.5である。これらの地点はすべて風向きによっては、工場排煙が通り抜ける地形であるので、このために松に被害が発生したものと考えられる。さらに、これらの地点は自動車の排気ガスも風向きによって接触する位置にある。煙突の高層化によって排煙は遠距離まで運ばれ、自動車排気と重複して植物に被害を与えることが推測される。

景勝で有名な宮島も近年松の衰弱がはげしい。現地を調査するとマツクイムシによるものもかなり見受けられるが、しだれ枝現象、主幹の歪曲、先端残葉など、大気汚染被害の特徴とおぼしい徴候が随所にみうけられる。記号K地点は工場地帯に近接した地点であり、L地点は巖島神社附近であって、両地点間での評点の差異は明らかである。

記号Mの評点は当砂丘利用研究施設内の黒マツのものであり、施設内は大気清浄で松の生育が良好である。このことは、評点の上にも明瞭に認められる。なお、11月の調査で痛感したことは、評点の高い樹において本年葉の落葉がはげしい点である。それ故に、10月以後の調査では本年葉の落葉率を重視すべきである。具体的には調査項目欄に本年葉の落葉率を設け、昨年葉の落葉率と等しい配点を与えるべきであろう。

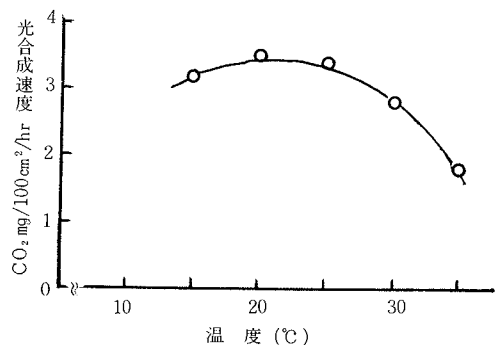
(2) アカマツの光合成特性ならびにSO₂ガスによる光合成機能の低下

大気汚染物質による不可視的障害を検証するため、各種濃度のSO₂ガスをアカマツに処理して、光合成機能の低下を調査した。光合成機能を問題にする以上、光合成の一般的性質を明らかにしておきたい。まず、ワグネルポット(a/5000)に栽植された3年生アカマツを材料として光-光合成関係を求めた。その結果は第6図のとおりであって、光飽和点は約45 Klwx 附近にある。このときの光合成速度は5.5



第6図 3年生アカマツにおける光-光合成曲線 (8月12日, 26.5℃, 葉数1156本)

mg CO₂/dm²/hrであった。一般に木本植物の光合成速度は10~15 mg CO₂/dm²/hr の範囲にあるものが多い。第6図の場合の表示の単位は葉の表面積であるので、一般の葉の片側面積を単位とする表示とは異なっている。松の葉の断面がほぼ半円形であるので全表面積による表示法を用いたが、これを片側面積に準じて示せば、光合成速度は11 mg CO₂/dm²/hrとなり、一般の木本植物のその範囲におさまる。つぎに温度-光合成関係をみると第7図の如き曲線

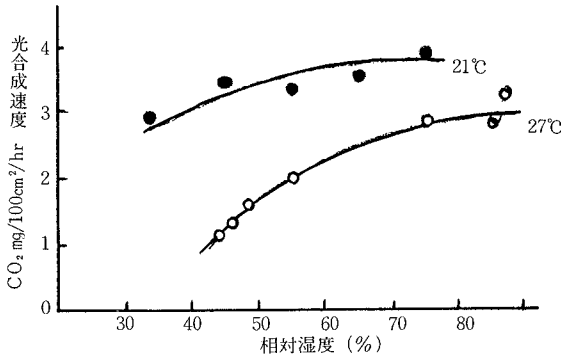


第7図 3年生アカマツにおける温度-光合成曲線 (12月14日, 56klux, 葉数1784本)

で示される。すなわち光合成の最適温度域は22℃附近にあり、その上下でなだらかに低下していく。この場合の測定日は12月14日であるが、材料はプラスチックハウスに入れられ、最低気温は15℃以上に保たれていた。しかし、時期が冬期であるので、最適温度域は夏期よりも低温側に移動していることが予

想される。光合成速度も夏期よりは低下しており最高値で $3.5 \text{ mg CO}_2/\text{dm}^2/\text{hr}$ であった。

光合成速度と同化箱内の相対湿度との関係は第8図に示される。温度 21°C においては低湿側より高湿

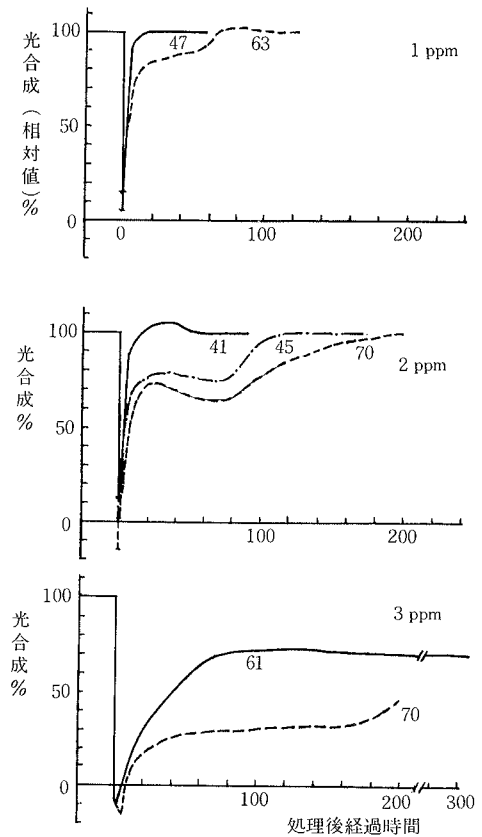


第8図 三年生アカマツにおける湿度—光合成曲線
(○12月7日, ●12月13日, 56Klux, 葉数1784本)

側においてやや高い光合成速度を示すが、温度 27°C ではその傾向が強化され、低湿側では著しく光合成が抑制される。これと同様の傾向は柑きつ類の光合成作用においても認められた(未発表)。木本植物では体内での水分の通導抵抗が大きいため、湿度が高く蒸散が抑制された条件下では、葉身内水分の不足が生じにくく、そのため光合成が活発におこなわれるものと推測される。

さて、上記のような光合成特性を有するアカマツに対して、各種濃度の SO_2 ガスを処理箱内で接触させた。温度は 25°C の前後であり照度は 50 Klux であった。処理時間は30分であるが、処理時間内に SO_2 ガス濃度が一定に保たれたという保障はない。第9図に示した処理濃度は SO_2 ガス発生当初の最高濃度を示したものであり、以後の濃度変化の追跡調査をおこなっていない。つまり、容積に対して発生するガス量を予め計算しておいて所定濃度のガスを発生させたのであるから、植物体による吸収、水分との結合などで処理終了時にはかなり濃度低下をきたしたと考えられるが、処理時間内における濃度変化は各処理ともほぼ類似した経過をたどったものと考えられる。

松の光合成は SO_2 ガス 1 ppm によって急激に阻害される(第9図)。しかし、相対湿度 47% ではすみ



第9図 SO_2 ガス30分間接触による光合成の低下と回復の経過

注) 材料: 三年生アカマツ, 図中の数字は接触時の相対湿度

やかに回復するが、 63% の条件下では処理したものの回復はおくれた。この傾向は SO_2 濃度が 2 ppm で一層明瞭となる。光合成速度が大であると考えられる高湿側において光合成の阻害が大であり、かつその回復がおくれる。 3 ppm 処理では $200-300$ 時間後でも光合成機能は完全に回復していない。前報で示したとおり SO_2 ガス 3 ppm 以上の濃度では葉の変色が認められ、光合成を営む葉の損失が光合成機能の回復を不可能にしているのである。

以上の結果より指摘できるのは SO_2 ガス処理によって1時的な光合成の低下のはげしいものほど、機能の回復がおくれ、さらに、空中湿度の高い条件下で SO_2 ガスに接触した場合には同濃度、乾燥条件下での接触よりも光合成の低下が著しいということである。

4. 論 議

大気汚染による植物被害は、汚染物質濃度が高いほど、接触時間が長いほど、甚大な被害をこうむる⁵⁾ことはもちろんである。各調査地で被害を受けた松では葉の先端、または中央部に褐変がみられ、一般にいわれている二酸化硫黄による急性症状に酷似していた。既述したSO₂ガスの接触処理実験による光合成の変化からも推測できるように、同一濃度であっても空中湿度の状態によって光合成抑制の程度が異なる。また、光についても、暗黒よりも光の強い場合の方が汚染物質による植物被害は大きくでる⁵⁾これは光によって気孔が開き大気汚染物質の侵入を容易にしていると考えられている。Macdowall⁴⁾らはタバコにおけるオゾン被害を調査しているが、気孔が開き蒸散の盛んな条件下ではオゾンドースが低くても、大きな被害の現れることを認めている。

大気汚染による植物被害については可視的障害が観察しやすいので、主としてこの障害を対象として調査がすすめられているが、たとえ煙斑は発現しなくとも光合成機能の抑制という不可視的障害の存在は、第9図に示した実験結果によって確認された。大気汚染地域における樹勢の衰弱は落葉、変色という可視的障害の上に、光合成機能の抑制という不可視的障害が重複して作用することに主な原因を求めべきであろう。衰弱のはげしい(評点の高い)松の本年伸長枝に炭水化物含有率が低いことは重視しなければならぬ。藤原¹⁾はブドウにSO₂ガスを処理して、落葉や煙斑の多くみられた個体では、翌春の新梢の発良が不良であることを報告している。松においても、当年の障害は翌年の生育不良の原因となり、このことのくりかえしが、しだれ枝、主稈の歪曲となって発現し、さらには落葉枝の多発、枯死へと移行していくものと考えられる。

樹木の衰弱状態によって大気汚染程度の指標にしようとする作業は、1973年に神奈川県⁵⁾、横浜市⁵⁾

などで実施された。またスギ、ケヤキの樹冠の衰退と大気汚染との関連を見出そうとする研究⁶⁾もある。これらは、調査基準に主観の介入する要素が多分に含まれている点は今後克服しなければならぬ問題だと思われる。

松は全国に広く分布し、生活に密着した樹木であることはいうまでもないが、とくに、アカマツは大気汚染に最も弱い樹種として分類⁶⁾されている。本研究での調査結果によれば、瀬戸内の汚染地域ではすでにアカマツの残存は少なくなりつつある。しかし、残存木の評点は同地点におけるクロマツよりも2~3点高く現れた程度で、両者の間に顕著な差異は見出しにくかった。ここで述べた松の生育衰退の徴候群に客観的な評点を附して、松の生育状態を診断しようというやり方は、比較的簡便であり、特殊な器材を必要としないところに大きな特色がある。本方法を各地で試みられ、不備な点を改良されて、われわれの生活環境を守る道具として役立てていただければ幸せである。

摘 要

1. 大気汚染のはげしい地域における松の衰弱徴候群を明らかにし、個々の徴候に対して配点を附するという作業を前報でおこなった。そこで、その配点にしたがって第1表のごとき調査表をつくり、各地の松を採点し、採点合計値を評点とした。

2. 空気清浄な地域と大気汚染地域の松には評点のうえで明らかに統計的な有意差が認められた。なお本調査を実施するにあたって、10月以降の調査では本年葉の落葉率を調査項目に加える必要がある。

3. 三年生アカマツに対して各種濃度のSO₂ガスを30分間曝露処理をした。処理によって一時的な光合成機能の低下のはげしいものほど、光合成機能の回復がおくれた。また、同一濃度の処理でも空中湿度の高い場合が光合成の抑制が著しいという結果が得られた。

引用文献

- (1) 藤原 喬 (1970) 大気中の SO_2 に対するブドウの障害感受性について, 園芸学雑誌, 39: 219-223.
- (2) 穂積和夫・篠崎吉郎 (1960) 生長の法則性と生長解析, 吉良竜天編, 植物生態学古今書院: 233-322.
- (3) 環境庁企画調整局研究調整課編 (1974) 昭和48年度環境保全研究成果集, P, 17
- (4) Macdowall, F. D. H., E. I. Mukamal and A. F. W. Cole (1963) Direct correlation of airpolluting Ozone and tobacco weather fleck, Canadian Jour. Plant Sci. 44: 410-417.
- (5) 松中昭一 (1975) 指標植物, 講談社
- (6) 農林水産技術会議事務局編 (1963) 研究成果64, (大気汚染による農林作物被害の測定方法に関する研究, P, 16
- (7) Toud, G. W. and J. N. Pitter (1958) Some effect of ari pollutant on growth and productivity of plants. Bot. Gag. 120: 75-80.
- (8) 津野幸人 (1975) 数種作物における蒸散作用と光合成作用の関係について, 日作紀, 44(1): 44-53.