

## 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

### I 大気汚染地域における松の衰弱徴候

津野 幸人<sup>\*</sup>・佐藤 亨<sup>\*\*</sup>

## Pine Tree growth as Influenced by a Polluted Atmosphere 1. The symptoms of growth sinking of pine trees in a polluted area

Yukindo TSUNO<sup>\*</sup> and Tōru SATO<sup>\*\*</sup>

*\*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

Pine trees (*Pinus densiflora* and *Pinus Thunbergii*) were observed by noting their external growth changes in the air polluted area of the Seto Inland Sea district.

In the air polluted area, the most significant changes in pine tree growth was the high ratio of falling leaves grown in the last year or in the same year, and this can be recognized by noting the considerable discoloration of leaves which suffered damage from air pollutants. Moreover, distinctive characteristics of pine tree in the polluted area were found to be as the following: check growth of branches on the upper part of the main stem, the increase of dead branches, and the bending down of branches on the lower part of the tree crown. The investigation was conducted to evaluate the growth according to note the symptoms of the growth sinking of pine trees, such as the ratio of last year's leaves falling off, the discoloration of leaves, the elongating length of new branches shooted this year, and the bending of branches, etc.

Various concentrations of SO<sub>2</sub> gas was applied to 3 year old potted pine trees for 30 minutes. The discoloration of leaves was observed after a one day above treatment of 3 ppm concentration. One ppm of SO<sub>2</sub> gas immediately inhibited the photosynthetic activity at high air humidity, and the effect was less noticeable under conditions of lower humidity.

※農学部附属砂丘利用研究施設 乾地生態部門

※※愛媛大学農学部作物学研究室

## 1. 緒 言

今日までの大気汚染の実態調査は、ほとんどが理化学的な測定器具を使用した方法により行なわれている。これらの理・化学的な測定法は特定物質を測定するだけであって、複合汚染をとらえられない。また、器機の特性からみて結果的には、ある地域における汚染物質の平均濃度をとらえる仕組みになっており、生物体に急激な被害を与えるであろうと考えられる瞬間的な最高濃度はとらえにくい欠点を持っている。さらに大気汚染測定器具には高価なものが多く、かつ保守管理に煩雑さをともなうために、手軽に使用しがたいのが現実である。

大気汚染に敏感な指標生物を用いて、環境測定を行なうことは、手軽に実施できる利点のうえに、さらに生物体で環境を評価するのであるから、人体の健康管理のうえからみれば、より重視すべき方法だと考えられる。指標植物を一定の手続きのもとに栽培して、大気汚染による被害を検出するという事業は各国で試みられている<sup>2)4)5)</sup>。しかし、これらも植物の栽培という手順と、主として一年生植物を用いるということから、長期的な観察には相当の努力を払わねばならない。

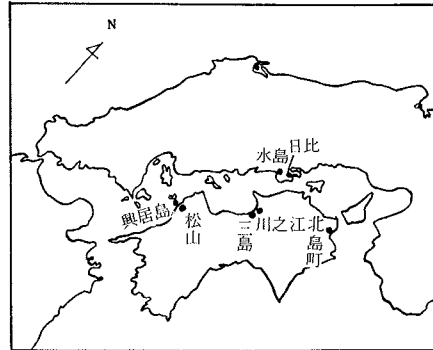
これに比べて、自然に自生する樹木を指標植物として活用するならば、労力的な軽減はいまもなく、長期的な被害の蓄積を把握することができ、大気汚染検定のための指標生物法の発展に役立つところは多大であろう。このような見地から、松を大気汚染の指標植物として利用するための研究をおこなった。以下に述べる内容は1972年に愛媛大学農学部で、さらに一部は1975年に鳥取大学農学部砂丘利用研究施設で実施したものである。

## 2. 材料および方法

大気汚染による松の生育衰退の徴候群を明らかにするために、気候的に類似した瀬戸内海地域沿岸部の自生松を対象として観察調査をおこなった。方法としては、大気の明らかに汚染している地域の松の生育状態を大気の清浄な地域のそれとを比較して、明瞭な差異を発見しようというものである。

調査地は、大気清浄地域として、松山市東部山麓(調査日、1972年8月6日～9日)と興居島(同、8月18日)を選び、大気汚染地域として愛媛県の川

之江(同、8月22日)と三島(同、8月22日)、岡山県の日比(同、8月23日)と水島(同、8月24日)徳島県の北島町(同、9月14日)を選んだ(第1図)。



第1図 調査地の位置

調査木はなるべく林地外周部の自生木を選んだが、市街地では神社仏閣の境内のものとした。調査項目の詳細は調査結果の項で個々に述べたい。

以上とは別に、大気汚染物質として代表的な亜硫酸ガスが、マツの光合成機能にどのような影響をあたえるか、また、外見的にどのような変化をもたらすかという点も追求した。このために、戸外に透明ビニール製の約3m<sup>2</sup>の箱をつくり亜硫酸ガス発生装置を収容し、それにビニールハウス内で肥培管理された植木鉢栽培の三年生アカマツを入れ、5%亜硫酸水を加熱蒸発して得た所定濃度の亜硫酸ガスを30分間接触処理した。そして、光合成機能の低下と回復の状態、ならびに葉の変色の様相を経時的に調べた。

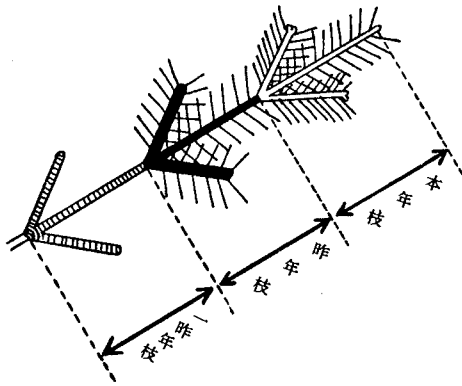
## 3. 結果および考察

### (1) 大気汚染地域の松にみられる一般的徴候

まず、各地の大気汚染地域の松の一般的徴候を示して、つぎにそれらを各項目に分かって詳述することにする。

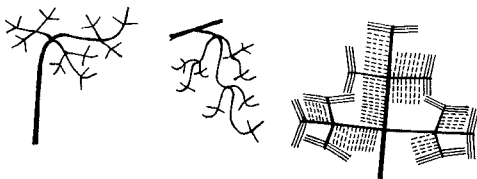
本調査では、衰弱徴候を数量的に表現して、各地の松を比較しようという意図を持つので、各調査項目の末尾に配点を記してある。点数の多いほど症状の重さが大となるのであるが、客観的に比較しうるものには配点を多くし、主観の加わる要素を持つ項目には少なくするよう配慮した。

衰弱した松にみられる著しい特徴は、落葉がはげしいことである。松の枝は秩序正しく毎年枝階を形成していく<sup>1)</sup>。その様子を模式的に示すと第2図の



第2図 松の枝の伸長模式図

とおりである。松の葉は正常な樹であれば2年間は生存する<sup>1)</sup>が、汚染地域の松は生存葉が少ない。甚だしい場合は第3図(C)のごとく本年葉が本年伸長枝の先端部にしか残存しないという状態になる。また、若令木においては主幹の先端が歪曲して首をかきげた様な姿を呈している(第3図A)。老令木においては下枝がたれさがり、いわゆるしだれ枝が多く見えられた(第3図B)。



(A) 幹先端の歪曲 (若令木にみられる)  
 (B) しだれ枝 (老令木にみられる)  
 (C) 先端残葉 (被害甚大木、点線は落葉を示す)

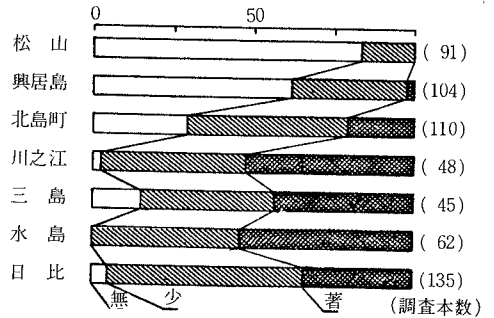
第3図 大気汚染地域における被害木の特徴

(2) 大気汚染地域の松にみられる個々の徴候

a. 昨年葉の変色(褐変)

大気汚染による植物の生育衰退徴候群のうち、葉の変色はまず一般的に現われてくるものである。松において、その被害の現われやすい昨年葉(第2図参照)の変色程度を調査した結果、大気汚染地域においては、川之江97%、日比94%、三島85%、北島町71%といずれも3分の2以上の樹に変色(褐変)がみられ、特に水島においては全ての樹に昨年葉の変色がみられた。また、これらの汚染地域では、変色の程度も大きく、川之江、水島においては、著しい変色を示す樹が全体の半数をこえている。これに

対し、大気清浄地域においては、変色のみられる昨年葉もあるが、松山18%、興居島38%と汚染地域の半分以下であり、さらに、著しい変色を示した樹は、興居島2%と少なく、松山においては全く見られなかった(第4図)。以上昨年葉の変色は、大気清浄地

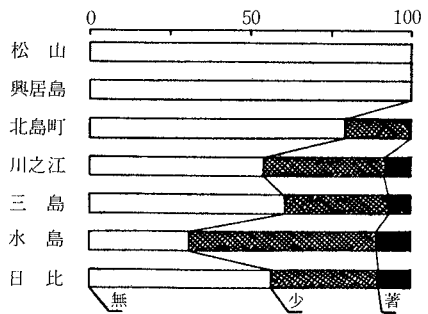


第4図 各地の松の昨年葉の変色

域と汚染地域との間に明瞭な差を示し、なおかつ客観的に比較観察することが可能であるので、著しい変色に対し3、軽度の変色に対し2の配点を与え採点することにした。

b. 本年葉の変色

つぎに、本年葉(第2図参照)についてもその変色を調査すると、大気清浄地域においてはみられず、汚染地域においてのみみられた。すなわち、水島における発現率68%をはじめとし、川之江45%、三島39%、日比44%、北島町22%の樹が本年葉の変色を示している。さらに、川之江、三島、日比、水島においては著しい変色を示す樹が全体の1割程度のみみられた(第5図)。



第5図 各地の松の本年葉の変色

ところで、本年葉の変色と、昨年葉の変色の間には、まず昨年葉の変色がすすみ、つぎに本年葉の変

色がおこるといふ関係がみられる(第1表)。そこで、

第1表 本年葉の変色と昨年葉の変色との関係

地区名	本年葉の変色	昨年葉の変色		
		無	少	著
北島町	無	28.7%	45.4%	3.7%
	少	0	4.6	17.6
	著	0	0	0
川之江	無	2.0	33.3	17.7
	少	0	13.7	25.5
	著	0	0	7.8
三島	無	13.1	21.7	26.1
	少	0	19.6	13.0
	著	0	2.2	4.3
水島	無	0	25.4	6.4
	少	0	20.6	36.5
	著	0	0	11.1
日比	無	6.0	41.4	9.0
	少	0	18.8	15.8
	著	0	0	9.0

本年葉の変色は、汚染のすすんだ状態を示すと考え、昨年葉の変色とともに採点項目に加え、配点は、著しい変色に対し4、軽度の変色に対し3ととくに重くした。

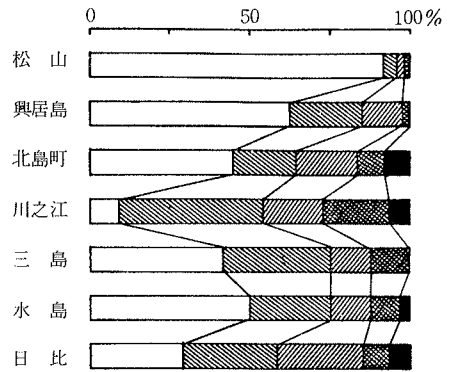
c. 昨年葉の落葉率

落葉率の調査は昨年枝の長さに対して、落葉部分の長さを目分量で測り、比率を求めた。低木については肉眼で、高木については双眼鏡で測定した。

昨年葉の落葉の割合については、大気汚染地域で20%をうまわる樹が半数以上あり、川之江においては9割にもおよぶ。さらに、これらの地域においては、60%をこす落葉率を示す樹が1割以上あり、三島を除いて、80%以上の落葉率を示す樹もわずかではあるがみられた。

それに対し、大気清浄地域においては、落葉率が20%をこえる樹は4割にみえず、60%をこす樹は、わずかに興居島において3%、松山において1%みられただけである(第6図)。

以上の大気清浄地域と大気汚染地域の間に見られる差とともに、昨年葉の落葉率は観察による客観的な数値化が可能であるので、20%きざみで0、1、



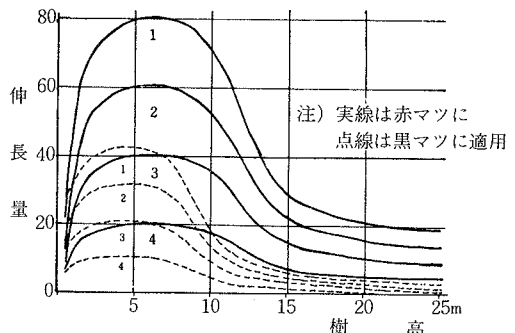
□0~20%(0), ▨21~40%(1), ▩41~60%(2), ▪61~80%(3), ■81~100%(4) (評点)

第6図 各地の松の昨年葉の落葉率

2、3、4と5段階に分けて配点を与えた。注)本調査は8月であるので本年葉の落葉はさほど意識しなかったが、75年11月の調査では被害甚大な樹では本年葉の落葉を認めたので(第2図C)、10月以後の調査には本年葉の落葉率を加えるべきである。

d. 本年枝の伸長量

松の当年発育した枝の伸長量は6月中旬でほぼ決定される<sup>1)</sup>。この伸長量は樹の生理機能の良否を判定するうえに重要な指標と考えられるが、樹令に強く影響されるので、それを無視して伸長量のみを比較するのは不適當である。各地の調査木の樹令は不明であるので、樹令に代わるものとして樹高をとりあげ樹高と伸長量との関係を作図し、伸長量の最大を示した点を結ぶと第7図1の如き曲線が得られた。

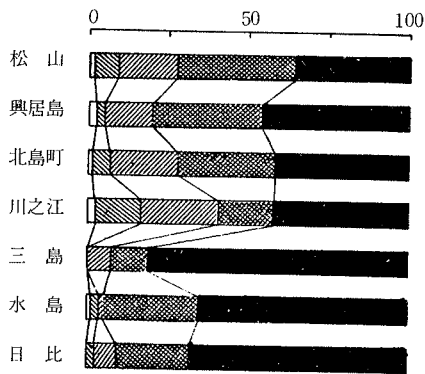


第7図 樹高による伸長量の採点基準

曲線の高さは赤マツと黒マツで異なるが、それぞれを四等分して1から4までに区分した。そして、調査木の樹高に対する伸長量がどの範囲に位置するか

を求めて、該当する数字で採点した。

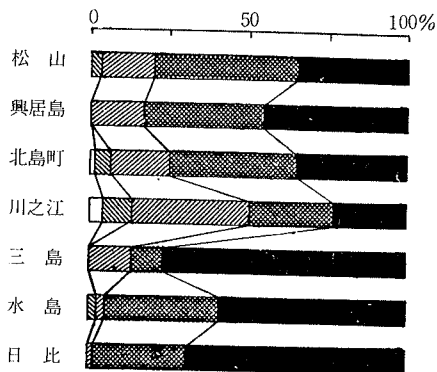
この採点基準にもとづいて各地の松の本年枝の伸長量を調べると、大気汚染地域の三島、日比、水島では、基準の半分以下の伸びである樹(採点、3および4)が90%をしめ、大気清浄地域の70%(松山)~79%(興居島)よりその割合は高く、さらに、その中でも最も伸びの少ない採点4の樹の割合は、三島81%、日比68%、水島63%と高く、松山34%、興居島45%との間に大きな差をしめしている(第8図)。



(□採点0の伸長量, ①1, ②2, ③3, ④4)

第8図 各地の松の本年枝伸長量

ここで、伸長量におよぼす樹令の影響を考え、特に、最も本年枝の伸びのよい樹高4mから8mの樹について調べてみたが、各地域ともそれほど全木調査の場合と、特定樹採点の場合との分布割合は変わらず(第9図参照)、先に決定した樹高による本



(□採点0の伸長量, ①1, ②2, ③3, ④4)

第9図 各地の樹高4m~8mの松の本年枝の伸長量

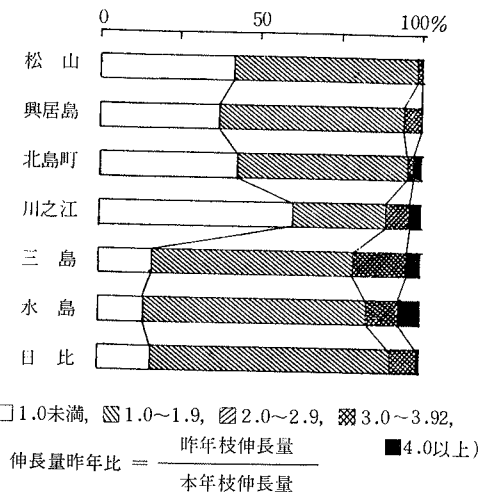
年枝の伸長量の採点基準(第7図)が、広く通用す

ることがわかった。

ところで、本年枝の伸びのよい採点0, 1, および2の樹は、大気清浄な地域においてもあまり多くないが、これは、本年枝の伸長には非常に多くの要因の影響がおよぶからであろうと考えられる。しかし、この伸長量が、大気汚染の採点項目として不適当というものではなく、すでに明らかになっているように、大気汚染の進行している地域と大気清浄な地域との間には松の生長に大きな差があるし、さらに、他の項目と相互に関連させて調査すれば、松の生育状態の診断には有効な調査項目だと考えられる。

e. 伸長量昨年比

本年枝の伸長量に対する昨年枝の伸長量の割合を伸長量昨年比と称した。実際の測定は樹冠中部の枝について肉眼または双眼鏡で本年枝長、昨年枝長を目測して記帳しておき、あとで計算すればよい。これは樹の衰退の進行を判定するのに有効である。すなわち、本年枝の伸長量が、昨年枝におよばない場合、樹勢の衰退がすすみつつあると考えられるので、その生数字を用いることにより配点が重くできるようにした。汚染地域の三島、水島、日比で、本年枝の伸びが昨年枝より大きい樹がわずか15%前後しかないことは、この地域での被害の進行を如実に示しているものといえよう(第10図)。



(□1.0未満, ①1.0~1.9, ②2.0~2.9, ③3.0~3.92, ④4.0以上)  

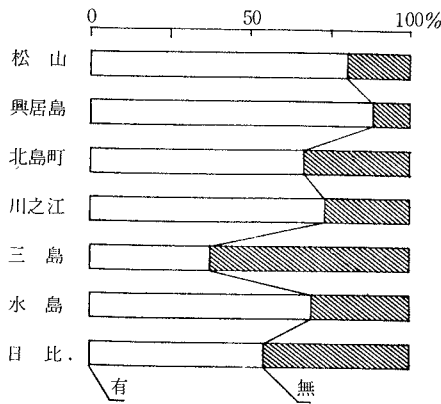
$$\text{伸長量昨年比} = \frac{\text{昨年枝伸長量}}{\text{本年枝伸長量}}$$

第10図 各地の松の伸長量昨年比

f. 頂芽優勢

頂芽優勢現象の消滅も衰退を表わす徴候であると考えられ、大気汚染地域では、三島で60%以上の樹

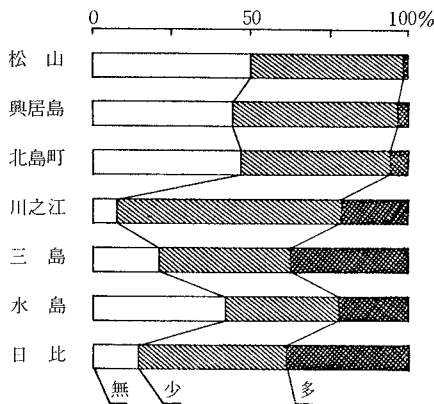
が頂芽優勢を示さず、日比45%、水島30%といずれも大気清浄地域である松山19%、興居島13%よりも相当高い割合で頂芽優勢を失っている。ただ、この頂芽優勢は樹令がすすむにつれて、自然に失われてゆく傾向があるので、第7図で伸長量が急速に低下するところより高い樹高、つまりアカマツでは15m以上、クロマツでは10m以上については採点からははずすことにした(第11図)。



第11図 各地の松の頂芽優勢の有・無

g. 落葉枝の多少

落葉枝とは第3図Cの状態から症状が一步進んで、全部の葉が落葉してしまったものである。これには、すでに枯死した枝と、枯死寸前の枝とが含まれる。このような枝は、地域にかかわらず多くの樹に認められたが、全体に対する比率を比較すれば、多くの落葉枝をもつ樹は、松山1%、興居島4%ときわめて少なかったが、汚染地域においては、日比および三島38%、水島および川之江22%と多く、地域間

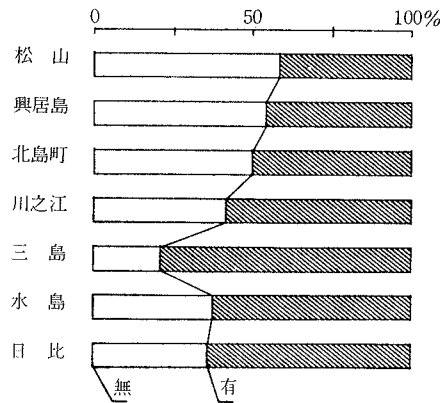


第12図 各地の松の落葉枝の多少の状態

には著しい差がみられた(第12図)。したがって落葉枝の多少にも、3, 2の配点を与えた。ただ、これも樹令との関係から、アカマツ15m未満、クロマツ10m未満の樹高木にかぎって採点した。

h. しだれ枝現象(下枝がしだれる現象)

第2図Bに示したしだれ枝も、大気清浄地域、大気汚染地域にわたりひろくみられるが、三島の79%をはじめとし、日比65%、水島63%、川之江59%、北島町50%は松山の41%、興居島の46%に比べ高い発生率である(第13図)。しかし、しだれ枝現象の判

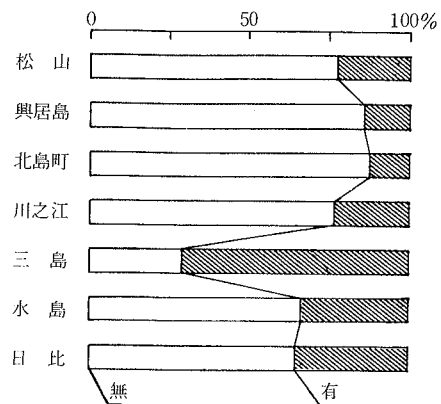


第13図 各地の松のしだれ枝現象の有無

定には主観的な要素が介入する可能性があるので、配点は1と軽くした。

i. 樹冠の減少

樹冠の減少も大気汚染地域の三島、水島、日比においては、大気清浄地域にくらべ、その進行がみら

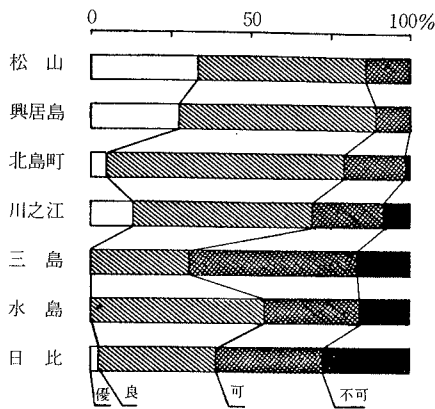


第14図 各地の松の樹冠の減少

れるが(第14図), 観察しにくいので参考項目とし, 採点はしなかった。

j. 樹勢

外見から判断される樹勢についてみれば, 大気清浄地域である松山, 興居島には, 枯死に近い状態を示す“不可”の樹はなく, 旺盛な生長を示す“優”が3分の1近くを占めているのに対し, 大気汚染地域では“不可”の樹があり, 特に, 日比27%, 水島16%, 三島17%にみられるようにその割合は高い(第15図)。このように, 樹勢においては, 大気汚染地域



第15図 各地の松の樹勢

と大気清浄地域の差は明瞭に表われているが, 樹勢の判定には主観的要素がつよいので採点からはずし, 全体のめやすとなるので参考項目として調査した。

4. 論 議

上述の調査結果で明らかとなり, 空気清浄地域における松と大気汚染地域における松とでは生育状態の上で著しい差異を認めることができる。大気汚染地域としてあげた地点のうち, 三島, 水島, 日比においては, すでに市街地の松が消滅しつつある。また附近の山麓においても松の衰弱がはげしく, ヤシヤブシなど大気汚染に強い樹木におきかえられる過程にあることが観察された。北島町では工場排煙による農作物被害が農家より訴えられているが, ここでは局所的な松の衰退がめだち, 農作物被害発生地と松の生育不良の場所とが一致した。

Thomas<sup>7)</sup>はSO<sub>2</sub>ガスによる植物被害は煙斑による光合成面積の減少にある, ことを指摘している。調査結果からみて, 汚染地域の松の落葉と変色(褐

変)葉の多いことからして, 葉量減による光合成能力の低下が松の衰弱の主要因であることがうかがえる。松幼植物にSO<sub>2</sub>ガス30分間を処理した実験結果を第2表に示した。同表によれば3~4ppmのSO<sub>2</sub>ガ

第2表 SO<sub>2</sub>処理による三年生アカマツの変色葉と光合成阻害との関係

SO <sub>2</sub> 処理濃度 (ppm)	処理時		全葉数 (本)	変色葉数 (本)	変色葉率 (%)	光合成阻害率 (%)
	湿度 (%)	温度 (°C)				
4	61	19	1,264	233.6	18.5	30
3	70	20	1,118	325.6	27.4	65

注) 1. 変色葉数は4ppmでは処理後21日, 3ppmでは処理後18日のもの。  
2. 光合成阻害率はそれぞれ処理後200時間のものから読みとったもので, 処理前の値からの低下率で示した。

スで全葉のうち2~3割の葉に変色が認められ, 汚染地域でみられた変色葉と非常に類似した症状が発現した。処理200時間後においても光合成の阻害率は30~65%であり, 変色葉率を上廻る光合成の阻害がおこっており, 光合成機能そのものにも被害があったと考えられる。

谷山<sup>6)</sup>は各種作物にSO<sub>2</sub>ガスを処理して, 光合成能の抑制を認め, 不可視的障害の存在を証明している。松の幼植物に各種濃度のSO<sub>2</sub>ガスを30分間処理し, 処理後の光合成作用の推移を追跡した実験結果を第3表に示した。SO<sub>2</sub>濃度2.4ppmまでは変色

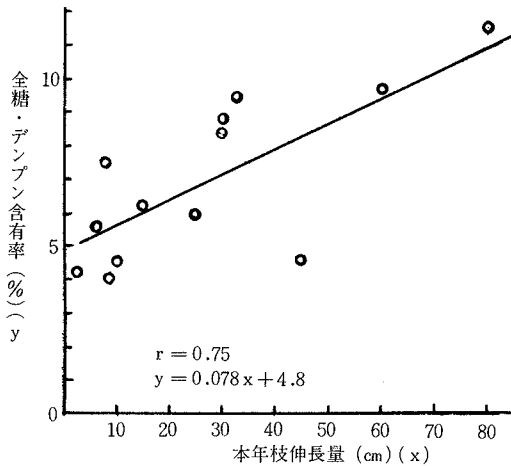
第3表 SO<sub>2</sub>処理後の三年生アカマツの光合成機能とその回復(1972)

処理月日	SO <sub>2</sub> 処理濃度 (ppm)	処理時		処理直後の光合成(相対値) (%)	葉の変色	光合成機能回復所要時間
		湿度 (%)	温度 (°C)			
11月18日	1	47	25	0	なし	5 hr
12月2日	1	63	19	16	なし	38 hr
11月22日	2	41	24	2.5	なし	100 hr
12月16日	2	70	23	-17.6	なし	200 hr
12月1日	2.4	45	25	13.5	なし	20 hr
11月28日	3	70	19	-17.1	あり	(200 hr, 35%)
11月23日	4	61	25	-9.3	あり	(300 hr, 70%)

葉の発現はなかったが, 1ppmの処理で光合成機能が処理前の値に回復するのに最大38時間かかるという結果が得られている。ここで注目すべきは処理時における空中の相対湿度の影響であって, 湿度が高

い場合に強い被害を受ける傾向があることである。この実験は汚染地域での機器による観測値よりも比較的高濃度のSO<sub>2</sub>ガスが処理されている。一般に大気汚染による被害は、Dose（濃度×時間）に比例して発現することが知られており、低濃度のSO<sub>2</sub>ガスであっても長時間処理された場合には、光合成の抑制による不可視的障害と、変色葉および落葉による可視的障害の複合によって、松は重大な被害をうけるものと推察される。

しだれ枝を呈した枝を採取し、乾燥粉末として、それに含まれる全糖と澱粉含有率（炭水化物）を化学分析した結果、正常な枝には炭水化物が10±2%含有されていたが、しだれ枝には5±2%しか含有されていない。なお、炭水化物含有率と本年枝の伸長量との相関をとると、 $r = +0.66$ であった。さらに同程度の樹高のものを選んで両者の関係を示すと第16図のとおりであり、相関係数は $r = +0.75$ と



第16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本年枝伸長量と全糖・デンプン含有率との関係

なる。同図で伸長量の多い枝には炭水化物が多く含まれていることが明らかであるが、これは枝の光合成機能と密接に関係していると考えられる。つまり、大気汚染物質によって光合成機能が抑制された場合は、枝条内における炭水化物蓄積量が減少し、翌春新梢が伸長する際に蓄積分を消費する。そして、光合成作用が抑制されている場合は、枝条内の炭水化物蓄積量を正常値まで回復することができない。このことのくりかえしが、第3図A，Bにかかげた樹体の変形に結びつくのであろう。

## 摘 要

1. 空気清浄な地域と、汚染地域の松の生育状態を比較し、明瞭に区別できる徴候群に対して、症状の進行程度に応じた配点をおこない、その総計点が多くなるほど、松の生育状態が悪化していることを示すような採点基準を作成した。

2. 大気汚染地域にみられる松の最も大きな特徴は落葉率が高いことである。また、葉が褐変した変色葉も汚染地域に多くみられた。大気汚染地域の松の外観的特徴として、若令木において頂芽優勢現象の消失、また、老令木ではしだれ枝現象、落葉枝の多発などが観察された。

3. 三年生アカマツに対して各種濃度のSO<sub>2</sub>ガスを30分処理した結果、3ppm以上の濃度で変色葉が発生した。光合成能力の低下は1ppmでもおこり、それが処理前の値に回復するのに最低5時間、最大で38時間を要した。空中湿度の高い条件下でSO<sub>2</sub>ガスを処理すると、光合成能の阻害が著しかった。

## 引用文献

1. 赤井竜男 (1973) マツの新葉と新梢の伸長  
四手井・佐野編著，松と人生，明玄書房，P 112.
2. Ender, F. (1968) Air pollution. Proc. 1 st. European Congr. Influence on plants and animals. Wageningen. p. 245.
3. 古野東州 (1973) マツの葉の寿命，四手井・佐野編著，松と人生，明玄書房，P 55.
4. Jacobson, J. S. and W. A. Feder (1974) A regional network for environmental monitoring: Atmospheric oxidant concentrations and foliar injury to Tobacco indicator plants in the eastern United States. Univ. Massachusetts Bulletin, No. 604.
5. 松中昭一 (1975) 指標植物，講談社
6. 谷山鉄郎 (1972) 作物の亜硫酸ガス障害の実態とその機構に関する研究，三重大農学術報，No.44 : 11-130.
7. Thomas, M. D. and R. G. Hill (1935) Relation of sulfur dioxide in the atmosphere to photosynthesis and respiration of alfalfa. Plant physiol. 12 : 309-383.