

# 樹木の大气汚染被害の鑑定

——とくに亜硫酸ガス害について——

高 安 稔 鈴 木 熙 鈴 木 悌 司

## はじめに

大气汚染の主要原因物質である亜硫酸ガスの汚染が依然として改善されることなく、かえって広域化しつつあるとき、亜硫酸ガス排出源（工場・施設・ボイラー）の周辺地区や風下地区に生育する緑地・森林樹木に突然ガス公害がおこらないという保証はないのである。そのさい環境緑地の維持管理の立場から、あるいは林業経営の立場から、まず亜硫酸ガス害鑑定の問題がおこる。

そこで、北海道に生育する北方樹木に対する亜硫酸ガス害の鑑定方法を確立するため、当場では人工的に亜硫酸ガスを樹木に接触させ、外見上現われる被害症状の特徴や葉の化学成分の変化を把握する一連の実験を46年度（1971年）にはじめたので、現在までの実験結果を中間的に報告する。

## 実験方法

### 供試植物

つぎの木本12種、草本1種である。木本は平均樹高 115cm、平均根元径 1.8cmで46年5月8日ポリエチレン製鉢に定植した。

- 木本 { 針葉樹：イチイ、トドマツ、ニホンカラマツ、  
          ストロブマツ  
      広葉樹：アカナラ、シダレヤナギ、イタヤカエ  
              デ、プラタナス、ニセアカシヤ、セイ  
              ヨウナシ、セイヨウミザクラ（サクラ  
              ンボ）、セイヨウリンゴ

草本：ソバ……実験の生物指標として用いた。

### ガス接触期間

46年9月2日から10月1日まで25日間、午前10時から午後4時まで1日6時間連日送入し、接触時間累計は145時間である。ただしセイヨウリンゴは46年9月17日から10月1日までの13日、累計77時間であった。



写真—1 ガス接触用ビニールハウス内部と供試樹木

## ガス接触方法

ビニールハウス（間口 3.6m, 長さ11m, 棟高2.2m, 容量70m<sup>3</sup>）4棟を用い、対照用1棟、ほか3棟に濃度0.2, 0.4, 0.8ppmの亜硫酸ガス(SO<sub>2</sub>)をそれぞれ同時に送入した。ガスの発生、濃度の維持方法は、100% SO<sub>2</sub>を2段希釈して送入し、ハウス排気口から浄化排出する開放系方式を用いた（写真-1）。

## 供試樹葉のイオウ分析

同一配置個所の各樹種2本ずつについて、針葉樹では当年葉を採取し、表面を水でぬらした布でぬぐった後、75℃で24時間乾燥し粉碎した。分析方法は試料を燃焼し、発生するSO<sub>2</sub>を沃度法で滴定する燃焼式イオウ分析装置を用いた。

## 実験結果

### 被害の判定

大気中のSO<sub>2</sub>は葉面の気孔をとおして葉の中にとりこまれた後、ほとんど葉の外へでることなく葉の組織内にとどまり、毒作用をおこすといわれている。したがって、SO<sub>2</sub>の接触をはじめてから1か月にわたり、樹体とくに枝葉に現われる外見上の被害症状に注意して、毎日観察記録を続けた。

### 症状の様相

SO<sub>2</sub>害の外見症状は、形態的变化と煙斑症状に区別されるが、症状が発生する時期によって初期症状から中末期症状までの被害進行経過が認められた。すなわち、初期症状として写真-2, 3に示すようにカラマツ

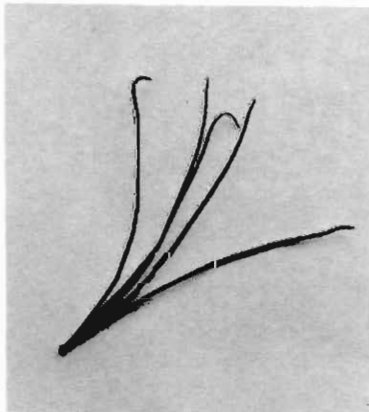


写真-3 ストローブマツのSO<sub>2</sub>害による初期症状である葉先の鈎状弯曲



写真-2 ニホンカラマツのSO<sub>2</sub>害による初期症状である新梢の先枯  
—左側上枝に3箇所見られる—

の先枯れ（新梢先端が生気を失って下垂する）、ストローブマツの針葉先端の鈎状弯曲、セイヨウナシなどの葉縁のそり、カラマツ葉面の黄白化、ニセアカシヤ葉面の光沢化（glazing）、カラマツ、トドマツ葉面からの樹脂滲出の形態変化が最初に現われる。これに対しアカナラ、プラタナス、シダレヤナギ、イタヤカエデ、セイヨウミザクラ、セイヨウリンゴ、イチイでは最初の症状として葉面に不規則状の斑点、つまり煙斑が現われる。最初の症状が形態的な変化の型で現われる樹種でも、被害が進むにしたがい漸次葉面に煙斑ができる。写真-4のようにカラマツ、ストローブマツは先枯れ現象を

おこした後、0.8ppm区の累計61時間後には葉面に明らかな煙斑ができ、さらに進行すると落葉をはじめ。ついでストローブマツは幹の表皮が剝離するようになる。煙斑ができてこのような症状になると、もはや末期的である。この煙斑は最初に中位葉に現われ、先端葉、下位葉に現われるのは被害が相当進んだときである。

葉面上の煙斑ができた部分は、写真-5に示すように最初は葉の中央部、葉脈と葉脈の間であり、トドマツ、イチイも葉の中央部である。その後被害の進行とともに、葉の先端、葉縁部におよぶ。煙斑の形状は、斑点、円形、

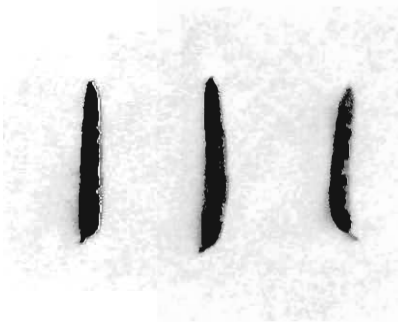


写真-6 イチイ煙斑の拡大経過  
左は初発時3個、黄色点状、中は発生個数増加し形も拡大  
右は点状斑が連絡し葉面の半ばを占め、褐色乾固したもの



写真-7 イチイ煙斑部の壊死崩壊のため葉先端が脱落した樹葉(上側に3枚見える)と萎縮矮化葉(先端から3枚目下側に見える)



写真-4 ニホンカラマツ葉面に現われた煙斑  
—先端および葉身中央を横断した黄色の斑状部分が煙斑—

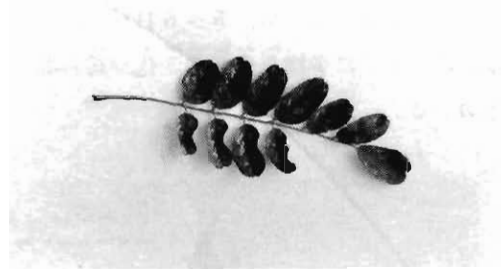


写真-5 ニセアカシヤ葉の葉脈間に現われた煙斑  
—0.8ppm SO<sub>2</sub>に97時間接触時点の様相で、色は黄褐色—

不定形であるが、被害の進行につれて拡大する。トドマツ、カラマツ、ストローブマツ、イチイは、最後は葉を横断した帯状になる。色が黄白色、褐色、赤褐色と変化する樹種もある。このように煙斑は被害症状が進めばほとんどの樹種に現われるし、またその所在がはっきりしているため、被害鑑定的主力は煙斑を発見することになる。

0.8ppm区のような高濃度の亜硫酸ガスを接触させると、初期症状から末期までの症状変化が順次みられることはすでに述べたが、煙斑がひろがり変化する様子をつぎに詳しく説明する。イチイは写真-6,7のように当年生中位葉の表面中央部に黄色の斑点が3~4個で

き、やがて各斑点が拡大し葉を横断する方向へおたがいが連絡して葉の縁にまでおよび、帯状斑となり、色も褐色に変わり乾燥して壊死斑となる。さらに進んで壊死部から折れ、先端部が脱落してしまう。このようになると煙斑は当年葉だけでなく、前年葉にも現われるようになる（0.8ppm区で103時間接触）。またほかの2、3葉に萎縮矮化が現われる。

イタヤカエデの経過は、0.2ppmの低濃度の場合には葉が黄化するだけであるが、0.4～0.8ppm濃度のときは褐色斑点が鮮やかに現われ、さらに被害が進むと煙斑が拡大し赤褐色になり、乾燥して煙斑部が脱落するため葉面に煙斑大の孔がぬける（写真-8）。ついで徐々に落葉をはじめ。この孔あき現象はニセアカシヤの0.8ppm区でもみることができる。

セイヨウナシの変化は極めて明瞭である（写真-9）。はじめ葉の縁のそりではじまり、ついで葉脈部分が黄化し、そこからだんだん周囲に拡がり、全面黄化する。急速に落葉をはじめ、5～6日以内に全部が落葉する。このように多様な症状の変化が短日間につきつぎとおこる。

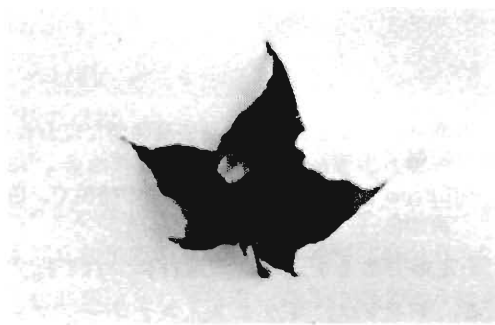


写真-8 イタヤカエデ煙斑の末期様相で、赤褐色斑が乾固して脱落した跡孔



写真-9 千両ナシのSO<sub>2</sub>害初期症状である葉縁のそりと葉脈の黄化

今回の実験を通じてわかったことは、SO<sub>2</sub>の濃度、接触時間はもちろん、環境条件がまったく同一の場合でも樹種によって外見的症状の様相が多様多彩であり、また同一樹種でもガス濃度および接触時間の違いで現われる症状に大きな差異が認められることである。ここにあげたような被害症状の現われる速度は、ガス濃度が高いときほど早く、低い濃度（たとえば0.2ppm）のときは、より長い接触時間の後にはじめて現われるか、または抵抗性が強い樹種（アカナラ、シダレヤナギ、ニセアカシヤ、プラタナス、セイヨウミザクラ）の場合145時間接触ではまったく現われない。図-1は0.8、0.4、0.2ppm区の外見症状がはじめて現われたときの時間を×印で、被害がさらに一段階進んだときを◎印で示したもので、時間数が大きい樹種ほど抵抗性が強いといえる。

またそれぞれの外見的な被害症状の型によって、煙斑ができ落葉する急性害と、葉の黄白化、光沢化をみる慢性害の2つに被害区分をすることができる。

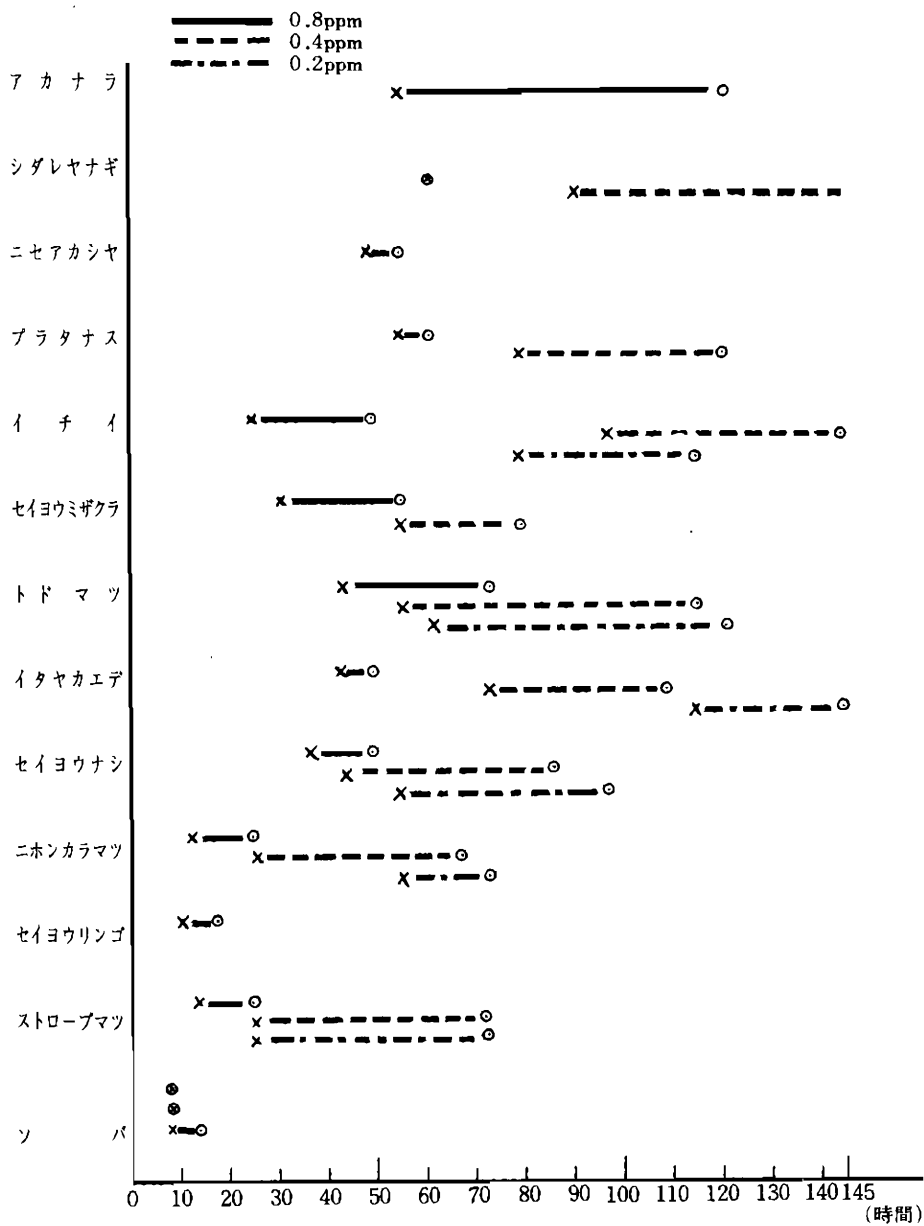


図-1 外見症状の発現時間

×：供試個体の半数以上に外見症状(被害度1)がはじめて現われた時間

○：供試個体の半数以上に被害度2が認められた時間

被害度1：一部の枝葉にかすかな害 被害度2：全体の1/4以下に明らかな害

煙斑が樹種によって特徴ある形、色、発生部位を示すことはすでに詳しく説明したが、葉面に現われる煙斑らしい斑点で、ガス以外に虫の被害によってできるものがあるので鑑定のとき注意する必要がある。すなわち、トドマツ葉の裏面に寄生するカイガラムシの1種（スギマルカイガラ）によって葉の表面に黄色の斑点が虫体1個につき1個の割合で現われる。したがって葉面に煙斑らしき斑点を発見しても、裏側を調べて虫がいるかないかを確認しなければならない。トドマツではSO<sub>2</sub>害による煙斑の発生は、それ以前に葉面に樹脂の分泌がみられるし、また煙斑の形ははじめ斑点状、ついでひろがり連絡して葉を横断して帯状になるなど、煙斑の拡大経過の特徴をしっておくことが必要である。

### 葉のイオウ蓄積量

SO<sub>2</sub>を145時間接触したときの供試樹木の葉のなかに蓄積したイオウ量の変化を調べた。このイオウは無機態、有機態および蛋白態イオウを一緒にした全イオウの量であり、それぞれの分析値は表-1のとおりである。

樹種	濃度			対照
	0.8ppm	0.4ppm	0.2ppm	
シダレヤナギ	1.16 (0.75)	0.90 (0.49)	0.86 (0.45)	0.41
ニセアカシヤ	0.98 (0.84)	0.64 (0.50)	0.49 (0.35)	0.14
プラタナス	0.99 (0.82)	0.61 (0.44)	0.46 (0.29)	0.17
セイヨウミザクラ	0.66 (0.56)	0.48 (0.38)	0.36 (0.26)	0.10
イタヤカエデ	0.69 (0.61)	0.43 (0.35)	0.13 (0.05)	0.08
* セイヨウナシ	0.25 (0.10)	0.45 (0.30)	0.29 (0.14)	0.15
アカナラ	0.45 (0.36)	0.25 (0.16)	0.20 (0.11)	0.09
ニホンカラマツ	0.44 (0.29)	0.43 (0.28)	0.25 (0.10)	0.15
イチイ	0.32 (0.23)	0.19 (0.10)	0.13 (0.04)	0.09
ストロブマツ	0.27 (0.13)	0.17 (0.03)	0.17 (0.03)	0.14
トドマツ	0.25 (0.12)	0.18 (0.05)	0.15 (0.02)	0.13
** セイヨウリンゴ	0.36 (0.21)	— (—)	— (—)	0.15

( ) : 対照区含量に対する増加分

\* : 0.8ppm区は接触91時間後

\*\* : 接触77時間後

### 樹種とイオウ含量

樹種の違いによって、同一ガス濃度でもイオウ含量に顕著な差がみられる。イオウの蓄積が大きい樹種としてシダレヤナギ(0.8ppm区で1.16%)、ニセアカシヤ(同0.98%)、プラタナス(同0.99%)が上位3位を占める。針葉樹グループ(同0.44~0.25%)は最下位である。セイヨウナシのように0.8ppmの高濃度で急性害をおこし落葉したため、十分なイオウ蓄積ができなかった樹種もある。

### ガス濃度とイオウ含量

ガスをまったく接触しない対照区の葉にもイオウが検出されており、しかも樹種により明らかな差異がある。シダレヤナギの0.41%は際立って大きく、プラタナスは0.17%でいずれもイオウ蓄積量の多い樹種である。

ほかの樹種は 0.1%前後の値である。このようにSO<sub>2</sub>を与えない無接触区から検出されたイオウは、土壤中のイオウが植物の必須栄養素として根を経て蓄積されたものであり、可溶性有機態イオウおよび蛋白態イオウの形で存在し、土壤中のイオウ含量の多少にある程度比例するが、過剰に吸収されることはまれである。また大気中のSO<sub>2</sub>が葉の気孔をとおして葉のなかに蓄積するイオウは、おもに無機態イオウの形で存在するといわれている。

つぎにガス濃度の違いによるイオウ含量の変化をみると、0から0.8ppmの濃度範囲では一般的にガス濃度が増すにしたがってイオウ含量も増大する。しかし0.8ppm区で急性害をおこしたセイヨウナシ、カラマツは例外で、セイヨウナシは低下、カラマツは横ばいの値であった。すなわち表-1からわかるように、ガス濃度が2倍になってもイオウ蓄積量が比例的に増加するとは限らない。また蓄積総量のほか、葉がSO<sub>2</sub>を吸収してとりこんだのみなされるイオウ量(表-1の( )書)についても同じことがいえる。

ここにかかげた含量変動の解析をとおして、イオウ含量をガス害鑑定に応用するさい、単純に葉のなかのイオウ蓄積量の多寡だけをもって判定することの危険な理由がわかる。つまり

(1)葉のなかのイオウ量は樹木の種類によって蓄積量に大きな差異があること。

(2)植物の葉のなかには、葉が大気中のイオウ酸化物をとりこまなくても、根から必ずイオウを吸収しており、かつこの量は樹種によって差異があること。

(3)大気中のSO<sub>2</sub>濃度が増加しても、葉の気孔をとおして葉のなかに蓄積するイオウ量は比例的に増大せず、高い濃度のときは、かえって蓄積量が低下すること。

したがって葉のなかのイオウ含量は、樹種特有の型を十分知った上ではじめて鑑定に役立つ。葉の被害程度と葉のなか

のイオウ含量の関係を検討するため、厳密な意味での比較にはならないが、145時間接触したときに現われた被害度とそのときのイオウ含量の関係を表わす実験データを示すと表-2のようになり、樹種によっては正常値(対照区イオウ含量)の1.6倍で被害が現われるもの(イタヤカエデ)や、3倍以上になってはじめて現われる樹種(プラタナス、ニセアカシヤなど)がある。被害とイオウ含量間の関係は一定傾向にないことが知られるが、一般的には無汚染地(正常)のものにくらべて、イオウ含量が2~3倍あればSO<sub>2</sub>害の疑いは濃厚であるということが

表-2 被害度と葉中イオウ含量(対照区100に対する指数)

	0.8ppm		0.4ppm		0.2ppm	
	被害度	イオウ含量	被害度	イオウ含量	被害度	イオウ含量
シダレヤナギ	3	283	1	220	0	210
ニセアカシヤ	3	700	0	457	0	350
プラタナス	3	582	2	359	0	271
セイヨウミザクラ	3	660	3	480	0	360
イタヤカエデ	4	863	3	538	1	163
セイヨウナシ	4	167	3	300	2	193
アカナラ	2	500	0	278	0	222
ニホンカラマツ	4	293	3	287	2	167
イチイ	3	356	1	211	2	144
ストロブマツ	4	193	3	121	3	121
トドマツ	3	192	2	138	2	115

\* : 0.8ppm区は接触51時間後の被害度とイオウ含量  
 被害度0:被害なし 被害度1:一部の枝葉にかすかな害  
 被害度2:全体の5以下に明らかな害 被害度3:全体の5~10に明らかな害  
 被害度4:全体の10以上に明らかな害 被害度5:枯死または回復見込みのないもの

できよう。

### おわりに

亜硫酸ガス (SO<sub>2</sub>) 害の鑑定を正しく行なう方法を早急に確立し、かつ簡便化することが望ましいが、さきに説明したように外見的被害症状1つをとらえても樹木の種類ごとに千差万別であり、また葉のなかのイオウの定量分析値も、樹種により濃度により多様かつ変動幅が大きいから、外見症状の特徴とイオウ蓄積の特色を十分に確認し、総合判断してはじめて誤りのない鑑定ができる。

以上は単純な亜硫酸ガスだけの、しかも樹種を限定し、実験時期も秋の一季節における完全とはいえないデータに基づいての被害鑑定方法による考察であるが、さらに被害度別のイオウ含量の分析などの実験データを収集し解析を重ねる必要がある。しかも野外の実態は2種以上のガスの混合や粉じんで複合汚染されているのが普通で、さらに環境条件もマイナス方向に作用するため、樹木のうける影響は、相加的であるよりもむしろ相乗的であると門田正也氏は指摘している。このため大気汚染被害の鑑定にあたっては、汚染大気の測定分析をはじめとして多方面の調査データを収集するとともに、豊富な知識経験を駆使して、慎重に鑑定を行なう配慮が肝要である。



ウダイカンバ