

ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第2135号

土木研究所資料

植物の大気浄化能力に関する調査

昭和59年 8 月

建設省土木研究所
道路部交通環境研究室

植物の大気浄化能力に関する調査

交通環境研究室 足立 義雄
吉川 良行
阪井 清志
日名子信広

植物の大気浄化能力に関する調査（要旨）

植物は、吸着や吸収などによる汚染物質除去能力や拡散作用など、有効な大気汚染低減機能を持つと考えられており、自動車排出ガスの対策のひとつとして期待されるものである。そのためには、植物の大気浄化機能を定量的に把握し、環境対策として緑地帯を用いた場合の効果について検討する必要がある。本報告書は、その手がかりを得るため、既往の文献調査により植物の大気浄化機能についてとりまとめたものである。ここでは基礎的事項として、吸着や吸収などの植物による大気浄化の機構、拡散や遮蔽などの植生による効果、及び植物に対する大気汚染の影響などをとり上げた。

キーワード…植物、大気浄化、吸着、吸収、大気汚染

ま え が き

これまで植物と大気汚染に関する研究については、植物を被害者とみなし、環境汚染の指標とするものが多く、植物の大気浄化機能に関する研究は、一般に定性的な範囲の調査にとどまっている。

しかし、植物は、吸着や吸収などによる汚染物質除去能力や拡散作用など、有効な大気汚染低減機能をもつと考えられており、自動車排出ガスの対策のひとつとして、緑地帯の効果が期待されるところである。そのためには、植物の大気浄化機能を定量的に把握し、環境対策として緑地帯を用いた場合の効果について検討する必要がある。

本報告書は、その手がかりを得るため、既往の文献調査により植物の大気浄化機能について取りまとめたものである。ここに、この資料作成にあたって協力いただいた緑化研究室の方々、および文献として取り入れさせていただいた原著者の方々に対し、深く感謝の意を表します。

昭和59年8月

目 次

まえがき

1. 大気汚染と植物	1
1. 1 植物による大気汚染の浄化研究の流れ	1
1. 2 植物による拡散の形態	1
2. 植物による大気汚染質の浄化	2
2. 1 大気汚染質について	2
2. 2 植物の大気汚染浄化能力	2
2. 2. 1 吸着による大気汚染質の浄化	3
2. 2. 2 吸収による大気汚染質の浄化	7
3. 大気汚染による植物被害	12
3. 1 汚染質の種類	12
3. 1. 1 一般大気中の汚染物質	12
3. 1. 2 移動発生源の排ガス中の汚染物質	12
3. 2 大気汚染物質による被害状況	12
3. 2. 1 可視的障害	13
3. 2. 2 不可視的障害	14
3. 2. 3 汚染の形態	14
3. 2. 4 大気汚染質の植物被害	14
4. まとめ	20
4. 1 植物による大気浄化の機構	20
4. 2 植生の効果	20
4. 3 植物に対する大気汚染の影響	20
参考文献	21

1. 大気汚染と植物

1. 1 植物による大気汚染の浄化研究の流れ

植物と大気汚染に関連する研究は様々な観点から行われているが、これまでの植物と大気汚染の研究は、植物を被害者とするものが多かった。

我が国において、植物と大気に関連した研究発表は、昭和2年の米丸¹⁾の SO_2 による稲作被害に始まるが、この頃は SO_2 による植物被害の研究が多かった。しかし昭和40年代後半になり、公害問題が社会的に大きくとりあげられるようになってからは、問題になる汚染質ごとの被害研究が行われることになり、現在に及んでいる。主要な汚染質による「植物被害」状況は、3.に総括して記載した。

植物によって汚染質を除き、大気を浄化する研究は昭和46年にMartin等²⁾が森林近くでは SO_2 が減少することを報告して以来、広く研究されてはいるものの、まだ研究の段階にとどまっている。

1. 2 植物による拡散の形態

発生ガスは、次の挙動をとって拡散するといわれている。

(ケース1) 植物群にはふれず、大気中に拡散する。この時の汚染質の濃度は、拡散によって減少する。ここで言う拡散とは、汚染質を含む空気の流れが、樹冠に沿って上空に移動することである。この移動の間に汚染空気と清浄空気が混合するから、その分だけ汚染質濃度は減少する。

拡散する距離によって、汚染質の濃度は指数関数的に減少する。

(ケース2) 樹林又は植物群落を通過しながら拡散する。この時には、汚染質は、樹林等の抵抗をうけて拡散速度が減少する。そのため汚染質が、樹枝や葉面に吸着または吸収されやすくなり、汚染質濃度がうすくなる。

樹林内にあっても、樹林内の汚染質濃度は距離によって減衰する。

¹⁾ 米丸 昭二「大気汚染と植物被害」(昭和2年) 農学雑誌 27(1) 1-10

²⁾ Martin, R. H. et al. (1971) "The Role of Forests in the Removal of Air Pollutants" (1971) J. Appl. Ecol. 8, 1-10

³⁾ 日本環境学協会編「環境学」(昭和46年) 1-10

⁴⁾ 日本環境学協会編「環境学」(昭和46年) 1-10

⁵⁾ 日本環境学協会編「環境学」(昭和46年) 1-10

2. 植物による大気汚染質の浄化

2. 1 大気汚染質について

1) 汚染質の形態による浄化機能の違い

植物は、大気汚染を浄化する機能をもっているが、対象汚染質の形態によって浄化機能が異なる。原則的にみると、大気汚染質が

(1) 気体の時には吸収

(2) 固体の時には吸着

の機能によって、浄化されるものと考えられる。

2) 汚染質の種類

大気中の汚染質については、3. の植物被害の項で列記するので、ここでは形態別に代表的な汚染質名を記した。

(1) ガス状(気体)汚染質：二酸化硫黄(SO_2)、二酸化窒素(NO_2)
オゾン(O_3)等がある。

(2) 固体汚染質：粒子状のもので粉塵や煤塵がある。粒径 $5\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 以上のものの総称である。

しかし、これらの粒子状物質であっても、自動車の排ガス中の黒煙などのように、直径 $5\mu\text{m}$ 以下のものもある。

2. 2 植物の大気汚染浄化能力

大別すれば次のとおりである。

[1] 物理的な浄化能力

1) 主として固体汚染質が対象となる。

2) 沈着 [Deposition]、吸着 [Absorption] 等がある。

[2] 生理的な浄化能力

1) 主として、ガス状汚染質が対象となる。

2) 吸収 [Absorption] 又は [Sorption]

[3] 気象的な浄化能力

1) 樹林等によって大気が拡散 [Diffusion] するため、風速の減少、³⁾ 停滞、風向の変換、気流の流れを遮蔽する希釈 [Dilution] 等がある。

2) 何れも、他の浄化能力と複合的な働きがある。

[4] フィルター効果

[1]、[2]、[3]を含めた総合的、複合的な効果である。

2. 2. 1 吸着による大気汚染質の浄化

1) 吸着について

物理的な浄化機能には、沈着と吸着があり、次に記すように、沈着と吸着とは異なった現象を扱うのであるが、何れも、汚染質が葉または枝の表面に付着することによる浄化であるから、ここでは同一のものとして扱った。

(1) 沈着とは、植物群体などに気流が衝突した時、気流が弱まり流れが停滞することによって、植物の表面に汚染物が沈降し付着することである。空気より比重の大きい粒子状物質の場合に顕著に生ずる。

(2) 吸着とは、汚染質が植物の表面に吸引され付着することである。汚染物については粘度の高い黒煙のような粒子状物質は吸着する事が多く、またガス状汚染質であっても、随伴して容易に葉面に付着することがある。また植物については枝や葉の形態すなわち展葉形態、葉の表面構造等が吸着量に関係する。

吸着する汚染質の大部分は、「沈着」と同じく直径 $5\mu\text{m}$ 以上の粒子状物質と考えられている。

また、葉面の気孔の大きさは長径 $20\mu\text{m}$ 前後、短径 $5\mu\text{m}$ 程度であるから直径 $5\mu\text{m}$ 以上で質量の大きい粒子状物質は落下して葉の表面に付着する。しかし、 $5\mu\text{m}$ 以下の微粒子はガス汚染質と同じく植物体内に吸収され、浄化される。例えば、自動車排ガスと共に排出される黒煙のような直径 $5\mu\text{m}$ 以下の微粒子が該当する。またエアロゾルの様な液体微粒子も同様な挙動がある。

このように大気中のエアロゾルおよび気体類が植物表面に吸引され付着することを総称して吸着⁴⁾とよぶ。

2) 吸着の機構⁵⁾

葉面に粉塵が捕捉される過程は、大きく2つに分けて考えることができる。第1の過程は葉面に到達する(衝突する)過程であり、第2の過程は到達した粉塵が葉面に吸着する過程である。第1の過程は衝突率によって説明できるものと考えられ、Cham-

berlainは、衝突率は風速、粒子の大きさ、粒子の密度が大きく、障害物が小さくなればなるほど大きくなるし、それらの量によってつくられる無次元数Kの関数により衝突率を表わしている。

$$K = \frac{D_p \cdot \rho_p}{9 \nu \rho} \frac{u}{l} \dots (1)$$

K : 衝突率を決めるための因子

D_p : 粒子の直径 (cm)

ρ_p : 粒子の密度 (g/cm^3)

u : 風速 (cm/sec)

l : 障害物としての円筒の直径 (cm), 例えば葉の幅を表わす

ν : 空気の動粘性係数 (cm/sec)

ρ : 空気の密度 (g/cm^3)

第2の過程は葉面の形態によるところが大きく、一般に葉面形態が複雑なほど捕捉粉塵量は大きいとされる。

3) 吸着による浄化能力の評価^{6),7)}

(1) 浄化能力は次式から算出されている。

$$F_1 = W/A \dots (2)$$

ここに

F_1 : 浄化量 (mg/dm^2)

A : 葉の平均面積 (dm^2)

W : 粉塵量 (mg)

または

$$F_2 = W/W_o \dots (3)$$

ここに

F_2 : 浄化量 (mg/g)

W_o : 乾燥葉の重量 (g)

W : 粉塵量 (mg)

これらに必要な数値は、つぎのようにして求められている。

(2) 測定順序

次の順序で葉を分析し、浄化能力を求める。

1 まず試料葉の適量を純水に浸漬する。

適量とは粉塵量が10 mg以上を期待される量であることとする。

2 超音波洗浄器で30～40分洗浄する。

3 洗液を正量ろ紙でろ過する。

4 ろ紙上の沈澱は乾燥後ひょう量する。[W]

5 葉の面積をプランニメーターを用いて計る。

6 葉を100℃で3時間乾燥して乾燥後の重量を求める。[W₀]

7 式(2)、(3)により単位当りの沈澱を求め浄化能力を判定する。

4) 吸着による粉塵量の浄化実例

(1) 防護植栽の効果⁸⁾

〔目的〕 東名高速道路、日本坂トンネル上り坑口付近に設置した防護植栽による粉塵捕捉効果を調査した。

〔方法〕 8種類の樹木による防護林をつくり黒化度、粉塵量等を調査した。

〔結果〕 自動車の粉塵により葉色が黒化する。樹は粉塵を捕捉するフィルターの効果が大きい。

樹種によって捕捉量が異なるが、葉面形状（例えば針葉、葉面の凹凸、毛の有無など）の差によるものと考えらる。

新葉は、粉塵を捕捉しにくい。

(2) 都市樹林の大気浄化機能について⁹⁾

〔目的〕 明治神宮境内（約72 ha）を対象とし、外部の粉塵類が林縁や内部でどのように増減しているかを調査したものである。

〔方法〕 粉塵類については、テープエアサンプラー、およびデジタル粉塵計を用い60地点について測定した。その他に葉面付着粉塵重量などについても測定した。

〔結果〕 外部に比べ、内部は約50%の値を示した。葉面付着粉塵量をみると内

部は林縁部に比べ、約40%であった。

固体粒子状物質には外部より来るもの、緑地内の苑路、広場等で局所的に発生するものがある。

発生源に対して樹林の厚味を増すほど粉塵量は低い値を示した。

緑地のもつ浄化機能としては、樹葉による粉塵の捕捉ろ過機能すなわちフィルター効果によるものと、樹林による風の流れに影響与える間接的効果の相乗作用によるものが考えられる。

(3) 粉塵の浄化と大気の輸送機構（風洞実験）¹⁰⁾

1~10 μm の粒子とエアロゾルを試料とし、浄化材としては松と榎の木を用い風速1~20 m/s を変量として捕捉度をテストした。

【結果】 ・ 風速1~2 m/s 、粒径2~5 μm の条件では、榎の木より松の方が10~20倍高い捕捉量が得られた。

・ 1 m/s 以上の風速では、捕捉速度は沈降速度よりも高く、風速が高くなるにしたがいさらに高くなってきた。

・ 微粒子の付着率は、繊維状の葉か、又は小枝等がよいことがわかった。

(4) 植物によるダストの捕捉¹¹⁾

1) 降下粉塵量は100 m^2 当り192~825 g であり、その中で不溶性のものは102~597 g であった。

塩化物、硝酸塩、石灰塩の含有量はそれぞれ100 m^2 あたり、14~39 g 、18~47 g 、18~36 g であった。

2) 草と樹林の何れもが大気中の粉塵を捕捉し、浄化効果があることが分った。

3) 敷地の広さにも影響が見られ、50 m^2 の土地で1000 m^2 の葉面積をもつばだい樹は1.6 g/m^2 の粉塵を捕捉したが、15 m^2 の土地における樺の木は0.5 g/m^2 の粉塵を捕捉したにすぎなかった。

(5) 植生と都市環境の浄化¹²⁾

1) 樹木の汚染質の浄化作用には、ろ過作用や遮蔽による風速が停滞又は減速することによる沈降作用等が寄与している。

2) 工場地帯に近接する庭や公園によって周辺大気中のダスト量の40%が減少

した。また590フィートの植樹帯は75%のダストを減少させた。

- 3) 樹木の種類と浄化度との関係を見ると、落葉樹の方が針葉樹より捕捉効果は小さかった。

(6) 街路樹による重金属の除去¹³⁾

〔目的〕 植物の浄化機能を明らかにするため、降雨が街路樹を経由して落下する際のpHや重金属と、樹林のない地域のそれ等とを比較して樹林の効果を求めた。

〔結果〕 pHは、林外雨が4.3~4.7の範囲であるのに対し、林内雨のpHは5~6.5の範囲であった。

樹林が落葉する時期になって、この差は小さくなって来たが、なお林内雨のpHが高かった。雨水は、植物の枝葉に接触して酸性度が緩和されることが明らかになった。

金属については、雨量との関係でみると林外雨では、雨量が5mm以下ではかなり高濃度であったが、雨量が増加するに伴い漸減した。

この傾向は林内雨でも同様であった。

これは大気中の浮遊量、枝葉表付着が一定の範囲内にあり、それが初期の雨によってウォッシュアウトされる確率が高いことを意味している。

林内外の金属類の含有量の差は、非雨天期間に大気中の浮遊物、落下物を樹林が吸収若しくは吸着したことによるものであろう。

したがって、植物は汚染物質をまず吸着、つぎに気孔を通して葉内吸収するという方法により浄化能を有するのであろう。

2. 2. 2. 吸収による大気汚染質の浄化

1) 吸収の意義

吸収とは、植物の生理作用、特に炭酸同化作用によって汚染質が組織内にとりこまれることを言う。この時にとりこまれる汚染質はガス状物質であるが、これらは主に葉面上の気孔から組織内に吸収される。

このような吸収効果には植物の生理作用の速度が影響するのであるが、この速度は、植物の種類、部位、季節などによって異なる。なお、これ等の要因によって、一番大き

く変化するのは、葉面上に存在する気孔の開閉度である。

この作用により、化学的又は物理的な方法では、処理がむずかしいガス状物質を吸収して取除き、大気を浄化することができると考えられる。

2) 植物の炭酸同化作用と汚染質の吸収

一般に高等植物は、光合成によりC循環即ち CO_2 の吸収- O_2 の放出を行うことはよく知られている。

葉の表面には、ガスの出入が可能な気孔がある。気孔は長径 $20\text{ }\mu\text{m}$ 前後、短径 $5\text{ }\mu\text{m}$ 前後であると言われている。この気孔を通じて大気中の二酸化炭素(CO_2)を取りこみ、それと同時に、体内の水分は蒸散される。しかし、別に根から H_2O を吸い上げる。このようにして体内に取りこんだ CO_2 と H_2O を、太陽エネルギーを利用して炭水化物に合成する。合成に伴って不要となった O_2 は大気中に放出される。これ等の作用が炭酸同化作用と称される植物のもつ生理作用である。

大気中の CO_2 を吸収する際に、大気中に共存している汚染ガスも同時に吸収し、大気を浄化する。これが、植物の汚染質の吸収による大気汚染浄化の機構である。吸収した汚染質によって、多少とも植物に障害を与えることになるので、街路樹や緑地帯の植物を、フィルター(エアー・フィルター)として使用する場合には、吸収能が高いと同時に吸収した汚染質の影響を受けにくい植物を選択することが必要である。

3) 吸収の機構と機能

(1) 植物の部位と吸収

植物は、気孔を介して汚染質を吸収するのであるから、吸収部位は当然葉面でなければならないが、その他の部位としては、花冠(または花頭)が同様の機能をもっていることが報告されている。また、汚染質によっては吸収されないものもあり、吸収効率についても汚染質間に差がある。

例えば NO の吸収は遅く、しかも微量である。^{14), 15)} CO は NO と同じく葉面からは吸収されないとの報告がある。¹⁾ 清水¹⁶⁾等は、人工環境制御室において、ヒマワリを対象として吸収実験を行い、植物体各器官の SO_2 含有量を測定した。その結果 SO_2 は主として葉部から吸収されることが明らかになった。

(2) 気孔の機能

大気中の汚染質が、植物体内に吸収される場合、その大部分は気孔を通して行われ

る。葉の水孔やクチクラ層等から吸収される量は、極めて僅かであると考えられている。

気孔の構造と機能は次の通りである。

1. 気孔の構造

気孔は、葉緑体を有する半月形の細胞2箇から形成されている。葉の裏面に多く分布するが、普通 1 mm^2 中に40～300位存在している。

2. 気孔の機能

環境の変化によって気孔は開閉する。この時の開口部から汚染質が内部にとりこまれる。

気孔の大きさは、長径 $20\text{ }\mu\text{m}$ 、短径 $3\sim5\text{ }\mu\text{m}$ と言われているから、ガス状物質以外のものでも径 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以内の物質は植物組織内にとりこまれる。

開閉をつかさどる機構は、次の通りである。

細胞内の水分量の変動に伴って開閉する。即ち水分が多ければ開き、適当な場合又は少ない時には閉る。

4) 汚染質の吸収効率に与える要因について

(1) 光合成の活動状況が最も大きな要因であって、活動が活発で生長が旺盛な植物ほど汚染質の吸収量が多いとされている。

(2) 吸収速度と吸収量

植物組織内への吸収速度に関しては未知のことも多いようであるが、次のような人工環境制御室で行った実験が報告されている。¹⁷⁾

ヒマワリ葉の SO_2 吸収能は、気温 $20\sim30^\circ\text{C}$ 、湿度 $60\sim80\%$ の条件下では、主として照度によって変化した。

(3) ドースと吸収量

ドースは(環境濃度 $\text{ppm} \times$ 暴露期間 day)で示される。ヒマワリについての調査結果は、つぎのとおりである。¹⁷⁾

ヒマワリでは SO_2 のドースが $1\sim1.5\text{ ppm} \cdot \text{day}$ あたりまで、葉中 SO_2 の吸収速度が SO_2 ドースの増加と共にほぼ直線的に増加する。この場合にはガス濃度とガス吸収量の間には直線関係がある。

その吸収速度は 6×10^{-5} モル $\text{SO}_2 / \text{dm}^2$ 葉面 / $\text{ppm} \cdot \text{day}$ と計算さ

れた。

例えば、大気中の SO_2 濃度が 0.05 ppm の場合、ヒマワリの SO_2 吸収速度は、 $3 \times 10^{-6} \text{ モルSO}_2 / \text{dm}^2 \text{ 葉面/day}$ となり、 0.10 ppm の場合には、 $6 \times 10^{-6} \text{ モルSO}_2 / \text{dm}^2 \text{ 葉面/day}$ となる。しかし、この吸収速度が維持出来る期間は、 0.05 ppm SO_2 では $20 \sim 30$ 日、 0.10 ppm SO_2 では $10 \sim 15$ 日ということになる。

5) 吸収による汚染質浄化の実例

(1) 生垣等の吸収効率について²¹⁾

生垣の近くでは、大気中の SO_2 は一般大気より低い。これは SO_2 が生垣の葉の表面から吸収されているものと考えられる。

吸収量には、日中の外気などが影響を与えると思われるが、その日は日中の外気が暖かで同化作用が促進されるような外気条件であった。

(2) うまごやしによる汚染質の吸収¹⁸⁾

植物は、空気の浄化に対して必ずしも有効であるとはいえないが、ある種の汚染質は、うまごやしによって吸収され得る。各種の汚染質に対するうまごやしの吸収量を求めると、 HF 、 SO_2 、 NO_2 はよく吸収されるが O_3 はやや弱く、 CO はほとんど吸収されなかった。

それらは葉面および花冠からも吸収されることが認められ、 SO_2 濃度は植物群落周辺では低い。しかし、 SO_2 を容易に吸収するものは SO_2 の害も容易にうけるものである。今後は、汚染質をよく吸収し、しかも植物自身には被害のない能力をもつ植物の検索が必要であろう。

(3) 樹林における SO_2 の吸収¹²⁾

植物による SO_2 の吸収効率は、汚染物質の濃度に依存している。また時期によっても異なり、発芽の季節には、植樹帯や公園の大気中の SO_2 濃度は道路周辺よりも 24.2% 少ない。このように植物には SO_2 を吸収し、浄化する能力がある。

SO_2 濃度 0.10 mg/m^3 の大気 1 m^3 を 2.5 エーカーの成長期にある落葉樹林の間を 15.5 m/h の速さで通過させると、 SO_2 は完全に消失した。

SO_2 、 H_2S 、 NO_x 等は、 1640 フィートの緩衝緑地帯を通る間に、かなり減少した。

(4) 大気汚染に対する防護植栽の効果¹⁹⁾

大規模植樹群落地として、明治神宮内苑、小規模植樹群落地として、東名高速道路日本坂トンネル上り坑口（小坂トンネル上り坑口）付近の植樹帯について、実態調査を行い、ガス汚染質の浄化能力を測定した。

対象ガスとして SO_2 を選び、周辺市街地と都市林内部について SO_2 濃度を調べると林内では外側の大気濃度の $1/3 \sim 1/17$ 程度であった。

外側の SO_2 濃度が変動した場合にも、林内の濃度変動はみられず安定していた。

道路周辺では、道路際の植樹帯の SO_2 濃度に比べ、植樹帯の背後では約30%の値を示した。

(5) 緑地帯の大気汚染緩衝効果の一事例²⁰⁾

SO_2 ガスを対象として、緑地帯の大気汚染浄化効果の調査を行った。

徳山市内における SO_2 濃度分布を緑地帯を中心に見ると、測定点120点の平均値について、緑地帯完成後の測定値は設置前の38.7%に減少していた。

緑地帯には、次の効果があると考えられる。

① 樹葉等の吸着、吸収作用があった。

② 緑地帯高さが10m前後と低いため、汚染大気が頭上を通りすぎた。

②の方は緑地帯のマイナス効果になるが、周辺調査の結果では②は考えられなかった。したがって①の緑地帯の吸着、吸収による浄化効果が寄与したものと考えられる。

(6) 都市の公害防止に関する樹木と空間効果（都市林の大気浄化機能について）⁹⁾

明治神宮内苑周辺1~2kmの市街地6地点、都市林緑3地点、林苑内30数地点、また参考として6~12kmの市街地5地点について SO_2 の濃度を溶液導電法で測定した。

結果をみると、林内は周辺濃度の $1/10$ 程度であった。林内での濃度変動はほとんど認められず安定していた。これに対し林縁での濃度は市街地周辺よりは低いが林内よりも高かった。また濃度変動があり、この変動は日中は高く、夜間低くなるため、周辺市街地の影響をうけているものと考えられる。

3. 大気汚染による植物被害

3. 1 汚染質の種類

3. 1. 1 一般大気中の汚染物質

1) ガス状物質

(1) 無機化合物

I 硫黄化合物… SO_2 、 H_2S

II 窒素化合物… NO_2 、 NH_3 、 CN

III ハロゲン化合物… Cl_2 、 HCl 、 HF 、 SiF_4 、 Br_2

IV 過酸化化合物… O_3 、 PAN

(2) 有機化合物

脂肪族化合物…エチレン、ホルムアルデヒド

2) 粒子状物質

酸エアロゾル…硫酸ミスト、塩酸ミスト

固体粒子状物質…粉塵、媒塵

3. 1. 2 移動発生源排ガス中の汚染物質

1) 無機化合物

窒素化合物… NO_2

過酸化化合物… O_3

2) 有機化合物

脂肪族化合物…エチレン、ホルムアルデヒドの類

3. 2 大気汚染物質による被害状況

植物が大気中の汚染物質の影響を受けて生ずる症状には極めて多種、多様なものがある。大気汚染物質の違い、対象にする植物の種類、暴露されている状況の組合せによって受ける症状は無限とも言えるからである。

しかし、これ等の症状を総括すれば、次のように分類することができる。

3. 2. 1 可視的障害

1) 慢性被害

(1) 葉……葉面縮小、葉色低下、クロロシス

落葉、葉型歪（しわ、巻縮、奇形）

(2) 枝梢…梢頭枯、伸長抑制

(3) 花……不開花、または開花不良

(4) 樹幹…肥大生長の抑制

(5) 樹形…奇形

2) 急性被害

(1) 葉……落葉、着葉数減少、密度不整

ネクロシス

肉眼で観察して、被害状況が識別される被害を言い、これには次のようなものがある。

I) 表面に、汚染物質が沈着して変色を起すもの

粉塵類（シリカ系土壌の類）、煤塵類（石油系のすす等による被害が大きい）等が葉の表面に層をつくり葉の地色が見えなくなる。

表面の沈着物を洗浄処理してとり去った際、葉の表面に汚染の跡を残す物質（石油系カーボン類に多い）と、痕跡を残さない無機系の物質がある。

II) ネクロシス

ネクロシスとは、葉の細胞の死によって生じる組織の茶褐色、黒褐色、灰白色などの壊死を示す病徴であり、 F_2 、 SO_2 、 Cl_2 等によって起る。

こうした化学物質以外でも、土壌中の水分がネクロシスに関係があり、植物体の水分収支がマイナスになった時にネクロシスが出ることがある。

また、水分収支がよくても極端な低温になると生ずる場合がある。

III) クロロシス

クロロシスとは、葉が何らかの異常をきたして黄化することで、 SO_2 、 F_2 、 Ox 等の影響を受けて発生する。

無機物が不足の時にも生成することがある。

iv) 光沢様斑点 [glazing]

オキシダント、 NH_3 、等の影響を受けて発生する光沢をおびた斑点である。凍結点になった時生成することがある。

3. 2. 2 不可視的障害

- 1) 植物生理の乱れ
- └ 葉の呼吸量の低下
 - └ 葉の蒸散量の低下
 - └ 葉の光合成能力の低下

2) 葉中有害物の蓄積

植物内部に浸透してきた大気汚染物質により植物体内で起きている各種の障害の事である。これ等の障害は肉眼で認められないので、不可視障害として扱う。

不可視障害には光合成機能を劣化させる場合と、植物体内に重金属その他が蓄積する場合がある。

二酸化硫黄 (SO_2) によって光合成機能が劣化することが Thomas²¹⁾ や Katz²²⁾ 等によって古くから報告されており、谷山²³⁾ 等によって、 SO_2 を除くと光合成機能が回復することが報告されている。

重金属類を含む大気中の有害物質の体内蓄積は気孔を介して行われる。

3. 2. 3 汚染の形態 (障害原因の形態)

汚染の形態には、単体汚染と複合汚染の両形態がある。

単体汚染は、文字通り単一物質のみの影響がある場合の形態を称すものであり、複合汚染は、2種以上の汚染物質が組合わさったものをいう。

大気汚染物質も単純な一物質だけが障害因となるのではなく、複合汚染として複数の汚染物質が関与していることの方が多い。

即ち、2種以上のガスあるいはガスと粉塵が複合して影響を与えているケースが多い。このような2種以上のガスを実験的に植物に接触させて影響を調べた研究が最近では多い。

3. 2. 4 大気汚染質の植物被害

気孔を通じて葉内に吸収された大気汚染物質は、各汚染物質毎に特徴的な被害状況を生ずることになり、次のような例がある。

1) 二酸化硫黄 (SO_2)

SO_2 による典型的な被害状況は、次の通りである。

原則的には SO_2 が還元剤として働き、葉のクロロシス等の様な還元漂白的な被害を与えるものとみなすことができる。

気孔から侵入した汚染質は、海綿状組織を侵し、柵状組織にも害を与える。

被害を受けた部分は、はじめ水にぬれたようになるが、次に脱水し、白色、象牙色あるいは褐色に変色する。前後に主として葉脈間に明るい色の斑点が生じる。ただし、被害を受けた箇所とその周囲の部分との区別がはっきりしないことも多い。

普通は葉脈間がおかされるが、被害が激しくなると葉脈も漂白される。



図-1 二酸化硫黄による被害状況 (ハウレンソウ)²⁴⁾

低濃度でも、長時間の暴露を受けた時にはクロロシスを生ずる。

急性障害は 0.30 ppm 以上、慢性障害は $0.10 \sim 0.30 \text{ ppm}$ で生ずる。

光合成に及ぼす影響については、前述の通り古くから知られていた。可視障害の発生するような強い処理では、炭酸ガス吸収は不可逆的に低下するが、可視障害が発生しない条件では、 SO_2 を除くと光合成は回復することが報告されている。

最近谷山²³⁾等の報告によると、光合成阻害には次の3つの形式があることが明らかになった。

- ① ガス接触時に起こる一時的、可逆的な阻害。
- ② ガス (SO_2 ガス) 除去後、ある程度時間をかけて徐々に回復する阻害。
- ③ 光合成器官の破壊による不可逆的な阻害。

SO_2 を除けば光合成機能が回復することが下図に示されている。

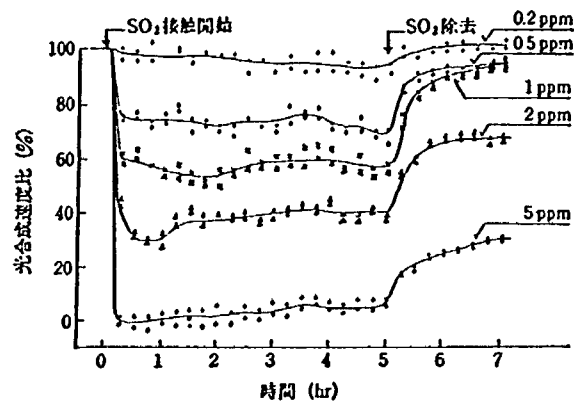


図-2 種々の二酸化硫黄濃度条件における光合成速度の変化とガス除去後の推移 (松岡, 1978)²⁵⁾

2) ハロゲン化合物:

(1) 塩素 (Cl_2)、塩化水素 (HCl)

- ・ SO_2 とよく似た障害性状をもち急性障害症状を与える。
- ・ 慢性障害は0.10~0.30 ppmで起こる。

(2) フッ素化合物 (SiF_4 , HF)

他の元素とは、異なった挙動を示す。気孔の付近には被害を与えないが、蒸散流により葉の先端や葉縁部に運ばれ蓄積される。ある濃度以上になると脱水作用がおこり、葉の内部の細胞が破壊される。

この結果、破壊された部分は乾燥し、濃褐色または黄褐色のネクロシスを呈する。



図-3 フッ素系ガスによる被害状況 (サンゴジュ)²⁴⁾

症状が現われるのは、先端と葉縁部に沿った部位であるが、被害を受けた部分は明確に区分される。

慢性障害は0.01～0.03 ppmでおこる。

3) オキシダント (Ox または O_3 で示す)

次の順序で障害がすすむ。すなわち、まず最初の症状は柵状組織に現われる。この段階で細胞は水を失う。次に原形質分離がおこり、細胞内容物は破壊される。

可視症状として、やや濃緑色を帯びた水浸状又は油浸状の斑紋と葉緑素の漂白欠除による斑点が生ずる。被害が軽微であるときには、葉の上表面だけに限られるが、ひどくなるに伴い海綿状組織も侵され、下表面にも現われる。



図-4 オゾンによる被害状況(トマト)²⁴⁾

針葉樹には、針葉先端にネクロシスが現われる。

高い濃度に暴露されたときのオゾン障害は、 SO_2 被害と非常によく似ている。

鋭敏な植物(例えばアサガオ)では0.02 ppm、4～8時間の暴露、あるいは、0.05 ppm、1～2時間の暴露で被害が生ずる。また、0.02～0.04 ppmの4～6時間の暴露でも被害が生ずる。

4) 窒素化合物

(1) 二酸化窒素 (NO_2)

植物に対する影響は一酸化窒素よりも大きいが、急性障害は主要な大気汚染物質のなかでは弱く、また不可視的障害への影響も少ない。

急性障害は、広葉植物に2～10 ppmで SO_2 の場合と同様のネクロシスを生ずる。

慢性障害の研究は少ないが、0.5 ppmで成育阻害がおこる。

(2) PAN (ニトロソ過酢酸化合物 = $R-COO_2NO_2$)

気孔の空間を囲んでいる海綿状組織が最初に被害をうけるが、被害部位は下表面に最も近い細胞に限定されている。

下表面には特徴的な銀化—光沢化—ブロンズ化が現れる。

またベコニア、たばこの葉の細胞は先端から基部の葉身に沿って細胞成熟するが、ごく初期の間だけPANに鋭敏であって主脈に対し直角の帯のような症状となって現われる。

0.01~0.05 ppmで鋭敏な植物は被害をうける。

5) 炭化水素

(1) 自動車排気ガスとオゾン化ヘキセン

オキシダントの一種である。現実には検出されてはいないが、存在し得るものとしてチャンバー内のテストが行われている。

その結果、植物に種々の障害を与えることが明らかになってきている。

(2) エチレン ($CH_2=CH_2$)

植物ホルモンの正常作用を阻害し、葉の黄化や異常落葉、発芽不良、開花不良、上偏生長を起す。

トマトに対して0.1 ppm×数週間で上偏生長がおこり、成育阻害は0.005 ppm×数週間でおきる。

6) 重金属

自動車排ガス中の鉛が植物影響を与える経路には2通りある。

一つは排気中の鉛を含むエアロゾルが道路周辺の植物体に直接に付着し、葉面等から吸着吸収されるものであり、もう一つは道路周辺土壤中に鉛が蓄積し、高濃度になった鉛を植物が吸収するものである。

現在では、鉛に起因する植物被害は顕在していない。

7) 粒子状物質 (粉塵類)

粉塵の影響について詳細に報告された例が少ない。その中でセメント・ダストについての研究の結果では、ダスト (粉塵類) によって光線が遮られ光合成速度が低下することや、セメントのアルカリによって葉にいくらかの障害を起すことが知られている。

また、粉塵中の重金属が街路樹葉に異常に蓄積されることなどが報告されている。

エアロゾルとしての硫酸ミストの被害は高湿な雨、霧のような天候の時に現われ、水滴が葉上に沈着してネクロシスや小さな丸い斑点を生ずる。

8) 酸性雨

十分被害状況が把握されていない。

4. まとめ

以上の植物による大気浄化に関して、次の各項に要約した。

4. 1 植物による大気浄化の機構

次の2機構に集約される。

- 1) 吸着：葉面に付着することであって、主として粉塵類のような固形粒子状物質を浄化する。
- 2) 吸収：樹木の生理機能を利用する。気孔を經由して汚染質を組織内にとりこむ。主としてガス状汚染質を浄化する。

4. 2 植生の効果

4. 1 にあげたものの他に次のものがある。

- 1) 拡散効果
- 2) 汚染大気の方法転換
- 3) ガス質の液化
- 4) 遮蔽効果
- 5) マスキング効果

4. 3 植物に対する大気汚染の影響

次の2項目に分類することができる。

- 1) 可視的障害
- 2) 不可視的障害

各論として、次の8項目の被害状況を概論した。

i) SO_2 、ii) ハロゲン化合物、iii) オキシダント、iv) 窒素化合物、iv) 炭化水素化合物、vi) 重金属、vii) 粒子状物質、vii) 酸性雨

参考文献

- 1) 米丸忠太郎：「亜硫酸ガスの植物に及ぼす障害作用について」，
農業試験所報告47号，1927
- 2) Martin, G.E. : "Some measurements of Loss of Atmospheric
SO₂ Near Foliage", Atmos. Env, 5, 345-351, 1971
- 3) 沼田昭夫 他：「樹林による排ガスの拡散」，航空公害，33~49，1980
- 4) 門司正三 他：「大気環境の変化と植物」，大気環境の科学，vol 5，東京大学
出版会
- 5) 芹澤 誠 他：「道路植栽の粉塵捕捉効果」，土木技術資料，26-1，1984
- 6) 大政謙次 他：「植物による大気汚染ガス吸着機構の解析 (1) SO₂ の局所吸
着と可視害発現との関係」，国立公害研究所報告第10号
- 7) 同上 「(3) NO₂，O₃ あるいはNO₂ + O₃ 暴露下における吸着について」
- 8) 本多侔：「大気汚染に対する防護植栽の効果 [II] ばいじんに対する防護効果」，
大気汚染研究，9，355，1974
- 9) 本多侔：「都市の公害防止に対する樹木と空間効果の基礎的研究」，大気汚染研究，
10，321，1975
- 10) Belot, Y. et al. : "Mechanisms of the Transfer of
Particles in the Micron Range between the Atmosphere
and Plants", Sci. Tech. Commis. Energ. At., 67-73, 1974
- 11) William, A. et al. : "Fixation of Atmospheric Dusts by
Plants", Ann. Gembloux, 79, 11-24, 1973
- 12) Zulfocar, A. : "Vegetation and Urban Environment",
J. Urban Planning, Develop. Div., 101, 21-33, May, 1975
- 13) 鈴木義則：「街路樹林内外の雨水のpH値および金属類含有量の差異」，大気汚
染学会，1980，No. 804
- 14) Bennett, J.H. et al. : "A Model for Gaseous Pollutants
Sorption by Leaves", J. APCA, 23, 957-962, 1973

- 15) Hill, A.C. : "Vegetation; A Sink for Atmospheric Pollutants", J, Air Pollut. Contr. Ass., 21, 341-346, 1971
- 16) 清水英幸 他 : 「ヒマワリ個体群による SO_2 吸収量の推定」, 国立公害研究所報告第10号, 1979
- 17) 戸塚績 他 : 「ヒマワリにおける SO_2 吸収と SO_2 ドースとの関係」, 国立公害研究所報告第10号, 131~138, 1979
- 18) Weiclensohl, T. : "Importance of Plant in Oxygen Production Carbon Dioxide Consumption and Air Purification", Hart Science, 9, 8-12, 1974
- 19) 本多侔 : 「大気汚染に対する防護植栽の効果 [I] ガス質汚染に対する防護効果」, 大気汚染研究, 9, 354, 1974
- 20) 三好寿秋 他 : 「緑地の大気汚染緩衝効果の一事例」, 大気汚染研究, 9, 356, 1974
- 21) Hill, Geo.R. et al. : "Influence of Leaf Destruction by Sulfur Dioxide and by Clipping on Yield of Alfalfa", Plant Physical., 8, 223-245, 1933
- 22) Katz, M. : "Sulfur Dioxide in the Atmosphere and its Relation to Plant Life", Ind. Eng. Chem., 42, 2405-2465, 1949
- 23) 谷山鉄郎 : 「作物の亜硫酸ガス障害の実態とその機構に関する研究」, 三重大農学術報告, 44, 11-130, 1972
- 24) 門田正也 他 : 「大気汚染植物被害写真集」, 日本公衆衛生協会
- 25) 松岡義浩 : 「水稻の二酸化硫黄障害とその機作に関する研究」, 千葉県農試特別報告, 7, 1-63, 1978

植物の大気浄化能力に
関する調査

ISSN0386-5878

土木研究所資料第2135号

昭和59年 8 月(1984)

足立義雄, 吉川良行, 阪井清志, 日名子信広

キーワード 植物, 大気浄化, 吸着, 吸収 大気汚染

要 旨

植物には吸着や吸収などによる汚染物質除去能力や拡散作用など, 有効な大気汚染低減機能を持つと考えられており, 自動車排出ガスの対策のひとつとして期待されている。本報告書はその手がかりを得るため既往の文献調査により植物の大気浄化の機能についてとりまとめたものである。



郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

交通環境研究室

御中

No. 012

土木研究所資料第2135号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名

