



第Ⅰ編 総論編



第1章 総則

1. わが国の大気環境の現状と大気浄化植樹

わが国の大気環境のうち二酸化硫黄（ SO_2 ）や一酸化炭素（ CO ）については1960年代半ば以降、改善の傾向をみせ近年ではほとんどの測定局で環境基準を達成している。窒素酸化物（ NO_x ）については、 NO_2 は一般環境大気測定局（一般局）では概ね改善されたが、自動車排出ガス測定局（自排局）など幹線道路周辺ではいまだ十分とはいえない状況にある。また、SPMは首都圏などの都市部では長年横ばい状態が続いたが、2002年に施行され、2007年に改正された「自動車 NO_x ・PM法」によるディーゼル車対策によって著しく改善されたものの、 $\text{PM}_{2.5}$ による健康影響が懸念され、多くの沿道で環境基準を超過する傾向にある。

このような大気環境の状況にあって、大気浄化植樹は、植物の大気浄化能力を活用して、大気環境の保全に資することを主目的として実施する植栽（植樹）のことをいう。

解説

1 わが国の大気環境の現状

SO_2 や CO の環境基準達成率は一般局、自排局ともほぼ100%に達し、環境が改善され近年は良好な状況が続いている。 NO_2 についても、近年緩やかな改善傾向にあるが、「自動車 NO_x ・PM法」の対策地域のうち東京都や神奈川県では環境基準が達成されなかった測定局もある。SPMも近年緩やかな改善傾向がみられるが、2011年度の環境基準達成率は一般局69.2%、自排局72.9%と不十分であり、 $\text{PM}_{2.5}$ の環境基準達成率についても、有効測定局数が少ないという問題を抱えているものの、一般局27.6%、自排局29.4%と改善が十分とはいえない状況にある。

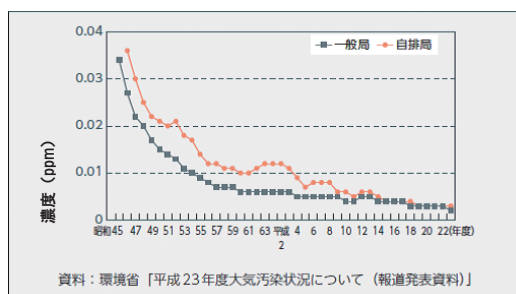


図 I.1.1-1 二酸化硫黄濃度の年平均値の推移（昭和45年度～平成23年度）

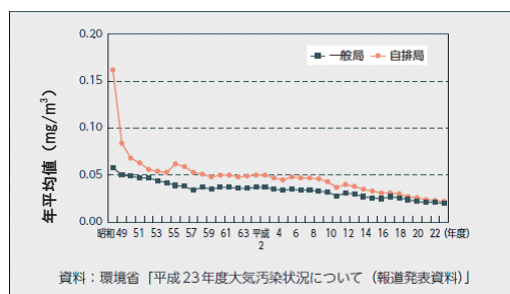


図 I.1.1-2 浮遊粒子状物質濃度の年平均値の推移（昭和49年度～平成23年度）

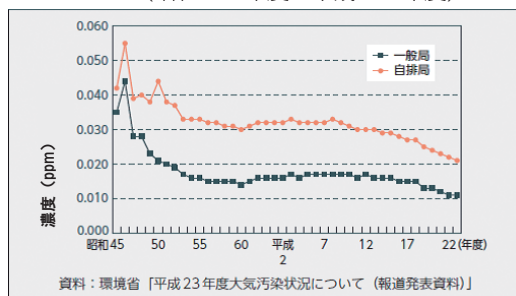


図 I.1.1-3 二酸化窒素濃度の年平均値の推移（昭和45年度～平成23年度）

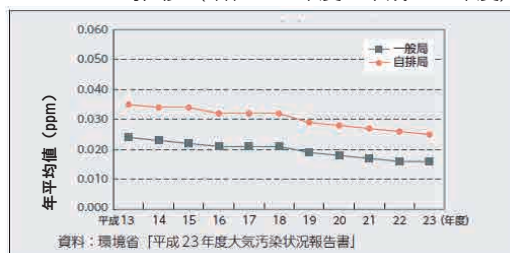


図 I.1.1-4 対策地域における二酸化窒素濃度の年平均値の推移（平成13年度～23年度）

（環境省、2013）

光化学オキシダント (Ox) は、NO_x と炭化水素とが光化学反応を起こして生じるオゾン (O₃) やパーオキシアシルナイトレートなどの酸化性物質 (オキシダント) の総称である。Ox は、強力な酸化作用をもち、健康被害を引き起こす物質であり、光化学スモッグの原因となる。

日本全国の大気汚染常時監視測定局における Ox 年平均濃度の経年変化を、図 I.1.1-5 に示す。Ox は、全国的に昼夜を問わず増加傾向にあり、1985 ～ 2004 年度の 20 年間に約 5ppb 上昇している。全国における測定局の年変化率の平均は約 0.33ppb/年である。日本全国を 8 地域に区分した場合の地域別 Ox 平均濃度の経年変化を、図 I.1.1-6 に示す。1985 ～ 1999 年の 15 年間の変化を地域別にみると、中国地方を除くと 15 年間の濃度上昇が明らかであり、特に四国と九州における増加が著しい。

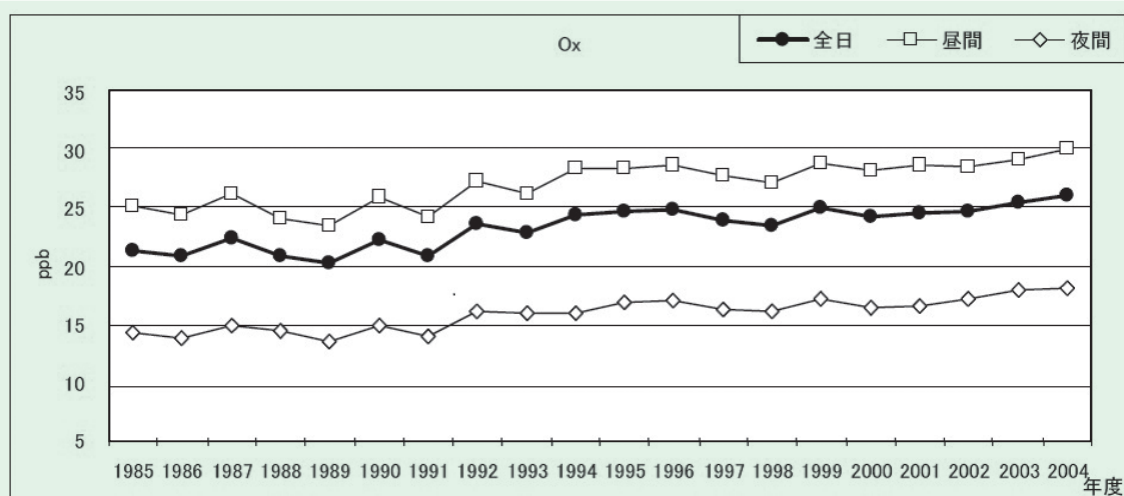


図 I.1.1-5 全国の大気汚染常時監視測定局における Ox 年平均濃度の経年変化 (1985 ～ 2004 年度)
(国立環境研究所、2007)

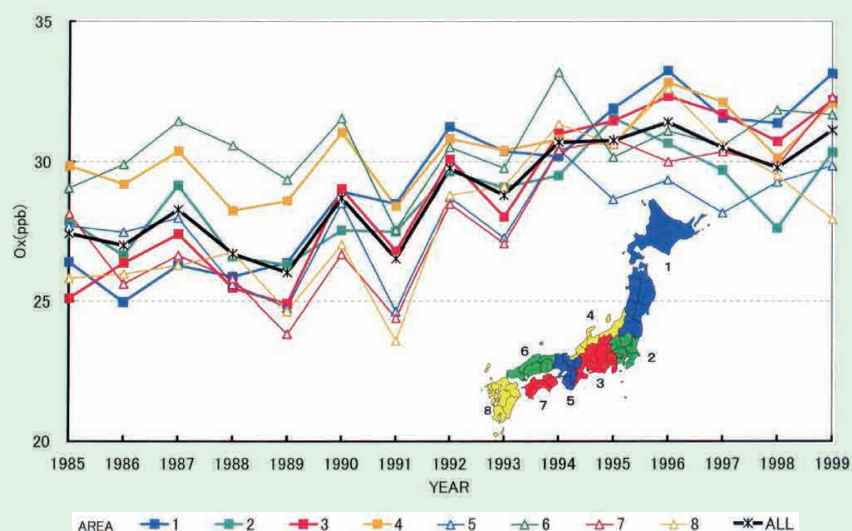


図 I.1.1-6 全国の大気汚染常時監視測定局における Ox 年平均濃度の経年変化 (1985 ～ 1999 年)
(大原利真ら、2003)

工場や自動車から排出される NO_x の大半を占める一酸化窒素 (NO) は、大気中で分子状酸素と反応して NO_2 となるが、この反応は太陽光の下で非メタン炭化水素 (NMHC) が存在すると著しく加速される。 NO_2 は、紫外線の吸収により NO と原子状酸素に分解され、生成した原子状酸素は酸素分子と結合して O_3 を生成する。また、原子状酸素は炭化水素と作用して遊離基 (ラジカル) を生成し、反応は連鎖的に進行する。これらの反応によって O_3 などの酸化性物質やアルデヒドなどの還元性物質といった汚染物質 (二次汚染物質) が生成されるが、二次汚染物質のほとんどが O_3 である。

わが国の遠隔地域における O_3 の測定体制としては、国設酸性雨測定所 9 地点 (利尻・竜飛岬・佐渡関岬・八方尾根・隠岐・梶原・対馬・小笠原・辺戸岬) があり、その他、気象庁における 3 地点 (綾里・南鳥島・与那国島) での観測、国立環境研究所における落石岬での観測が行われている。

気象庁が綾里・南鳥島及び与那国島の 3 地点で観測している地上 O_3 濃度の経年変化を、図 I.1.1-7 に示す。2009 年における平均 O_3 濃度は、濃度が高い順に綾里 41ppb、与那国島 39ppb、南鳥島 24ppb であった。季節変動をみると、綾里では 5、7 月が高く、8、11 月に低かった。南鳥島では 5、7 月に高く、2、4、9 月に低かった。与那国島では 4、5 月に高く、2、11 月に低かった。各地点とも冬季または春季に極大、夏季に極小となる季節変動を示している。経年変化についてみると、綾里では 1990 ~ 2003 年頃までは増加傾向 (2004 年以降は不明瞭)、与那国島では有意な傾向はみられず、南鳥島では 2007 年以降減少傾向がみられる。同じ緯度帯である与那国島と南鳥島を比較すると、与那国島のほうが南鳥島より濃度が高いが、これはアジア大陸からの O_3 濃度の高い空気塊の影響を受けていることが原因であると考えられている。また、綾里における地上 O_3 濃度増加の原因として、日本国内だけでなく、1980 年代からの経済発展の急速な大陸の国々からの NO_x や O_3 前駆物質の増加の影響が考えられる (気象庁、1999)。

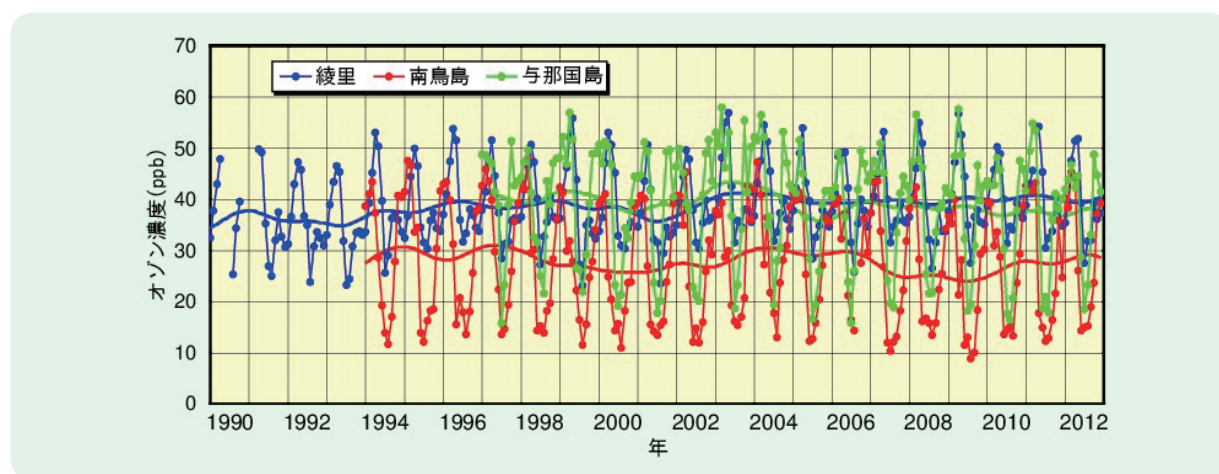


図 I.1.1-7 綾里・南鳥島・与那国島での地上オゾン濃度の経年変化 (気象庁ホームページ)
(折線は地上 O_3 濃度の月平均濃度、曲線は季節変動成分を除いた長期変動成分を示す)

東京都における O_x 年平均值と PO （ポテンシャルオゾン）年平均值の経年変化及び季節変化を図 I.1.1-8 に示す。ここで、 PO については、一次排出 NO_2 量を総 NO_x 排出量の 1 割とみなして評価している。

まず季節変動をみると、 O_x 濃度、 PO 濃度ともに、4 月～5 月の春季～初夏にかけて最も高く、夏季から秋季に低下して、11 月～1 月の冬季に低い傾向がみられる。 O_x 濃度の年平均值の経年変化は、1970 年代後半に急減した後、1980 年代はほぼ横ばいから減少傾向で推移し、1990 年代頃から増加傾向を示している。 PO 濃度の年平均值の推移は、1976～1982 年度頃は減少傾向で、1982～1986 年度頃を底に 1995 年度にかけて増加傾向にあったが、それ以後 2007 年度まで横ばいに推移している。

O_x 濃度と PO 濃度の経年変化を比較すると、 O_x 濃度は 1990 年代以降緩やかな上昇傾向にあるのに対し、 PO 濃度はほぼ横ばいで推移するなど、変化の傾向が異なっている。その傾向を比較すると、 PO のほうが測定局間でのバラツキが小さい。これは、広域的に発生した O_x が都市域で排出された NO により消費され、 NO_2 に転じて、地域間の濃度差が生じ、 PO として評価することにより広域化していることが明瞭になったと考えられる。

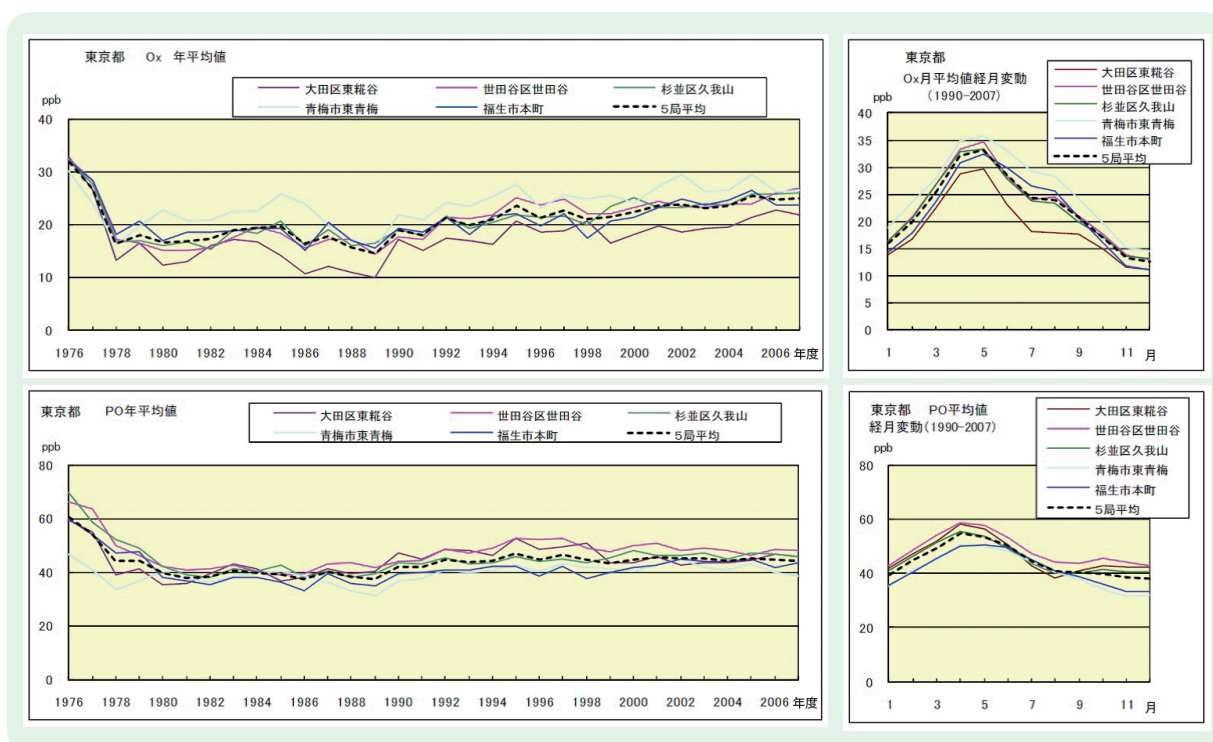


図 I.1.1-8 東京都における O_x 年平均值（上図）と PO 年平均值（下図）の経年変化、季節変化（右図）（東京都ホームページ）

注) PO は、一次排出 NO_2 を総 NO_x 排出の 1 割として評価

以上のように、わが国の大気環境は、 SO_2 や NO_2 については、一部の自排局を除くと、環境基準を達成し、かなり改善されてきており、ひと頃のような大気環境ではなくなっている。しかし、粒子状汚染物質（特に $PM_{2.5}$ ）や O_x の環境基準の達成状況については、依然として極めて低い水準のままであり、従来と比べると大気汚染の主役が替わってきている状況にある。

一方、大気中のエアロゾルは、微小な液体粒子や固体粒子が浮遊している状態あるいはこれらの微小粒子そのものをいい、nm (10^{-9} m) オーダーから $100\ \mu\text{m}$ (10^{-4} m) 程度まで様々な粒径のもので構成されている。エアロゾルには、工場・事業所の煙突や自動車の排気管からの排出ガス、飛散した粉塵、光化学反応により生成された粒子、海域からの海塩粒子、火山の噴煙、中国大陸からジェット気流で運ばれてくる黄砂、スギの花粉症が問題になっている花粉、そして水または氷粒子からなる雲など、様々な粒子がある。

このように、エアロゾル粒子の発生源は、工場や自動車などの人間生活に伴う人為起源によるものと、樹木や土壌、海水などの自然界から放出される自然起源のものに大別される。また、大気中に放出されたエアロゾル粒子は、風によって輸送・拡散される過程で物理的・化学的な変質を受け、最終的に沈着し大気中から除去される。エアロゾルは、通常、多成分の混合物として存在し、その発生源や大気中での挙動は粒径により大きく異なるため、大気中の挙動や人への影響を知るためには、粒径別に数、表面積、質量濃度、化学組成などの情報を得る必要がある。

粒径によるエアロゾルの分類を表 I.1.1-1 に示す。わが国では、大気汚染から人の健康を保護するために、 NO_2 、 SO_2 、 CO 、 O_x 、ベンゼン、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、ダイオキシン、SPM について環境基準を定めており、SPM の環境基準については、1973 年に設定され、1 時間値の 1 日平均値が $0.10\text{mg}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ 1 時間値が $0.20\text{mg}/\text{m}^3$ 以下となっている。各測定局における SPM 濃度は 1990 年代に入ってから環境基準達成率が低い水準にあったことから、都市域や幹線道路周辺での SPM や $\text{PM}_{2.5}$ の微小粒子による健康影響が懸念されていた。このため、トラック、バス、ディーゼル乗用車などに関する規制が行われ、図 I.1.1-2 に示すように一般局、自排局における SPM 濃度は再び減少傾向に転じ、現在の状況になっている。 $\text{PM}_{2.5}$ については、2009 年 9 月に環境基準が設定され、1 年の平均値が $15\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であり、かつ 1 日の平均値が $35\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であるとされている。

表 I.1.1-1 粒径によるエアロゾルの分類（関口、2010）

分類	分類ごとの説明
TSP	Total Suspended Particle の略。 全浮遊粒子状物質（全エアロゾルのこと）
SPM	Suspended Particulate Matter の略。 浮遊粒子状物質。大気中 TSP のうち粒径 $10\ \mu\text{m}$ 以上の粒子を 100% カットした粒子状物質。わが国の大気汚染に係る環境基準となっている。
PM_{10}	Particulate Matter 10 の略。 大気中 TSP のうち粒径 $10\ \mu\text{m}$ 以上の粒子を粒径 $10\ \mu\text{m}$ で 50% カットした粒子状物質。
$\text{PM}_{2.5}$	Particulate Matter 2.5 の略。 大気中 TSP のうち粒径 $2.5\ \mu\text{m}$ 以上の粒子を粒径 $2.5\ \mu\text{m}$ で 50% カットした粒子状物質。わが国の微小粒子状物質に係る環境基準として新たに設定された。

このうち $\text{PM}_{2.5}$ の毒性については、大気中粒子状物質の中でも毒性が高い物質が多く含まれていること、呼吸器の中でも肺胞域に沈着する割合が高いことなどから、大気汚染の健康影響に係る最も重要な対象物質であると考えられる（平野、2010）。

また、 $\text{PM}_{2.5}$ は、人の健康に悪影響を及ぼすのみならず、生態系への影響や視程障害・景観悪化などの社会生活にも大きな影響を及ぼし、その影響の仕方や影響の程度は、 $\text{PM}_{2.5}$ の組成分布と粒径分布、それらの立体分布や地域分布に大きく依存していることが指摘されている（若松、2011）。

山神ら（2011）は、名古屋市における PM2.5 の化学組成と高濃度発生パターンの経年変化を調べた。その結果、PM2.5 濃度はこの 5 年間に減少傾向にあること、高濃度日の出現頻度も減少傾向にあることがわかった。また、高濃度日のクラスター分析により、三つのグループ（①広域越境汚染の影響が大、②地域汚染の影響が大、③地域汚染と越境汚染によるもの）に分けられ、大型車の規制等により地域汚染の影響による高濃度グループの出現回数の減少が示唆された。

また、兼保（2011）は、PM2.5 の汚染状況に与える大陸起源の汚染物質の影響を明らかにするために、福岡市、長崎市及び離島（福江島）における 2009 年度の PM2.5 濃度を比較した。その結果、福岡市などの九州北部地域における PM2.5 濃度及び時間変動は、長距離輸送された広域的な汚染に年間を通じて事実上支配されており、国内の都市ごとに発生した汚染は、PM2.5 濃度には極めてわずかしき寄与していない可能性が示唆された。

2 大気浄化植樹

大気浄化植樹は、植物の有する大気浄化能力に着目して、大気環境の改善に資することを主な目的とした緑地整備をいう。

狭隘なわが国においては、人や物が集中する都市域では多くの問題を抱えており、都市環境を改善し、安全・安心で快適な魅力ある都市をいかに構築していくかが緊急な課題になっている。このため、近年の社会的趨勢として、都市の自然回帰が本来の姿であり、都市緑化が必要であるとの認識が定着しつつある。

大気浄化植樹は、単に大気環境の改善に資するのみならず、緑地の有する様々な機能（気象緩和、ヒートアイランド現象の抑制、水保全、快適環境の形成、防災など）が発揮され、特に生物多様性の向上、四季の豊かさや安らぎ感などのアメニティ効果、自然探求や情操教育の場の提供など、他の何ものにも代え難い総合的な効用が期待できることに特徴がある。

コラム 大気浄化植樹の効果

大気浄化植樹は、大気環境の改善を主眼とした植樹・緑化であるが、遮音壁の設置等の対策とは異なり、緑特有の多面的な効果が期待できることに大きな特長がある。

緑陰や季節感のあるやすらぎの空間の創出、緑化による修景効果や美しい街路景観の創出、更に鳥類や昆虫類等の出現数の増加など、生物相の向上に繋がる可能性がある。

また、工場や事業所などで植樹を行えば、環境改善の取組や社会貢献を通じて、企業イメージの醸成にも繋がり、地域社会で植樹を行えば、地域住民相互のふれあいの場の創出や地域活性化の一助にもなることが期待できる。



工場敷地外周の緑地（大阪府吹田市）



学校周辺の街路（東京都荒川区）

2. 本マニュアルの目的

本マニュアルは、大気浄化植樹の円滑な実施に資するため、以下のような基本的知識と植栽の具体的手法に係わる技術的事項をとりまとめたものである。

- ① 植物によるガス状汚染物質の吸収
- ② 植物による粒子状汚染物質の捕捉
- ③ 都市緑地の大気汚染低減機能
- ④ 単木、都市緑地によるガス状汚染物質吸収能の評価法
- ⑤ 大気環境に配慮した都市緑地整備のあり方
- ⑥ 大気浄化に適した樹種と大気浄化植樹の具体的方法
- ⑦ 都市建築空間緑化、沿道緑化に係る技術的事項と事例の紹介

解 説

大気環境の改善に果たす緑の役割は決して小さいものではない。緑地の整備は、都市域の大気環境の保全を図る上で有効な手段であると考えられる。

しかし、実際に大気浄化植樹を進めていく実践段階になると、これまで特に大気浄化を主眼においた緑化が行われてきたわけではなかったり、緑地整備による大気浄化効果の定量的評価法、大気浄化植樹の具体的な技術手法などが記載された、参考となるような書籍やマニュアルは「大気浄化植樹指針－緑のインビテーション－」（環境庁大気保全局大気規制課監修・大気環境に関する緑地機能検討会編集、1989）を除いてほとんどないのが実状であった。このため、大気浄化植樹の具体的な方法や事例を紹介した指針やマニュアルの整備が求められていた。

1995年3月に特殊法人公害健康被害補償予防協会（現独立行政法人環境再生保全機構）から発行された「大気浄化植樹マニュアル－きれいな大気をとり戻すために－（改訂版）」は、このようなニーズに応え、大気環境の改善を主たる目的とした植樹を行おうとする人々に、その基本的考え方や具体的な樹種選定、植栽方法などの技術的情報を提供することを目的としたものであった。

それから20年近く経過した今日、その間のわが国の大気環境の変化、植物の大気浄化に係る様々な研究成果や開発の進んだ緑化技術、建築空間や道路緑化に係る先進的な事例を踏まえ、増補改訂によって内容を刷新したのが本マニュアル「大気浄化植樹マニュアル（2014年度改訂版）」である。

3. 増補改訂にあたっての配慮事項

マニュアルの増補改訂にあたっては、下記の事項に配慮する。

- ① 大気浄化植樹を的確にかつ円滑に進め、更に利用者の便宜を図るため、参考事例の豊富なわかりやすいマニュアルになるよう努める。
- ② これまで定量的に扱われることの少なかった単木や緑地による汚染ガスの吸収能の評価方法を明示して、既存の緑地を保全すること及び新たに緑地を創出することの意義をわかりやすく説明する。
- ③ 植物による大気汚染の低減効果については、まだ未解明のことも多いことから、最新の研究成果の紹介も含め、誤解を受けないように正確に記述する。
- ④ 大気浄化に適した樹木の選定、植栽の配置、植栽構成など、大気環境の改善に主眼を置いた場合の植栽の技術的事項をとりまとめるが、従来の都市緑化の施策や植栽技術の基本的事項を尊重し、快適性や修景など、都市緑地が本来有するその他の機能にも十分配慮する。

解 説

1 本マニュアルの適用範囲

本マニュアルは、大気環境の改善に資することを主目的とした樹木の植栽、すなわち「大気浄化植樹」を実施する関連地方公共団体の担当者を主たる対象として作成したものである。

また、あわせて、都市緑地整備に直接携わる現場の技術者、並びに大気浄化に主眼をおいた都市緑化に深い興味と関心のある一般市民の方々、実際に自宅や所属する事業所で大気浄化植樹を実践される方々にも広く読まれることを想定して作成したものである。

2 本マニュアルと大気浄化植樹指針との関係

環境庁大気保全局（現環境省水・大気環境局）では1987年から1988年にかけて局内に「大気環境に関する緑地機能検討会」（座長：故沼田眞千葉大学名誉教授）を設けて、大気環境保全の観点から都市緑地の保全・整備のあり方などについての検討を行い、そのとりまとめとして「大気浄化植樹指針」を作成し提言した。

この提言を受けて、特殊法人公害健康被害補償予防協会（現独立行政法人環境再生保全機構）では、1988年以来、公害健康被害予防事業の一環として「大気浄化植樹事業」を行っているが、その指針をベースに、その後公害健康被害補償予防協会（現独立行政法人環境再生保全機構）において実施した調査研究の成果も盛り込んで1995年に作成発行したのが先の「大気浄化植樹マニュアルーきれいな大気をとり戻すためにー（改訂版）」である。本マニュアルはその増補改訂版である。

3 大気浄化効果の定量化

植物やその集合体である緑地の大気浄化能力については、従来あまり定量的に扱われることがなかったが、国立公害研究所（現独立行政法人国立環境研究所）では各種植物の大気浄化能力や

大気汚染に対する耐性について研究し、光合成に伴う CO₂ 吸収量を基にして間接的にガス状汚染物質の吸収量を推定する方法を検討した。また、その他様々な大学や試験研究機関で植物による大気浄化能力を定量化しようとする試みがなされてきた。

本マニュアルでは、この国立公害研究所（現独立行政法人国立環境研究所）の成果に着目した植物の大気浄化効果の定量的評価法を新たに提案している。

4 大気浄化植樹の技術的事項

植物による大気浄化能力については、従来から経験的に知られていたが、どのような樹種を導入して、どのような植栽構成や植栽配置で植栽したらよいのかなどの具体的な植栽方法は明らかにされていなかった。このため、大気浄化を主眼とした樹木の植栽は、緩衝緑地帯の造成や工場緑化などの一部の例を除いてあまり行われてこなかった。

このため、本マニュアルでは、大気環境の改善に主眼をおいた場合の植栽について、技術的事項を先進的な事例を数多く掲載しながらわかりやすくまとめることにした。

ただし、大気浄化に主眼をおくといっても、既存の都市緑化施策や植栽技術から大幅に外れるものではなく、都市緑化の基本に則った上で、快適性や修景性など、対象とする敷地や施設の本来的な機能などとの調和を図りながら、大気浄化以外のその他の緑地機能にも十分配慮するよう心がけた。

4. 用語解説

本マニュアルには、一般の人々には聞きなれない環境用語や造園用語などの専門用語が数多く出てくるため、以下に簡単な用語解説を付けた。適宜参照されたい。

解 説

維 持 管 理

植栽が意図した機能を十分に発揮するためには、適切な維持管理によって樹木の生育を健全に保つことが重要である。植栽の維持管理方式には、強剪定方式（生長抑制方式）と弱剪定方式（自然生長方式）がある。前者が強い剪定や刈込によって樹木の生長ををある程度抑制しながら形状を一定に保つのに対して、後者は剪定や刈込を必要最小限にとどめ、樹木の自然な生長を重んじるのに特徴がある。

エ ア ロ ゾ ル

エアロゾルは、空気中に微小な液体粒子や固体粒子が浮遊している状態あるいはこれらの微小粒子そのものをいう。エアロゾルは、生成過程の違いから、粉塵（ダスト）、ヒューム、ミスト、煤塵など、また気象学的には視程や色の違いなどから霧、もや、煙霧、スモッグなどと呼ばれることもある。

乾 物 重(乾重)

動植物などの生物体量の計測は、一般に含水量により重量がかなり変化する。乾物重は、十分に乾燥したときの重量をいう。これに対して、乾燥させないで生のまま計測したときの重量を生重という。

気 孔 開 度

植物による CO_2 の吸収や水蒸気の放出などのガス交換は、主として葉面にある気孔を通じて行われる。光合成、蒸散、汚染ガスの吸収などを把握する場合に、気孔開度がよく計測される。気孔開度を計測するには、気孔の隙間の開き具合を直接測定する方法（顕微鏡法）や葉面を多孔面ととらえてガス拡散現象から求める方法（ポロメーター法）がある。

気孔コンダクタンス

植物は葉面にある気孔を通じて光合成・呼吸・蒸散などのガス交換を行っている。気孔コンダクタンスは、 CO_2 、 O_2 、水蒸気などの気体が大気―葉内間を出入りする際の通りやすさのことをいう。気孔をこれらの気体を通る際に生じる拡散抵抗の逆数で、気孔の開き具合を表わす指標となる。

胸 高 直 径

樹木の大きさのうち幹の太さは、計測しやすいためよく用いられる。幹の太さは計測する位置によって異なるが、胸高直径は地表面から1.3mの高さ（胸の高さ）で計測される幹の直径で、従来から林学

	や生態学の分野では直径測定の常法になっている。
ク チ ク ラ 層	葉面の表皮の外側を覆う透明な膜で、ワックスを主成分とする。シイ類、カシ類、タブノキなどの、いわゆる照葉樹は、クチクラ層が特に発達し、表面が照っているようにみえることに由来する。
光 合 成 速 度	植物は、太陽エネルギーを使って、水と空気中のCO ₂ から炭水化物を合成しており、これを光合成という。生産量の概念と同様に、明所における葉の単位面積当たり、単位時間当たりの光合成量を純光合成速度（みかけの光合成速度）といい、植物はその生産物の一部を呼吸により消費しているため、総光合成速度（真の光合成速度）は純光合成速度（みかけの光合成速度）に葉の呼吸速度を加えて求める。
支 柱	植栽木の風倒防止対策として、樹木を支えるために設置される。従来からの伝統的な支柱には鳥居型支柱、ハツ掛け、布掛け支柱などがあるが、人工地盤緑化では人工軽量土壌が用いられるため、支持が困難なことや美観向上の面から、最近は目立たないワイヤー支柱や根鉢固定式の地下支柱が増えており、選択の幅が広がっている。
収 着	植物によるガス状汚染物質濃度の低減効果については、葉面の気孔を通じて葉内に取り込まれる吸収と葉の表面に付着捕捉される吸着とがあり、これらをあわせて収着という。すなわち、吸収は汚染ガスが植物の光合成に伴って気孔から葉内に取り込まれることをいい、吸着は汚染ガスが葉表面に付着捕捉されることをいう（フィルター効果とも呼ばれる）。
蒸 散	葉における水分の蒸散は、主として気孔を通じて行われ、クチクラ層を通じて行われる蒸散は一般に小さい。前者を気孔蒸散、後者をクチクラ蒸散という。蒸散量は日変動を示し、昼間盛んで夜間はほとんど停止する。蒸散に影響する要因としては、内的要因に気孔開度や葉の大きさなどがあり、外的要因には日照・温度・湿度・風などがある。蒸散量は、単位葉面積あたり、単位時間あたりに換算し、蒸散速度として表わされる。
植 栽 可 能 空 間	植栽可能空間とは、ある敷地において、非建蔽地（建物の立っていない場所）のうち地表面が露出している場所または緑被地（樹木や草地などの緑で覆われている場所）の部分进行う。
食 餌 木	野鳥を呼び込むためには、巣箱を設けたり、野鳥が好んで食べる実をつける樹木や蜜のある樹木を植栽すると効果的である。このよう

	な趣旨で植栽する樹木を食餌木という。ピラカンサ、ヒサカキ、ハゼノキ、ヤブツバキなどがある。
人 工 地 盤	人工地盤は、人工的に構築された基盤のことであり、土木建築物に由来する植栽の支持基盤となる。すなわち、都市建築空間のうち、屋上・ベランダ・テラス・外壁などの構造部分のことをいい、ここを活用して緑化を行うのが人工地盤緑化である。
人 工 軽 量 土 壤	何らかの加工を加えてつくられ、通常の土壌より比重が軽く保水性が高い人工土壌をいう。保水性を高めるために、多孔質材料や高分子吸水材などを使用してつくられる。無機系、高分子系、腐植質系、木質系など様々な植栽用資材がある。
生 産 量	緑色植物などが光条件下で CO_2 を取り入れ有機物を合成することを光合成というが、光合成により生産された有機物の総量を総生産量という。しかし、植物は自ら生産したものの一部を呼吸により消費しながら生育しているため、総生産量のうち呼吸消費量を差し引いた残りが植物体として固定され、これを純生産量という。つまり、純生産量は、総生産量から呼吸消費量を差し引いた量で、その関係式は以下のとおりである。 $P_g = P_n + R$ ここで、P_g：総生産量、P_n：純生産量、R：呼吸量 これらは、単位土地面積当たり、単位時間当たりの乾重量で表わされ、単位は一般に $\text{t/ha} \cdot \text{y}$ で表示することが多い。
相 対 生 長 式	大きさの異なる多数の同種個体があるとき、個体のある部分の量 x、y との間には、 $y = a \times x^h$ の関係が成り立つことを相対生長関係にあるといい、その式を相対生長式という。a、h は部分 x、y の組合せによって決まる定数で、特に h は相対生長係数と呼ばれる。x と y とを両対数グラフ上にプロットし、直線関係が成り立てば、x と y は相対生長関係にあるといい、h は直線の傾きで表わされる。森林や草地の現存量（葉量、材積など）の推定などによく用いられている。
沈 着	エアロゾル粒子が空气中を移動して壁面（固体・液体）に到達し、その表面に付着する現象を沈着という。このうち植物の葉表面などに付着することを吸着という。
ツ リ ー サ ー ク ル	植栽地において、土壌の踏圧防止や雨水浸透を図るため、根元周りに設置する植栽柵などのふたをツリーサークルという。

ツル植物	ツル植物は、成長に伴い、ツル状の幹や枝が地表面あるいは他のものに「はう」「吸い付く」「巻き付く」「垂れる」などより植物体を支える植物をいう。生育が旺盛で厳しい環境圧に耐える強健な植物が多く、近年、地被として用いられたり、建築空間の壁面緑化などに多用されている。ナツヅタ、フジ、ヘデラ類など種類が多い。
土壌改良	土壌改良には、客土、盛土、耕耘、排水などによる土層の改良と土壌改良材施用による改良がある。後者に用いる造園緑化資材を土壌改良材という。土壌改良材には、バーク堆肥、コンポストなどの有機質系、パーライト、バーミキュライトなどの無機質系及び分子数の多い化学物質が主成分である高分子系などがある。
土壌の理化学性	土壌は植物生育の基盤をなすものであり、一般に肥沃で通気性・排水性に富み、有効土層が深い土壌が望ましい。土壌の物理的性質（土性、保水性、透水性など）と化学的性質（pH、腐植、養分など）をあわせて理化学的性質（理化学性）という。
パッシブ・クーリング	建築空間の屋上や壁面を緑化すると、日射の遮蔽効果により屋上や壁面からの熱の焼き込みや室温の上昇がかなりの程度で抑制され、冷房のための消費電力が節電できる。近年、ヒートアイランド現象の抑制対策の一環として、「自然エネルギー利用冷房」（Passive Cooling）として注目され、各地方公共団体で積極的に進められている。
バルコニー	建物の外壁から突き出した屋根のある床をいい、一般に2階以上にあって、手すりや壁があるものをいう。
ヒートアイランド現象	近年、都市域においては、郊外に比べて気温が高くなる、いわゆるヒートアイランド現象が都市特有の気象現象として問題になっている。その原因は、都市化に伴う工場のボイラー、ビルの冷暖房、自動車台数の増加などの排出熱量の増大が最大の原因とされているが、その他にアスファルト舗装、コンクリート構造物による太陽熱の吸収蓄熱、森林や農耕地などの緑地面積の急激な減少などがあげられている。
ビル風	近年は都心を中心に規模の大きな超高層ビルや中高層ビルが増えており、その周辺の比較的狭い範囲でビル風が発生する。ビル風は、建物の形状や配置、周辺の状況などに応じて、非常に強く複雑な風の流れとなる特徴がある。
複層林（多層林）	森林は、一般に高木層・亜高木層・低木層・草本層といったように

	植物の生活形に応じて立体的な階層構造を有し、多種類の植物からなる複雑な植物社会を形成している。このような多層構造からなる森林を多層林（複層林）と呼んでいる。
プランター	プランターは植栽用の枠のことで、直接土壌を入れて植栽するものや植物を植え込んだポットなどを収容するものがある。家庭用の小型プランターから樹木が植栽できるような大型の可搬式のプランターなど、様々な大きさのものがある。
ペDESTリアンデッキ	自動車道路と分離されて整備された立体的な歩行者専用通路のことで、エスカレーターやエレベーターが設置されているところもある。最近では、駅の周辺やオフィスビル群、中高層住宅の住棟群を結ぶペDESTリアンデッキが増えている。
ベランダ	建物の外壁に突き出した屋根や庇のある廊下状の吹き抜け部分をいう。中高層住宅などにあるベランダが一般的である。
マルチング	植栽木の維持管理（養生）法の一つで、夏季における乾燥防止（蒸発の抑制）、冬季における霜害防止などのために、植栽木の根元周辺にバークチップ、木材チップなどを地表面にばらまき被覆する。
緑のカーテンづくり	緑のカーテンづくりは、ツル植物を外壁近くに生育させることで日照を遮蔽し、また植物の蒸発散作用も得られることから、夏季の暑い日中には室内温度が室外よりも5～10℃程度下がり、省エネルギー効果が期待されている。最近では、ヒートアイランド対策の一環として、各地方公共団体において学校を中心に積極的な取組が行われている。
有効土層	植物は、植物体の維持や水分・養分の吸収のために、種類や形状に応じてそれぞれの植物に特有の根系を形成している。植物の根が正常な状態で自由に伸長しうる条件を備えた土層を有効土層という。その厚さ（深さ）は、土壌の堅さ、地下水位、有害物質の存在により制限され、高木と中低木、深根性樹種と浅根性樹種など、樹種によって必要な有効土層厚が異なる。
葉面拡散抵抗	葉面における水蒸気拡散抵抗を葉面拡散抵抗という。葉面拡散抵抗は気孔の開き具合を表わし、水蒸気拡散抵抗を構成するパラメーターの一つであり、植物のガス状汚染物質の吸収能力を表わす指標として用いられる。この値が大きいほど、植物の単位葉面積当たりの吸収能力は低くなる。気孔コンダクタンスの逆数である。
葉面積指数	葉面積指数（LAI：Leaf Area Index）は、単位土地面積上にある

	植物群落の全葉面積、すなわち土地面積に対する全葉面積の比で表わされる。わが国の森林の葉面積指数は、落葉広葉樹林で3～6、常緑広葉樹林で5.5～9、スギ林で4.5～8.5程度である（吉良、1976）。この考え方を単木に準用すると、単木の場合には樹冠投影面積に対する全葉面積の比とみなせる。
立 体 花 壇	成形されたプラスチック製ユニットをパネル上に組み立てたり、カセット式の生育基盤にポット苗などを植栽して積み上げる立体式あるいは壁式の花壇である。人工軽量土壌などの生育基盤、格子などの補助資材、灌水装置などが組み合わされ一体化しているものが増えている。草花や観葉植物など、導入植物も多様になってきている。
緑 陰 樹	夏季の強い日射しを避け、日陰をつくるために植栽された樹木を緑陰樹という。冬季の暖かな日差しを妨げないように落葉広葉樹が望ましく、アオギリ、プラタナス、ユリノキのように葉が大型で枝葉がよく繁る樹種が適している。
ル ー フ ド レ イ ン	屋根に降った雨水を集め、雨樋に入るところに設ける塵濾しを兼ねた排水施設をいう。屋上緑化の漏水の原因の多くはこのルーフトレインの目詰まりにあるといわれている。



第2章 植物の大気浄化機能

1. 緑の効用と大気浄化機能

都市域の樹林地や芝生地などの緑地は、地域住民にレクリエーションの場を提供し、憩いややすらぎの場となっているほか、都市の美観の向上や、災害時には重要な避難場所ともなっている。また、大気浄化、騒音低減、気象緩和など、地域の快適な生活環境の形成に係わる様々な機能をもっている。

大気浄化植樹は、これらの都市緑地の有する諸機能のうち、特に植物のもつ大気汚染物質の浄化機能に着目し、大気環境の改善に主眼を置いて市街地で植樹を推進するものであり、その実施に伴い、大気浄化に加えて、上記の様々な機能の相乗効果が期待できる。

解 説

緑地の有する機能は、表 I.2.1-1 に示すように多岐にわたっている。これらの機能は時代の変遷とともに期待する機能にも変化がみられるが、近年においては、人々のライフスタイルの変化とともに、質の高い生活環境を求める方向性と相まって、環境資源としての緑地や文化資源としての緑地への期待が、今後、ますます高まって行く傾向にある。

なかでも、都市緑地に期待される基本的な機能としては、大気浄化、騒音防止などの快適な生活環境の確保に係わる項目であり、このうち大気浄化機能については、地球温暖化対策に係るCO₂の吸収・貯留、酸素の供給、葉面の気孔を介して行われるガス状汚染物質の吸収、葉面等の枝葉に付着・吸着される捕捉効果などである。最近ではヒートアイランド対策などの一環として屋上緑化や壁面緑化等が各地方公共団体で積極的に進められている。緑地の機能は、このように多岐にわたっているが、緑地の整備によって生物種の保全や生物多様性の向上が期待されるとともに、保健休養の場や自然探求や情操教育の場を提供したり、都市域に憩いとやすらぎの場を提供するなど、相乗的な機能を有することが他の何ものにも代え難い緑の重要な価値といえる。

表 I.2.1-1 緑地の機能（只木、1990）

緑の機能	主 要 な 内 容
気 象 緩 和	気象緩和、湿度調節、木陰、防風、防霧、ヒートアイランド緩和など
水 保 全	水源涵養、河川水量の平準化、水質保全、降水増加など
侵 食 防 止	水食防止、風食防止、雪食防止など
自 然 災 害 防 止	山崩れ防止、洪水防止、雪崩防止、落石防止など
防 火	延焼阻止、災害時の避難地としての利用など
大 気 浄 化	CO ₂ の吸収・貯留、酸素供給、汚染物質吸収、塵埃吸着など
騒 音 防 止	騒音の低減抑制など
環 境 指 標	環境指標種としての利用など
生 物 種 保 全	野生鳥獣魚類の保護、外来生物侵入の抑制など
保 健 休 養・風 致	薬効物質揮散、精神安定、保養の場、行楽・娯楽、スポーツの場の提供など
教 養・教 育	自然探求、情操教育、教育の場と材料の提供、芸術科学の材料の提供など

2. 植物によるガス状汚染物質の吸収

- (1) 植物による大気浄化機能については、工場周辺の樹林地や幹線道路沿道の街路樹で粉塵が葉面に付着していたり、 SO_2 や NO_2 などのガス状汚染物質が葉面で吸収・吸着されていることが従来から経験的に知られていたが、1970～1980年代に国立公害研究所（現独立行政法人国立環境研究所）などにおいて精力的な研究がなされ、一部の樹種では SO_2 や NO_2 の吸収速度が定量的に把握されるなど、科学的にも確認されている。
- (2) 植物は、葉面にある気孔という小さな孔を通じて光合成や蒸散などを行っているが、そのガス交換の際に SO_2 や NO_2 などの汚染ガスが植物体に吸収され取り込まれる。また、葉面のクチクラ層にも吸着され、この吸収と吸着をあわせて収着と呼ばれている。葉面における吸着量は気孔を介しての吸収量に比較して著しく少ないことが知られている。気孔を介しての吸収能は、一般に気孔の開き具合（気孔開度と呼ばれる）や光合成や蒸散などの生理活性に比例することなどが確認されており、これを利用して大気浄化能力の優れた植物の検索なども進められている。
- (3) 樹木の大気浄化能力の種間差の評価にあたっては、上記のような植物個葉におけるガス吸収能ばかりでなく、その季節変動や樹木の大きさ、葉量、着葉期間なども考慮に入れる必要がある。

解 説

1 植物個葉におけるガス吸収機構

一般に植物の葉の表面には気孔と呼ばれる小さな孔があり、日中は気孔を通して空気中の CO_2 を葉内に取り込み酸素を放出して、光合成により炭水化物を生産している。また、同時に体内の水分を蒸散により放出し、体温を調節したり根から養分を供給する原動力にしている。気孔の構造や数は植物の種類によって異なるが、気孔は環境条件に応じて開いたり閉じたりし、その開き具合（これを気孔開度という）は、植物を取り巻く環境条件、特に明るさに応じて調整され、最適な成長をするように植物体のガス交換を制御している。このようなガス交換の際に空気中に含まれるガス状の汚染物質が気孔を介して植物体内に取り込まれる（図 I.2.2-1）。

一方、植物の表面はクチクラ層と呼ばれる組織で覆われ、体内の水分の過度な放出を抑制するはたらきをしているが、ガス状汚染物質もその表面に吸着される。

したがって、植物は気孔を介して葉内にガス状汚染物質を吸収したり、葉面のクチクラ層で吸着したりして、植物周辺の大気を浄化している。この吸収と吸着をあわせて収着というが、葉面における吸着量は気孔を介しての吸収量に比べて一般に著しく少ないといわれている（戸塚、2013）。

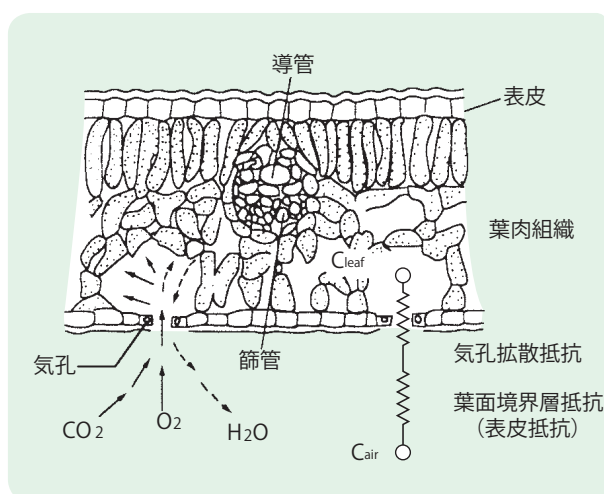


図 I.2.2-1 ガス拡散過程の模式図（古川、1987）

2 植物によるガス状汚染物質吸収量

植物のガス状汚染物質の吸収速度は、主として葉面にある気孔開度に支配されている。一方、植物の水分放出である蒸散速度は、主に気孔開度や空気中の湿度の影響により変化する。名取・戸塚ら（1980）は、数種の草本植物について、蒸散速度と NO_2 吸収速度との関係を調べ、図 I.2.2-2 に示すように、同一直線上に測定値が並び、このことから植物の種類によって気孔の数や気孔開度が遺伝的に異なり、ガス吸収速度に差があることを示唆された。この図から各種植物の NO_2 吸収速度を読み取ると、ヒマワリ 0.29、トマト 0.17、ヒマ 0.12、アサガオ 0.10、キュウリ 0.08、トウモロコシ 0.07 となる（単位はいずれも $\text{mgNO}_2/\text{dm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ppmNO}_2$ ）。

藤沼ら（1987）は、木本植物を 14 日間あるいは 30 日間にわたって O_3 を曝露させたときのガス吸収速度を調べ、図 I.2.2-3 に示すように、樹木の O_3 吸収速度は 10pphm（0.1ppm）まではいずれの樹木も直線的に増加することを示し、その直線の傾き（縦軸の単位を $\text{mgO}_3/\text{dm}^2\cdot\text{h}$ に変換して単位濃度あたりに換算： $\text{mgO}_3/\text{dm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ppmO}_3$ ）は、サクラ（ソメイヨシノ）0.42、クヌギ 0.28、ケヤキ 0.25、クスノキ 0.21、イチヨウ 0.17 と算出された。これらの結果は、いずれも葉面の気孔開度の差異を示し、気孔のよく開く樹木は、葉から水分を蒸散しやすく、 O_3 吸収速度も大きく、ガス状汚染物質の吸収能力も高いことが示唆される。

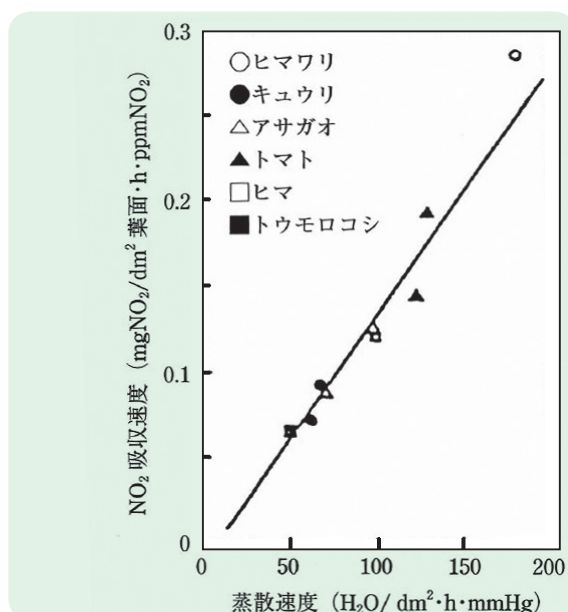


図 I.2.2-2 種々の植物における NO_2 吸収速度（単位ガス濃度あたり）と蒸散速度（単位水蒸気飽差あたり）との関係（名取・戸塚，1980）

照度 33 klx，気温 30°C ，湿度 50%，1 ppm NO_2 で 2 時間曝露後。

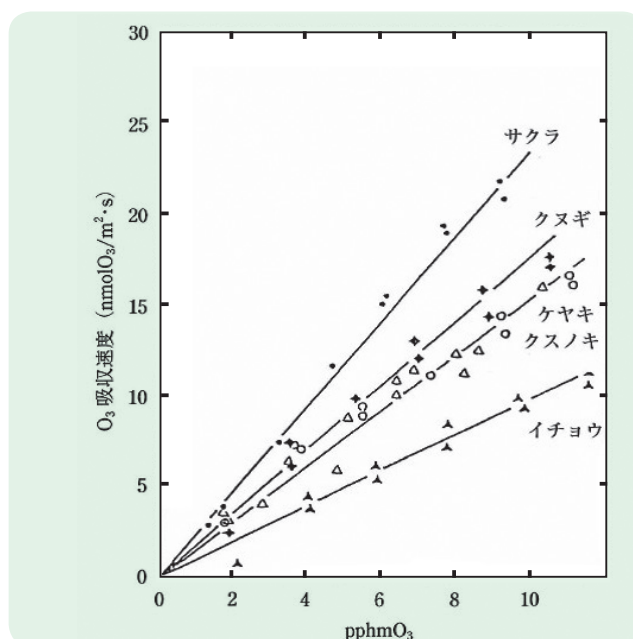


図 I.2.2-3 種々の街路樹の O_3 吸収速度と O_3 濃度との関係（Fujinuma et al., 1987）

●：サクラ，◆：クヌギ，○：クスノキ，△：ケヤキ，▲：イチヨウ。
測定条件は気温 25°C ，湿度 70%。
縦軸の単位：1 nmol $\text{O}_3 = 10^{-9} \times 48\text{gO}_3$ ，横軸の単位：1 pphm $\text{O}_3 = 0.01 \text{ ppmO}_3$ 。

3 植物によるガス状汚染物質吸収能の種間差異

上記で述べたように、植物による汚染ガスの吸収能は、気孔開度が大きく、光合成や蒸散などのガス交換が活発な植物ほど大きい傾向がある。大気浄化機能の高い植物を検索する方法の一つとして、植物体のガス吸収能力の指標である葉面拡散抵抗を測定する方法がある。

藤沼ら（1985）は、野外条件下で広葉樹 113 種（落葉樹 78 種、常緑樹 35 種）の葉の裏面の葉面拡散抵抗と気孔開度を測定した。

葉面拡散抵抗は、単位は s/cm で表わされ、この数値が大きいほど抵抗が大きい、すなわちガスが吸収されにくいことを示す。計測された葉面拡散抵抗の値の平均値は $1.41s/cm$ で、最小値はキリの $0.41s/cm$ 、最大値はアセビの $4.08s/cm$ であった。落葉樹の平均値は $1.14s/cm$ 、常緑樹の平均値は $2.02s/cm$ であった。図 I.2.2-4 に、葉面拡散抵抗の大きさにより分類した常緑広葉樹、落葉広葉樹の分布を示す。落葉樹では葉面拡散抵抗値が小さい樹種が多いのに対して、常緑樹では葉面拡散抵抗値が大きい樹種が多い傾向が認められる。このことから、気孔開度は常緑樹よりも落葉樹のほうが一般的に大きい傾向があり、ガス状汚染物質の吸収能も常緑樹よりも落葉樹のほうが大きいことが示唆される。

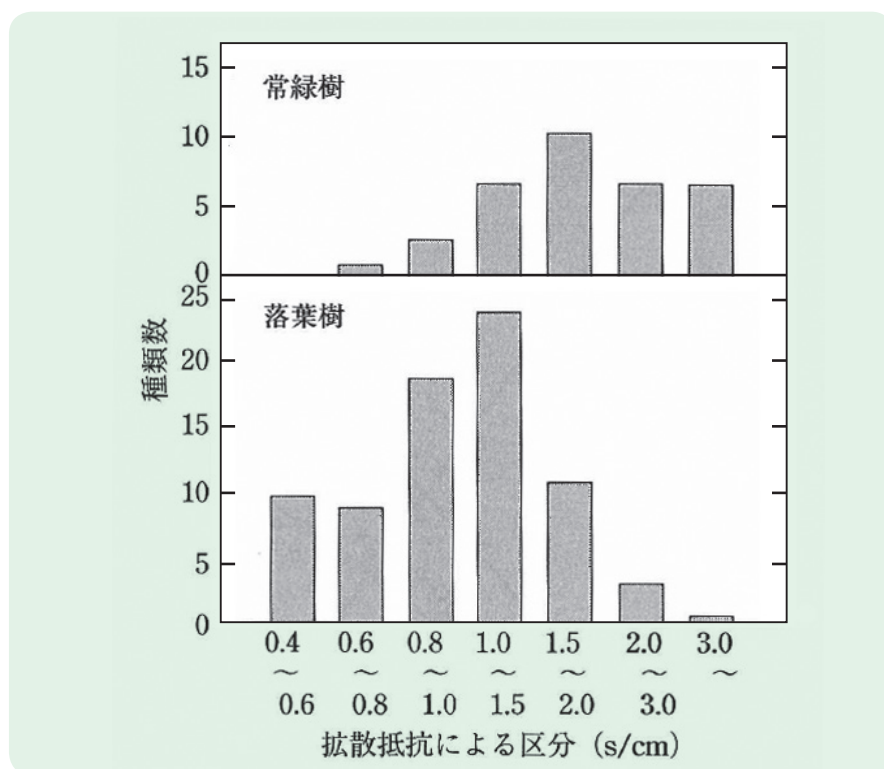


図 I.2.2-4 葉面拡散抵抗値の大きさにより分類した
広葉樹種の分布（藤沼ら，1985）

調査樹数は 42 科 113 種（落葉樹 78 種、常緑樹木
35 種）

3. 植物による粒子状汚染物質の捕捉

- (1) 植物による粒子状汚染物質の捕捉効果についても、幹線道路周辺の街路樹などの葉の表面に粉塵が付着していることなどによって従来から経験的によく知られていた。
- (2) 樹木の葉による粒子状汚染物質の捕捉効果についても主として 1960～1990 年代に研究が進展し、捕捉効果が大きい樹種として、枝葉がよく繁茂する樹種で、鋸歯があり、葉脈や葉柄に凹凸が多く、毛が密生するなど、葉の形態が複雑な樹種ほど粒子状汚染物質を捕捉しやすく、流亡しにくいと考えられている。また、生垣状に植栽し、適宜刈込を行って枝葉の密度を高めるとともに、葉を更新して活力度を高めることも効果的である。
- (3) 粒子状汚染物質の捕捉に係わる研究は 2000 年以降ほとんど進展してこなかったが、近年になって PM2.5 との関連から組織レベル・細胞レベルの微細構造に着目した研究などが行われるようになってきており、葉面における微細構造が微細な粒子状汚染物質の葉面への吸着に影響を与えていることなどが確認されつつある。また、従来、雨が降ると葉面に付着されていた粉塵が洗い流されてしまうと考えられていたが、一部は葉面のクチクラ層表面のワックス層などに取り込まれ、流亡しにくいことなども確認されている。

解 説

1 植物による粒子状汚染物質の捕捉量

三澤（1981）は、自動車走行に伴う大気汚染の中でも粒子状汚染物質による汚染に着目し、沿道緩衝緑地帯の機能の一つとして樹木の枝葉による粒子状汚染物質の吸収量を定量化することを目的として、東名高速道路日本坂トンネル付近及び都内幹線道路沿道で粉塵の葉面吸着量に関する野外実験を行った。その結果、葉面付着粉塵量は枝葉近傍の大気中の粉塵濃度及び曝露期間にほぼ直線的に相関すること、葉面付着粉塵量は葉の形態的特徴に著しく関係していることが明らかになった。樹種別の粉塵吸着量は、図 I.2.3-1 に示すように、中木ではマサキ、サザンカがネズミモチ、サンゴジュ、シャリンバイよりも吸着量が多く、低木ではオオムラサキの吸着量が最も多く、サツキ、ハナゾノツクバネウツギ（アベリア）の順に少なくなった。これらの樹種による粉塵吸着量の違いは、葉面に生えている毛の長さや量、鋸歯や葉面の凹凸など、葉の形態的特徴に依存しているものと考えられた。

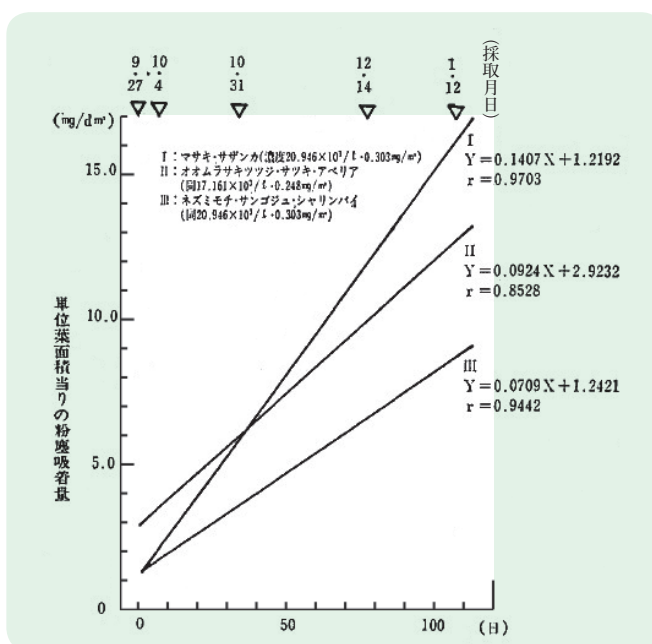


図 I.2.3-1 供試樹木の粉塵吸着量の回帰式
(三澤、1981)

片山ら（1991）は、降水に比べて樹冠通過雨（林内雨）や樹幹流の物質濃度が高くなるのは、樹冠や樹幹表面に付着した粉塵の洗い出しによるものだと考え、京都大学農学部桐生演習林の森林内外で浮遊粉塵を採集し、その挙動を検討した。その結果、林外と林内の大気中の浮遊粉塵濃度は、濃度の大小に係わらず林内は林外よりも常に低く、林外と林内ではほぼ平行に浮遊粉塵濃度変動していることを確認した。そして、林外と林内の浮遊粉塵の濃度差から多いときには70%、平均でも30%程度の浮遊粉塵が樹冠で捕捉されていることが確認された。

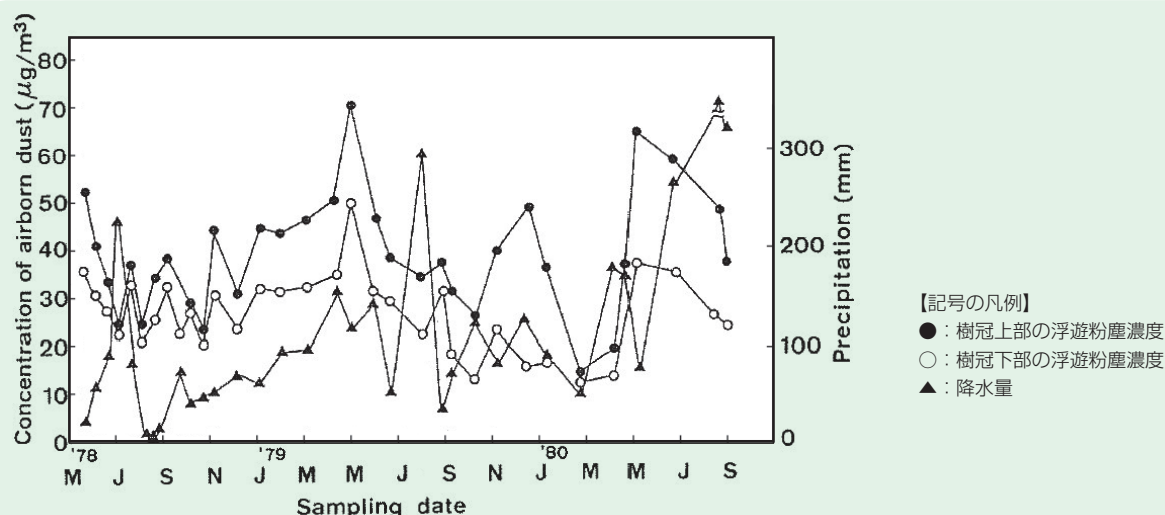


図 I.2.3-2 樹冠上部及び下部における大気中の浮遊粉塵濃度の季節変動（片山ら、1991）

伊藤ら（2007）は、森林生態系における大気中の鉛（Pb）の捕捉効果を明らかにするために、スギ林において、降水、植物体各部（幹材・樹皮・枝・葉）、林床のリター層（落葉層）、土壌、基岩中の Pb の安定同位体を分析した。その結果、スギ林では、大気中に起源を有する全 Pb のうち 71% が植物体各部に、62% が林床のリター層に、55% が表層土壌上部中（0～10cm）に捕捉され、表層土壌下部中（10～20cm）にはわずか 16% しか捕捉されていなく、表層土壌と植物体の間で内部循環が生じていることが示唆された。これらのことから、森林は大気中の Pb などの汚染物質を捕捉するフィルター効果があることが確認された。

記号の凡例
◆：降雨
△：針葉
○：樹皮
□：幹材
■：枝
◇：球果
×：リター
▲：土壌
＊：基岩

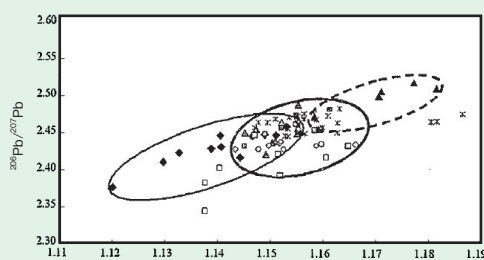


図 I.2.3-3 スギ林における鉛の安定同位体比 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ （伊藤ら、2007）

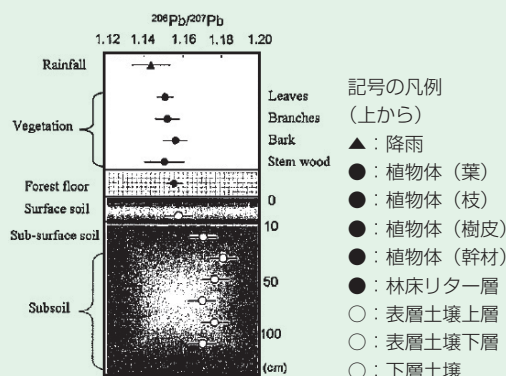


図 I.2.3-4 スギ林における鉛の安定同位体比 $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ の垂直分布（伊藤ら、2007）

2 植物による粒子状汚染物質の捕捉能の種間差異

三澤ら（1985）は、緑地による大気浄化機能に関する研究の一環として、浮遊粒子状物質に着目し、沿道植栽木の葉の形態と粉塵の葉面吸着特性について、Pb、亜鉛（Zn）の重金属をはじめとする付着粉塵の定量分析と走査型電子顕微鏡による葉面の微細構造の把握などにより葉面における粉塵の吸着メカニズムの解明を試みた。その結果、粉塵の吸着特性は葉の形態によって相違することが確認され、緩衝緑地帯などの植栽設計を行う上で有力な示唆が得られた。

それによると、国道6号線沿いの樹木の粉塵吸着量は、図 I.2.3-5 に示すようにオオムラサキ＞カイズカイブキ＞サンゴジュ＞キョウチクトウ＞ヒノキ＞ネズミモチ＞マサキ＞ツバキ＞ユーカリの順に多く、Pb や Zn の重金属の吸着量も図 I.2.3-6 ～ 7 に示すように、ほぼ同様の傾向を示したが、Pb ではカイズカイブキ、ヒノキ、Zn ではオオムラサキの吸着量、含有量が多い。全般的にみると、オオムラサキ、カイズカイブキの吸着量・含有量が多かった。走査型電子顕微鏡での観察によると、広葉樹では葉柄、葉の先端、鋸歯など、幅が狭くなっている部分に吸着が多く、針葉樹では葉片の重なり合う凹部に吸着が多かった。葉面に凹凸がある場合には粉塵は凸部には少なく、凹部に多かった。また、葉面に毛がある場合には毛の先端や付け根に多く、特に毛が密生している場所では粉塵同士が塊状になって付くなど、多くの粉塵が吸着していた。これらのことから、カイズカイブキやヒノキなどの針葉樹で粉塵吸着量が多いのは、葉片が細かくかつ複雑に組み合わせられているため隙間が多いためであろうと考えられた。広葉樹のうちオオムラサキ、キョウチクトウ、サンゴジュなどで粉塵吸着量が多いのは、オオムラサキ、キョウチクトウでは葉面全体に毛が密生していること、サンゴジュでは主脈等に毛があり、葉脈がよく発達して、葉面に凹凸が多いためであろうと考えられた。また、ツバキ、マサキ、ユーカリなどで粉塵吸着量が少ないのは、無毛で葉脈の凹凸が少なく、葉面が全体的に滑らかであるためであろうと考えられた。広葉樹のように葉面が広い場合には、粉塵の吸着は葉の大小というよりは、ミクロな毛の有無、長さや密度、葉脈の発達程度や表面の凹凸など、葉の構造に左右されることが示唆された。

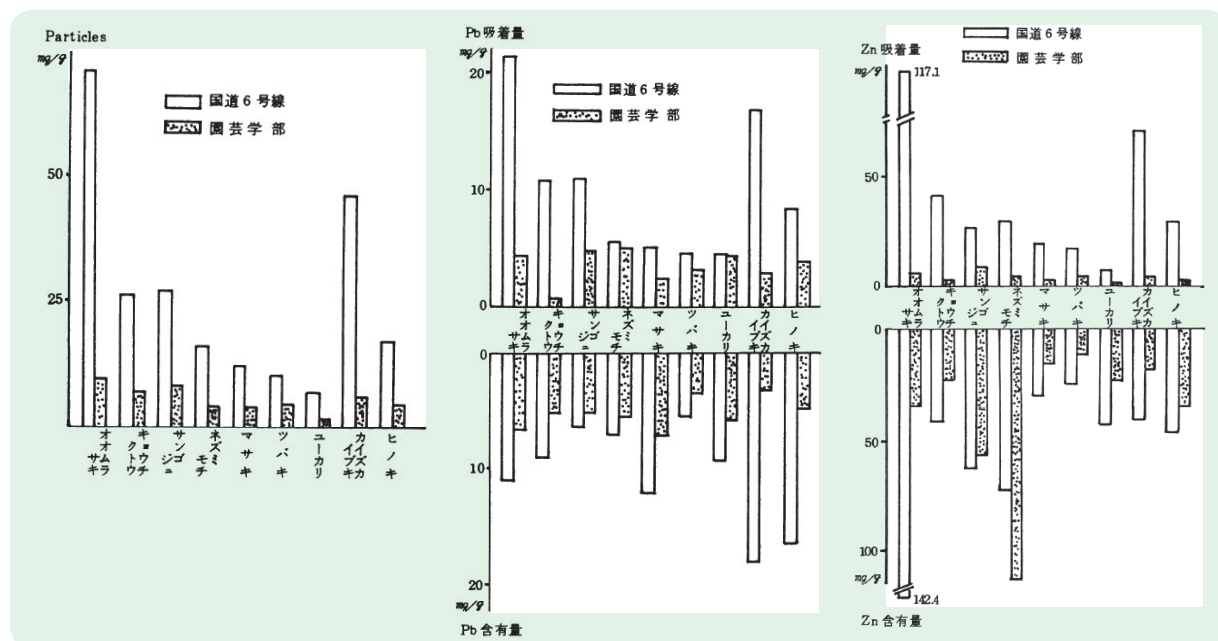


図 I.2.3-5 葉面の粉塵吸着量
(国道6号線・園芸学部) (三澤ら、1985)

図 I.2.3-6 葉面のPb含有量・吸着量
(国道6号線・園芸学部) (三澤ら、1985)

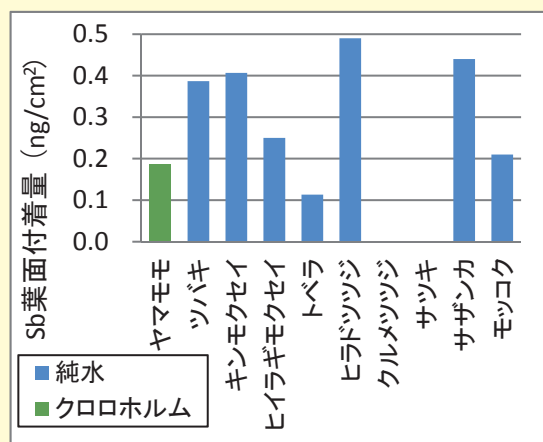
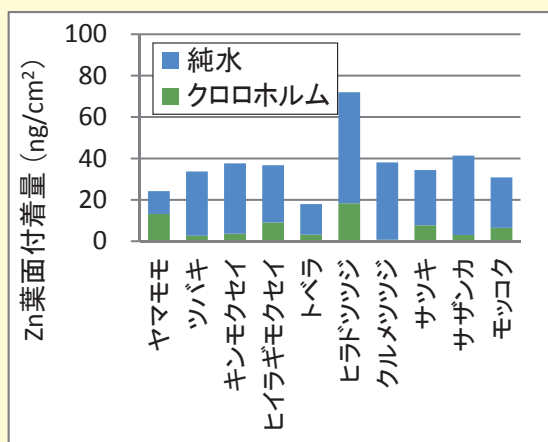
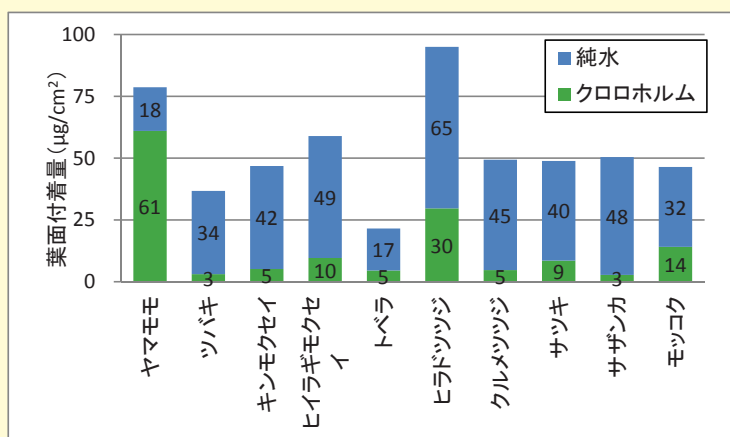
図 I.2.3-7 葉面のZn含有量・吸着量
(国道6号線・園芸学部) (三澤ら、1985)

コラム 樹木の葉の粉塵捕捉効果

葉による粒子状物質の捕捉効果に係る種間差異を把握するために、葉面付着粉塵を調べた。

対象としたのは、高木のヤマモモ、モッコク、ツバキ、中木のキンモクセイ、ヒイラギモクセイ、トベラ、サザンカ、低木のヒラドツツジ、クルメツツジ、サツキのあわせて 10 種で、いずれも常緑樹である。サンプル葉としては、新葉の展開を確認した比較的新しい葉で、ポット植えの樹木を各種 3 本ずつ屋外の庭（千葉縣市原市内の住宅地）に放置し、樹冠上部の先端に近い場所から葉の面積に応じて 1 サンプル当たり 5 ～ 10 枚の当年葉をサンプリングし、分析に供した。前処理として純水洗浄により葉面に付着し比較的容易に抽出できる成分（付着粒子）とその後、クロロホルム洗浄によりワックス層を溶解して抽出されるワックス層などに比較的強固に固着している成分（固着粒子）の 2 段階で処理した。

樹種ごとの葉面付着粉塵量は右図に示すとおりで、葉面付着粉塵が最も多いのはヒラドツツジの $95 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、次いでヤマモモの $79 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、ヒイラギモクセイの $59 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 、最も少なかったのはトベラの $22 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ であった。純水処理で抽出される付着粒子、クロロホルム処理で抽出される固着粒子の割合は、全般的に付着粒子の割合が大きかったが、ヤマモモは固着粒子の割合が特異的に大きかった。金属成分のうち発生源が自動車由来と考えられる Zn（自動車オイルなどの潤滑油に含まれる）、アンチモン（Sb、自動車のブレーキパットに含まれる）は、アルミニウム（Al）、ケイ素（Si）などの土壌粒子由来の物質に比べて捕捉量が桁違いに少ないが、ヒラドツツジの捕捉量が相対的に多かった。葉面付着粉塵量は、葉の寿命や着生している位置、また曝露期間や大雨後の日数など、様々な条件により影響を受けるが、当年葉であれば、概ね $50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($0.5\text{g}/\text{m}^2$) 程度捕捉しているものと考えられる。



出典）株式会社ブレック研究所（2014）：独立行政法人環境再生保全機構委託業務「大気浄化植樹事業の効果の把握及び効果的推進のため調査研究報告書（2013 年度）」

4. 都市緑地の大気浄化機能

- (1) 都市緑地の有する大気浄化機能についても、市街地に比べて広大な都市緑地内にいると空気が澄んでいて気持ちがいいなど、従来から経験的によく知られていた。
- (2) 1970～1980年代に明治神宮や新宿御苑などの森を対象に、緑地内外で汚染ガスや浮遊粉塵の濃度分布の測定により、その機能が定量的に確かめられた。
- (3) また、各種植物群落の一次生産力のデータを活用して、都市全体の緑地による大気浄化機能についても定量的な評価が行われつつある。

解説

1 緑地の有する大気浄化機能

丸田（1983）は、新宿御苑において SO_2 、 CO の濃度分布と気温・湿度の分布を、明治神宮内苑において SO_2 濃度分布の測定を行い、市街地の公園緑地の大気浄化機能を調べて以下のような結果を得た。

- ・密生する常緑樹林では、公園緑地の存在による SO_2 濃度の希釈作用が著しく、林帯幅は約 200m あれば十分であった。
- ・公園緑地内の SO_2 濃度の希釈作用により、周辺市街地の濃度の 1/2 に低下した。
- ・新宿御苑での粉塵濃度の調査結果から、植栽密度が比較的疎であっても、市街地上からの粉塵は樹林の配置により林縁から約 50m の付近でくい止められる。

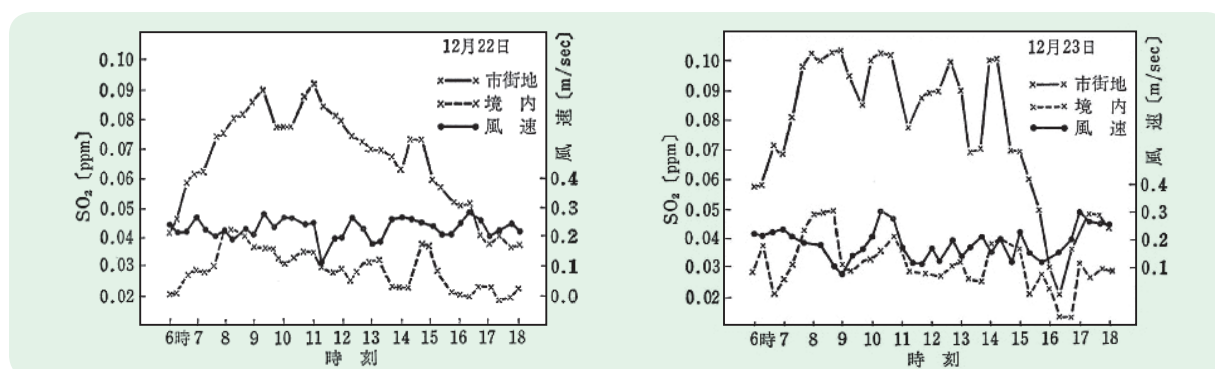


図 I.2.4-1 明治神宮内苑（市街地から約 250m の地点の樹林内）と市街地上との SO_2 濃度の比較（左：12月22日、右：12月23日）（丸田、1983）

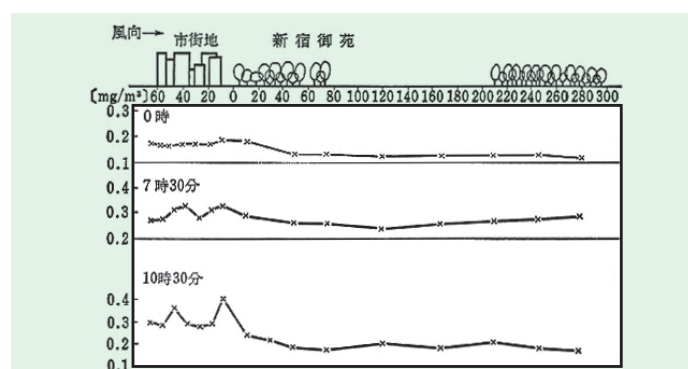


図 I.2.4-2 新宿御苑内外の浮遊粉塵濃度の分布
（12月5日、風向 NNW、風速 0.70m/sec）（丸田、1983）

小川（1986）は、埼玉県新座市の平林寺近郊緑地保全地区の緑地（面積 4.7ha）で NO_x 濃度、SPM 濃度の低減効果を調べた。この緑地は、北側の国道 254 号（日交通量 48,000 台）から 330m、南側の市道（日交通量 6,000 台）から 65m の距離にあるよく管理された二次林である。結果は表 I.2.4-1 に示すとおりで、全期間平均の低減率は、NO₂ が 11.1%、NO が 6.7%、NO_x が 8.8%、SPM が 17.4% で、緑地内では NO_x 濃度、SPM 濃度が低減することが確認された。

また、市道の影響を軽減した N 系風時では、NO₂、NO、SPM でそれぞれ 15.2%、7.6%、17.9% の低減効果が認められ、日中と夜間では夜間の方が低減効果は 2 倍ほど大きかった。

小川（1988、1989、1993）は、沿道緑地による大気浄化効果を確かめるために、国道 17 号沿い（日交通量 43000 台）の上尾運動公園沿道緑地、国道 17 号バイパス沿い（日交通量 80,000 台）の与野公園沿道緑地帯で NO_x 濃度や SPM 濃度を調べた。結果は表 I.2.4-2 ～ 3 に示すとおりで、上尾運動公園緑地では、NO₂、NO の低減率はそれぞれ 14.1%（静穏時 22.6%）、10.3%（静穏時 25.3%）、与野公園沿道緑地帯では、NO₂、NO、SPM の低減率はそれぞれ 7.0%（静穏時 7.3%）、2.2%（静穏時 6.8%）、6.0%（静穏時 5.4%）であった。この NO₂ 吸収効果を緑地帯前面道路からの NO_x 排出量と比較すると、表 I.2.4-4 に示すように、道路の自動車排出ガス量は上尾公園では 14.1%、与野公園では 7% が低減するものと評価された。

表 I.2.4-1 平林寺隣接緑地内外の NO₂、NO、NO_x 濃度 (ppb) と SPM 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 及び低減率 (小川, 1986)

			対照	群落内	濃度差	低減率 (%)
全 期 間	全日	NO ₂	28.7	25.5	3.2	11.1
		NO	31.6	29.5	2.1	6.7
		NO _x	60.3	55.0	5.3	8.8
		SPM	59.5	49.1	10.4	17.4
N 系 風 時 (E～WNW)	全日	NO ₂	29.9	25.4	4.5	15.2
		NO	33.6	31.1	2.5	7.6
		NO _x	63.5	56.5	7.0	11.1
		SPM	64.7	53.1	11.6	17.9
	昼間	NO ₂	29.6	26.5	3.1	10.5
		NO	24.2	23.0	1.2	5.0
		NO _x	53.8	49.5	4.3	8.0
		SPM	67.1	54.8	12.3	18.3
	夜間	NO ₂	30.3	24.5	5.8	19.1
		NO	41.9	38.1	3.8	9.1
		NO _x	72.2	62.6	9.6	13.3
		SPM	63.1	52.5	10.6	16.8

N 系風時は南側道路の影響を軽減するため、E ~ WNW 風時間値を集計した。調査期間は 1985 年 6 ~ 12 月。SPM は相対濃度。

表 I.2.4-2 上尾運動公園緑地帯内外の NO_x 濃度の月平均値 (単位 ppb) (小川, 1989、1993)

		6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	平均
NO ₂	道路端	45.6	38.1	29.4	36.5	41.1	41.2	48.6	40.1
	対照	28.6	25.2	18.7	23.1	28.7	37.3	41.8	29.1
	緑地内	25.4	21.8	16.8	19.8	23.9	31.3	35.8	25.0
	樹冠上部	25.7	21.2	17.2	22.4	25.5	32.7	37.9	26.1
	濃度差	3.2	3.4	2.0	3.3	4.8	6.1	6.0	4.1
	低減率 (%)	11.2	13.5	10.7	14.3	16.7	16.4	14.4	14.1
	同時静穏時 (%)	24.8	27.4	23.7	24.7	23.6	17.8	16.4	22.6
NO	道路端	176.7	172.2	116.0	150.1	186.3	254.3	320.4	196.6
	対照	27.9	27.8	23.2	22.0	35.8	63.7	87.9	41.9
	緑地内	29.5	30.4	28.5	19.6	27.1	52.6	75.8	37.6
	樹冠上部	21.4	19.3	17.8	18.7	30.1	53.4	73.6	33.5
	濃度差	-1.4	-2.6	-5.3	2.5	8.7	11.1	12.1	4.3
	低減率 (%)	-5.7	-9.4	-22.8	11.4	24.3	17.4	13.8	10.3
	同時静穏時 (%)	35.8	31.9	22.2	22.5	31.4	16.2	17.0	25.3

調査は 1986 年 6 ~ 12 月。
濃度差 = 対照濃度 - 緑地内濃度、低減率 (%) = (対照濃度 - 緑地内濃度) ÷ 対照濃度 × 100 (%)。
静穏時 (%) は風速 0.3m/s 以下のときの低減率。

表 I.2.4-3 与野公園緑地帯内外の NO₂、NO、SPM 濃度の測定結果 (小川, 1988)

		対照 C L	緑地内 F L	対照上部 C H	緑地内上部 F H	濃度差 (CL ~ FL)	濃度差 (CH ~ FH)	緑地内の 低減率 (%)
NO ₂	全日	38.3	35.6	32.4	32.7	2.7	- 0.3	7.0
(ppb)	静穏時	39.9	37.0	36.7	36.6	2.9	0.1	7.3
NO	全日	62.5	61.1	44.5	50.0	1.4	- 5.5	2.2
(ppb)	静穏時	94.9	88.4	77.4	88.3	6.5	- 10.9	6.8
SPM	全日	68.9	64.8	—	—	4.1	—	6.0
($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	静穏時	88.0	84.0	—	—	4.0	—	5.4

対照 C L : h = 2.5 m、緑地内 F L : h = 2.5 m、対照上部 C H : h = 12 m、緑地内上部 F H : h = 12 m。
静穏時は風速 0.3m/s 以下のとき

表 I.2.4-4 緑地帯前面道路からの NO_x 排出量と緑地帯による NO₂ 吸収率 (小川, 1989、1993)

調査地点	緑地帯の規模	交通量 (台 / 日)	NO _x 排出量 (kg)	NO ₂ 吸収速度 (mg/d · 100cm ²)	NO ₂ 吸収量 (g)	吸収割合 (%)	NO ₂ 低減率 (%)
上尾公園 (両側)	長さ 200m 幅 14m	43000	17.2	0.07	148	0.9	14.1
与野公園 (片側)	長さ 150m 幅 13.6m	80000	27.5	0.14	140	0.5	7

NO₂ 吸収量は、岡野が¹⁵N 希釈法による上限の数値として示したボブラやケヤキ、キョウチクトウ、サンゴジュの数値をもとに、落葉樹中心の与野公園は 0.14mg/d · 100cm²、葉面積指数を 5 と仮定して算出した。常緑樹中心の上尾運動公園は NO₂ の吸収量を 0.07mg/d · 100cm²、葉面積指数 5.5 と仮定して算出した。NO_x 排出量は実走行代表モードで作成した埼玉県の排出係数で算出。NO_x 排出量および NO₂ 吸収量は 1 日あたり推定値、低減率は 7 ヶ月間の実測平均値。

2 植物群落の一次生産量から求める大気浄化量

植物は葉の表面にある気孔を通じて、空気中の CO_2 を取り込むと同時に空気中に含まれている大気汚染物質を吸収する。植物による CO_2 や大気汚染物質の吸収は葉内における化学反応によっても律速されるが、基本的には主として物理的なガス拡散によって受動的に行われる。

緑地を構成する植物群落の CO_2 吸収能力は、葉量や葉の傾きや配列など、葉群のもつ構造的特性により変化するが、これらの要因は同時に汚染ガスの吸収能力にも影響を及ぼす。このため、汚染ガスの濃度が植物の葉に障害を及ぼしたり、光合成や蒸散などの基本的な生理作用を阻害したりしないような低濃度の範囲内であれば、 CO_2 吸収量と汚染ガス吸収量との比をあらかじめ求めておけば、緑地を構成する植物群落の CO_2 吸収量のデータをもとに、緑地の汚染ガス吸収量を推定することができる（戸塚、1987）。

植物の光合成によって生産される有機物量を総一次生産量という。この総一次生産量の一部は植物の呼吸によって大気中に戻され、その残りが葉や幹などの新たな植物組織（バイオマス）となる。純一次生産量は、この光合成による総一次生産量（真の光合成生産量）から呼吸消費量を差し引いた量、すなわち植物のみかけ上の光合成生産量をいう。汚染ガスの吸収量は、この総一次生産量で推定する。

森林、草地などの植物群落の一次生産量のデータについては、吉良（1976）、只木ら（1978）、岩城（1981）などの総説がある。一例として岩城（1981）の例を表 I.2.4-5 に示す。

表 I.2.4-5 植生区分別の年間単位一次生産量（乾物 t/ha・y）（岩城、1981）

植生単位	生産量 (t/ha・y)	植生単位	生産量 (t/ha・y)	植生単位	生産量 (t/ha・y)
1. 常緑広葉樹林	8	20. 低山常緑低木林	8	21. ササ草原	8
2. ブナ林	6	22. 低山落葉低木林	6	22. 禾本草原	8
3. カバ林	6	23. 竹林	10	23. 両生の草原	15
4. ナラ林	6	24. 常緑果樹園	10	24. 水中草原	1
5. 天然生針葉樹林	8	25. 茶畑	7	25. 特殊草原	1
6. マツ林	8	26. 落葉果樹園	10	26. 大型植物群	15
7. スギ・ヒノキ林	10	27. 桑畑	10	27. 小型植物群	1
8. 落葉針葉樹林	6	28. 畑地	12	28. 人工草原	8
9. 高山低木林	5	29. 水田	11	29. 都市緑地	5
10. 亜熱帯低木林	8	30. 休耕田	5	30. その他	1

注）一次生産量の欄のうち常緑広葉樹林～落葉針葉樹林は二つのデータが記されているが、右側の大きい値は、吉良ら（1976）などによる IBP 等の研究成果をまとめた値で、左側の小さい値は、都道府県の国有林の林種・林相別成長量（幹材積の年間成長量）に基づいて推定された値を示す。二つの欄に分けていないものは IBP 等によるものを示す。

コラム

国際生物学事業計画（IBP：International Biological Program）

地球上の植物による生物生産力の総量を求めるために、世界中の植物群落を対象にして生物生産力の研究を主題とした国際生物学事業計画が世界的な大規模プロジェクトとして 1964 年～1974 年にかけて行われた。この間研究は著しい進歩を遂げ、生態学や林学の一大研究テーマとなり、現在では膨大な貴重なデータが蓄積されている。

そこでは、世界中の主要な生態系で一次生産量の測定が行われたが、マレーシアのパソーでは世界で初めて熱帯林での調査・観測がわが国の研究グループにより行われ、わが国はこの事業で主導的な役割を果たし、貢献は非常に大きいものであった。

小川（1992）は、埼玉県における緑地の適正配置の基礎資料を得るため、市町村ごとに植物の一次生産量の推定により、CO₂ 吸収量及び NO₂、SO₂ 吸収量を算出した。

その結果を表 I.2.4-6 に示す。県面積の 33.2% に過ぎない森林が、全緑地が吸収する CO₂ 量の 60%、NO₂ 量の 65%、SO₂ 量の 63% を吸収し、同じく県面積の 22.4% の農耕地は、CO₂ 量の 32%、NO₂ 量の 27%、SO₂ 量の 28% を吸収していた。

しかし、1965 年以降、県内の緑地面積は主として農耕地面積の減少によって 21% も減少しており、大気汚染物質の吸収量も年々減少してきている。

また、1985 年に埼玉県内で排出された NO_x、SO_x に対し、1990 年の全緑地の NO₂、SO₂ 吸収量は、それぞれ 7%、11% 程度であったと考えられた。

表 I.2.4-6 埼玉県内の緑地による大気汚染物質吸収量（小川、1992）

区 分	面積 (ha) (%)	純生産量 (t)	総生産量 (t)	大気汚染物質吸収量 (t)		
				CO ₂ (%)	NO ₂ (%)	SO ₂ (%)
田 圃	49,461 (13.0)	571,538	940,220	931,606 (19.1)	586 (15.6)	301 (17.0)
畑 地	27,090 (7.1)	292,354	485,631	476,538 (9.8)	308 (8.2)	150 (8.5)
樹 園 地	8,453 (2.2)	84,528	169,056	137,781 (2.8)	108 (2.9)	51 (2.9)
森 林	126,157 (33.2)	1,802,062	5,176,440	2,937,360 (60.1)	2,438 (64.9)	1,114 (62.7)
公 園	2,471 (0.7)	13,842	27,190	22,563 (0.5)	19 (0.5)	10 (0.6)
そ の 他	166,302 (43.8)	231,716	463,432	377,697 (7.7)	296 (7.9)	148 (8.3)
全 県	379,934 (100.0)	2,996,040	7,261,969	4,883,546 (100.0)	3,755 (100.0)	1,774 (100.0)

5. 植物の大気汚染に対する耐性

- (1) 気孔を通じて植物の体内に吸収された汚染ガスは、汚染ガスが少量の場合には葉に障害を与えないが、吸収量が多くなると、葉の構造や生理作用に様々な影響を及ぼす。汚染ガスの種類や濃度によっても異なるが、植物が体内に吸収した汚染ガスを解毒できる程度の吸収量であれば可視障害はない。しかし、高濃度の汚染ガスにさらされると、短時間で可視障害が発生する。
- (2) 最近では、環境対策により SO_2 や NO_2 の大気中の濃度はかなり改善され、可視障害の発現はほとんどないが、臨海工業地帯に隣接する都市域などでは O_x の環境基準の達成状況は依然として極めて低い水準となっており、その主成分である O_3 による大気汚染は未だ改善されていない。
- (3) 大気汚染に対する耐性の種間差については、一般に落葉樹よりも常緑樹のほうが耐性が強い。一方、大気汚染の浄化能については、常緑樹よりも落葉樹のほうが高い傾向がみられる。葉に可視障害が発現すると、葉は汚染ガスを吸収できなくなるため、緑地帯や街路樹の樹木を汚染物質の吸収・吸着に利用する場合には、汚染ガスの吸収能が高く、しかも障害を受けにくい耐性のある樹木を選定することが重要である。

解 説

1 植物の大気汚染による障害

大政ら（1978、1979、2000）は、主要な大気汚染物質である SO_2 、 NO_2 、 O_3 の単一あるいは混合曝露下における植物の SO_2 、 NO_2 、 O_3 の収着機構を調べるために、制御された環境下でヒマワリを用いてガス曝露実験を行い、ガス収着速度、蒸散速度、葉温の経時変化を測定した。その結果、それぞれの単一ガスあるいは混合ガスの曝露によって気孔の閉鎖及び葉面に可視障害の現象がみられた。現象発現の程度は、ガス濃度が高いほど顕著であり、単一ガス曝露の場合、気孔閉鎖や可視障害発現への影響の程度を汚染ガスの種類で比較すると、影響の程度は $\text{O}_3 > \text{SO}_2 > \text{NO}_2$ の順であり、 O_3 の影響が最も強かった。また、混合ガスを曝露させた場合には、単一ガス曝露でこれらの現象が認められない低濃度域においても現象が認められたことから、いわゆる複合汚染効果が認められたとしている。

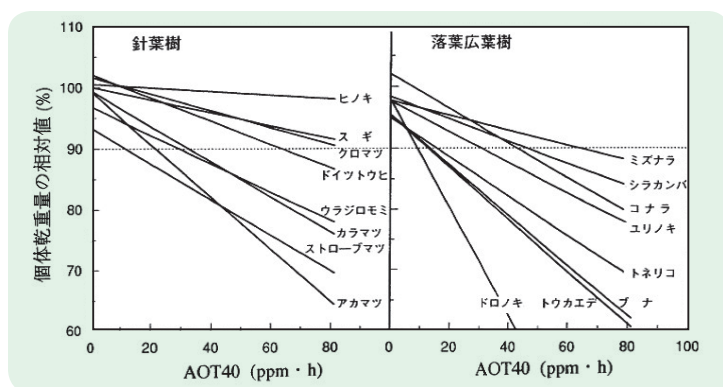
O_x の主成分である O_3 は、樹木に悪影響を与えるガス状大気汚染物質である。比較的高濃度の O_3 が樹木に曝露されると、葉面にある気孔から O_3 が吸収され、色素が分解されて生じるクロロシスや細胞が死に至るネクロシスなどの可視障害が葉面に生じる。 O_3 による可視障害の症状は樹種によって様々であり、可視障害発現の有無や程度を指標とした O_3 に対する感受性にも樹種間差異や系統間差異がみられる。

比較的低濃度の O_3 でも、数ヶ月から数年にわたって樹木に曝露し続けると、その成長が低下する。 O_3 は、植物器官のうちでも特に根の成長を阻害することが多いといわれている。樹木の成長における O_3 感受性にも樹種間差異や系統間差異が存在するが、 O_3 曝露実験の結果によると、一般に広葉樹の成長は針葉樹のそれに比べて O_3 感受性が高いといわれている。

わが国では樹木に対する O_3 の影響に関する研究は1970年頃から行われていたが、それらは主に街路樹を対象にしていた。わが国の森林の主要な構成種の成長に対する O_3 の影響に関する研究は、1990年代から開始された。

伊豆田・松村（1997）は、樹木の乾物成長と O_3 の AOT40（40ppb を超えた O_3 の積算ドース。詳細は下記のコラム参照。）との関係を調べ、乾物成長における O_3 感受性には樹種間差異があることを明らかにしている。伊豆田らは、16 樹種の苗木（針葉樹 8 種、落葉広葉樹 8 種）を様々な O_3 濃度（浄化空気と外気濃度の 1.0 倍、1.5 倍、2.0 倍の 4 段階）の下で数年間にわたって育て、成長（個体乾重量の増加量）に対する O_3 の影響を調べた。その結果を、図 I.2.5-1 に示す。試験地で観測した O_3 濃度から算出した 6 ヶ月換算の AOT40 は 10 ～ 24ppb・h であった。AOT40 が 20ppb・h の時を基準にして個体重量（乾重量）の減少率に基づいて比較すると、 O_3 に対する感受性は、ドロノキ>トウカエデ>ブナ、ストロブマツ>トネリコ>アカマツ>ウラジロモミ>ユリノキ>カラマツ>シラカンバ、ミズナラ>コナラ>スギ>クロマツ>ヒノキの順に高かった。また、10% の個体重量の減少率で比較すると、 O_3 の感受性が最も高かったドロノキでは約 8ppb・h であり、次いでアカマツ・ブナ・トウカエデ・トネリコでは 12 ～ 21ppb・h であった。

この実験を行った群馬県前橋市で観測した外気の O_3 濃度から算出した 6 ヶ月あたりに換算した AOT40 は 10 ～ 24ppb・h であった。また、神奈川県丹沢山地においては、夏季に 0.12ppb 以上の O_3 濃度が観測されており、1997 年 3 月から 6 月までの AOT40 は 30ppb・h であった（阿相、1999）。これらの観測結果や実験的研究の結果などを総合的に考慮すると、 O_3 はブナなどの O_3 に対する感受性が比較的高い樹木に既に悪影響を及ぼしていることが示唆される。



横軸は6ヶ月あたりに換算した O_3 の AOT40 であり、縦軸は浄化空気区の個体乾重量を 100% とした時の O_3 曝露区の個体乾重量の相対値である。

※ O_3 の AOT40 : AOT40 は O_3 の曝露量に基づく植生影響指数で、日中での 40ppb 以上の濃度の積算値として算定される。

図 I.2.5-1 16 樹種（針葉樹 8 種＋落葉広葉樹 8 種）の乾物成長と O_3 の AOT40 との関係（伊豆田・松村、1997）

コラム O_3 のクリティカルレベルと AOT40

O_3 のクリティカルレベルは、それ以下ならば植物に重大な悪影響が発生しないドースである。ここで、 O_3 ドースとは、 O_3 濃度とその存在時間の積（ O_3 濃度×存続時間）である。近年、植生保護のための O_3 のクリティカルレベルは 40ppb を超えた O_3 の積算ドースとして提案され、AOT40（Accumulated Exposure Over a Threshold of 40ppb）と呼ばれている。

O_3 が気孔を介して葉内に吸収されると、葉緑体における光合成機能を阻害する。光合成活性が低下すると、葉内の CO_2 濃度が比較的高い状態になり、気孔が閉鎖する。気孔開度はガス状汚染物質の葉内への侵入を決定する主要な要因であるが、 O_3 は気孔開度を通じて葉の生理機能に影響を及ぼしている。

現在のところ、わが国の森林を構成している樹木の生理機能に関する O_3 の影響に関する研究は限られているが、伊豆田ら（1996）は、わが国の冷温帯の主要構成樹種の一つであるブナについて研究を行っている。伊豆田らは、ブナに 75ppb または 150ppb の O_3 を 18 週間にわたって曝露した結果、気孔開度の気孔コンダクタンスに有意な影響は認められなかったが、純光合成速度は低下したことを報告している。この結果は、 O_3 曝露後の純光合成速度の低下が、気孔閉鎖によるものではないことを示唆している（図 I.2.5-2）。

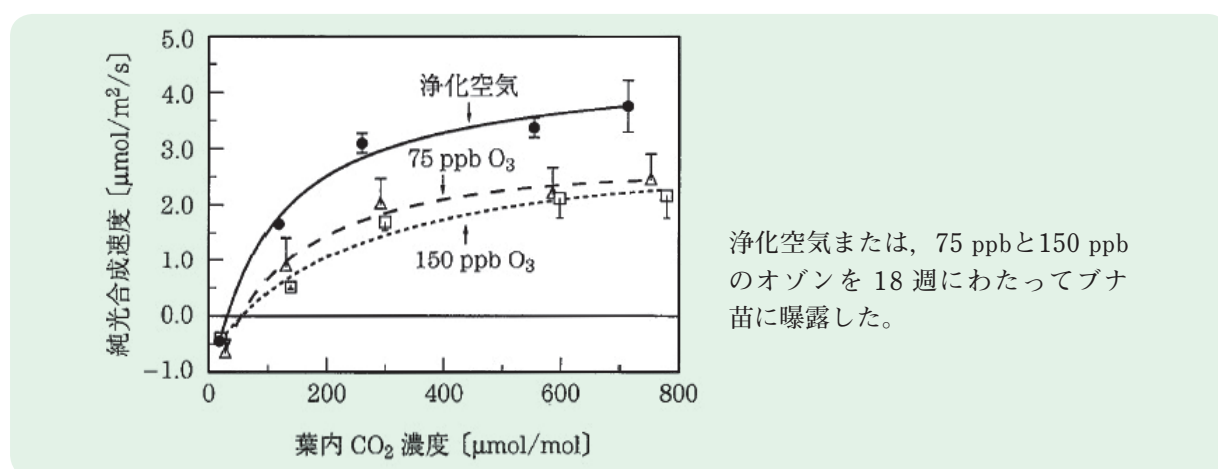


図 I.2.5-2 ブナ苗の葉内 CO_2 濃度－純光合成速度曲線に対する O_3 の影響（伊豆田ら、1996）

松村ら（1996）は、スギ、ヒノキ及びケヤキの苗木を用いて、自然光型環境制御ガラス室内において、過去2年間に観測した野外 O_3 濃度の平均日パターンを基準（1.0とした）とした0.4倍、1.0倍、2.0倍、3.0倍の4段階の濃度を24週間にわたって連続曝露し、乾物成長とガス交換速度に対する O_3 の影響を調べた。ケヤキでは、2.0倍、3.0倍 O_3 区でいずれも可視障害が発現し、個体乾重量は0.4倍区に比べて減少した。スギでは、3.0倍区の個体乾重量が0.4倍区に比べて減少した。また、ケヤキ及びスギの純光合成速度は O_3 レベルに伴って減少した。これに対して、ヒノキでは、 O_3 曝露による成長や光合成への影響は認められなかった。これらの結果、一成長期における成長を指標とした O_3 感受性は、ケヤキ>スギ>ヒノキの順であることが明らかとなった。また、ケヤキとスギは、 O_3 による可視障害発現を伴わずに成長阻害が引き起こされること、スギとケヤキの O_3 による成長低下は、純光合成速度の低下による乾物生産効率の低下が原因であると考えられた。

また、 O_3 は、光合成による同化産物の各植物器官への分配パターンを変化させるとともに、根の炭水化物量を減少させ、根系の活性を減退させる。そして乾燥や病原菌などのストレスに対する樹木の感受性を高めるともいわれている。

斉藤ら（2013）は、ブナの立ち枯れが問題になっている丹沢山地を対象に数値モデルを用いて O_3 の取り込み量（ POD_1 ）や O_3 の曝露量（AOT40）を推定した。丹沢山地で実測された O_3 濃度や温度、湿度から求めた POD_{1ob} （測定値からの推定値）と POD_{1model} （シミュレーションモデルからの推定値）を比較した結果、両者ともほぼ同程度になり、数値モデルの適用可能性があることが確認された。 POD_{1model} や AOT40 の水平分布から、丹沢山地全域において O_3 のクリティカルレベルを大きく超えていることが確認され、特に気孔の開口に好適な温度及び湿度条件により、標高が高いほど POD_1 が大きくなり、標高の高い場所に生育しているブナには大きなリスクになっていることが明らかにされた。丹沢山地は、 O_3 生成の前駆物質の排出量が多い首都圏を抱えており、その影響を受けていると考えられる（図 I.2.5-3）。

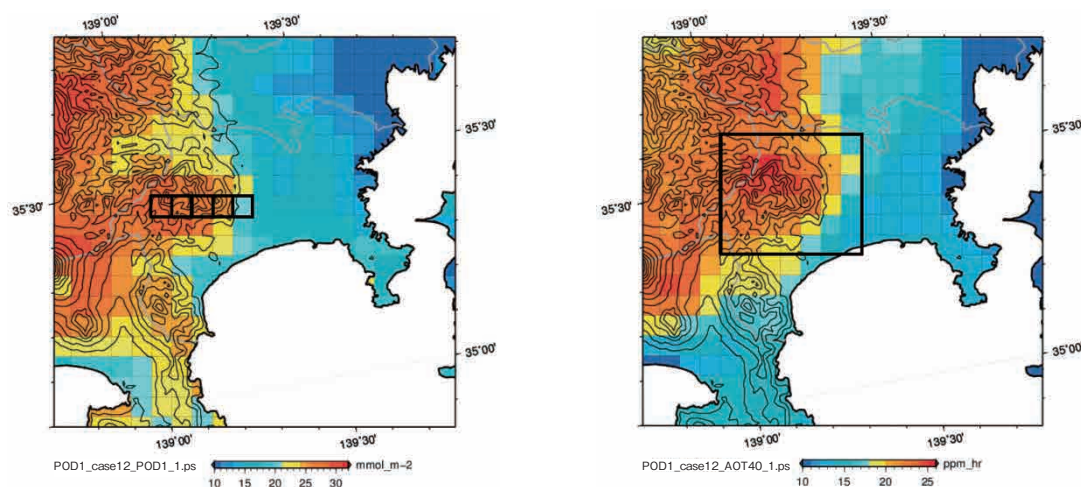


図 I.2.5-3 丹沢山地における数値モデルを用いた POD_1 と AOT40 の水平分布（斎藤ら、2013）

新潟県（2002）では、ヨーロッパで用いられている O_3 曝露量に基づく植生影響指数である AOT40 を用いて、県内の大気中 O_3 濃度レベルの評価を試みている（古俣ら、2002）。県内の大気汚染常時監視測定局の中から 10 局を対象に AOT40 の経年変化を検討した。その結果、AOT40 の経年変化から、測定局や測定年によっては AOT40 の値がヨーロッパでの森林に対するクリティカルレベルである $10\text{ppb}\cdot\text{h}$ の数分の 1 からその値を超える測定局もあるなど、大きな値の変動がみられた。1996～2000 年の 5 年間の AOT40 の平均値は、柏崎局及び大崎局の約 $14\text{ppb}\cdot\text{h}$ から新発田局及び六日町局の約 $8\text{ppb}\cdot\text{h}$ の範囲にあり、2 倍程度の差がみられた。国内において高い AOT40 の値が報告されている神奈川県国設丹沢測定所の $33.9\text{ppb}\cdot\text{h}$ （1996～2001 年の AOT40 の平均値）と比較すると、県内で最も高い値を示した柏崎や大崎でも国設丹沢測定所の半分以下であった。

現在のところ、自然植生を対象とした O_3 のクリティカルレベルに関する研究は限られている。自然植生では、様々な植物が生育し、土壤中の養分や日射など、生育に不可欠な様々な環境要因をめぐって植物間でし烈な競争が繰り返されている。そして、そこに O_3 の影響が加わると、感受性が高い植物は感受性の低い植物との競争に敗れ、衰退や枯死を余儀なくされ、その結果、植生の種構成が O_3 によって変化することが予測される（伊豆田、2006）。

2 植物の大気汚染に対する耐性の種間差異

久野ら（2000、2003）は、都市近郊林における樹木が大気汚染物質の O_x （主に O_3 ）により生じる生理的特性を解明するために、雑木林・屋敷林・公園樹木・街路樹のなかから 24 樹種を選んで、大気汚染物質を取り除いた浄化空気室（FAC 区）と野外の汚染された空気を直接取り込んだ非浄化空気室（n-FAC 区）で樹木を育成し、各樹木の個葉におけるガス交換速度を測定して比較した。また、これらの結果に基づいて、24 樹種の大気汚染に対する耐性や大気汚染物質の吸着能力を評価した。

その結果、清浄な空気の FAC 区において純光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンスが高い値を示した落葉広葉樹は、n-FAC 区では大気汚染物質の影響を受け、特に純光合成速度が著しく低下した。対照的に多くの常緑広葉樹では FAC 区において純光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンスが低い値を示し、n-FAC 区では大気汚染物質の影響があまりみられない傾向が示唆された。

これらの結果に基づき、 O_x による純光合成速度の低下率を基準にして大気汚染に対する耐性を評価すると、落葉樹のトウカエデ、イチョウ、常緑樹のサカキ、ヤマモモ、マテバシイは耐性の強い樹種とみなされた。一方、長期間大気汚染に曝されても蒸散速度や気孔コンダクタンスが他の樹種よりも高い値を示した落葉広葉樹のポプラ、ケヤキ、ハナミズキや、常緑広葉樹のサンゴジュ、シャリンバイは大気汚染物質を吸着する能力が比較的高い樹種であるとみなされた。

O_x による純光合成速度の低下率を基準に評価した大気汚染に対する耐性、長期間曝露による蒸散速度等の低下率を基準に評価した汚染ガスの吸収能力を表 I.2.5-1 に示す。落葉広葉樹、常緑広葉樹のグループで比較すると、大気汚染に対する耐性は落葉広葉樹よりも常緑広葉樹の方が強く、汚染ガスの吸収能力は常緑広葉樹よりも落葉広葉樹の方が優れている傾向が示唆される。

表 I.2.5-1 24 樹種の大気汚染に対する耐性（左）と大気浄化能力（右）（久野ら、2003）

耐 性	弱	弱－中	中－強	強
落 葉 広葉樹	改良ポプラ	ハナミズキ エゴノキ コナラ クヌギ ガマズミ ケヤキ	ヤシャブシ ミズキ ムクノキ	トウカエデ イチョウ
常 緑 広葉樹		シロダモ コジイ	カクレミノ サンゴジュ サザンカ ヤブツバキ シャリンバイ シラカシ	マテバシイ ヤマモモ サカキ

吸収能力	高い	高－中	中－低	低い
落 葉 広葉樹	改良ポプラ	エゴノキ ムクノキ ケヤキ ハナミズキ ヤシャブシ ガマズミ ミズキ	コブシ コナラ トウカエデ クヌギ	イチョウ
常 緑 広葉樹		サンゴジュ シャリンバイ	カクレミノ コジイ サザンカ ヤブツバキ	マテバシイ シラカシ シロダモ ヤマモモ サカキ



第3章 単木のガス状汚染物質吸収能の評価法

1. 概 説

- (1) 大気浄化植樹の実施に際しては、対象とする場所の現況における緑地の大気浄化機能を定量的に評価するとともに、新たに大気浄化植樹を行うことにより期待しうる浄化効果をあらかじめ検討しておくことが望ましい。
- (2) 検討にあたっては、単木の汚染ガス吸収量を樹種毎、形状毎に推定し、その推定結果に基づき、それに植栽本数を乗じることによって見積もることができる。

解 説

大気浄化植樹にあたっては、一般局、自排局のデータなどを参考にして大気汚染状況を確認するとともに、主要な汚染物質排出源である工場や主要幹線道路の位置を把握するとともに、現在の緑地による大気浄化量や大気浄化植樹により期待される効果をあらかじめ検討しておくとい

い。

緑地による大気浄化機能を定量的に、しかも比較的簡便に調べる方法としては、図 I.3.1-1 に示すように現在のところ三つの方法が考えられる。

このうち都市全域での緑地による汚染物質の総吸収量の試算などにおいて最も实际的で簡便な方法は、既存資料である植生図などを用い、緑地を樹林地、草地、農耕地などに区分し、各植生区分について一次生産量などのデータを使って推定する方法である（第4章参照）。

しかしこの方法では樹林地、草地、農耕地などの面的広がりを有する緑地は算定できても、街路樹や公園樹木、住宅や工場などの庭木・生垣などは対象から漏れてしまう。これらのうち街路樹や公園樹木については、国土交通省や地方公共団体、高速道路株式会社（NEXCO）などにより整備が進められている。一方、住宅の庭木や生垣は、一戸当たり一敷地あたりの面積は小規模に過ぎないが、都市全体の総量でみると相当の規模になるものと予想され、都市域にあって今後の緑地整備の上で無視できないものになっている。これらのうち街路樹や公園樹木、工場の緑化樹木については、維持管理の必要性から樹木台帳が整備されていることが多く、これらのデータが活用できる。一般住宅の庭木や生垣の場合はこのようなデータがないため、必要に応じて毎木調査や標本区調査を行って、樹木の種類・形状・本数などを調べ、単位土地面積あたりの葉量などが推定できれば、大気浄化量の算定ができる。

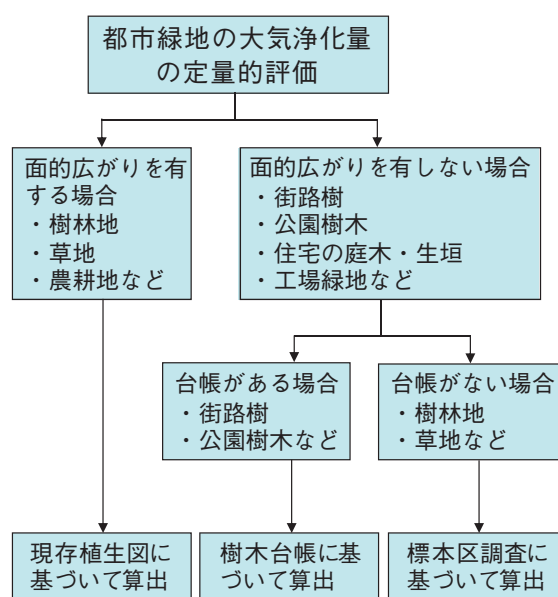


図 I.3.1-1 都市緑地による大気浄化量の定量的評価の方法

2. 単木の汚染ガス吸収能の評価法

2-1 評価法の全体フレームと手順

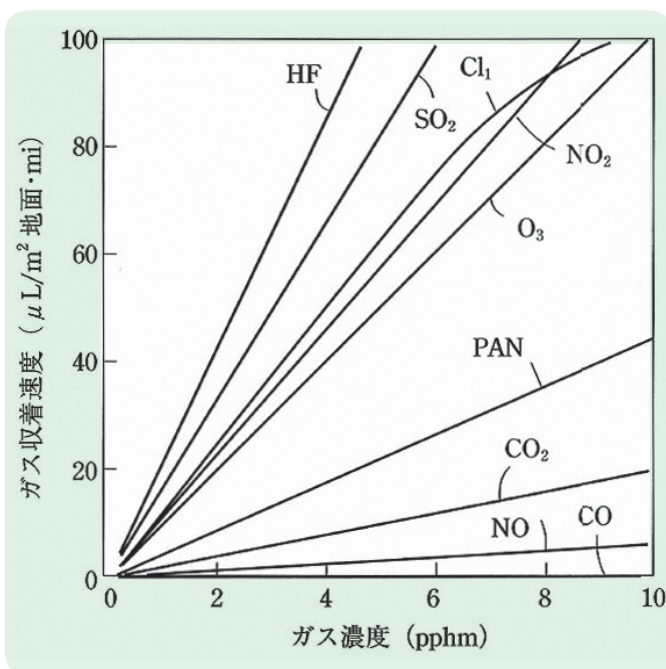
- (1) 都市域において、街路樹や住宅地の庭木や生垣のように面的には現れない緑については、これまで大気浄化能力に関する適切な評価法が提案されてこなかった。これらの緑は1戸あたり、1敷地あたり、1本あたりの量はごくわずかでも、都市全体の総量で見るとかなりの量になるものと見込まれる。
- (2) このため、ここでは単木（1本の樹木）が一年間あたりに吸収するであろう汚染ガスの吸収量について、ある程度の仮定のもとで概略的に推定する手法を提示する。具体的には、単木の一年間あたりのCO₂吸収量（総光合成量）を光合成速度の季節変動や着葉量、着葉期間などを考慮して概算し、そのCO₂吸収量に基づいて、あらかじめ求められているCO₂吸収量と汚染ガス吸収量との比から汚染ガス吸収量を間接的に求める方法である。

解説

1 基本的原理

植物は、葉面にある気孔を通じて光合成を行っているが、CO₂の吸収と同時に汚染ガスも吸収している。汚染ガスの濃度が葉に可視障害や生理活性に影響を及ぼさないような低濃度の範囲に限ってみれば、光合成によるCO₂吸収量と汚染ガスの吸収量との比をあらかじめ求めておけば、緑地を構成する植物群落のCO₂吸収量のデータをもとに、緑地の汚染ガス吸収量を推定できる。

図I.3.2-1は、アルファルファ群落で測定された各種汚染ガスの吸収量の結果である（Hill, 1971）。いずれの汚染ガスも基本的にはガス濃度が高まるにつれて汚染ガスの収着速度も大きくなり、各汚染ガス固有の一定の傾きを示している。直線の傾きから汚染ガスの沈着速度がわかり、SO₂では2.8、COでは0、NOでは0.10、CO₂では0.33、O_xの一種であるPANでは0.63、O₃では1.67、NO₂では1.90となっている。化学反応性や分子拡散係数が大きい汚染ガスで吸収量が多い傾向を示唆している。この値からCO₂吸収量と汚染ガスの吸収量との比を求めると、SO₂、NO₂では、それぞれ $K_{SO_2} / K_{CO_2} = 8$ 、 $K_{NO_2} / K_{CO_2} = 6$ とほぼ一定になる。



図I.3.2-1 アルファルファ群落における各種汚染ガスの収着速度（Hill, 1971）

2 評価法の手順（フロー）

単木の汚染ガス吸収量を求める手順を図 I.3.2-2 に示す。この推定モデルは、国立公害研究所（現独立行政法人国立環境研究所）（1987）の研究成果を単木に適用したものである。単木が一年間あたりに光合成により吸収する CO_2 量を光合成の測定により推定し、その CO_2 量を指標にして各種汚染ガスの吸収量を推定する方法であり、1987 年～1988 年に当時の環境庁大気保全局（現環境省水・大気環境局）に設けられた「大気環境に関する緑地機能検討会」（座長：沼田真千葉大学名誉教授、分科会会長：戸塚績東京農工大学教授、事務局：環境庁大気規制課・(株)プレック研究所）で検討されたものである。

検討の手順は以下のとおりである。

①ステップ1：単位葉面積当たりの年間 CO_2 吸収量の推定

単葉における光合成・呼吸速度を野外条件下で終日実測し、単位葉面積当たりの一日の総光合成量を求める。これを季節ごとに実施し、その季節変動を把握して、一年間に吸収する単位葉面積当たりの CO_2 吸収量（総光合成量）を推定する。

②ステップ2：気候較差による光合成能の補正

一年間に吸収する単位葉面積当たりの CO_2 吸収量（総光合成量）に気候較差による補正係数を乗じて光合成能を補正する。

③ステップ3：単木の総葉量と着葉期間の推定

樹木のパイプモデル理論を応用して単木の総葉量を推定する。また、春の展葉・秋の紅葉・落葉時期などを考慮して着葉期間を推定する。

④ステップ4：単木の年間総 CO_2 吸収量の推定

①②③の推定結果をもとに、単木が一年間に吸収する CO_2 吸収量を推定する。

⑤ステップ5：汚染ガス吸収量の算定

④で求めた年間汚染ガス吸収量、大気中の汚染ガス濃度、 CO_2 吸収量と汚染ガス吸収量の比をモデル式にあてはめ、単木が一年間に吸収する汚染ガス吸収量を算定する。

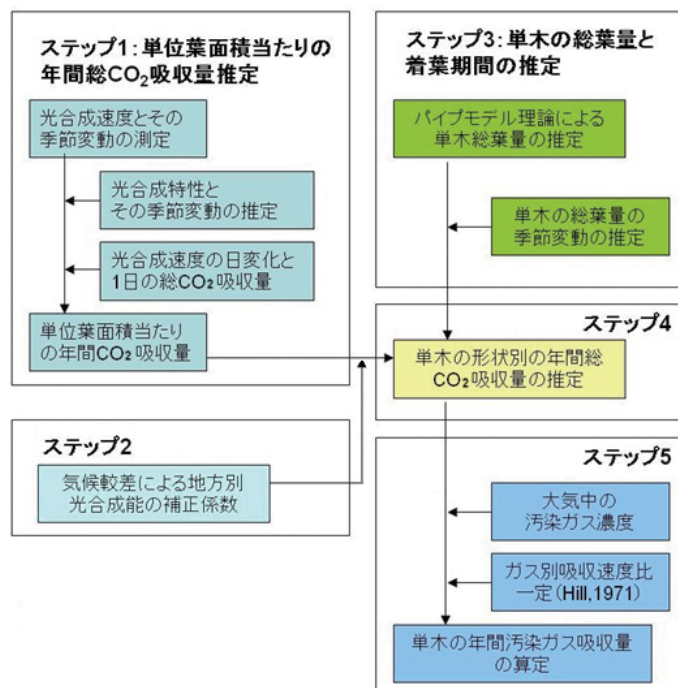


図 I.3.2-2 単木の大气浄化量（汚染ガス吸収量）の算定手順

2-2 光合成量（CO₂ 吸収量）の推定（ステップ 1）

- (1) 光合成速度は日変動、季節変動をするため、単位葉面積あたりの一年間の光合成量（CO₂ 吸収量）を推定するためには、季節別に光合成の日変化を測定し、光合成の日変動、季節変動を考慮するのが望ましいが、概算程度であれば夏の晴れた日中に測定すればよい。
- (2) また、光合成は光条件の影響を強く受け、天気によって光合成速度が異なるため、天気別のデータがあれば望ましいが、ここでは晴天日、晴天日以外（曇天・雨天など）に分け、それぞれの日あたりの光合成量（CO₂ 吸収量）を算定することにする。
- (3) 上記の検討結果に基づき、対象となる樹木の葉の展開時期（着葉期間）や季節別の天気日数などを考慮して単位葉面積あたり、一年間あたりの光合成量（CO₂ 吸収量）を算定する。

解 説

光合成量は、四季別に測定するのが望ましいが、概算程度であれば植物の生理活性が最も盛んな7月～8月のよく晴れた日中に陽光のよくあたっている成熟葉で測定する。測定装置には携帯式光合成・蒸散測定装置などを用いると便利であるが、やや高価である。得られる値は測定対象とした樹木の年間を通じての最大値を示している。ここで得られた数値は純光合成量であり、ほしいデータは総光合成量であることから、測定装置を暗くした状態で得られる呼吸量を加える必要がある。

春夏秋冬別に計測した落葉広葉樹高木、常緑広葉樹高木、中低木における単位葉面積あたりの季節毎に算出された一日の総 CO₂ 吸収量を表 I.3.2-1 に示す。

表 I.3.2-1 樹木の単位葉面積あたりの一日の総 CO₂ 吸収量（季節別・天気別）

樹種	一日の総 CO ₂ 吸収量 (mgCO ₂ /dm ² ・d)			
	春	夏	秋	冬
落葉広葉樹高木				
ユリノキ	94/175	75/142	60/100	—
オオシマザクラ	87/172	81/193	67/140	—
エノキ	86/173	130/261	59/135	—
(平均)	(89/173)	(95/199)	(62/125)	—
常緑広葉樹高木				
クスノキ	38/60	115/181	80/140	27/65
アラカシ	53/72	108/121	54/102	56/105
トウネズミモチ	70/99	117/197	71/146	30/60
(平均)	(54/77)	(113/166)	(68/129)	(38/77)
中低木				
サンゴジュ	78/133	105/130	47/104	58/113
ヒイラギモクセイ	72/124	107/198	69/118	53/117
トベラ	77/120	113/195	67/142	35/66
シャリンバイ	105/169	97/179	81/160	38/93
(平均)	(83/137)	(106/176)	(66/131)	(46/97)

注) 表中の数値は、（曇天日の吸収量）／（晴天日の吸収量）を示す

また、表 I.3.2-1 の数値から年間の総 CO₂ 吸収量を算出した結果、樹種により大きな相違がないことから、これらの平均値を求めると 3.5kgCO₂/m²・y が得られ、概算程度であれば、樹種に限らずこの値を単位葉面積あたりの一年間の総 CO₂ 吸収量とみなしてよいと考えられる。

表 I.3.2-2 樹木の単位葉面積当たりの年間総 CO₂ 吸収量

樹種	年間総 CO ₂ 吸収量 (kgCO ₂ /m ² ・y)	平均値 (kgCO ₂ /m ² ・y)
落葉広葉樹高木		3.5
ユリノキ	2.8	
オオシマザクラ	3.2	
エノキ	3.7	
常緑広葉樹高木		
クスノキ	3.2	
アラカシ	3.2	
トウネズミモチ	3.6	
中低木		
サンゴジュ	3.7	
ヒイラギモクセイ	4.1	
トベラ	3.7	
シャリンバイ	4.2	

2-3 気候較差による地方別光合成能の補正（ステップ2）

- (1) 光合成量は、地域による年平均気温や日射量などの気候較差を考慮する必要がある。
- (2) 2-2であげた「光合成量」は香川県高松市の瀬戸内地域での光合成測定結果に基づいているため、このデータを用いて全国的に展開していくためには、気候較差に基づく地方別光合成能較差を補正する必要がある、以下に示すような補正値を乗じる。

地 方	北海道	東北	関東	東山	北陸	東海	近畿	中国	四国	九州	沖縄
補正係数	0.6	0.8	0.9	0.8	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3

解 説

わが国は、北緯 25°～45°付近まで南北に長く連なる弧状列島であり、このため、気温一つとっても地域較差はかなり大きい。例えば、年平均気温をみると、低地の場合、オホーツク海沿岸で約 5℃と最も低く、沖縄や小笠原では約 22℃、南鳥島では約 25℃に達し、南北で 20℃もの差がある。

このように温度差が大きいため、植物の光合成能についても地域によってかなり異なることが予想され、気候較差による光合成能の地域較差を補正する必要がある。

図 I.3.2-3 は、わが国における純一次生産力の分布と温量指数（暖かさの指数）、潜在自然植生の分布を並べたものである（内嶋ら、1985）。北から南に移動するにつれて気候が温暖になるとともに、純一次生産力も大きくなることがわかる。

吉良（1976）は、日本の森林の純一次生産速度と暖かさの指数との間に、かなり大きいバラツキがあるものの、次のような近似式を認めている。

$$\Delta P_n = 0.0859 \times WI + 8.40$$

ここで、 ΔP_n ：純一次生産速度、WI：暖かさの指数

そこで、これらの知見に基づいて、地方別の平均純一次生産力、純一次生産速度を概算し、光合成量の計測を行った高松市の瀬戸内地域を基準として、地方別にその相対値を算出したのが上記枠内に示した表である。この相対値を補正係数とみなして、関東地方での単位葉面積当たりの年間総 CO₂ 吸収量を求めると、 $3.5 \times 0.9 = 3.2 \text{kgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{y}$ となる。

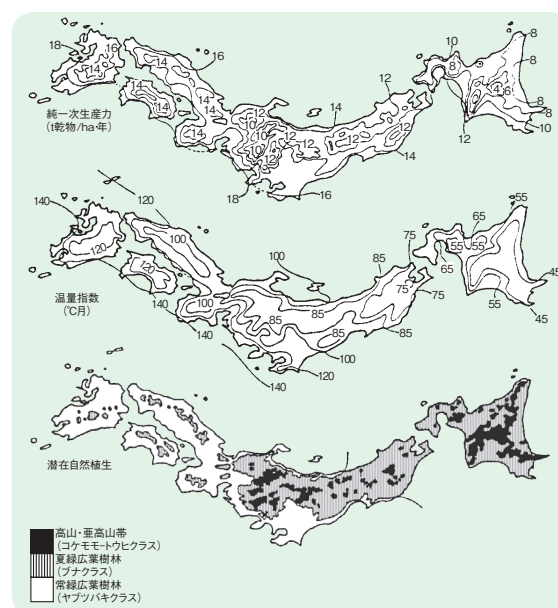


図 I.3.2-3 わが国における純一次生産力、暖かさの指数、潜在自然植生の分布（内嶋ら、1985）

2-4 単木の総葉量の推定（ステップ3）

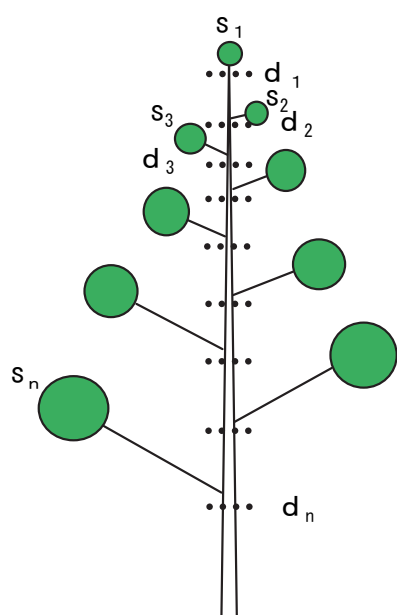
- (1) 単木の総葉量の推定にあたっては、森林生態学のパイプモデル理論（Shinozaki et al., 1964、吉良 1965）を応用して胸高直径（中低木の場合は根元直径）から総葉量を算定するモデル式を作成する。
- (2) 単木の総葉量は、厳密には開葉時期・落葉時期などによる着葉期間や葉の成長などにより季節的にも異なるが、ここでは生物季節に基づき、冬季の落葉期間以外の期間を着葉期間とみなして、着葉期間を通じてほぼ葉量が一定であると仮定する。

解説

単木の総葉量（総葉面積）の推定にあたっては、森林生態学のパイプモデル理論（Shinozaki et al., 1964、吉良 1965）を応用して、胸高直径（中低木の場合は根元直径）から推定するモデル式を作る。

パイプモデルによれば、樹木の葉量は、それを支えている非同化部（幹や枝）の総断面積に比例する。各枝は基本的には相似形をしているので、太さの異なる何本かの枝をサンプルに用いて枝の元口の直径とそれより先に着生している全ての葉量を求め、これらのデータを用いて、横軸に枝の直径、縦軸にその枝の葉量（葉面積）を両対数グラフにとると、直線の回帰式が得られる。そして、一本の木の全ての枝の元口の直径を計測し、この回帰式をあてはめてそれぞれの枝の葉量を推定し、それを積算すれば一本の木全体の葉量を推定することができる。

街路樹や公園樹木を対象に調べるには、非破壊的方法として、着葉数をカウントし、数枚の葉を用いて一枚あたりの平均葉面積を求めておけば、おおよその葉面積を推定することができる。また、各枝サンプルから全ての葉を採集して重量法により推定すれば、より高い精度で葉面積を推定できる。



枝のある部位の直径 (cm)	その部位より枝先側にある葉量 葉面積 (m ²)
d_1	$L_1 = S_1$
d_2	$L_2 = S_1 + S_2$
d_3	$L_3 = S_1 + S_2 + S_3$
$\vdots$	$\vdots$
d_n	$L_n = S_1 + S_2 + S_3 + \cdots + S_n$

図 I.3.2-4 パイプモデルに基づく葉量の推定手法

約 30 種類の造園樹木について、胸高直径（DBH：単位は cm）あるいは中低木の場合は根元直径（D₀：単位は cm）と単木の総葉面積（S：単位は cm²）との関係を計測した結果、胸高直径あるいは根元直径と単木の総葉面積との間には両対数グラフ上できれいな直線関係が得られ、次の回帰式が得られている。

◆常緑広葉樹高木

$$\log S = 0.1643 + 1.6776 \times \log DBH$$

◆落葉広葉樹高木

$$\log S = -0.0502 + 1.6999 \times \log DBH$$

◆中低木

$$\log S = -0.8223 + 2.3067 \times \log D_0$$

この回帰式を用いて算出された胸高直径あるいは根元直径と総葉量との関係を表 I.3.2-3 に示す。

表 I.3.2-3 単木の形状別総葉量（総葉面積）の推定結果

DBH または D ₀ (cm)	落葉広葉樹高木と マツ類	常緑広葉樹高木と マツ以外の針葉樹	中低木
2	5	3	0.5
3	9	6	1.5
4	15	10	3
5	20	15	4
10	70	50	15
15	150	90	40
20	200	150	—
25	300	200	—
30	400	300	—
40	700	500	—
50	1000	700	—

注) 樹木の形状については、高木は胸高直径（DBH）、中低木は根元直径（D₀）を用いる。

2-5 単木の光合成量 (CO₂ 吸収量) の推定 (ステップ4)

- (1) 2-2の「光合成量 (CO₂ 吸収量) の推定」、2-3の「気候較差による地方別光合成能の補正」、2-4の「単木の総葉量の推定」の推定結果をもとに、単木の一年間あたりの光合成量 (CO₂ 吸収量) を推定する。
- (2) ここでは樹木の胸高直径 (中低木の場合は根元直径) などの形状別に算出した。

解 説

2-2の「光合成量 (CO₂ 吸収量) の推定」、2-3の「気候較差による地方別光合成能の補正」、2-4の「単木の総葉量の推定」の結果をもとに単木の年間総 CO₂ 吸収量 (総光合成量) を求める。

ただし、樹木の葉は開葉から落葉に至る着葉期間が樹種によって様々であり、開葉のパターン一つとってもヤマハンノキのように比較的長い期間にわたって (早春～夏の終わりまで) 一枚ずつほぼ順々に開葉していくタイプ (順次型)、ブナやミズナラのように短期間に (春先に) 葉が一斉に開ききってしまうタイプ (一斉型)、カツラやシラカバのように新しく伸びた枝からまず一枚だけが一斉に展開し (第一葉)、しばらくしてから順々に開きながら枝を伸ばしていくタイプ (中間型) など、極めて変化に富んでいる。

しかし、このような知見はまだ少なく一部の樹種に限られているため、ここでは落葉樹では冬季以外の期間を着葉期間とみなし、着葉期間内では一年を通じて葉量がほぼ一定であると仮定して算定した。

単木が一年間に光合成によって吸収する総 CO₂ 吸収量 (総光合成量) を算定すると、おおよそ表 I.3.2-4 に示す概算表のようになる。

表 I.3.2-4 単木の年間総 CO₂ 吸収量 (総光合成量) の概算表 (単位: kgCO₂/y)

DBH または D ₀ (cm)	樹高 H (m)	落葉広葉樹高木 ^{※1}	常緑広葉樹高木 ^{※2}	中低木
2	2	18	11	2
3	2	32	21	5
4	3	53	35	11
5	3	70	53	14
10	4～5	250	180	53
15	6～7	530	320	140
20	8～10	700	530	—
25	10～13	1100	700	—
30	12～16	1400	1100	—
40	16～21	2500	1800	—
50	20～25	3500	2500	—

注) 高木は DBH (胸高直径)、中低木は D₀ (根元直径) を用いる。

※ 1: マツ類を含む、※ 2: マツ類以外の針葉樹を含む

2-6 単木の汚染ガス吸収能の評価（ステップ5）

- (1) 2-5 で推定した「単木の光合成量（CO₂ 吸収量）」の推定結果に基づき、大気中の汚染ガス濃度を設定して、汚染ガスの吸収量を概算し評価する。
- (2) 三宅（1990）、戸塚・三宅（1991）の汚染ガス吸収量のモデル式を適用し、大気中のCO₂ 濃度を現在の濃度 0.70 μg/cm³（390ppm、25℃）に替えてモデル式の係数を修正すると、SO₂、NO₂、O₃ の吸収量は、それぞれ以下のモデル式で推定できる。

$$\text{SO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{SO}_2} = 11.4 \times C_{\text{SO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

$$\text{NO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{NO}_2} = 8.53 \times C_{\text{NO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

$$\text{O}_3 \text{ の吸収量 } U_{\text{O}_3} = 7.14 \times C_{\text{O}_3} \times U_{\text{CO}_2}$$

ここで、 U_{SO_2} : SO₂ の吸収速度

U_{NO_2} : NO₂ の吸収速度

U_{O_3} : O₃ の吸収速度

U_{CO_2} : CO₂ の吸収速度

C_{SO_2} : 大気中の SO₂ 濃度 (μg/cm³)

C_{NO_2} : 大気中の NO₂ 濃度 (μg/cm³)

C_{O_3} : 大気中の O₃ 濃度 (μg/cm³)

解 説

植物は、葉面にある気孔を通じて光合成により CO₂ を葉内に取り込んでいるが、その時、同時に空気中に含まれる汚染ガスも吸収する。汚染ガスの大気中の濃度が葉の可視障害を与えたり、光合成や蒸散などの基本的な生理作用に影響を与えたりしないような低濃度の範囲内であれば、CO₂ 吸収量と汚染ガス吸収量との比をあらかじめ求めておけば、CO₂ 吸収量から汚染ガス吸収量を推定することができる。

三宅（1990）、戸塚・三宅（1991）は、この考え方に基づいて植物の総光合成速度（CO₂ 吸収速度）から植物群落による SO₂ や NO₂ などの汚染ガス吸収量を簡単に推定するモデル式を開発した。一般に汚染ガスの吸収速度と総光合成速度との関係は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} U_{\text{gas}} &= K_{\text{gas}} \times C_{\text{gas}} \\ U_{\text{CO}_2} &= K_{\text{CO}_2} \times C_{\text{CO}_2} \end{aligned}$$

ここで、 U_{gas} : 汚染ガスの吸収速度、 U_{CO_2} : CO₂ の吸収速度（総光合成速度）

K_{gas} : 汚染ガスの葉面拡散コンダクタンス、 K_{CO_2} : CO₂ の葉面拡散コンダクタンス

C_{gas} : 大気中の汚染ガス濃度 (μg/m³)、 C_{CO_2} : 大気中の CO₂ 濃度 (μg/m³)

したがって、汚染ガスの吸収速度 (U_{gas}) と CO₂ 吸収速度 (U_{CO_2}) との比は、

$$U_{\text{gas}} / U_{\text{CO}_2} = K_{\text{gas}} / K_{\text{CO}_2} \times C_{\text{gas}} / C_{\text{CO}_2}$$

となる。上式のうち $K_{\text{gas}} / K_{\text{CO}_2}$ 比は既存の測定データから推定され、SO₂、NO₂、O₃ ではそれぞれ $K_{\text{SO}_2} / K_{\text{CO}_2} = 8$ 、 $K_{\text{NO}_2} / K_{\text{CO}_2} = 6$ 、 $K_{\text{O}_3} / K_{\text{CO}_2} = 5$ となる。

また、植物体の乾物重の大部分を占める多糖類 ($C_6H_{10}O_5$ で代表される) と多糖類を合成する際に取り込まれる CO_2 の重量比は、光合成の式から、 $[6CO_2] / [C_6H_{10}O_5] = 264 / 162 = 1.63$ であるから、植物群落の総光合成量を P_g とすると、植物群落の総光合成速度 U_{CO_2} は、次式で表わされる。

$$U_{CO_2} = 1.63 \times P_g$$

また、大気中の CO_2 濃度を 390ppm と仮定して、単位を ppm から $\mu g/m^3$ に換算すると、

$$\begin{aligned} C_{CO_2} &= 390 \text{ ppm } (25^\circ\text{C}) \\ &= (44 \times 39 \times 10^{-6}) / \{22.4 \times 10^{-3} \times (273 + 25) / 273\} \\ &= 0.70 \mu g/m^3 \end{aligned}$$

となる。

したがって、これらの値を上式の吸収速度比に代入して変形すると、 SO_2 、 NO_2 の吸収速度は次のような簡単なモデル式で推定できることになる。

$$U_{SO_2} = 11.4 \times C_{SO_2} \times U_{CO_2}$$

$$U_{NO_2} = 8.53 \times C_{NO_2} \times U_{CO_2}$$

$$U_{O_3} = 7.14 \times C_{O_3} \times U_{CO_2}$$

上記のモデル式で示したように、単木が一年間に吸収する SO_2 、 NO_2 量は、光合成による年間総 CO_2 吸収量 (総光合成量) と大気中の汚染ガス濃度から簡単に求めることができる。

なお、このモデル式では、係数の性格上、汚染ガス濃度の単位は ppm ではなく $\mu g/m^3$ に換算する必要がある。

試算例

大気中の SO_2 濃度を 0.011ppm、 NO_2 濃度を 0.028ppm、 O_3 濃度を 0.04ppm と仮定したときの、樹木 1 本が一年間に吸収する SO_2 量、 NO_2 量を形状別に試算する。

大気中の SO_2 濃度、 NO_2 濃度、 O_3 濃度の単位を $\mu g/m^3$ に換算すると次のようになる。

$$\begin{aligned} C_{SO_2} &= 0.011 \text{ ppm } (25^\circ\text{C}) \\ &= (64 \times 0.011 \times 10^{-6}) / \{22.4 \times 10^{-3} \times (273 + 25) / 273\} \\ &= 2.9 \times 10^{-5} \mu g/m^3 \\ C_{NO_2} &= 0.028 \text{ ppm } (25^\circ\text{C}) \\ &= (46 \times 0.028 \times 10^{-6}) / \{22.4 \times 10^{-3} \times (273 + 25) / 273\} \\ &= 5.3 \times 10^{-5} \mu g/m^3 \\ C_{O_3} &= 0.04 \text{ ppm } (25^\circ\text{C}) \\ &= (48 \times 0.040 \times 10^{-6}) / \{22.4 \times 10^{-3} \times (273 + 25) / 273\} \\ &= 7.9 \times 10^{-5} \mu g/m^3 \end{aligned}$$

したがって、モデル式に代入すると、モデル式は次式でそれぞれ表わせる。

$$U_{SO_2} = 11.4 \times C_{SO_2} \times U_{CO_2} = 11.4 \times 2.9 \times 10^{-5} \times U_{CO_2} = 3.3 \times 10^{-4} \times U_{CO_2}$$

$$U_{NO_2} = 8.53 \times C_{NO_2} \times U_{CO_2} = 8.53 \times 5.3 \times 10^{-5} \times U_{CO_2} = 4.5 \times 10^{-4} \times U_{CO_2}$$

$$U_{O_3} = 7.14 \times C_{O_3} \times U_{CO_2} = 7.14 \times 7.9 \times 10^{-5} \times U_{CO_2} = 5.6 \times 10^{-4} \times U_{CO_2}$$

この算定式に表 I.3.2-4 (p46) で示した単木の年間総 CO₂ 吸収量 (U_{CO2}) を代入すると、落葉広葉樹高木、常緑広葉樹高木の形状別の SO₂ 吸収量、NO₂ 吸収量は次のように推定される。

胸高直径 (cm)	落葉広葉樹高木		常緑広葉樹高木	
	SO ₂ (gSO ₂ /y)	NO ₂ (gNO ₂ /y)	SO ₂ (gSO ₂ /y)	NO ₂ (gNO ₂ /y)
10	83	110	59	81
20	230	320	170	240
30	460	630	360	500
40	830	1130	590	810
50	1160	1580	830	1130

3. 単木の汚染ガス吸収能の暫定的概算法

- (1) 単木の一年間あたりの汚染ガス吸収量は、2に示したように、対象とする樹木の単位葉面積あたりの光合成量（CO₂吸収量）や総葉量を測定したり推定したりすることによって一年間あたりの光合成量（CO₂吸収量）を推定することによって求めることができる。
- (2) 三宅（1990）、戸塚・三宅（1991）の汚染ガス吸収量のモデル式を適用し、大気中のCO₂濃度を現在の濃度 0.70 μg/cm³（390ppm、25℃）に替えてモデル式の係数を修正すると、SO₂、NO₂、O₃の吸収量は、それぞれ以下のモデル式で推定できる。

$$\text{SO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{SO}_2} = 11.4 \times C_{\text{SO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

$$\text{NO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{NO}_2} = 8.53 \times C_{\text{NO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

$$\text{O}_3 \text{ の吸収量 } U_{\text{O}_3} = 7.14 \times C_{\text{O}_3} \times U_{\text{CO}_2}$$

ここで、 U_{SO_2} ：SO₂の吸収速度

U_{NO_2} ：NO₂の吸収速度

U_{O_3} ：O₃の吸収速度

U_{CO_2} ：CO₂の吸収速度

C_{SO_2} ：大気中のSO₂濃度（μg/cm³）

C_{NO_2} ：大気中のNO₂濃度（μg/cm³）

C_{O_3} ：大気中のO₃濃度（μg/cm³）

- (3) しかし、個々の樹種において新たにこれらの測定や推定をするのは容易なことではない。このため、ここでは、既存のデータを用いて、クスノキなど10種類の樹木での検討結果に基づき、単位葉面積あたりの一年間あたりの光合成量（CO₂吸収量）を樹種に係わらず一律 3.5kgCO₂/m²・y みなすとともに、総葉面積を落葉広葉樹高木、常緑広葉樹高木、中低木の三つに樹種区分し、それぞれの樹種区分毎に形状別（高木では胸高直径、中低木では根元直径）の単木の光合成量（CO₂吸収量）を暫定的に算出した。

表 I.3.3-1 単木の一年間あたりの光合成量（CO₂吸収量）の概算表

直径（cm）	落葉広葉樹高木	常緑広葉樹高木	中低木
2	18	11	2
3	32	21	5
4	53	35	11
5	70	53	14
10	250	180	—
15	530	320	—
20	700	530	—
25	1100	700	—
30	1400	1100	—
40	2500	1800	—
50	3500	2500	—

注）直径は高木では胸高直径、中低木では根元直径を用いる。単位は kgCO₂/y。

解説

1 総光合成量（総 CO₂ 吸収量）について

表 I.3.2-2 (p41) に示した落葉広葉樹高木、常緑広葉樹高木、中低木の年間総 CO₂ 吸収量を比較すると、中低木の値が高木のそれと比較して若干高い傾向を示しているが、計算を簡略化する場合には、高木と中低木の値との平均値として 3.5kgCO₂/m²・y を適用してもよいと考えられる。

2 単木の葉量について

パイプモデルを用いて約 30 種類の造園樹種について単木の葉量（総葉面積）の推定を行った。その結果、胸高直径と総葉面積は両対数グラフに表わすと直線関係が得られたが、その回帰式は樹種によってかなり異なり、直線の傾きなどにそれぞれの樹種の特徴が表れていた。

このため、単木の総葉面積の推定にあたっては、各樹種ごとにこの回帰式を求めるのが理想的であるが、概算する程度であれば、これらの樹種を暫定的に落葉広葉樹高木、常緑広葉樹高木、中低木の三つのグループに分類し、それぞれのグループで胸高直径と総葉面積との関係式を求め、その回帰式を適用してもよいと考えられた。

なお、針葉樹については、葉面積の測定が困難であったことから関係式は得られなかったが、森林での葉面積指数などを参考に、現段階ではマツ類については落葉広葉樹高木の値を、またスギ、ヒノキなどのマツ類以外のその他の針葉樹については、常緑広葉樹高木の値を暫定的に適用することとした。

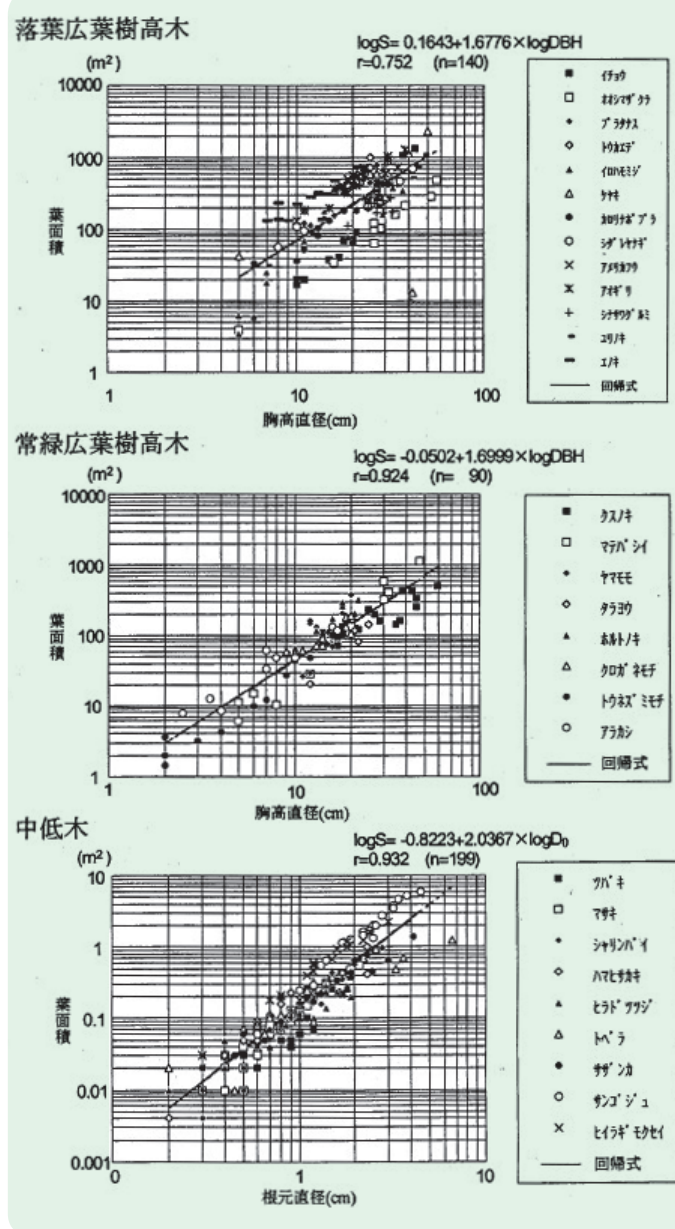


図 I.3.3-1 造園樹種の胸高直径・根元直径と単木の総葉面積との関係

4. 国土交通省国土技術政策総合研究所の都市樹木の CO₂ 固定量の算定モデル式による汚染ガス吸収能の算定

- (1) 近年、温室効果ガスの主要な構成要素である CO₂ 量を減らすための施策として都市緑化の推進が進められている。国土交通省国土技術政策総合研究所の緑化生態研究室では、その効果を定量的に明らかにするために、わが国の代表的な都市緑化樹木 6 種を対象にして、木質部の乾重量の増加量から CO₂ 固定量が算定できることに着目し、胸高直径から樹木 1 本あたりの CO₂ 固定量を求める算定式を作成している（松江ら、2009）。
- (2) 樹種により算定式の係数の値は異なるが、6 樹種を統合すると、樹木 1 本の一年間あたりの木質部の乾重量成長量の算定式は以下に示すとおりであり、胸高直径と木質部乾重量成長量の関係を用いて CO₂ 吸収量を算定することができる。

$$Y = 0.0604 \{ (X + 1.1)^{2.1673} - X^{2.1673} \}$$

ここで、Y：年間木質部乾重量成長量（kg）

X：胸高直径（cm）

- (3) 三宅（1990）、戸塚・三宅（1991）の汚染ガス吸収量のモデル式を適用し、大気中の CO₂ 濃度を現在の濃度 $0.70 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ （390ppm、25℃）に替えてモデル式の係数を修正すると、SO₂、NO₂、O₃ の吸収量は、それぞれ以下のモデル式で推定できる。モデル式の中の P_G に上記の年間木質部乾重量成長量を代入すれば汚染ガスの吸収量を算出できる。

$$\text{SO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{SO}_2} = 18.6 \times C_{\text{SO}_2} \times P_G$$

$$\text{NO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{NO}_2} = 13.9 \times C_{\text{NO}_2} \times P_G$$

$$\text{O}_3 \text{ の吸収量 } U_{\text{O}_3} = 11.6 \times C_{\text{O}_3} \times P_G$$

ここで、U_{SO₂}：SO₂ の吸収量（kg/y）

U_{NO₂}：NO₂ の吸収量（kg/y）

U_{O₃}：O₃ の吸収量（kg/y）

C_{SO₂}：大気中の SO₂ 濃度（ $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ）

C_{NO₂}：大気中の NO₂ 濃度（ $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ）

C_{O₃}：大気中の O₃ 濃度（ $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ）

P_G：樹木による一年間あたりの総生産量（年間木質部乾重量成長量）

解 説

国土交通省国土技術政策総合研究所緑化生態研究室では、地球温暖化に伴う CO₂ 吸収源対策の一環としての都市緑化の推進のために、都市緑化樹木の CO₂ 固定量に係わる研究に長年継続して取り組んでいる。この調査では、調査対象木の伐倒による樹幹解析や根の掘り取りにより、木質化することで長期間樹体内に固定する木質部（幹・枝・根）の乾重を計測し、CO₂ 固定量の原単位となる年間木質部乾重成長量の予測式を作成している。

胸高直径と年間木質部乾重成長量の関係を図 I.3.4-1、表 I.3.4-1 に示す。また、樹齢と年間木質部乾重成長量の関係を図 I.3.4-2 に示す。回帰式は樹種によって異なるため厳密に言えば各

樹種でこの算定式を求める必要があるが、全樹種統合して算定式を求めると次式で表わされる。

$$Y = 0.0604 \times \{(X+1.1)^{2.6173} - X^{2.6173}\}$$

ここで、Y：年間木質部乾重成長量 (kg)

X：胸高直径 (cm)

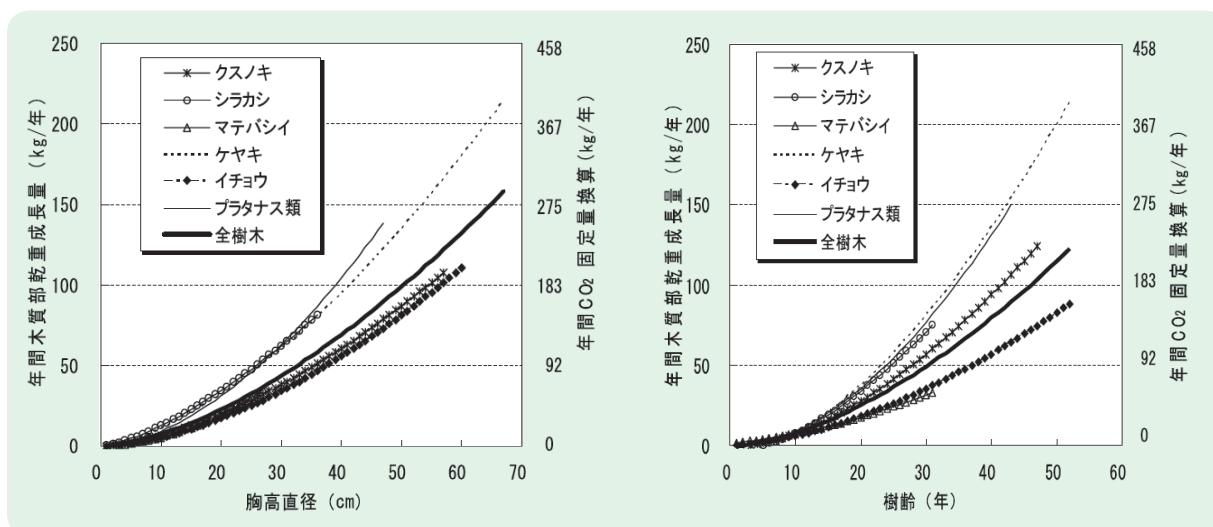


図 I.3.4-1 胸高直径と年間木質部乾重成長量の関係 (松江ら、2009)

図 I.3.4-2 樹齢と年間木質部乾重成長量の関係 (松江ら、2009)

表 I.3.4-1 胸高直径により年間木質部乾重成長量の算定式 (松江ら、2009)

対象樹種		年間木質部乾重成長量算定式
常緑広葉樹	クスノキ	$Y = 0.0377 \times \{(X+1.4)^{2.6400} - X^{2.6400}\}$
	シラカシ	$Y = 0.1190 \times \{(X+1.3)^{2.4875} - X^{2.4875}\}$
	マテバシイ	$Y = 0.0363 \times \{(X+0.7)^{2.8665} - X^{2.8665}\}$
落葉広葉樹	ケヤキ	$Y = 0.0694 \times \{(X+1.4)^{2.5998} - X^{2.5998}\}$
	イチョウ	$Y = 0.0364 \times \{(X+1.0)^{2.7122} - X^{2.7122}\}$
	プラタナス類	$Y = 0.0434 \times \{(X+1.2)^{2.7773} - X^{2.7773}\}$
全樹種統合		$Y = 0.0604 \times \{(X+1.1)^{2.6173} - X^{2.6173}\}$



第4章 緑地のガス状汚染物質吸収能の評価法

1. 概 説

- (1) 大気浄化植樹の計画・実施にあたっては、現況の都市緑地の有する大気浄化機能をあらかじめ定量的に評価し、その評価結果に基づいて重点的に植栽する場所や配置、樹種や植栽量などを具体的に検討するとよい。
- (2) 緑地の有する大気浄化機能の評価法としては、三宅（1990）、戸塚・三宅（1991）による汚染ガス吸収モデル式を用いることとし、この算定には植物集団の総光合成量（総CO₂吸収量）のデータが不可欠となる。
- (3) 緑地の大気浄化機能を比較的簡便に評価する方法としては、
 - ① 現存植生図に基づく方法
（植生単位毎に面積を測定できる場合）
 - ② 樹木台帳に基づく方法
（公園樹木や街路樹など、樹種や形状・本数などのデータがある場合）
 - ③ 標本区調査に基づく方法
（データが全くない場合）の三つが挙げられる。このうち①は、各植生タイプについて植生をグループ化し、各植生グループについて総生産量を既存の知見から算定・設定し、これを用いて推定する手法であり、②と③は、第3章で述べた単木の汚染ガス吸収量を用い、これに形状別の樹木本数を乗じて推定する手法である。

解 説

緑地のガス状汚染物質吸収能の評価にあたっては、三宅（1990）、戸塚・三宅（1991）による汚染ガス吸収モデル式を用いて推定することができるが、この算定には植物集団の総光合成量（総CO₂吸収量）が必要になる。

この総光合成量については、植物群落など、植物の集団としてある程度のまとまりがある場合には、表 I.4.2-1 (p56) に示した植生区分毎の純生産量を基本単位として使えるので、それに面積を乗じれば、地域全体の総 CO₂ 吸収量が推定でき、汚染ガス吸収能とその地域的分布が把握できる。

一方、植物集団としての一定のまとまりがなく、面的に表わされないような緑地、すなわち街路樹や公園樹木、宅地の庭木や生垣などについては、上記のような純生産量のデータがないため、樹木一本一本について推定し、それを集計するしか方法がない。この場合も街路樹や公園樹木については、管理上の必要性などから基本的には樹木台帳が整備されており、これには樹種・形状・本数などが記載されているため、これらのデータが活用できる。しかし、宅地の庭木や生垣などについては、このようなデータがないため、毎木調査や標本区調査を行って、これらのデータの取得から始めなければならない。

宅地の庭木や生垣については、一戸当たりあるいは一敷地当たりの緑の量は一般にごく僅少に過ぎないが、都市全体の総量で見るとかなりの量になるものと見込まれる。土地価格の高騰などにより、都市公園など新たな緑地整備が困難な都市域にあっては、宅地などの民有地の緑化は今後無視できないものがあり、大気浄化の上でも見逃せない緑地である。

2. 植生図に基づく評価法

2-1 概要と手順

- (1) 既存の現存植生図や相観植生図を利用して、対象地域の植生区分を行い、その分布面積を測定するとともに、植生区分毎に既存の知見を集約して設定した単位面積あたりの年間総生産量を乗じ、それらを加算することによって年間の総光合成量（CO₂ 吸収量）を求め、モデル式を用いて汚染ガス吸収量を推定する方法である。
- (2) 主に都市域全体などのマクロ的な評価に適する方法である。

解 説

現存植生図や相観植生図などの既存の植生図を活用した都市緑地の大気浄化機能を評価する手順を図 I.4.2-1 に示す。この推定で不可欠なのは、植生区分毎の総生産量（乾重 t/ha・y）であり、これには、IBP などの研究成果等による森林や草地におけるわが国の純生産量に関する豊富なデータが活用できる（2-2 参照）。

推定の手順の概要は次のとおりである。

- ◆**ステップ1**：植生図をもとに適宜植生タイプの区分を行い、対象地域内における分布状況を把握する。植生タイプの区分にあたっては、純生産量のデータに十分留意する。それぞれの植生タイプの面積を計測し、その構成比（面積割合）を算定する（2-2 参照）。
- ◆**ステップ2**：植生タイプ別の純生産量、分布面積、地域の大気汚染濃度などを用いて、モデル式のそれらのデータを入力し、植生タイプ別の汚染ガス吸収量を推定し、それらを集計して地域全体の緑地による大気浄化量を算定する（2-3 参照）。

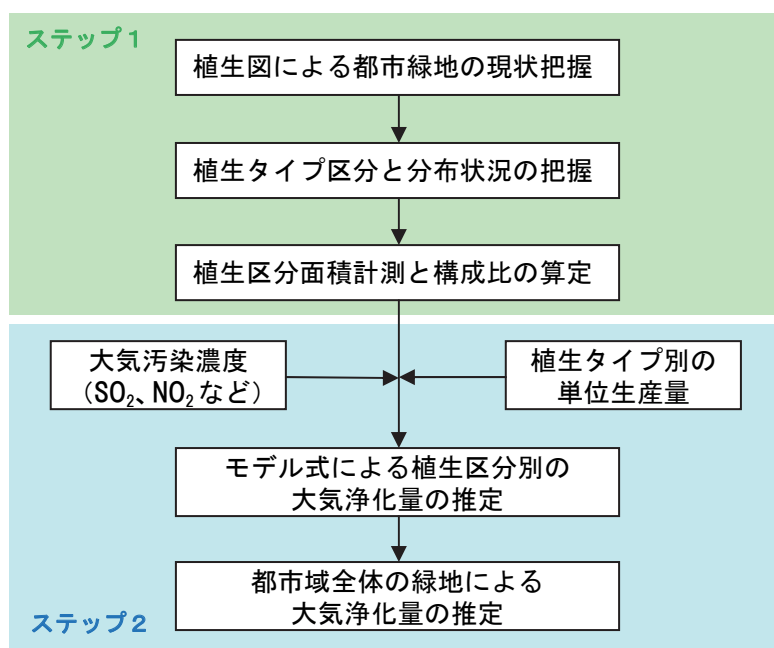


図 I.4.2-1 植生図に基づく都市緑地の大気浄化量の算定手順

2-2 植生区分と単位土地面積あたりの総生産量（ステップ1）

- (1) この評価法を用いて緑地の有する大気浄化能力を評価するためには、植生区分毎の総生産量のデータが不可欠である。
- (2) ここでは、植生区分と単位面積あたりの年間総生産量を既存の知見を集約し、以下のよう

表 I.4.2-1 植生区分別の純生産量、総生産量とその比（純生産量／総生産量）

植生区分	Pn (t/ha・y)	Pn/Pg	Pg (t/ha・y)
常緑広葉樹林	18	0.35	51
落葉広葉樹林	12	0.55	22
常緑針葉樹林	18	0.35	51
落葉針葉樹林	10	0.55	18
草地	12	0.55	22
農耕地	10	0.55	18
その他緑地	6	0.45	13

注) Pn：純生産量、Pg：総生産量

注) 竹林、牧草地などは草地に含める

注) 果樹園、苗圃、桑園などは農耕地に含める

注) 緑の多い住宅地、公園などはその他緑地に含める。

解 説

森林や草地の現存量や生産量については、p31 のコラムで述べたように IBP において世界的な規模で調査研究が行われ、様々なデータが蓄積されている。

各種植物群落の純生産量については、吉良（1976）、只木ら（1978）、岩城（1981）などの総説があり、その例として、表 I.4.2-2、表 I.4.2-3 などがある。

各森林タイプ別の年間純生産量の平均値とその範囲をみると、最も生産力の高い常緑広葉樹林（照葉樹林）で平均生産力は 18 ～ 20t/ha・y 程度、最も低い落葉広葉樹林で 8 ～ 15 t/ha・y 程度で、常緑樹林は落葉樹林よりも純生産量は全般に大きい。これは、落葉樹では着葉期間が短く、冬季には落葉してしまい、常緑樹のように生育期間を十分に利用できないためであると考えられる。呼吸消費量の推定が技術的にやや難しいため、総生産量のデータは純生産量に比べてずっと少ないが、森林の純生産量／総生産量の比は、落葉樹林（0.5 ～ 0.6）では常緑樹林（0.3 ～ 0.4）に比べてやや大きい傾向がある、これについても着葉期間の長短が関係していて、一般に群落呼吸量の半分以上を占める葉の呼吸量が、落葉樹林では生育期間が短いため、相対的に小さくなるためであろうといわれている。

森林以外では、草地については、ススキ群落、ササ群落、シバ草地などのデータに基づき、農耕地については、水田、畑地、果樹園などのデータを参考にした。その他の緑地については、信頼できるデータがほとんどなかったため、ここでは落葉広葉樹林と常緑広葉樹林の平均値に緑被率を考慮して設定した。

このような検討を踏まえて整理したのが上記枠内に示した純生産量、総生産量、純生産量／総生産量の比の表である。ここでは植生タイプを常緑広葉樹林、落葉広葉樹林、常緑針葉樹林、落葉針葉樹林、草地、農耕地、その他の緑地（都市公園、緑の多い住宅地など）の七つに区分した。

表 I.4.2-2 陸上植物群落の純生産量 (Pn)、総生産量 (Pg) と Pn/Pg 比 (吉良、1976)

植物群落	場所	林齢	LAI	Pn (t/ha・y)	Pg (t/ha・y)	Pn/Pg
熱帯多雨林	西マレーシア	成熟林	8.0	27.2	77.7	0.35
熱帯季節林	コートジボアール	同	3.2	13.4	52.5	0.26
照葉樹林	大隅半島	成熟林	8.8	20.6	73.0	0.28
コジイ二次林	熊本	14	8.9	22.7	51.7	0.44
スギ密植苗畑	熊本	5	8.6	29.1	84.1	0.35
ヒノキ人工林	滋賀県日野	40	6.9	17.1	29	0.58
アカマツ林	関東	15	—	15.8	53.9	0.29
ブナ二次林	新潟二王寺岳	30-70	5.7	15.3	27.5	0.56
ブナ人工林	新潟県	35-50	7.6-7.8	17.4-19.3	40.9-44.1	0.43-0.44
ヨーロッパブナ人工林	デンマーク	8	5.4	7.5	13.9	0.54
同	同	25	5.4	13.5	22.3	0.61
同	同	46	5.4	13.5	23.5	0.57
同	同	85	5.4	11.3	21.4	0.53
ナラ・マツ二次林	ニューヨーク州	—	3.8	13.5	26.4	0.45
シラベ・オオシラビン林	ハケ岳縞枯山	15	—	7.4	19.9	0.37
同	同	成熟林	—	11.1	40	0.28
トドマツ若木林	北海道サロベツ	—	—	16.4 ± 5.1	36.4 ± 7.4	0.45 ± 0.09
トドマツ林	北海道北見	35-40	—	23.8	50.2	0.47
チシマザサ群落	北海道ニセコ	—	5.1	16.0	46.3	0.35
セイタカアワダチソウ群落	茨城県取手	—	4.8	17.8	39.0	0.45
ホソバトリカブト群落	八甲田山	—	—	15.5	28.5	0.54
クイモ人工群落	東京	—	5	14	28	0.5
Andropogon 群落	サウスカロライナ州	—	—	4.2	7.9	0.53
シロツメクサ群落	—	—	—	—	—	0.57-0.62

注) 表中の記号は次のとおり。LAI：葉面積指数、Pn：純生産量、Pg：総生産量

表 I.4.2-3 わが国の森林タイプ別の純生産量 (只木・蜂屋、1978)

森林タイプ	純生産量 (t/ha/y)	資料数 (林分)
落葉広葉樹林	8.7 ± 3.0	64
落葉針葉樹林	10.1 ± 4.4	44
常緑針葉樹林 ^{※1}	13.5 ± 4.2	46
マツ林 ^{※2}	14.8 ± 4.1	52
スギ林	18.1 ± 5.6	92
常緑広葉樹林 ^{※3}	18.1 ± 4.9	21
全体	13.9 ± 5.9	319

注) ※1：マツ林、スギ林以外、※2：ハイマツ林を除く

※3：アカシア林を除く

2-3 緑地による汚染ガス吸収能の評価（ステップ2）

- (1) 2-2で区分した植生区分毎の単位面積あたりの年間総生産量に基づき汚染ガスの吸収量を推定する。大気中の汚染ガス濃度は最寄りの大気汚染常時監視測定局のデータを用いるなど、適宜設定する。汚染ガス濃度の単位は、 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ である。
- (2) 大気中の CO_2 濃度を $0.70\ \mu\text{g}/\text{cm}^3$ （390ppm、25℃）と仮定すると、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 の吸収量はそれぞれ以下のような簡単なモデル式で推定できることになる。

$$U_{\text{SO}_2} = 18.6 \times C_{\text{SO}_2} \times P_g$$

$$U_{\text{NO}_2} = 13.9 \times C_{\text{NO}_2} \times P_g$$

$$U_{\text{O}_3} = 11.6 \times C_{\text{O}_3} \times P_g$$

ここで、 U_{SO_2} ： SO_2 の吸収速度

U_{NO_2} ： NO_2 の吸収速度

U_{O_3} ： O_3 の吸収速度

C_{SO_2} ：大気中の SO_2 濃度（ $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ）

C_{NO_2} ：大気中の NO_2 濃度（ $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ）

C_{O_3} ：大気中の O_3 濃度（ $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ）

P_g ：各植生区分の総生産量（乾重量 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{y}$ ）

解 説

三宅（1990）、戸塚・三宅（1991）は、植物の総光合成速度（ CO_2 吸収速度）から汚染ガス吸収量を簡単に推定できるモデル式を開発した。

一般に汚染ガスの吸収速度と総光合成速度との関係は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} U_{\text{gas}} &= K_{\text{gas}} \times C_{\text{gas}} \\ U_{\text{CO}_2} &= K_{\text{CO}_2} \times C_{\text{CO}_2} \end{aligned}$$

ここで、 U_{gas} ：汚染ガスの吸収速度、 U_{CO_2} ： CO_2 の吸収速度（総光合成速度）

K_{gas} ：汚染ガスの葉面拡散コンダクタンス、 K_{CO_2} ： CO_2 の葉面拡散コンダクタンス

C_{gas} ：大気中の汚染ガス濃度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）、 C_{CO_2} ：大気中の CO_2 濃度（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

したがって、汚染ガスの吸収速度（ U_{gas} ）と CO_2 吸収速度（ U_{CO_2} ）との比は、

$$U_{\text{gas}} / U_{\text{CO}_2} = K_{\text{gas}} / K_{\text{CO}_2} \times C_{\text{gas}} / C_{\text{CO}_2}$$

となる。上式のうち $K_{\text{gas}} / K_{\text{CO}_2}$ 比は既存の測定データから推定され、 SO_2 、 NO_2 、 O_3 ではそれぞれ $K_{\text{SO}_2} / K_{\text{CO}_2} = 8$ 、 $K_{\text{NO}_2} / K_{\text{CO}_2} = 6$ 、 $K_{\text{O}_3} / K_{\text{CO}_2} = 5$ となる。

また、植物体の乾物重の大部分を占める多糖類（ $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ で代表される）と多糖類を合成する際に取り込まれる CO_2 の重量比は、光合成の式から、 $[6\text{CO}_2] / [\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5] = 264 / 162 = 1.63$ であるから、植物群落の総生産量を P_g （乾重 $\text{t}/\text{ha}\cdot\text{y}$ ）とすると、植物群落の総光合成速度 U_{CO_2} は、次式で表わされる。

$$U_{\text{CO}_2} = 1.63 \times P_g$$

また、大気中の CO_2 濃度を390ppmと仮定して、単位をppmから $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に換算すると、

$$\begin{aligned} C_{CO_2} &= 390\text{ppm} \text{ (25}^\circ\text{C)} \\ &= (44 \times 39 \times 10^{-6}) / \{22.4 \times 10^{-3} \times (273 + 25) / 273\} \\ &= 0.70 \mu \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

となる。

したがって、これらの値を上式の吸収速度比に代入して変形すると、SO₂、NO₂、O₃の吸収速度は次のような簡単なモデル式で推定できることになる。

$$\begin{aligned} U_{SO_2} &= 18.6 \times C_{SO_2} \times P_g \\ U_{NO_2} &= 13.9 \times C_{NO_2} \times P_g \\ U_{O_3} &= 11.6 \times C_{O_3} \times P_g \end{aligned}$$

上記のモデル式で示したように、緑地が一年間に吸収するSO₂、NO₂、O₃量は、光合成による年間総CO₂吸収量（総生産量）（P_g）と大気中の汚染ガス濃度から簡単に求めることができる。

なお、このモデル式では、係数の性格上、汚染ガス濃度の単位はppmではなくμg/m³に換算する必要がある。

試算例

横浜市緑政局（当時）が公表している「横浜市全域植生調査報告書」（横浜市緑政局、1984）の現存植生図を用いて、横浜市内の緑地によるSO₂、NO₂の吸収量を推定する（公害健康被害補償予防協会、1995 参照）。

現存植生図に基づき、植生を常緑広葉樹林、落葉広葉樹林、常緑針葉樹林、草地、農耕地、その他の緑地の六つに区分し、植生タイプ別の面積を計測して、市内緑地による大気浄化量を試算した。大気中のCO₂濃度を350ppm、SO₂濃度とNO₂濃度を市内各区の1988年公表の年平均値を使用した結果、吸収量はCO₂で250,000t/y、SO₂で130t/y、NO₂で270t/yと推定された。

一方、1988年公表の統計資料から化石燃料の燃焼によって横浜市全域で排出された大気汚染物質量は、SO₂で5,000t/y、NO₂で26,000t/yと推定された。

したがって、排出量に対する緑地によるSO₂、NO₂吸収量の割合は、それぞれ約2.6%、1.0%に相当する。

上記の試算は、1995年当時に行ったものであるが、現在は公害対策の進展により大気汚染物質の排出量が1988年当時と比較して著しく減少しており、大気中のSO₂濃度やNO₂濃度も低下している。また、開発に伴う緑地の減少がある一方で、都市緑化事業も進展してきているため、最近では緑地による大気浄化効果は、1980年代と比較して増大しているとみられる。このような時間の経過に伴う大気環境と緑地による大気浄化効果の評価にもこのような試算が適用できると期待される。

3. 樹木台帳に基づく評価法

- (1) 本評価法は、2の「植生図に基づく評価法」よりももう少し限定された場所で、かつ樹木台帳などが整備されていて、植栽されている樹木の樹種、形状、本数などのデータがある場合に適用できる評価法である。
- (2) したがって、樹木台帳などがある公園緑地、街路樹、緩衝緑地などに主に適用できる。
- (3) 基本的には第3章の「単木のガス状汚染物質吸収能の評価法」に準じ、単木の汚染ガス吸収能に樹種別・形状別の樹木本数を乗じ積算することによって汚染ガス吸収量を推定する。

解 説

2で述べた植生図に基づく評価法では対象から洩れてしまうような、より限定された場所で、しかも樹木台帳などが整備されていて、植栽されている樹木の種類、形状、本数などのデータがある場合に採用できる評価法で、公園緑地、街路樹や、維持管理のために樹木台帳などが整備されている工場緑地や団地内緑地などに適用できる。

試 算 例

大阪市内のM通りにはイチョウ並木がある。街路樹台帳をもとに形状（胸高直径）と本数を整理すると、表のとおりであった。このイチョウ並木による大気浄化量を試算する。

SO₂、NO₂の吸収量は、それぞれ以下のモデル式で推定できる。

$$\text{SO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{SO}_2} = 11.4 \times C_{\text{SO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

$$\text{NO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{NO}_2} = 8.53 \times C_{\text{NO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

ここで、U_{SO₂}：SO₂の吸収速度、U_{NO₂}：NO₂の吸収速度、U_{CO₂}：CO₂の吸収速度

C_{SO₂}：大気中のSO₂濃度（μg/cm³）、C_{NO₂}：大気中のNO₂濃度（μg/cm³）

大気中のSO₂濃度、NO₂濃度をそれぞれ0.010ppm、0.029ppmとし、単位を換算すると、

$$C_{\text{SO}_2} = 0.010\text{ppm} (25^\circ\text{C}) = 2.6 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{cm}^3$$

$$C_{\text{NO}_2} = 0.029\text{ppm} (25^\circ\text{C}) = 5.5 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{cm}^3$$

表I.3.3-1（p49）に基づき年間CO₂吸収量を算出すると、

$$\text{胸高直径 } 10\text{cm} : 0.25\text{t}/\text{y} \times 40 \text{ 本} = 10\text{t}/\text{y}$$

$$\text{胸高直径 } 20\text{cm} : 0.7\text{t}/\text{y} \times 200 \text{ 本} = 140\text{t}/\text{y}$$

$$\text{胸高直径 } 30\text{cm} : 1.4\text{t}/\text{y} \times 280 \text{ 本} = 392\text{t}/\text{y}$$

$$\text{胸高直径 } 40\text{cm} : 2.5\text{t}/\text{y} \times 240 \text{ 本} = 600\text{t}/\text{y}$$

$$\text{胸高直径 } 50\text{cm} : 3.5\text{t}/\text{y} \times 40 \text{ 本} = 140\text{t}/\text{y}$$

$$\text{合計} : 1,282\text{t}/\text{y}$$

ゆえに、これらの街路樹による総光合成量（総CO₂吸収量：U_{CO₂}）は約1,280t/yである。

C_{SO₂}=2.6×10⁻⁵ μg/cm³、C_{NO₂}=5.5×10⁻⁵ μg/cm³、U_{CO₂}=1,280t/yをモデル式に代入すると、

$$U_{\text{SO}_2} = 11.4 \times 2.6 \times 10^{-5} \times 1,280 \times 10^3 = 380\text{kg}/\text{y}$$

$$U_{\text{NO}_2} = 8.53 \times 5.5 \times 10^{-5} \times 1,280 \times 10^3 = 600\text{kg}/\text{y}$$

したがって、M通りの街路樹のイチョウ並木のSO₂、NO₂の浄化量はそれぞれ380kg/y、600kg/y程度と試算される。

胸高直径	本数（本）
10	40
20	200
30	280
40	240
50	40
合 計	800

4. 標本区調査に基づく評価法

- (1) 本評価法は、2の「植生図に基づく評価法」や3の「樹木台帳に基づく評価法」では洩れてしまう住宅地の庭木や生垣、屋上緑化や壁面緑化などによる大気浄化効果を評価する場合などに用いる評価法であり、学校等の各施設、個人住宅など、ミクロな地域に適している。
- (2) 住宅地の庭木・生垣、屋上緑化や壁面緑化の緑は、1戸あたり、1施設あたりの緑量がわずかでも都市全体の総量でみるとかなりの量になり、土地的制約の大きい都市域で今後大気浄化植樹を推進していくためには最も大きなターゲットの一つとして期待される。

解 説

宅地の庭木や生垣など植栽木のデータがない場合でも、新たに毎木調査を行ったり、標本区調査などにより、単位土地面積あたりの樹木の状況が把握できれば、それによる大気浄化効果を評価できる。

試 算 例

神奈川県川崎市のA氏宅には、150m²の庭に表に示すような庭木、生垣が植栽されている。大気中のSO₂濃度を0.011ppm、NO₂濃度を0.028ppmとして、これらの樹木によるSO₂、NO₂の吸収量を試算する。

SO₂、NO₂の吸収量は、それぞれ以下のモデル式で推定できる。

$$\text{SO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{SO}_2} = 11.4 \times C_{\text{SO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

$$\text{NO}_2 \text{ の吸収量 } U_{\text{NO}_2} = 8.53 \times C_{\text{NO}_2} \times U_{\text{CO}_2}$$

ここで、U_{SO₂}：SO₂の吸収速度、U_{NO₂}：NO₂の吸収速度、U_{CO₂}：CO₂の吸収速度

C_{SO₂}：大気中のSO₂濃度（μg/cm³）、C_{NO₂}：大気中のNO₂濃度（μg/cm³）

大気中のSO₂濃度、NO₂濃度をそれぞれ0.011ppm、0.028ppmとし、単位を換算すると、

$$C_{\text{SO}_2} = 0.011\text{ppm} (25^\circ\text{C}) = 2.9 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{cm}^3$$

$$C_{\text{NO}_2} = 0.028\text{ppm} (25^\circ\text{C}) = 5.3 \times 10^{-5} \mu\text{g}/\text{cm}^3$$

表I.3.3-1（p49）に基づき年間CO₂吸収量を算出すると、

ハクモクレン：250kg/y × 1本 = 250kg/y

ヒメシャラ：70kg/y × 1本 = 70kg/y

ウメ：70kg/y × 1本 = 70kg/y

キンモクセイ：180kg/y × 1本 = 180kg/y

モッコク：53kg/y × 1本 = 53kg/y

ヒイラギ：53kg/y × 1本 = 53kg/y

ツバキ：14kg/y × 1本 = 14kg/y

カクレミノ：11kg/y × 2本 = 22kg/y

イヌツゲ：11kg/y × 1本 = 11kg/y

サツキ：5kg/y × 30本 = 150kg/y

ジンチョウゲ：2kg/y × 10本 = 20kg/y

全体合計：893kg/y

区分	樹種	胸高直径cm	本数
落葉広葉樹 高木	ハクモクレン	10	1
	ヒメシャラ	5	1
	ウメ	5	1
常緑広葉樹 高木	キンモクセイ	10	1
	モッコク	5	1
中低木	ヒイラギ	10	1
	ツバキ	5	1
	カクレミノ	4	2
	イヌツゲ	4	1
	サツキ	3	30
	ジンチョウゲ	2	10

ゆえに、これらの樹木による総光合成量（総 CO₂ 吸収量：U_{CO2}）は約 890kg/y と推定される。

気候による光合成能の気候較差を補正すると、川崎市は関東地方に位置することから補正係数を 0.9 とする（p43 枠内表参照）。

C_{SO2} = 2.9 × 10⁻⁵ μg/cm³、C_{NO2} = 5.3 × 10⁻⁵ μg/cm³、U_{CO2} = 890kg/y をモデル式に代入し、補正係数 0.9 を乗じると、SO₂、NO₂ の吸収量はそれぞれ以下のように算定される。

$$U_{SO2} = 11.4 \times 2.9 \times 10^{-5} \times 890 \times 10^3 \times 0.9 = 265\text{g/y}$$

$$U_{NO2} = 8.53 \times 5.3 \times 10^{-5} \times 890 \times 10^3 \times 0.9 = 362\text{g/y}$$

したがって、A 氏宅の庭に植栽されている庭木、生垣による SO₂、NO₂ の吸収量は、それぞれ約 270g/y、360g/y 程度と試算される。



第5章 大気環境保全に配慮した都市緑地整備のあり方

1. 大気環境保全に配慮した都市緑地の配置

- (1) 第4章の「緑地のガス状汚染物質吸収能の評価法」でその手法を述べたように、現況の緑地の有する大気浄化機能をあらかじめ評価しておき、大気環境情報などと照らして、市街地にありながら評価結果の低い地域に重点的に緑地を創出・整備するのが効果的である。
- (2) 大気環境保全に主眼をおいた植樹を効果的に行うためには、工場や幹線道路等の大気汚染物質の主要発生源の近傍、また、学校や病院、住宅地など、生活環境の保全が特に望まれる地域などで重点的に緑地を整備していくことが重要である。
- (3) また、緑地の配置にあたっては、地形や川の方角、海陸風などの風の流れ、風の道などの自然条件を十分考慮し、その活用を図ることが、ヒートアイランド対策ばかりでなく、大気環境保全の上でも重要である。

解 説

1 市街地に重点的に植栽する

植物による汚染物質の吸収量は、大気中の汚染物質濃度が葉面に可視障害に生じたり、光合成や蒸散などの生理活性に支障を及ぼしたりすることのないようなごく低濃度の範囲内であれば、汚染物質の濃度に比例することが実験的に確かめられている。

このため、都市の中で大気浄化植樹を効果的・効率的に進めるためには、汚染物質の発生源である工場や幹線道路などで重点的に緑地整備を進めていくことが重要であると考えられる。

一方、都市は住民の日常生活の場であり、清浄な空気や静穏さ、また、やすらぎや潤いなどの快適な生活環境が求められており、そうした面からも住宅地や日中勤務する都心のビル街や商業・業務地域などにおいても緑地整備の推進が求められている。

「第4章 緑地のガス状汚染物質吸収量の評価法」を参考にして市町村レベルで地域内緑地による大気浄化量を試算してみればわかるように、一般に都市の郊外では住宅開発などが進んでいるとはいうものの、森林や農耕地がまだかなり残されており、これらの緑地による大気浄化量は、地域内で相対的にみればかなり大きい。これに対して、商業・業務地域が集中する都市部やその周辺に広がる住宅地では都市公園などの緑地を除けば、緑地は極端に少なくなり、しかも汚染物質の発生源にも近いため、大気浄化に果たす街路樹や公園樹木などの公共の緑や民有地の庭木、生垣の果たす役割は大きい。

表 I.5.1-1 に示すのは、北九州市（1991）による市内緑地及び街路樹による大気浄化効果の試算結果の一部である。街路樹による吸収量は街路樹台帳、緑地による吸収量は植生図に基づいて算定している。北九州市内の街路樹全体による NO_2 吸収量は約 9.5t/y、緑地全体の吸収量は約 600t/y であり、街路樹／緑地の比は 0.016（1.6%）である。

街路樹／緑地の比を区別に比較してみると、郊外に位置し広大な森林を有する小倉南区や地理的条件から森林の占める割合が比較的大きい門司区や若松区では 1% 前後と低い。一方、商工業地域が大半を占める戸畑区や小倉北区では大きな値を示し、特に戸畑区では街路樹が市内緑地に

匹敵する浄化量を示している。したがって、大気浄化に果たす街路樹の役割は、森林や農耕地が広がり自然がまだまだ残っている小倉南区、門司区、若松区などではそれほど大きなものではないが、商工業地域や住宅地が広がり緑の少ない戸畑区、小倉北区などでは街路樹の重要性が極めて高いと考えられる。

表 I.5.1-1 北九州市内の緑地並びに街路樹による NO₂ 吸収量の試算結果（北九州市、1991）

区	面積 (km ²)	NO ₂ 吸収量 (t/y)		吸収量の比 街路樹／緑地
		街路樹	緑地	
門司区	70.5	1.2	99.2	0.012
小倉北区	39.7	1.7	31.2	0.054
小倉南区	168.7	1.2	264.5	0.005
戸畑区	18.4	0.9	1.2	0.75
八幡東区	36.7	1.3	52.0	0.025
八幡西区	84.6	2.4	88.5	0.027
若松区	61.7	0.8	65.5	0.012
北九州市全体	480.3	9.5	602.1	0.016

出典) 株式会社プレック研究所 (1991): 北九州市委託業務「幹線道路等における大気浄化植樹実態調査報告書」

この北九州市の試算例でわかるように、大気環境の保全を主眼とした大気浄化植樹を行う際には、市街地に重点的に実施するのが効果的であると考えられ、具体的には表 I.5.1-2 に示すように、大気汚染物質の発生源に近い場所、日常生活の場など保全対象となるような場所を中心に植栽していくことが重要であると考えられる。

表 I.5.1-2 大気浄化植樹の重点箇所

重点箇所
・ 幹線道路周辺など、局地汚染の著しい場所（道路緑化） ・ 工場及びその周辺地域（工場緑化） ・ 学校、図書館などの文教地区、庁舎などの公共施設 ・ 住宅地のうち、戸建住宅の接道部や庭（庭木や生垣） ・ 住宅地のうち、中高層住宅の外周部や住棟間 ・ 新たな都市再開発地域（公開空地） ・ 駐車場（駐車場緑化） ・ 都市建築空間（屋上緑化、壁面緑化）

2 自然的条件に配慮して植栽する

都市の大気環境は、気候（主に風向きや風速など）や地形（盆地や河川など）などの自然的要因にも大きく影響を受けるため、地理的・地形的条件、卓越風向などを考慮してよりよい大気環境の保全が進むように、都市全体の緑の配置についても十分考慮する必要がある。

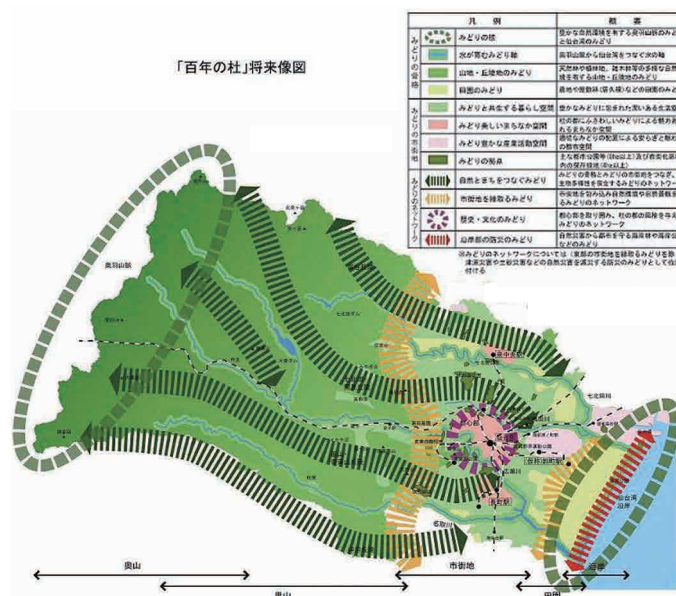
気候に配慮した都市計画や緑地整備は、風の道などを利用して市街地にうまく風を取り込むことなどによって、都市気候を緩和しヒートアイランド対策として近年注目されているが、ヒートアイランド対策だけでなく、緑地による大気汚染の低減の上でも効果的であると考えられる。

そのなかで近年注目されているものにクリマアトラスを活用した都市計画、都市緑地整備がある。クリマアトラス (Klimaatlas) とは、ドイツ語の Klima（気候）と Atlas（地図集）を合成した用語で地域固有の気候特性を大気汚染対策や都市環境計画に活用するための気候解析図集で

あり、ドイツの多くの都市ではクリマアトラスが都市計画のために作成されている。ドイツの都市計画においては、Fプランと呼ばれる土地利用計画とBプランと呼ばれる地区詳細計画があり、クリマアトラスは地区詳細計画を作成する際の資料として用いられる。ドイツの都市計画においては、大気汚染対策や新鮮な空気の都市への導入が強く意識されているが、対象地域の地形、土地被覆などの特性などにより夏季の夜間気温上昇の抑制などの熱環境の改善を図ることなども目標の一つとなっている。クリマアトラスは、一般的には、①気候要素の基礎的な分布図（熱や風環境、大気質、日照など）、②気候分析図（熱環境や大気汚染の評価のための気候解析図）、③対策や提言のための地図・図面から構成されており、その作成方法については、ドイツ工業協会（VDI）によって標準化され、ガイドラインが発行されている。シュツットガルト市では、周囲を丘陵に囲まれ、風が弱く温度の逆転層が生じやすいため、都市化の進展とともに大気汚染が深刻化していたが、クリマアトラスを大気汚染対策に活用し、当初案では小さな緑地帯であったが冷気の効果的な流れを確保するために幅 50 ～ 60m の緑地帯に計画が拡張された。このようにドイツの諸都市で作成されているクリマアトラスは、内陸部で年間を通じて風が弱く、都市内の空気が淀みやすいといったドイツの都市環境特性を反映して大気汚染の防止に主眼をおいているものが多い（環境省、2013）。なお、クリマアトラスについては、「都市環境のクリマアトラスー気候情報を活かした都市づくりー」（日本建築学会編著、ぎょうせい、2000）が発行されており、参考にされたい。

わが国においても、「仙台市みどりの基本計画」では「百年の杜づくり」として緑地の将来像が計画されており、市内の地区レベルでクリマアトラスの気候分析図を活用した街づくりの検討が進められている。

図 I.5.1-1
仙台市「百年の杜」将来像図
（仙台市、2012）



コラム 屋敷林

気候との関連では、防風林の中でも住環境の改善のために宅地周辺に植栽されたものを屋敷林と呼んでいる。屋敷林の呼称は地域により様々で、東北地方ではイグネ、庄内地方ではカザヨケ、西日本ではカイニヨ、出雲地方では築地松などと呼ばれている。屋敷林は、必ずしも防風だけが目的ではなく、洪水から家屋敷を守ったり火災の延焼を防ぐほか、家格を示したり美観の形成など様々な役割をもっている。屋敷林は、地域の卓越風などとの関係から、家屋に対して特有の方向を中心に仕立てられ、地域全体として顕著な方向性を示すことが多い。屋敷林は地域の自然環境だけでなく農業や集落の人文地理学的な事象も反映し、大気浄化植樹の緑地の配置の上でも参考になるに違いない。

出典）青山高義ら（2009）：「日本の気候景観」、古今書院（p15）

2. 都市域における緑地の大気浄化能力の向上と緑地の拡大

2-1 都市域における緑地の大気浄化能力の向上

都市緑地の有する大気浄化機能を最大限に発揮させるためには、植樹による新たな緑地の創出・整備を図る以前に、既存緑地において適切な維持管理や補植を行うことによって、植栽されている個々の樹木がその樹種固有の本来の能力を十分に発揮できるように、樹木の健全な生育・成長を図り、既存緑地の大気浄化機能を維持・向上させることが重要である。

解 説

1 既存緑地の保全－緑地の保全・緑化の制度、東京都の緑被率の推移

都市における緑地については、一方で国及び地方公共団体の関係諸機関の諸施策により保全・整備が図られているが、一方では、土地利用面においても都市化の状況が現れており、都市の緑量の指標である緑被率も年々減少する傾向にある。

東京都におけるブロック別の緑被率の変化を表 I.5.2-1、図 I.5.2-1 に示す。緑被率の低下は市街化の進む郊外において著しく、宅地開発の進展に伴って減少していることがわかる。区部では1972年～1987年にかけて25%から23%と約2%の減少に対して、郊外の多摩地区のうち宅地開発の著しかった北多摩北部では61%から46%と約15%も減少している。しかし、その後の経年変化をみると、平成になってからは減少は比較的軽微であり、郊外での宅地開発が一段落している。

これらの緑被率の変化から、緑地整備による大気環境の改善を図るためには、植栽を新たに進めていくだけでなく、既存の樹林地や樹木の保全や保存を図るための施策を一層進めることが重要であると考えられる。

表 I.5.2-1 東京都におけるブロック別緑被率の経年変化（単位：％）（東京都ホームページ）

ブロック	調 査 年 度					経 年 変 化			
	昭和47年	昭和58年	昭和62年	平成3年	平成7年	47→58	58→62	62→3	3→7
都 心	17.3	14.4	14.2	14.2	14.0	-2.9	-0.2	0.0	-0.2
山 の 手	21.9	22.8	22.3	22.3	22.3	0.9	-0.5	0.0	0.0
下 町	12.1	14.7	16.6	16.2	15.3	2.6	1.9	-0.4	-0.9
南 部	18.5	20.8	21.6	21.5	21.4	2.3	0.8	-0.1	-0.1
西 部	38.2	30.4	29.0	29.0	28.9	-7.8	-1.4	0.0	-0.1
北 部	24.7	20.4	20.5	20.4	20.4	-4.3	0.1	-0.1	0.0
東 部	22.0	20.6	21.7	21.6	21.5	-1.4	1.1	-0.1	-0.1
区 部	25.0	22.5	22.6	22.5	22.3	-2.5	0.1	-0.1	-0.2
北多摩北部	60.5	45.8	43.0	42.9	42.4	-14.7	-2.8	-0.1	-0.5
北多摩南部	52.4	41.4	40.4	40.3	40.3	-11.0	-1.0	-0.1	0.0
北多摩西部	60.3	51.9	49.6	49.2	49.2	-8.4	-2.3	-0.4	0.0
南 多 摩	87.0	82.8	78.9	78.3	78.2	-4.2	-3.9	-0.6	-0.1
西 多 摩	96.6	96.2	95.0	94.8	94.8	-0.4	-1.2	-0.2	0.0
多 摩 部	85.1	81.1	79.0	78.7	78.7	-4.0	-2.1	-0.3	0.0
※東京都全域	64.5	61.1	59.8	59.6	59.5	-3.4	-1.3	-0.2	-0.1

(注) 1 ※島しょ部は除く。

2 緑被率：その地域全体のうち、実際の樹林・樹木・草などで覆われている土地の割合

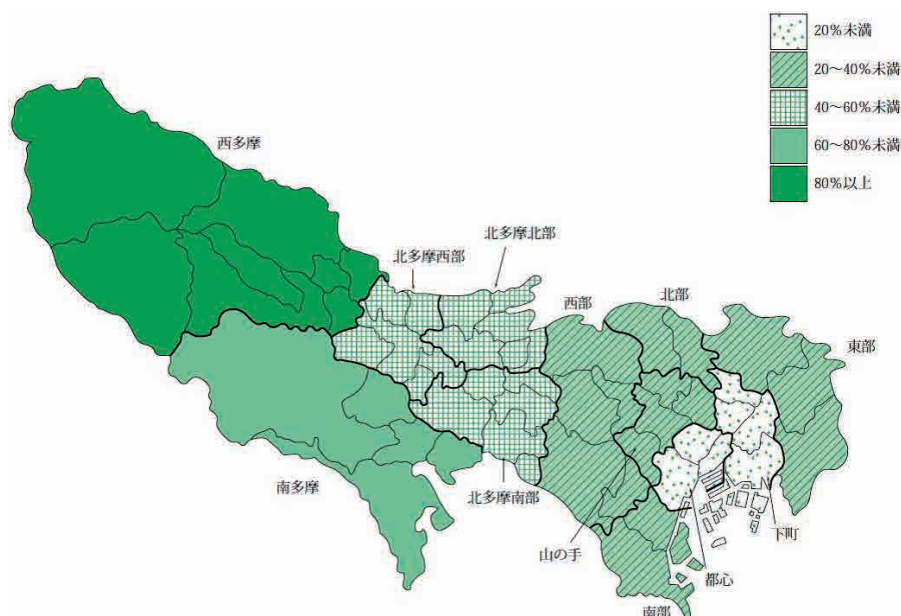


図 I.5.2-1 東京都における平成 7 年のブロック別緑被率（東京都ホームページ）

2 大気浄化能力の維持・向上

公園緑地などの都市緑地に生育する樹木や草花は、都市特有の厳しい環境条件にさらされている上、強度の剪定や刈込などの人為的な管理によっても生育や成長に制約を受けており、それが大気浄化量にも左右している。

このため、透水性舗装や浸透枡の設置などによる雨水の適正な地下浸透の促進、上空の電線や電話線などの架空線の撤去や地下の共同溝への集約化などによる樹木の生育空間の確保・拡大、肥培管理や適正な病虫害防除、適度な剪定・刈込による樹勢の回復や葉量の増加などにより樹木の活性化を図り、その樹種固有の本来の大気浄化能力を十分に発揮できるように努めることが重要である。

一方、郊外の緑地では、例えば森林については、外材の流入による長引く林業の不況、山村地域の高齢化・過疎化が適切な森林管理の実施の上でも大きな障害となっており、なかには荒廃し放置された森林も多い。また、農耕地についても、長引く減反政策と農業の後継者不足の問題が大きく、必ずしも適切な管理がなされているとはいえない状況にある。

このため、市街地を中心に大気浄化植樹を進めるほか、森林や農耕地などの既存の緑地の有する大気浄化能力を最大限に発揮させるために、森林や農耕地を環境材として捉え、適切に維持管理を進めることが望ましい。

2-2 都市域における緑被の拡大

- (1) 土地の制約の大きい都市市街地ではあるが、用途の特定できないような空間も多く、その相当部分は工夫次第で新たな植栽が可能である。
- (2) 都市域での地価の高騰を考慮すると、新たに公共用地として取得し整備することが今後ますます困難になることから、市民緑地や緑化協定等の既存の制度を活用しながら、地域制緑地を拡大・展開していくことが望まれる。
- (3) また、今後、新たに緑地を拡大し整備していくための一つの方法として、従来ほとんど利用されることのなかった屋上・壁面等の建築空間での緑化の推進が期待される。

解 説

1 緑地の現状と植栽余地－都市公園等整備状況、緑地保全・緑化の制度、植栽可能空間

環境庁（現環境省）（1988～1989）は、都市における緑地の現状と新たな植栽可能空間を把握するために、大都市と地方の中小都市をモデル地区として、土地利用別の緑被面積などを調査した。その結果の一部を表 I.5.2-3、図 I.5.2-2 に示す。これは、都市の中で土地利用類型別（戸建住宅、集合住宅など）に調査区域を設定し、その区域内で空中写真の判読及び現地調査を行って、土地利用類型別に一敷地当たりの面積と、建蔽地面積、樹木緑被面積を計測した。そして、非建蔽地面積から樹木緑被面積を差し引いた面積を「新たな植栽可能面積」とした。この差し引いた面積の全てが必ずしも植栽できる空間とは限らないが、緑化の余地が十分にあると判断されたものである。

大都市と中小都市では、各土地利用・施設の有する敷地面積が元々異なっており、そのため非建蔽地面積、樹木緑被面積、植栽可能面積も異なるものの、土地利用類型別にみると、ある程度類似の傾向が認められる。

表 I.5.2-2 都市における土地利用類型別の緑被の現状と新たな植栽可能空間（環境庁、1989）

土地利用類型	大都市				地方中小都市			
	敷地面積 (m ²)	建蔽地面積 (m ²)	樹木緑被面積 (m ²)	植栽可能面積 (m ²)	敷地面積 (m ²)	建蔽地面積 (m ²)	樹木緑被面積 (m ²)	植栽可能面積 (m ²)
戸建住宅（小規模）	79	44	3	32	71	26	12	33
戸建住宅（中規模）	155	74	26	55	200	75	33	92
戸建住宅（大規模）	413	163	134	116	428	134	146	148
集合住宅	184	101	11	72	299	164	20	115
住商併用住宅	91	64	2	25	253	137	21	95
商店・業務ビル	142	102	0	40	314	192	16	106
学校・幼稚園	—	—	—	—	667	403	109	155
その他公共施設	743	346	54	343	1057	734	156	167

出典）株式会社ブレック研究所（1989）：昭和63年環境庁委託業務「大気浄化植樹手法確立のための基礎調査報告書」
 ※本調査において対象とした地域内に学校・幼稚園がなかったため、大都市における「学校・幼稚園」については該当するデータが得られなかった。

すなわち、住宅地でも規模の大きな戸建住宅は規模の小さなものよりも非建蔽地が多く、樹木緑被面積も多く、よく植栽されていることがわかる。一方、集合住宅（民間のアパート）、住商併用住宅、商店・業務ビル（いわゆる町工場を含む）などでは、樹木緑被面積が狭くほとんど植栽されていない。また、公共施設については、特に大都市では植栽可能空間が相対的に大きくなっている。都市域においては一般に新たに植栽する場所の余地がないと考えられがちであるが、実際には用途の不明な空間も多く、その相当部分は工夫次第で植栽が可能であると考えられる。

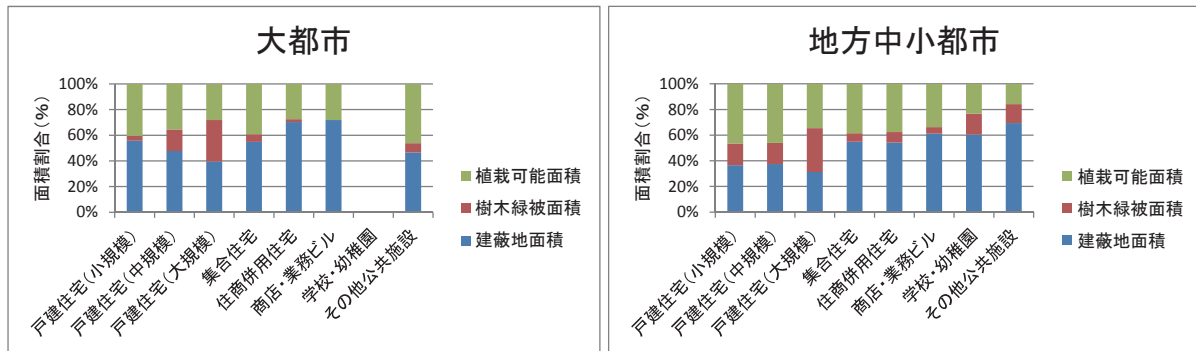


図 I.5.2-2 都市における土地利用類型別の敷地の緑被の現状と植栽可能空間（環境庁、1989）
出典）株式会社ブレック研究所（1989）：昭和 63 年環境庁委託業務「大気浄化植樹手法確立のための基礎調査報告書」

2 都市公園制度

一般に公園と呼ばれるものは、営造物公園（都市公園法に基づく都市公園に代表され、国または地方公共団体が土地の権限を取得し、目的に応じて公園の形態を創出し、一般に公開する営造物）と地域制公園（自然公園法に基づく自然公園に代表され、国または地方公共団体が土地の権限に関係なく、その区域を公園として指定し、土地利用や行為の制限等により自然環境を保全する）に大別される。都市公園法に基づく都市公園は表 I.5.2-3 に示すように様々な種類や規模のものがあ、国や地方公共団体により整備されている。

表 I.5.2-3 主な都市公園の種類（国土交通省資料）

種 類	種 別	内 容
住 区 基 幹 公 園	街区公園	主として街区内に居住する者の利用に供することを目的とする公園で、街区内に居住する者が容易に利用することができるように配置。
	近隣公園	主として近隣に居住する者の利用に供することを目的とする公園で近隣に居住する者が容易に利用することができるように配置。
	地区公園	主として徒歩圏内に居住する者の利用に供することを目的とする公園で徒歩圏内に居住する者が容易に利用することができるように配置。
都 市 基 幹 公 園	総合公園	都市住民全般の休息、観賞、散歩、遊戯、運動等総合的な利用に供することを目的とする公園。
	運動公園	都市住民全般の主として運動の用に供することを目的とする公園。
大 規 模 公 園	広域公園	主として一の市町村の区域を超える広域のレクリエーション需要を充足することを目的とする公園。
国 営 公 園		一の都府県の区域を超えるような広域的な利用に供することを目的として国が設置する大規模な公園にあっては、1箇所当たり面積おおむね 300ha 以上として配置。国家的な記念事業等として設置するものにあっては、その設置目的にふさわしい内容を有するように配置。
特 殊 公 園		風致公園、動植物公園、歴史公園、墓園等特殊な公園で、その目的に則し配置。
緩 衝 緑 地		大気汚染、騒音、振動、悪臭等の公害防止、緩和若しくはコンビナート地帯等の災害の防止を図ることを目的とする緑地。
都 市 緑 地		主として都市の自然的環境の保全並びに改善、都市の景観の向上を図るために設けられている緑地であり、1箇所当たり面積 0.1ha 以上を標準として配置。
緑 道		災害時における避難路の確保、都市生活の安全性及び快適性の確保等を図ることを目的として、近隣住区又は近隣住区相互を連絡するように設けられる植樹帯及び歩行者路又は自転車路を主体とする緑地。

3 緑地保全・緑化の制度

都市の緑の保全と緑化の推進については、国が「緑の政策大綱」や「社会資本整備重点計画」に基づいて行う施策、地方公共団体が「広域緑地計画」や「緑の基本計画」に基づいて行う施策があり、また住民や NGO/NPO などが行う緑化活動などがある。

この中で都市緑地法は、都市における緑地の保全及び緑化の推進に関し必要な事項を定めることにより、都市公園法その他の都市における自然的環境の整備を目的とする法律と相まって、良好な都市環境の形成を図り、健康で文化的な都市生活の確保に寄与することを目的としている。その施策の体系を図 I.5.2-3 に示す。

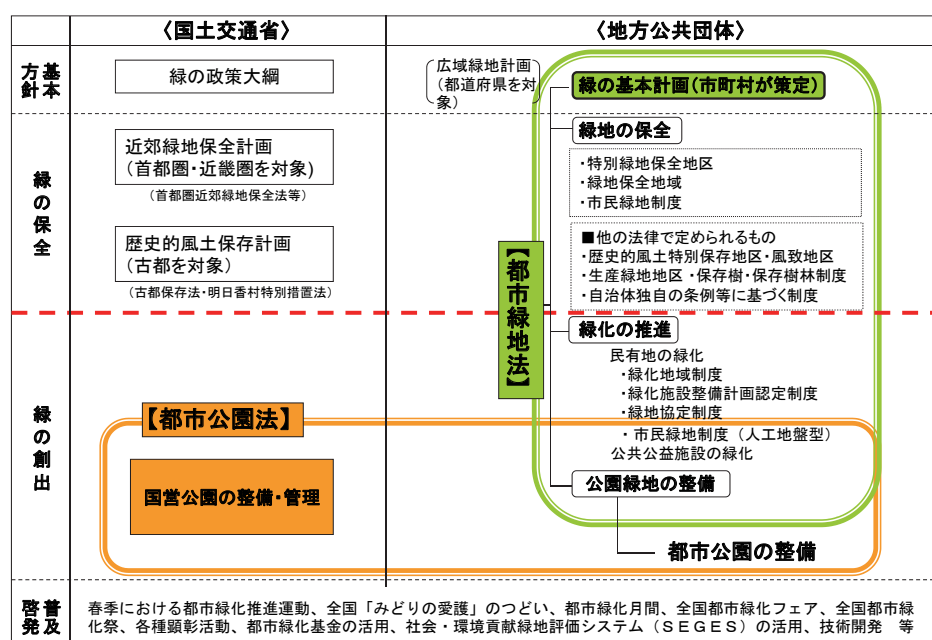


図 I.5.2-3 公園・緑地に関する施設の体系（国土交通省資料）

都市緑地の確保は、従来、土地の私権を制限した近郊緑地などの、いわゆる地域制緑地が一部にみられるものの、大部分は用地を公共用地として取得し整備する、いわゆる営造物緑地として整備されてきた。

今後もこのような方向で更に積極的に緑地整備が進められるが、都市の地価高騰を考慮すると、緑地の保全や緑化を全て営造物緑地の整備に期待することは難しい。

このため、表 I.5.2-4 に示すような緑地保全・緑化に係る制度を活用して地域性緑地の整備拡大を図ることも、今後の都市の緑地整備の上で重要な課題となっている。

表 I.5.2-4 都市の緑に関する制度（国土交通省資料より）





第6章 大気浄化に適した植物

1. 大気浄化に適した植物の条件

- (1) 大気浄化に主眼をおいた緑地整備（大気浄化植樹）を進める上で必要な樹種の条件として、まず、大気浄化効果や大気汚染との関連から、
- ① 大気汚染物質の吸収能が高いこと
 - ② 大気汚染に対して耐性（抵抗力）があること
 - ③ 環境条件や植物体の生理的変動によって吸収能が影響されにくいこと
- また、都市緑化において一般的に求められる植栽木の条件として、
- ④ 都市特有の劣悪な環境に耐える適応性の高い樹種であること
 - ⑤ 景観的に優れ、住民嗜好にもあった鑑賞性の高い樹種であること
 - ⑥ 移植や維持管理が容易で剪定に耐える樹種であること
 - ⑦ 市場性に優れ、比較的安価で調達が容易な樹種であること
- (2) なお、上記のような条件に適合した樹種を採用するとともに、その樹種固有の本来の浄化能力を十分に発揮できるように、可能な限り健全な生育を保つ必要がある。

解説

1 汚染ガス吸収能の高い樹種

大気浄化植樹にあたり、そのために樹種選定の条件として最も重要なのは大気浄化能力が高いことである。

植物の大気浄化能力は、単葉におけるガスの吸収能率とその季節変動、葉量とその季節変動（着葉期間）など、様々な要因の総和として求められる。その中でも重要なのは、単葉における汚染物質の吸収能率と樹木の葉量であり、吸収能率がよいほど、葉量が多いほど、樹木の大気浄化能力は大きい。一般に、前者は落葉樹の方が常緑樹よりも大きく、後者は常緑樹の方が落葉樹よりも多いと考えられている。また、吸収能率は光合成速度と密接な関係があり、一般に光合成速度が大きく、成長の速い樹木が吸収能率も高いと考えられる。

光合成速度の季節変動については、常緑樹では植物の休眠期である冬季も夏季の1/2～1/3程度の光合成を行っているといわれているが、落葉樹は晩秋に葉を落とし翌春になって新しい葉が展開するまでの期間は落葉してしまっているため、この間は光合成を行っていない。光合成速度は、一般に春に、気温の上昇とともに上昇し、夏季を中心に高い水準を維持した後、秋になると徐々に低下して冬には最低になるというパターンに沿っている。しかし、樹種によっては、一年を通じてあまり変化がないもの、春～夏に光合成のピークがくるもの、夏～秋にピークがくるものなど、樹種によりその季節変動は多様である。

現在のところ、このような様々な要因を考慮して樹木の総量としての大気浄化能力を測定・推定した研究例はほとんどなく、一般的には単葉における汚染ガス吸収能力の大きさと大気浄化能力を比較している。

大気浄化機能の高い植物を検索する方法として、植物体のガス吸収能力の指標である葉面拡散抵抗を測定する方法がある。藤沼ら（1985）は、野外条件下で広葉樹113種（落葉広葉

樹 78 種、常緑広葉樹 35 種) の成葉で水蒸気拡散型の気孔開度測定器 (ポロメーター) で葉面拡散抵抗を測定するとともに、気孔密度を調べた。その結果、葉面拡散抵抗は図 I.2.2-4 (p24) に示したように落葉広葉樹よりも常緑広葉樹のほうが大きい傾向がみられ、気孔開度や汚染ガスの吸収能力は常緑広葉樹よりも落葉広葉樹のほうが大きい傾向があることが示唆された。このように、葉面拡散抵抗の測定により推定した単葉における広葉樹のガス吸収能力の検索結果を表 I.6.1-1 に示す。この結果は、あくまで単葉レベルで葉面拡散抵抗を指標にしてガス吸収能力を比較したものであり、実際には、その季節変動、葉量やその季節変動 (着葉期間) などを総合的に評価する必要がある。

表 I.6.1-1 葉面拡散抵抗により推定した単葉における広葉樹のガス吸収能力 (藤沼ら、1985)

ガス吸収能力	常緑広葉樹	落葉広葉樹
高	マルバユーカリ、オオムラサキ、ニシキギ、ヤマモモ	キリ、ケヤキ、シンジュ、コウゾ、センダン、エノキ、オニグルミ、キササゲ、テウチグルミ、ムクゲ、ツルウメモドキ、クヌギ、カキノキ、モモ、ミズナラ、トサミズキ、ヤマハギ、シダレザクラ、ナンキンハゼ、オオヤマザクラ、ユリノキ、ニワトコ、エゴノキ、レンギョウ、ニセアカシア、シラカバ、アメリカマンサク、シデコブシ、ミズキ、ハナズオウ、マユミ、イチヨウ、サルスベリ、キブシ、ハルニレ、ヤブウツギ、アオギリ
中	チャノキ、サネカズラ、サンゴジュ、ムベ、ルリヤナギ、クロガネモチ、タイサンボク、ヒメタイサンボク、マルバシャリンバイ、スダジイ、シラカシ、ウバメガシ、クスノキ、モッコク、ヤツデ、アラカシ、マテバシイ	ソメイヨシノ、スイカズラ、イヌシデ、カルミヤ、サトザクラ、イヌエンジュ、オオデマリ、モミジバフウ、ハンノキ、アケビ、オオベニガシワ、ヌルデ、ノウゼンカズラ、ウメモドキ、ギンカエデ、ヤマツツジ、コナラ、ウメ、アベリア、オオバヤシャブシ、コブシ、ポーポーノキ、カシワ、トチノキ、カリン、クリ、ヤマフジ、リョウブ、ダンコウバイ、トウカエデ、スズカケノキ、ナツハゼ、ライラック、ヘメヤシャブシ、アカカエデ、イヌブナ、クロモジ
低	タブノキ、ベニカナメモチ、トウネズミモチ、ユズリハ、シロダモ、タラヨウ、キンモクセイ、サザンカ、アオキ、ヤブツバキ、ヒサカキ、ヒイラギナンテン、サカキ、アセビ	ダイオウグミ、キツタ、ゴヨウツツジ、ハクウンボク

注 1) 植物の葉面拡散抵抗をポロメーターにより測定。

注 2) 対象樹種は広葉樹で、42 科 113 種 (常緑広葉樹 35 種、落葉広葉樹 78 種)。

注 3) ガス吸収能力は、葉面拡散抵抗により、「高」(1s/cm 未満)、「中」(1s/cm 以上 2s/cm 未満)、「低」(2s/cm 以上) に 3 区分。

2 ツル植物の汚染ガス吸収能

建築空間の壁面、高速道路や鉄道の高架下の壁面など、環境条件の厳しい場所では、一般にツル植物がよく使用されるが、ツル植物の大気浄化能力についてはほとんど調べられていない。

表 I.6.1-2 は、数少ないデータのうちツル植物のアサガオ、ブドウ等のみかけの光合成速度を他の植物と比較したものであるが、みかけの光合成速度 (純光合成速度) にそれほどの違いはな

く、他のツル植物についてもほぼ同程度であろうと推察される。

表 I.6.1-2 ツル植物とその他の植物の光合成速度の比較（藤沼ら、1985）

区分	植物	みかけの光合成速度 (mgCO ₂ /dm ² ・h)
落 葉 広 葉 樹	ポプラ	16
	ケヤキ	10 ~ 13
	ソメイヨシノ	14
常 緑 広 葉 樹	スダジイ	9 ~ 12
	クスノキ	12
	ツバキ	8
草 本	イネ	40
	ダイズ	27
	ソラマメ	18
ツ ル 植 物	アサガオ	13 ~ 15
	ブドウ※	9 ~ 19
	キュウリ※	23 ~ 32
	カボチャ※	17
	スイカ※	21
	メロン※	17

注) 光飽和、最適温度付近、空気レベル (300 ~ 350ppm) 条件での測定値
 出典) 石津純一 (1986): 図解生物学データブック、丸善
 ※) ※印のデータは上記出典と異なり、他の文献から追記した

また、表 I.6.1-3 は、先にあげた国立公害研究所（現独立行政法人国立環境研究所）が野外条件下で葉面拡散抵抗を測定したデータのうち、ツル植物と主要な常緑広葉樹、落葉広葉樹の一部を抜粋して比較したものである。この結果によれば、同じツル植物でもかなりの変動がみられるが、ツル植物の葉面拡散抵抗は、落葉広葉樹の多くのものより大きく、常緑広葉樹よりも小さい傾向がみられる。したがって、ツル植物のガス吸収能力は落葉樹よりは劣るものの、常緑広葉樹と同程度か、むしろそれよりも優れていることが示唆される。

表 I.6.1-3 ツル植物と落葉広葉樹・常緑広葉樹の葉面拡散抵抗の比較（藤沼ら、1985）

区分	植物	葉面拡散抵抗 (s/cm)
落 葉 広 葉 樹	ケヤキ	0.46
	ユリノキ	0.82
	イチョウ	0.93
	ソメイヨシノ	1.01
	コナラ	1.28
常 緑 広 葉 樹	ヤマモモ	0.98
	シラカシ	1.65
	クスノキ	1.80
	マテバシイ	1.98
	ヤブツバキ	3.34
ツ ル 植 物	ツルウメモドキ	0.63
	スイカズラ	1.06
	アケビ	1.16
	サネカズラ	1.20
	ノウゼンカズラ	1.23
	ムベ	1.26
	ヤマフジ	1.60
	ノダフジ	2.48

注) 葉面拡散抵抗はガス吸収能力の指標であり、この値が小さいほど吸収能力は大きい。

3 大気汚染に対して耐性のある樹種

大気浄化能力を有するといっても、植物は光合成に伴い CO_2 とともに汚染物質を同時に吸収しているだけで、大気汚染物質を好んで吸収しているわけではない。このため、樹種ごとの代謝特性などに応じて、汚染物質濃度がある一定の閾値以上のレベルに達すると、生理活性が徐々に低下し、葉面の可視障害や光合成などの生理活性、成長そのものが阻害される。

東京都農業試験場の久野らが行った都市の緑化樹木に対する大気汚染の影響を調べた実験によれば、戸外で育成された植物と汚染された大気を浄化した温室内で育成された植物の光合成速度を比較したところ、戸外の植物では温室内の浄化空気室の植物に比べて光合成速度が 50% 程度も低下しており、なおかつ葉面の黄変や異常な落葉、成長の鈍化などの影響が生じた。

したがって、大気浄化植樹に導入する植物には、大気浄化能力の高い樹種を採用するとともに、大気汚染状況下でも葉面の可視障害や生理活性・成長の低下などが表れにくい耐性のある樹種であることが求められる。

久野ら（2003）は、24 種類の都市緑化樹木を対象に大気浄化能力と大気汚染に対する耐性の評価を行った結果、表 I.6.1-4 に示すように、大気浄化能力は、常緑広葉樹よりも落葉広葉樹の方が全般的に浄化能力が高く、一方大気汚染に対する耐性は、落葉広葉樹よりも常緑広葉樹の方が強い傾向があることが明らかにされた。また、ポプラやサカキが端的に示しているように、大気浄化能力の大きい樹種は大気汚染に対する耐性が弱く、大気汚染に対する耐性が強い樹種は大気浄化能力が小さい傾向を示した。

これらの結果から、大気浄化植樹の樹種選定にあたっては、植栽場所の大気汚染状況を十分考慮することが重要であり、幹線道路の沿道などの大気汚染濃度が高い場所では浄化能力が多少低くても大気汚染に対する耐性の強い樹種を選定し、大気汚染濃度が比較的低い場所では、大気汚染に対する耐性が多少弱くても大気浄化能力の高い樹種を用いるなど、大気汚染状況に応じてケースバイケースで対応するのが望ましいと考えられる。

表 I.6.1-4 24 種類の樹木の大気浄化能力と大気汚染に対する耐性の比較（久野ら、2003）

大気浄化能力	浄化能力						
	大						小
落葉広葉樹	ポプラ	エゴノキ ケヤキ エノキ	クヌギ コナラ ミズキ ヤシャブシ	ハナミズキ ガマズミ コブシ ムクノキ	トウカエデ	イチョウ	
常緑広葉樹			シャリンバイ	シラカシ サンゴジュ スダジイ	ヤブツバキ シロダモ サザンカ	ヤマモモ カクレミノ マテバシイ	サカキ
大気汚染耐性	耐性						
	強						弱
落葉広葉樹		イチョウ トウカエデ	ミズキ ヤシャブシ ムクノキ	エゴノキ ハナミズキ エノキ	クヌギ コナラ コブシ ガマズミ	ケヤキ	ポプラ
常緑広葉樹	サカキ	マテバシイ ヤマモモ	カクレミノ サザンカ サンゴジュ	シャリンバイ ヤブツバキ シラカシ	スダジイ シロダモ		

4 都市特有の立地環境と植物の生理的応答

大気と葉面とのガス交換の場である気孔は、光強度、水ストレスあるいはガス状大気汚染物質の存在などの環境要因の変動によって、その開閉運動が制御されている。このため、気孔開度がこのような環境要因によって影響されにくいことが大気浄化能力の高い植物の一つの条件になる。

藤沼ら（1985）は、葉面拡散抵抗を用いた大気浄化に適した樹木の検索の過程において、対象とした113種の樹種のなかから34種を無作為に選定し、野外条件下で暗条件の処理（10分間暗箱で被覆）し、処理前後の葉裏面の葉面拡散抵抗を比較した。その結果、モモ、サンゴジュ、サザンカなどは処理前後で葉面拡散抵抗はほとんど変わらなかったが、テウチグルミ、ハルニレ、スダジイ、レンギョウ、モッコクなどは処理後の値が処理前に比べて5～10倍以上に大きくなり（気孔が閉じることを意味する）、気孔閉鎖の応答性が樹種によって大きく異なっていることを確認している。

この気孔開度の応答性は、落葉広葉樹と常緑広葉樹の差異、光要求性、あるいは処理前の葉面拡散抵抗の値との間にいずれも相関関係が認められないことから、環境変化に対する気孔開度の応答性はそれぞれの樹種に固有の特性であるとしている。

したがって、大気浄化植樹に用いる樹種としては、大気浄化能力がこのような環境変化に対して影響を受けにくい樹種を選定することが重要である。しかし、環境の変化が気孔の開閉運動に及ぼす応答性を調べたデータはまだ決して多くはなく、実際には植物の光要求度（陽樹／陰樹）、耐乾性、耐大気汚染性などの樹種特性を考慮しながら選定することになる。

5 粒子状汚染物質の捕捉能の高い樹種

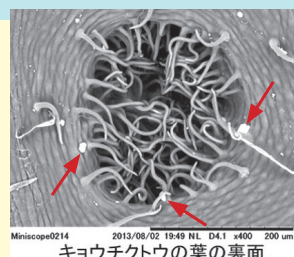
樹木の葉による粒子状汚染物質の捕捉効果については、主として1970年代から1990年代にかけて本多俣、辰巳修三、三澤彰、千葉喬三らによって精力的に研究が行われ、捕捉効果が大きい樹種としては、枝葉がよく繁茂する樹種で葉面構造や葉の展開機構が複雑な樹種であるとされ、具体的には鋸歯が複雑で、葉脈や葉柄に凹凸が多く、毛が密生するなど、葉の形態が複雑な樹種ほど、粒子状汚染物質を捕捉しやすく、流亡しにくいと考えられている。

この種の研究は2000年以降ほとんど行われず、研究も進展しなかったが、この数年、越境大気汚染物質による植物や人間への影響の面に着目した研究が進められつつある。近年のPM2.5などの微細な粒子状物質との関連では、組織レベル・細胞レベルの微細構造に着目した研究により、葉面における微細構造がサブミクロンサイズの微細な粒子状物質の吸着に影響を与えていることが示唆されており、葉表面への吸着は表面に均一に分布するのではなく凝集した粒子塊が散見されること、また、気孔周辺の毛状突起が粒子状汚染物質の気孔内への侵入を阻止したり、葉面におけるワックスが葉面への沈着を防いでいることなどが確認されつつある。

コラム 樹木の葉の表面の微細構造と粒子状物質の吸着

走査型電子顕微鏡を用いた微細な葉の表面構造の観察によると、粒子状物質は表面に均一に分布するのではなく、凝集した粒子塊が疎らに散見され、写真のキョウチクトウの例にみるように毛状突起が粒子状物質の気孔内への侵入を阻止する働きがあることなどが確認されている。

写真）島根大学総合科学研究支援センター
「細胞の世界：ミクロの世界を探る」より



6 大気浄化植樹に適した樹種

以上のように、大気浄化植樹の実施にあたっては、大気汚染状況や都市特有の厳しい環境条件（生育条件）にも生育や成長があまり左右されず、その樹種固有の本来の浄化機能を十分に発揮できるような樹種選定が重要である。

1987～1988年にかけて環境庁（現環境省）に設けられた「大気環境に関する緑地機能検討会」では、植物の大気浄化能力とそれぞれの樹種特性（大気汚染に対する耐性、耐乾性、耐陰性など）を照らし合わせながら、「大気浄化植樹の樹種リスト」を作成した。

本マニュアルでは、このリストを基本に建築空間緑化（屋上緑化や壁面緑化）や道路緑化で多用されている樹種を追加し、大気汚染濃度レベルの比較的高い場所（工場や幹線道路周辺を想定）と濃度レベルの比較的低い場所（住宅地などを想定）に分けて、表 I.6.1-6（p78）に示した。

また、粒子状汚染物質の捕捉効果に適した樹種としては、具体的にどのような樹種が適しているのかの樹種リストは現段階では挙げられないが、既往の知見を踏まえると、表 I.6.1-5 で示すような葉の特性を有する植物が望ましいと考えられる。

表 I.6.1-5 粒子状汚染物質の捕捉に適した枝葉の特性と植栽構成

粒子状汚染物質の捕捉に適した樹種
<枝葉の特性> 枝葉がよく繁茂する樹種で、葉面構造や葉の展開機構が複雑な樹種。具体的には、鋸歯が複雑で、葉脈や葉柄に凹凸が多く、毛が密生するなど、形態が複雑な樹種ほど、粒子状汚染物質を捕捉しやすく、捕捉された粒子が流亡しにくいと考えられる。また、主脈を境にして葉が表面に対して受け皿のように V 字型に折れ曲がっている葉が適していると考えられる。
<捕捉効果の大きい植栽構成> 植栽にあたっては、できるだけ汚染物質の発生源に近い道路側に植栽し、葉群の隙間が開かないように樹間距離を狭めて密植するほか、平面的には単列でなく複数列の植栽を行ったり、垂直的には常緑樹と落葉樹、高木と中低木及び地被類などを適宜組み合わせることで多層構造のボリュームのある複合植栽が効果的であると考えられる。
<剪定や刈込のできる樹種> 適宜、剪定や刈込を行うと、枝葉の密度を高めることができるため、維持管理にあたって剪定や刈込に耐える樹種が適している、剪定や刈込により絶えず枝葉を更新すれば、枝葉の活力度も高めることができ、一層効果的であると考えられる。

表 I.6.1-6 大気浄化植樹のための樹種リスト（関東地方周辺を想定）

	大気汚染の濃度レベルが低い地域 (住宅地など)	大気汚染の濃度レベルが高い地域 (工場、幹線道路周辺など)
高木	(常緑樹) ヤマモモ、ウバメガシ、シラカシ、アラカシ、スダジイ、マデバシイ、タイサンボク、クスノキ、タブノキ、クロガネモチ、モッコク、カクレミノ、カイズカイブキ、モチノキ、サンゴジュ (落葉樹) ケヤキ、エノキ、ムクノキ、ハルニレ、キリ、イチョウ、クスギ、アキニレ、ユリノキ、シンジュ、アオギリ、サルスベリ、クリ、ヤマモミジ、コブシ、ハクモクレン、ヤマザクラ、ソメイヨシノ、イロハモミジ、イヌシデ、アカシデ、トチノキ、エンジュ、トウカエデ、コナラ、スズカケノキ、モミジバズカケノキ、センダン、カキノキ、シダレザクラ、ナンキンハゼ、エゴノキ、ニセアカシア、ミズキ、サトザクラ、オオシマザクラ、ハンノキ、モミジバフウ、カシワ、リョウブ、モモ 以上の他これらに準じる樹種	(常緑樹) ヤマモモ、ウバメガシ、シラカシ、アラカシ、スダジイ、マデバシイ、タイサンボク、クスノキ、タブノキ、クロガネモチ、モッコク、カクレミノ、カイズカイブキ、モチノキ、サンゴジュ (落葉樹) イチョウ、クスギ、アキニレ、ユリノキ、シンジュ、アオギリ、トウカエデ、コナラ、スズカケノキ、モミジバズカケノキ、モミジバフウ、センダン、ナンキンハゼ、ニセアカシア、サトザクラ、オオシマザクラ、ハンノキ、カシワ 以上の他これらに準じる樹種
中木	(常緑樹) イヌツゲ、マサキ、ネズミモチ、キョウチクトウ (落葉樹) ウメ、ニワトコ、ハナズオウ、マユミ、シデコブシ、シモクレン 以上の他これらに準じる樹種	(常緑樹) イヌツゲ、マサキ、ネズミモチ、キョウチクトウ (落葉樹) ニワトコ、マユミ 以上の他これらに準じる樹種
低木	(常緑樹) オオムラサキ、ヤマツツジ、シャリンバイ、マルバシャリンバイ、ヤツデ、サツキ、ヒラドツツジ、アベリア、チャノキ (落葉樹) ムクゲ、レンギョウ、トサミズキ、ヒュウガミズキ、ヤマハギ、ニシキギ、ハコネウツギ、オオデマリ、ウメモドキ 以上の他これらに準じる樹種	(常緑樹) オオムラサキ、シャリンバイ、マルバシャリンバイ、ヤツデ、サツキ、ヒラドツツジ、アベリア、チャノキ (落葉樹) ムクゲ、レンギョウ、ハコネウツギ、オオデマリ、ウメモドキ 以上の他これらに準じる樹種
ツル植物	(常緑樹) サネカズラ、ムベ、キツタ、テイカカズラ、セイヨウキツタ (落葉樹) ツルウメモドキ、フジ、ヤマフジ、スイカズラ、ノウゼンカズラ、アケビ、ミツバアケビ、ナツツタ 以上の他これらに準じる樹種	(常緑樹) ムベ、キツタ、セイヨウキツタ、テイカカズラ (落葉樹) 以上の他これらに準じる樹種

注) 造園材料としての樹木は、造園上の使いやすさなどから次のように樹高のおおよその目安によって高木・中木・低木に3区分した。

高木：樹高3m以上、中木：1m以上3m未満、低木：1m未満

ただし、生物的特性がこれらを越えるものであっても、生垣、刈込物のように剪定、刈込によって樹高、枝張などが調整され、造園上では中木・低木扱いとすることが多い樹種については、それぞれ中木・低木とした。

注) 網かけで表示している樹種は、東京都内及び近県における事例調査において屋上緑化、壁面緑化など建築空間緑化に多用されている樹種、また下線で表示している樹種は、沿道緑化などの道路緑化で多用されている樹種を示す。

注) 以上の他に大気浄化能力は低いが大気汚染に対する耐性が強く、被陰などにもよく耐えて道路緑化等に多用されている強靱な樹種には次にあげるようなものがある。上記の種群を主に植栽し、これらの樹種を混じえることは差し支えない。

高木：トウネズミモチ、サカキ、ユズリハ、ヒメユズリハ、シロダモ

中木：カナメモチ、サザンカ、ヒサカキ、ヤブツバキ、ヒイラギモクセイ、ヒイラギ

低木：ハマヒサカキ、ヒイラギナンテン、アオキ、アセビ、トベラ、ジンチョウゲ、クチナシ

注) ツル植物については、この表に示したものの以外は大気浄化能力は調べられていないが、壁面緑化に多用される植物には次のようなものがある。

常緑樹：イタビカズラ、カロライナジャスミン、ツルニチニチソウ、ツルマサキ、ヘデラ類

落葉樹：シナサルナシ（キウイフルーツ）、ツタ類、ツリガネカズラ、ツルバラ、ブドウ

出典) 環境庁大気保全局大気規制課監修・大気環境に関する緑地機能検討会編集（1989）：大気浄化植樹指針－緑のインビテーション－

2. 大気浄化植樹の樹種選定

- (1) 大気浄化植樹において樹種を選定する際には、植栽を行う当該地域の諸条件と樹種特性をよく考慮した上で選定する。
- (2) 特に大気汚染濃度の比較的低い郊外の住宅地やこれと対照的な大気汚染濃度の高い都心の幹線道路周辺などでは、大気汚染に対する耐性ばかりでなく、緑地保全や緑化に求められる機能がもともと大きく異なることから、地域特性に十分配慮する必要がある。
- (3) 地域特性にあった地域の在来種（地域の潜在自然植生の構成種など）を選定し、健全な生育を維持しながら、その樹種本来の浄化能を十分に発揮させることが重要である。
- (4) 樹種選定にあたって、留意すべき樹種特性は、以下のように多岐にわたっている。

大気浄化能力に係る特性	ガス状汚染物質の吸収能、粒子状汚染物質の捕捉能
生育環境に係る特性	大気汚染に対する耐性、乾湿度、光要求性、耐風性、耐潮性
用途等に係る特性	植栽用途、耐剪定性、鑑賞性、成長速度
その他の特性	移植難易度、維持管理難易度、調達難易度（市場性）

解 説

大気浄化植樹を行う際に最も心がけることは、

- ① 大気浄化能力の比較的高い植物を主体に樹種選定すること
- ② 単位土地面積あたりの葉量を可能な範囲で多くすること
- ③ 植栽した植物を健全に生育させ、本来の大気浄化能力を十分発揮させること

の3点であり、これにあった樹種選定をすることが重要である。このため、大気浄化能力の高い植物を、その植物が健全な生育を示す範囲内で、できるだけ葉量が多くなるよう、常緑樹と落葉樹、高木と中低木を組み合わせた多層林形態の複合植栽が望ましい。

しかし、緑地整備の目的は大気浄化ばかりではない。快適な生活環境の確保や美しい都市景観の創造、憩いややすらぎのある場の創出なども都市緑地の重要な機能である。また、植栽場所の空間的な制約や温度・日照・風・水分といった都市特有の厳しい環境条件についても十分配慮する必要がある、これを怠ると健全な生育は望めず、本来の大気浄化能力が発揮できない。

このため、以下に大気汚染濃度の相対的に低い住宅地と局地汚染などがひどい幹線道路周辺をとりあげ、樹種選定の要領を例示した。

1 大気汚染濃度の低い地域（住宅地などの場合）

樹種選定の視点

① 大気汚染の状況

大気汚染濃度が相対的に低いことから、大気汚染に対する耐性は多少低くとも大気浄化能力の高い樹種を中心に選定する。敷地周辺の接道部は生垣が望ましいため、生垣に適する樹種を導入する。

② 快適性の確保

宅地の庭に樹木が繁茂し過ぎると日射量が低下し居室の日照条件が阻害されるため、植栽場所や植栽木の種類や形状もある程度制限される。

限られた敷地の中で単位土地面積あたりの葉量を増加させるためには、植栽構成をできるだけ多層構造にするのが望ましい。

このため、i) 主木などには落葉広葉樹などを用いる、ii) 中低木には耐陰性のある樹種を選定する、iii) 樹種特性としてあまり大きくならない樹種や剪定や刈込ができる樹種を選定する、などが重要である。

③ 個人の嗜好（庭の美的価値）

大気浄化能力の高い樹種を多用するが、四季の変化に富んだ鑑賞性の高い樹木（春の花、初夏の新葉、秋の紅葉や果実）を多く取り入れるのが望ましい。

④ 維持管理

快適な居住環境の維持のためには、定期的な剪定や刈込が不可欠である。なるべく維持管理に手間がかからないように、i) 剪定や刈込に耐える樹種、ii) 成長が速過ぎる樹種や大きくなり過ぎる樹種は選ばない、iii) 病虫害や気象害に強い強健な樹種。

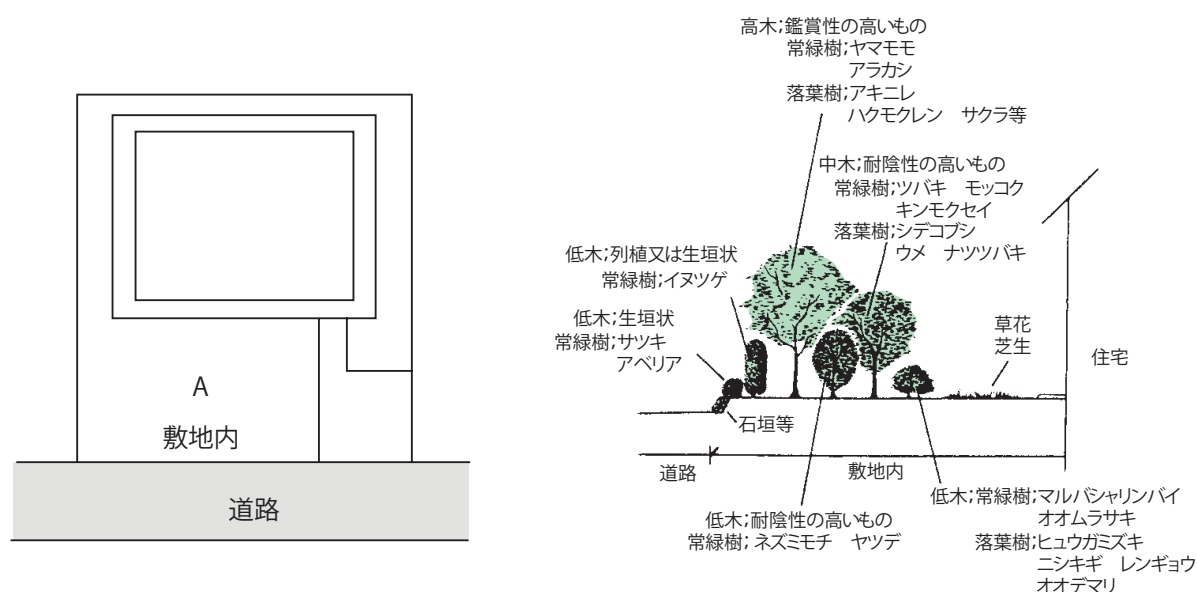


図 I.6.2-1 住宅地などにおける樹種選定の視点

2 大気汚染濃度の高い地域（幹線道路沿道などの場合）

樹種選定の視点

① 大気汚染の状況

幹線道路沿いなどは自動車排出ガスによる局地汚染により汚染物質の濃度が高く、植物の生理活性や成長を阻害しやすいため、大気汚染に対する耐性のある樹種を中心に選定する。

② 多層構造の複合植栽

大気浄化の効果を高めるためには、より一層の葉量の確保が重要であり、常緑樹と落葉樹、高木と中低木を組み合わせた多層構造の複合植栽が望ましい。このため、高木には落葉樹をまじえ、中低木には耐陰性のある樹種を中心に選定する。また、道路側は生垣状の植栽により遮蔽効果を期待するため、常緑樹を主体に選定する。

③ 道路景観への配慮

大気浄化能力の高い植物を多用することが重要であるが、地域の風土や景観に配慮した樹種を用いるのが望ましい。

④ 維持管理

幹線道路の沿道においても維持管理が不可欠であるが、可能な限り手間がかからないよう、
i) 剪定や刈込に耐える樹種、ii) 病虫害や厳しい環境に耐える強健な樹種 などを選定する。
なお、できるだけ大きくなる樹種を伸び伸びと育てるのが理想であるが、住民からの苦情などが多い場合には、当初からあまり大きくならない樹種を選定するのもやむを得ない。

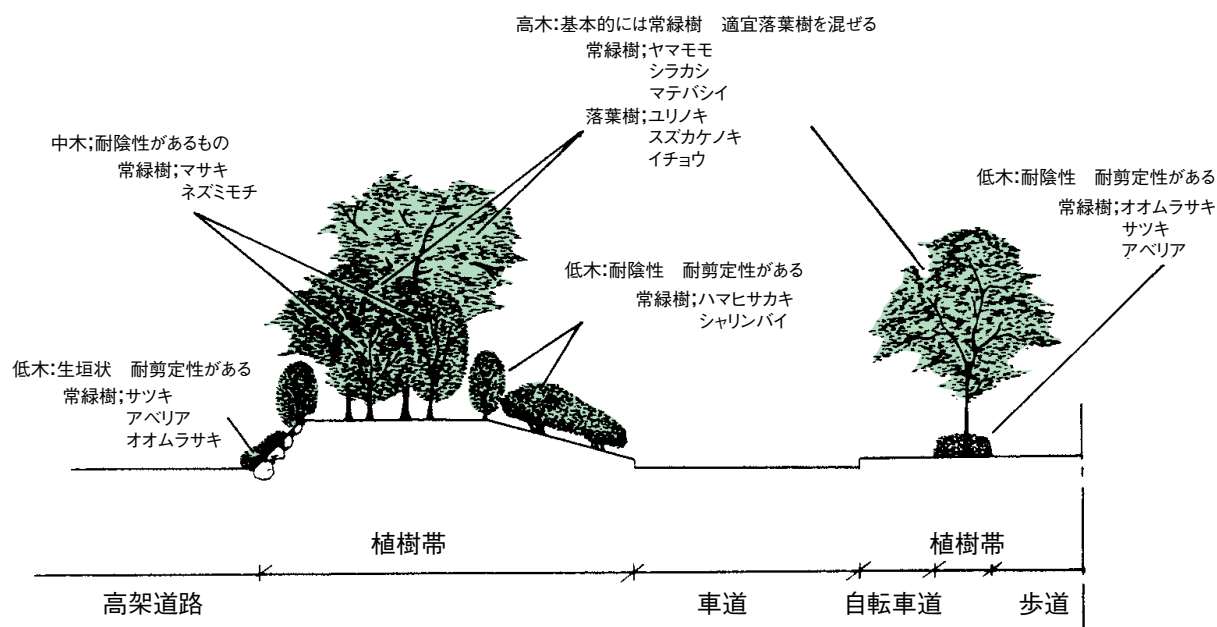


図 I.6.2-2 幹線道路沿道における樹種選定の視点



第 7 章 大気浄化植樹の方法

1. 大気浄化植樹の基本的考え方

- (1) 大気浄化植樹にあたっては、植栽スペースを検討した上で、大気浄化（大気環境保全）を植栽目的の主眼におくが、個々の敷地・施設に求められている本来の機能を損なうことのないよう、調和のとれた整備を行う。生活環境の保全、特に快適環境形成に係わる機能その他、大気浄化機能以外の様々な機能にも十分配慮する。
- (2) 大気浄化に適した樹種を中心に地域特性にあった在来種を選定し、しかも大気浄化効果が最大となるよう、葉量を総量として可能な限り確保するため、高木・中低木を組み合わせた多層構造の植栽構成、植栽密度とするのが望ましい。
- (3) 植栽した樹木がその後その樹種本来の大気浄化能力を十分発揮できるように、健全な生育を保つことが特に重要であり、そのためには、十分な植栽基盤の整備、立地特性に応じた樹種選定、日常の適切な維持管理が重要である。

解 説

大気浄化植樹の具体的な手順を図 I.7.1-1 に示す。植栽による大気浄化の現状と植栽による効果を把握した上で、植栽場所、植栽配置を検討し、植栽方針を検討する。その上で、敷地の特性や本来機能との調整を図り、植栽樹種、植栽構成、植栽密度とその他のための生育基盤の整備方法、植栽後の維持管理方法などを検討し、実際に大気浄化植樹を行う。

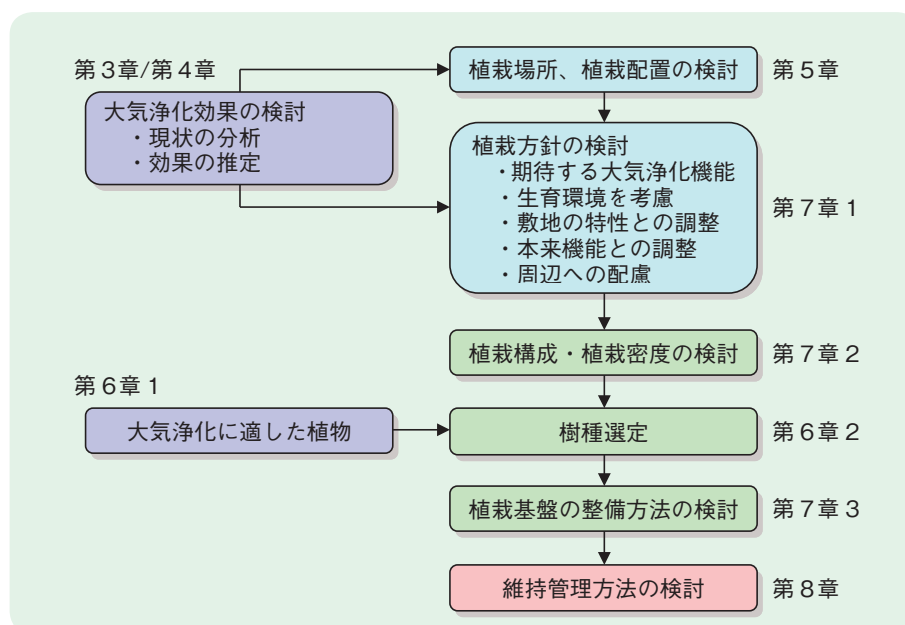


図 I.7.1-1 大気浄化植樹の具体的な手順

2. 植栽構成と植栽密度

限られた植栽地のなかで最大限の大気浄化効果をあげるためには、ガス状汚染物質の吸収や粒子状汚染物質の捕捉を司る葉の量を多く確保するという観点から、植栽にあたっては、以下のような事項に留意する。

- (1) 植栽構成のうち垂直構成は、可能な限り高木・中木（小高木）・低木を組み合わせた多層構造とするのが望ましい。
- (2) 樹種構成は、前掲リスト（p78）に示す樹種を中心に構成するが、地域の景観や風土的特性や植栽地の敷地や施設に本来的に求められる、多岐にわたる様々な機能にも配慮して樹種を選定する。また、落葉樹、常緑樹を適宜混じえるのが望ましいが、局地的汚染など、特に遮蔽効果が求められる場所や冬季の効果を期待する場所では、常緑樹を多用する。
- (3) 植栽密度は、樹種による成長速度や植栽後の経過に伴う成長にも考慮する必要があるが、個々の樹木の健全な生育を図りうる範囲で、可能な限り高密度にするのが望ましい。

解説

1 植栽構成

- ◆多層構造の複合植栽：大気浄化効果を高めるためには、その樹種本来の大気浄化能力を十分に発揮できる範囲内で、常緑樹と落葉樹、高木と中低木を適宜組み合わせた立体的な多層構造の複合植栽が望ましい。
- ◆常緑樹と落葉樹の組み合わせ：多層構造にするという点からいえば、一般に落葉広葉樹高木を主体に適宜常緑広葉樹高木を混ぜ、中低木層には日照条件を配慮して比較的耐陰性の強い常緑広葉樹を主体に中低木を植栽する。
- ◆地域の在来種の多用：単葉レベルの大気浄化能力は、一般に常緑樹よりも落葉樹のほうが能力が高い傾向があるが、落葉樹は冬季は葉が落葉してしまうため、一年を通じてみればほとんど大差がない。重要なのは、導入する樹種が旺盛に生育し、その樹種本来の大気浄化能力を十分に発揮できることであり、その意味では地域の風土や景観にあった在来種（地域の潜在自然植生の構成種）を多用するのが望ましい。
- ◆冬季に効果があるのは常緑樹：大気が安定し、逆転層が生じる冬季には大気汚染が顕在化しやすいが、冬季における効果を期待するのであれば、常緑樹が主体の植栽構成になる。
- ◆発生源に近い場所での植栽が効果的：植物による汚染ガス吸収量は基本的には汚染ガス濃度が高いほど吸収量も多くなる、このため、道路緑化では道路側、宅地では接道部での植栽が重要であり、道路側に豊富な緑量を有する植栽帯を設けたり、接道部での生垣状植栽などが効果的である。
- ◆剪定を最小限に控え大きく伸び伸び育てる：単位土地面積当たりの効果を高めるためには、何本もの樹木を密植するよりも一本の樹木を大きく伸び伸びと育てるほうが緑量が豊富で樹勢も旺盛になり、最大限の浄化能力を発揮できる。このため、植栽空間の実状に合わせて、より大きな緑量を確保できるような植栽方法を検討するのが望ましい。
- ◆敷地に求められる本来的な機能との調整：大気浄化の観点からは、上記のような植栽構成が

望まれるが、それぞれの敷地・施設には本来の機能があり、それとの調整を図ることが重要である。特に空間的な制約の大きい場所では、成長が速い樹種（ポプラなど）は導入せず、高木でもあまり大きくならない樹種（ハナミズキなど）や剪定・刈込のきく樹種（サルスベリなど）を選定することが重要である。

2 植栽密度

- ◆**健全な生育の確保**：限られた土地面積のなかで最大限の大気浄化効果を得るためには、個々の樹木が健全な生育を維持できる範囲内で極力植栽密度を高めることが望ましい。しかし、時間の経過とともに成長し競争効果が働き個体間の優劣が生じることに留意する必要がある。
- ◆**遮蔽効果を高めるためには植栽密度を高く**：局地汚染の著しい大気汚染濃度レベルの高い場所で居住空間が隣接する場合には、植栽による遮蔽効果、拡散効果により汚染ガスが流入しにくくすることが重要であり、そのような場所では常緑樹を多用して植栽密度を高めるのが効果的である。ただし、この場合、居住空間の濃度は低減しても絶対量自体は変わらない。
- ◆**吸収効果を高めるためには植栽密度は低めに**：幹線道路沿線でも居住空間が離れている場合には、ある程度の距離減衰も期待できるため、汚染ガスが流入しやすい低密度にして、樹木を大きく伸び伸びと育て、汚染ガスをなるべく吸収・吸着させて汚染物質の絶対量を軽減することが重要である。
- ◆**敷地や施設の特性に配慮した植栽密度**：植栽密度は上記のような事項を前提とするが、基本的には都市緑地整備における一般的な植栽密度を基準として決定し、それぞれの敷地・施設の特性や本来の機能にも十分配慮して決定する。

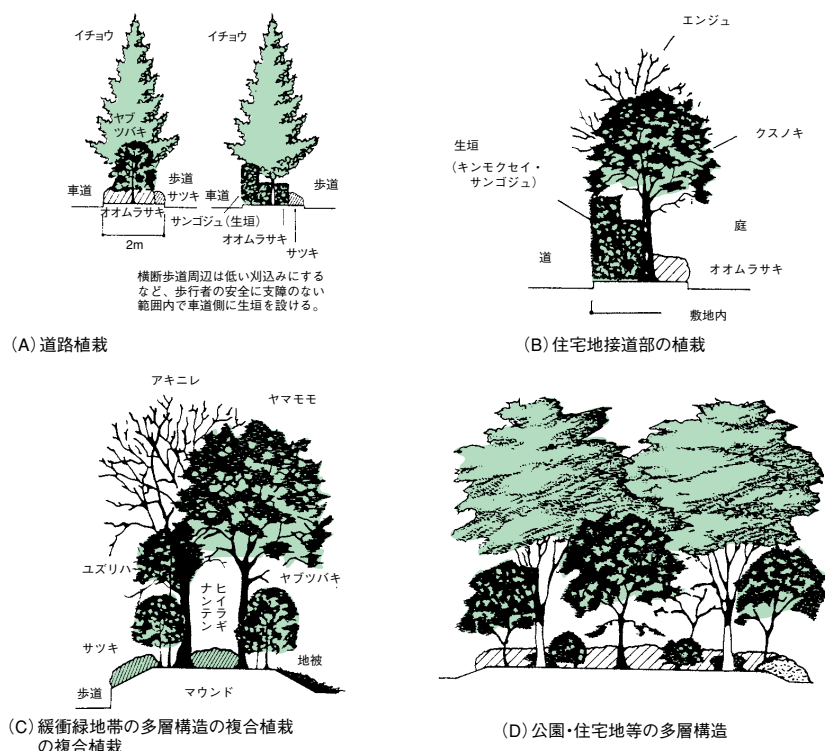


図 I.7.2-1 大気浄化植樹の植栽構成のイメージ



◀ 県道 276 号の新浦安住宅団地に隣接する緩衝緑地帯

沿道の住宅団地や業務ビルの環境保全のために中央分離帯・歩道の幅員を広くとり、常緑樹と落葉樹、高木と中低木の組み合わせにより緑量の豊富な樹林帯を形成している。歩道植栽帯の中の緑道は緑のトンネルに覆われ、森林の中にいるような錯覚を起こす。花や紅葉や果実などが美しい樹種を多用し、明るい樹林になっている。住宅地側には親水設備なども設置され、夏季には水遊びをする親子連れも多い。

(千葉県浦安市美浜)

三ツ目通り・首都高速 9 号深川線 ▶

都営辰巳団地に隣接することから、団地の居住環境保全のために設けられた環境施設帯。片側 3 車線の車道を反対側の辰巳の森海浜公園側に寄せ、高架の団地側にマウンドを築堤し遮音壁を設置している。マウンド上は常緑樹と落葉樹、高木と中低木の組み合わせによる複合植栽で、マウンドの上に植栽されているため生育基盤も厚く、緑のボリュームを感じる。団地側の歩道はアキニレとツツジ類による歩道植栽帯があり、団地内を安心して歩ける。

(東京都江東区辰巳)



◀ 東京都放射 36 号線（通称三六道路）

住民運動により道路の地下化・歩道の拡幅・緑豊かな築堤と遊歩道の設置・無電柱化などを行った緩衝緑地帯。高木はケヤキ・クスノキの交互植栽、キンモクセイ・ヤブツバキ等の常緑樹、ハナミズキ・サルスベリ・モクレン等の落葉樹など、多様な樹種で構成された複合植栽。剪定や刈込の効く樹木が多用されている。遮音壁はイタビカズラなどで修景され、住宅側もカイヅカイブキ・ヒラドツツジ・サツキなどで緑化されている。歩道植栽帯、遊歩道の幅員はそれぞれ 5m、4m 前後で、かなり余裕がある。

(東京都練馬区小竹)

コラム

接道部の生垣の大気浄化効果（千葉縣市原市の戸建住宅の例）

接道部の生垣の大気浄化効果を把握するために、生垣の前面及び背面で大気中の浮遊粉塵濃度と葉面付着粉塵量を調べた。

調査地は千葉縣市原市の住宅地で、東京湾に面する臨海埋立地の近くで京葉工業地帯の中核をなす地域である。大気環境は、SO₂、NO₂、SPM については環境基準を達成しているが、O₃、PM2.5 については環境基準を満たしていない。

調査を行ったのは、以下の2ケースである。

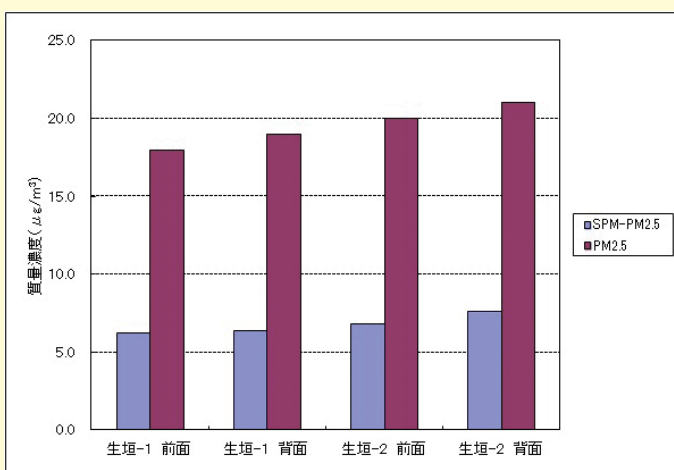
◆生垣-1(サザンカ)：高木のカイズカイブキとツバキ、サザンカを列植した生垣混合植栽

◆生垣-2(シラカシ)：シラカシの高生垣を主体に高木、中低木を混じえた高生垣複合植栽

調査は、生垣の前面及び背面の地上高約1mで一昼夜大気を捕集し、大気中の浮遊粉塵濃度を調べるとともに、生垣の前面及び背面の地上1m、2mの高さで葉をサンプリングし、葉面付着粉塵の質量濃度（純水処理による付着粒子とクロロホルム処理による固着粒子）と炭素成分、イオン成分、金属成分を分析した。

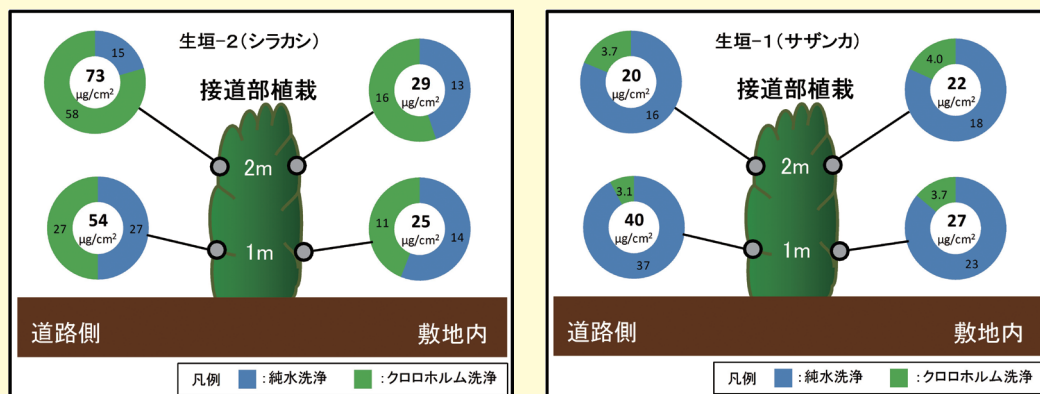
■生垣の前面及び背面の大気中の浮遊粉塵濃度

大気中の浮遊粉塵濃度は、生垣の前面（道路側）に比べて背面（住居側）の方が高い。これは、道路側は空気の流れが街路に沿って比較的スムーズに流れているのに対し、住居側は生垣や庭木、住居に囲まれ空気が滞留しやすいことが原因であると考えられる。また、SPM から PM2.5 を差し引いた比較的粗粒な粒子よりも PM2.5 の微小粒子の濃度が高い。



■生垣の前面及び背面の葉面付着粉塵

葉面付着粉塵量は、生垣の前面（道路側）の方が背面（住居側）よりも高く、道路走行に伴い発生した排出ガスや土壌粒子が生垣で捕捉されていた可能性が高い。生垣-2（シラカシ）の方が生垣-1（サザンカ）に比べて捕捉量が多いのは、サザンカが高さ2m程度なのに対しシラカシは4m前後の高生垣であること、またサザンカが比較的良好に手入れされ葉群に隙間があったのに対しシラカシでは放任され枝葉がよく繁っていたことから、遮蔽効果の違いによるものと考えられる。



出典）株式会社ブラック研究所（2014）：独立行政法人環境再生保全機構委託業務「大気浄化植樹事業の効果の把握及び効果的推進のため調査研究報告書（2013年度）」

3. 植栽基盤の整備

- (1) 都市域に植栽された樹木は、土壌の乾燥化、日照不足、ビル風、劣悪な大気環境（大気汚染）、舗装（アスファルトやコンクリート舗装）や建築物による土壌露出面の不足など、都市特有の厳しい環境にさらされ、生育を阻害されやすい。
- (2) このため、植栽にあたっては、植栽木が何よりも健全に生育し、その樹種本来の大気浄化能力を十分に発揮できるように、植栽基盤の整備を図ることが重要である。

解 説

都市においては、土壌の乾燥化やアルカリ化、建築物による日照不足やビルの断熱・反射ガラスに反射する強烈な太陽光の照射、高層ビルの増加によるビル風の増大など、都市特有の厳しい環境にさらされ、植栽木の生育環境としては大変厳しい状況にある。特に近年は外壁総ガラス張りのビルが多く、従来は西日に注意していればよかったが、現在では反射によりどの方向でも強烈な西日が差す。そして何よりも、都会にはビルが増加し、アスファルトやコンクリート舗装によって地表面さえ見えにくくなっているほど覆われている。植栽木は歩道などに僅かに残された狭隘な植栽枠だけに限られており、根は周辺の雨が浸透しにくい乾燥した舗装面下に分布せざるをえない状況にある。しかも、空間的な制約から頻繁な剪定や刈込など、強度の人為的影響も強いられている。

これらの生育阻害要因には、現在の都市環境の中では早急な改善が望めないものが大部分を占めている。このため、当面は、あらかじめ植栽基盤の整備等によって植栽した樹木の樹勢・活力を可能な限り向上させ、他の諸要因の影響を最小限にとどめるような対策が重要である。植栽基盤の整備にあたって留意すべき事項を表 I.7.3-1 に示す。

表 I.7.3-1 植栽基盤の整備

整備項目	整備の概要
夾雑物の除去	都市の再開発に伴うコンクリートの基礎や瓦礫など、植栽に支障をきたし、樹木の生育を妨げる土壌中の夾雑物は取り除く。
土壌の露出と浸透能の確保	アスファルト等による舗装は、自然の水循環を阻害し、乾燥化、アルカリ化、理化学性の劣化、土壌動物や微生物の衰退など、土壌生態系の劣化を招いている。このため、舗装を極力避け、土壌の露出面積を広くして、空気や雨水の土壌への浸透・貯留を図るのが望ましい。対策としては、透水性舗装や透水性平板などの透水性資材の導入、植栽木周辺のツリーサークルの設置など、現状の機能を損なわずに降水を地下に浸透させる工夫などがある。
有効土層の確保	根の伸長を妨げる滞水層、礫層、固結層などを取り除いたり、良質な土壌を客土あるいは土壌改良によって十分な深さの有効土層を確保する。有効土層は樹種によって異なるが、高木では 60～90cm 以上、中低木でも 30～50cm 以上必要である。
理化学性の改善	水はけの悪い土壌や固く締まった土壌、養分の乏しい土壌など、理化学性の不良な土壌は客土あるいは土壌改良によって改善する。化学性については肥料の施肥等で対応できるが、通気性、排水性等の物理性については根本的に改善する必要がある。
養分の補給	都市の土壌は落葉などの有機物の供給が少なく、土壌動物や微生物の活動も少ないため腐植や養分に乏しい。このため、肥料や堆肥などの有機物の施用により養分の補給を行う必要がある。落葉などを可能な限り残置し土壌への還元化を図る。
乾燥防止	土壌の乾燥化を抑制するために、低木の植え潰しや地被類の導入、粗大バークなどによるマルチングによって地表面を露出させずに乾燥化を防ぐ。必要に応じて灌水設備を設置する。

4. 施設別の植栽方針と植栽事例

- (1) 都市域では、学校・公民館・庁舎などの公共施設、戸建住宅や集合住宅などの住宅地域、大型店舗・企業の事務所などの商業・業務地域など、地域や施設によって植栽が可能な空間の規模・配置・特性などが異なっている。
- (2) また、それぞれの地域、施設に求められる多岐にわたる様々な本来的な機能や大気浄化植樹の意義も自ずと異なっている。
- (3) このため大気浄化植樹の計画・実施にあたっては、これらの点に十分配慮する必要がある。
- (4) ここでは、実際に大気浄化植樹を計画・実施する場合の参考になるように、①学校などの公共施設、②住宅地域、③商業・業務地域、④工場、⑤駐車場を対象に、植栽方針と先進的な事例を例示する。

解 説

1 学校などの公共施設

■ 大気浄化植樹の意義（学校などの公共施設）

学校は、児童・生徒の学習の場であるとともに、体力づくり・情操教育など、心身の発達を育む場であり、緑の多い静かな環境の形成と維持が基本的に求められている。

また、地域住民との結びつきが特に強く、地域の行事などにおいては幅広く利用される公共施設であることから、親しみのある空間を創造し提供する必要がある。

一方、土地利用の面からみると、都市の中では比較的広い空間をまとまって保有している施設の一つであり、今後、植栽を行う余地が比較的多く残されている。

このため、緑豊かな街づくりや都市の景観形成を進める上で、地域の拠点として期待されることから学校緑化の必要性は極めて高い。また、大気浄化植樹を展開する際にも非常に効果的な場所であると位置づけられる。

庁舎・文化会館・公民館・図書館などの都市を代表するその他の公共施設についても、都市緑地整備の中核となる重要な役割が期待され、学校などと同様に考えられる。これらの施設は他の施設とともに一団の公共ゾーンを形成することが多いため、植栽にあたっては、隣接する公共施設、街路、公園などとの緑の連続性を図ると、まとまった緑地として、大気浄化の効果がより一層期待できる。

■ 植栽の基本的事項（学校などの公共施設）

- ① 敷地外周部は、周辺市街地の騒音などを遮断し、静穏な学校環境を形成するために十分な緑の空間が必要であることから、可能な限り緑量の豊富な環境保全林を形成する。
- ② 樹木の大きさが空間的に制約を受けることが少ない敷地外周部などでは、剪定を必要最小限にとどめ、自然の樹形を活かした自然仕立ての管理を基本とするのが望ましい。
- ③ 校舎の近くなどでは、適切な室内照度の確保に留意しつつ、可能な範囲で高木列植などを行うことが望ましい。
- ④ 花の美しい樹木、紅葉や実のなる樹木などを多用するとともに、食餌木の導入などによる野鳥の誘致などにより、自然教育、環境教育などの教育的効果にも十分配慮することが望ましい。なお、最近では各地方公共団体の教育委員会により緑のカーテンづくりが各地で行われている。



つくばセンタービル ノバホール前広場：樹高20m程度に達するケヤキ広場が緑陰を形成している。（茨城県つくば市吾妻）



つくばセンタービル ノバホール前広場：階段付近には登はん補助資材を設置した壁面緑化や移動式のコンテナ植栽など。（茨城県つくば市吾妻）



目黒区総合本庁舎本館目黒十五庭：和風でモダンな庭園で、東京農業大学の協力を得て屋上緑化の情報基地として整備。（東京都目黒区上目黒）



目黒区総合本庁舎本館目黒十五庭：信楽焼の盆栽仕立てのゴヨウマツを多用し、区民・職員の憩いの場を提供。（東京都目黒区上目黒）



葛西水再生センター下水処理場 江戸川区球技場：水処理施設上の人工地盤を活用した江戸川区の球技場を緑化。（東京都江戸川区臨海町）



葛西水再生センター下水処理場 江戸川区球技場：周辺の臨海部の環境を考慮した樹種選定。クロマツ、アキニレ。（東京都江戸川区臨海町）



本郷給水所公苑：東京都水道局の配水池の上に設けた人工地盤の公園緑地。1976年12月開苑の屋上緑化草創期の事例。（東京都文京区本郷）



本郷給水所公苑：池と流れを中心とした緑量豊かな和風庭園とフランス式幾何学模様の洋風庭園（バラ園）で構成。（東京都文京区本郷）



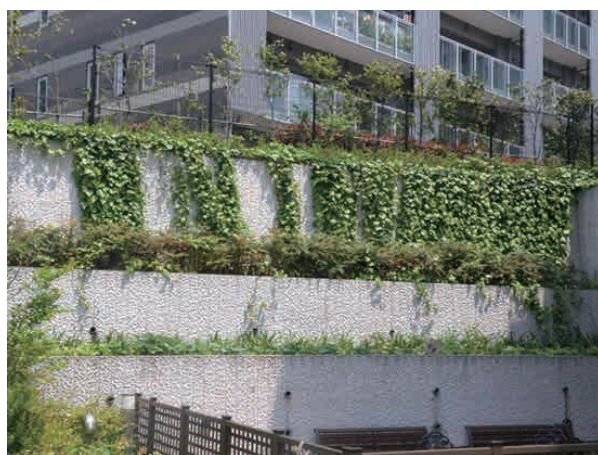
アイランドシティ中央公園「ぐりんぐりん」：博多湾の人工島。「花と緑の丘」がテーマ。（福岡県福岡市東区）



アイランドシティ中央公園「ぐりんぐりん」：地上と一体となった連続した屋上空間を創出。（福岡県福岡市東区）



渋谷区立中央図書館：公共施設での狭隘な空間を活用した緑化事例。（東京都渋谷区神宮前）



渋谷区立中央図書館：建物の狭間のちょっとした空間でもこのように工夫次第で緑化できる。ツツジ類とツル植物。（東京都渋谷区神宮前）



尼崎市立西小学校：国道 43 号に面した大気浄化植樹事業の実施箇所。クスノキを主にアラカシ、ナンキンハゼ等を植栽。（兵庫県尼崎市）



尼崎市立西小学校：歩道植栽帯の緑と学校の緑により歩道の上空は緑のトンネルで覆われ、安らぎのある緑陰を形成する。（兵庫県尼崎市）



荒川区立荒川第三中学校：道路側に傾斜したマウンドを形成し、奥に中木の生垣、手前に多様な低木を植栽し修景。（東京都荒川区南千住）



荒川区立荒川第三中学校：狭隘な空間のため高木は導入していないが、多様な中低木類により美しい街路景観を創出。（東京都荒川区南千住）



東京都農林総合研究所江戸川分場：地域の農業技術振興拠点の敷地外周部を大気浄化植樹事業により緑地整備。（東京都江戸川区鹿骨）



東京都農林総合研究所江戸川分場：石積みと盛土により植栽基盤を整備し、ハナミズキとツバキを交互植栽。（東京都江戸川区鹿骨）

2 住宅地域（戸建住宅・集合住宅）

■ 大気浄化植樹の意義（住宅地域）

宅地は、人間生活の基本的な場であり、これらの集合体である住宅地には清浄な空気、適度な日照、静けさ、美しい街並みなどの快適な生活環境が求められている。

宅地は、個々の敷地面積は一般的に小さいものの、都市全体の総量でみると、相当程度に大きいものと想定される。

このため、宅地は、今後植栽できる可能性の高い場所であり、都市の緑地整備においても期待するところが大きい。近年は、湾岸地域を中心に再開発事業が目白押しであり、中高層集合住宅の開発が各地で進められ、緑地の整備も進められている。

したがって、住宅地における緑の増加は、都市全体の緑の量にも大きく影響し、大気浄化に果たす役割も大きいと考えられる。

■ 植栽の基本的事項（住宅地域）

- ① 戸建住宅の接道部は、防犯・防災・景観などの諸点を配慮して、可能な限り生垣にする。特に大規模な地震が発生した場合、ブロック塀が倒れて通行人が怪我をしたり、通行の妨げになるのを防ぐほか、火災延焼を食い止める役割も果たすなど、災害時に果たす役割は大きい。
- ② 家屋の南側は、一般に主要な居室に面しているため、適切な室内照度の確保、風通し、快適性などに十分配慮し、常緑樹と落葉樹、高木と中低木を適宜組み合わせた植栽を行う。
- ③ 家屋の北側は、一般に日照条件が悪く暗いため、樹種選定や植栽構成にあたっては、樹木の耐陰性を十分考慮する。
- ④ 宅地規模によっても異なるが、一般に樹木の大きさに制約を受けるため、剪定や刈込に耐える樹種を選定する。また、成長の速過ぎる樹種や大きくなり過ぎる樹種は当初から植栽しないことが望ましい。
- ⑤ 中高層集合住宅などにおいては、敷地外周部、住棟間、ペDESTリアンデッキ、駐車場などが主な植栽場所になる。



戸建住宅：戸建住宅の庭木や生垣は一般に剪定や刈込により樹高や枝張が調整される。接道部の生垣は効果が大。（東京都世田谷区田園調布）



戸建住宅：植栽空間の余地が少なくても、接道部にこのような高生垣をつくると遮蔽効果が期待できる。（東京都世田谷区田園調布）



戸建住宅：接道部の生垣と敷地内の庭木。各家でこのように植栽できれば都市全体の緑の総量も増える。
(東京都世田谷区田園調布)



戸建住宅：接道部でのシラカシの高生垣と高木・中低木を組み合わせた複合植栽により緑量を高めている。
(千葉県市原市八幡)



戸建住宅：カイズカイブキの列植とツバキ・サザンカの混植による生垣。接道部でのこのような植栽は遮蔽効果大きい。
(千葉県市原市八幡)



オルト横浜駅前庭園都市：住宅・業務・商業・公益施設が複合された駅前庭園都市。
(横浜市神奈川区新子安)



オルト横浜駅前庭園都市：住棟周りの植栽。降雨センサーを組み合わせた自動点滴灌水システムを導入。
(横浜市神奈川区新子安)



パークコート赤坂 ザタワー：高層マンションの周辺を公開空地として整備。常緑樹・広葉樹の高木を多用。
(東京都港区赤坂)



パークコート赤坂 ザタワー：3階の低層階屋上をプライベートガーデンとして屋上緑化している。
(東京都港区赤坂)



赤坂インターシティ：敷地北側の既存の斜面林を残し、これと連続する一体的な緑地を駐車場の屋上緑化により整備。
(東京都港区赤坂)



赤坂インターシティ：公開空地として開放し周辺住民にも憩いの場を提供。生物多様性に繋がる企業のみどり百選に認定。
(東京都港区赤坂)



ガーデンシティ品川 / 御殿山プロジェクト：御殿山の原風景の再生をコンセプトに地域の自然再生に貢献している。
(東京都品川区北品川)



ガーデンシティ品川 / 御殿山プロジェクト：隣接する緑地との生態系ネットワークを構築するために潜在自然植生を考慮。
(東京都品川区北品川)



パークコート神宮前：樹高 20m に達するスダジイを主とする発達した既存樹林を保全しつつ新たな植栽等を実施。
(東京都渋谷区神宮前)



パークコート神宮前：住棟近くではイロハモミジなどの落葉樹を主体に植栽し、居住環境に配慮している。
(東京都渋谷区神宮前)

3 商業・業務地域

■ 大気浄化植樹の意義（商業・業務地域）

商業・業務地域は、一般に建蔽率が高く、敷地内に占める建築面積の割合が他の土地利用用途に比べて著しく大きいのが特徴である。

このため、植栽可能空間の確保が一般に難しく、またたとえ確保できたとしても、狭隘な空間が多いため、建築物に被陰されて日照不足になりやすい。

しかし、店舗や事務所、大型商業施設や業務ビルで緑地整備を進め、環境や景観の改善を図ることは、買物客の獲得や企業のイメージアップにも繋がり、また地域の活性化に貢献するところも大きく、緑地整備に努めている企業や商店街も少なくない。

特に近年は、都市の再開発に伴い公開空地が多くなっており、緑地整備が積極的に進められている。

■ 植栽の基本的事項（商業・業務地域）

- ① 接道部は、買物客や通行人、商品陳列の妨げにならないよう、商業・業務地域としての本来的な機能との調和に配慮した植栽を行う。
- ② 一般的に空間的な制約が大きいため、樹木の生育も抑えざるをえず、基本的には強度の剪定を前提にした管理が主体となる。このため、初めからあまり成長が速過ぎたり大きくなりすぎないような高木樹種や中低木の植栽を基本とし、樹種選定にあたってはこのような樹種や剪定・刈込に耐える樹種を選定する。
- ③ ベランダ、テラス、ペデストリアンデッキ、屋上、壁面などの建築空間については、一般に未利用な空間が比較的多く残されているため、工夫しながら可能な限り、樹木やツル植物、草花などを植栽する。
- ④ 空間的な制約の大きい場所では、移動可能なプランターボックスなどを用いて中低木や草花を導入し、四季の変化に富んだ親しみやすい緑地を創出するのも一つの方法である。



イオンタワー：ビルの外構をテラスとともに緑化し、ボリュームのある緑地空間を創出。
(千葉市美浜区中瀬)



イオンタワー：タブノキ・ヤマモモ・マテバシイ等の常緑樹を多用し、コブシ・ヤマボウシなどもまじえる。
(千葉市美浜区中瀬)



NTT ビル：ビルの外構やテラスをサツキの植え潰しで修景し明るい都市景観を創出。
(千葉市美浜区中瀬)



NTT ビル：敷地の接道部は高木の列植と低木植栽により遮蔽効果をもたせている。
(千葉市美浜区中瀬)



幕張テクノガーデン：ビルの外構や低層階の屋上テラスにクスノキ・アラカシ・ヤマモモ等の常緑高木を導入している。
(千葉市美浜区中瀬)



幕張テクノガーデン：接道部にはよく刈り込まれた何重もの生垣が植栽されている。遮蔽効果や吸収効果が期待できる。
(千葉市美浜区中瀬)



六本木ヒルズ：人工地盤の「66 プラザ」と地上45mの屋上を緑化。最大1mの植栽基盤を整備しケヤキなどを植栽。
(東京都港区六本木)



六本木ヒルズ：「66 プラザ」はケヤキ、クスノキなどの大径木を植栽した広場で憩いの空間を創出している。
(東京都港区六本木)



富士ゼロックス 四季彩の丘：一階外構と繋がる丘状の屋上庭園は約 4,300m² で 2 階から 3 階部分に設けたテラスで構成。（横浜市西区高島）



富士ゼロックス 四季彩の丘：350 種の植物で構成され、地下支柱や地上支柱を併用した倒木対策を講じている。（横浜市西区高島）



品川インターシティ & 品川グランドcommons：「道」と「杜」を組み合わせた「みちもり広場」が基本コンセプト。（東京都港区港南）



品川インターシティ & 品川グランドcommons：面積 1.8ha で、都心のオフィス街では最大規模の緑地空間を創出。（東京都港区港南）



晴海アイランド トリトンスクエア：官民共同開発と土地の高度利用による魅力ある都市空間の創出を実現。（東京都中央区晴海）



晴海アイランド トリトンスクエア：商業施設としてのグレードアップと集客力向上を目指した緑地整備。人工地盤。（東京都中央区晴海）



東京ドームシティ ミーツポート：都市計画公園内に設けられた複合商業施設の屋上緑化。
(東京都文京区後楽)



東京ドームシティ ミーツポート：高木と中低木を適宜配置した緑量あふれる緑陰は休息や散策の場を提供する。
(東京都文京区後楽)



住友商事竹橋ビル：オフィスビルのリノベーションにあわせて地下駐車場屋上部分を庭園として整備。
(東京都千代田区一ツ橋)



住友商事竹橋ビル：日照条件を考慮した多様な植栽で、玄関ホールには室内緑化空間を整備し建物内外を一体化。
(東京都千代田区一ツ橋)



三井住友海上駿河台ビル：1984年3月に整備した先駆的な屋上庭園。地域の環境改善や景観形成に貢献。
(東京都千代田区神田駿河台)



三井住友海上駿河台ビル：地域への開放など緑の多面的機能に期待する住民の声に応じて再整備を図った。
(東京都千代田区神田駿河台)

4 工場

■ 大気浄化植樹の意義（工場）

工場は、その生産活動の過程において大気汚染物質や騒音・振動の発生源になっている場合が多い。このため、湾岸地域や郊外など、住宅地域とは離れている場合が多いが、発生源対策の一環として、大気環境の改善を目的に可能な限り濃密な植栽を実施するのが望ましい。

敷地が一般に狭隘な小規模な町工場などに比べて、中規模や大規模な工場の中には植栽可能空間がかなりまとまって残されているところが少なくない。都市における植栽可能空間が限られ緑地の飛躍的拡大が難しくなっている今日、工場敷地内での緑の増加は、都市全体の緑の総量にも大きく影響するため、工場での緑地整備（工場緑化）は、大気環境の改善の上でも期待できる。

植物による汚染ガスの吸収量は、植物の生育に影響を及ぼさないような比較的低濃度の範囲内では、吸収量は汚染ガス濃度に比例するため、発生源である工場の敷地内で緑化するのは効果的であると考えられる。

■ 植栽の基本的事項（工場）

- ① 敷地外周部では、遮蔽効果を重視し、冬季でも効果を発揮できる常緑樹を用いるほか、樹木の健全な生育に留意しつつ、可能な範囲で植栽密度を高くするのが望ましい。
- ② 工場敷地内では、生産活動の支障になる一部地域を除けば、敷地外周部は主に一般に空間的な制約が少ない。このため、このような場所では剪定を最小限にとどめ、自然樹形を活かした自然仕立ての管理を基本とした複層林形態の緑量豊富な樹林帯を形成することができる。
- ③ 工場入口などの広場では、従業員や来訪者の憩いの場所として重要であることから、緑陰樹・花木・花壇・芝生などからなる明るく快適な緑地空間を形成する。
- ④ 工場内では従業員が多く、そのほとんどがマイカー通勤であり、駐車場もかなり広い。このため、駐車場を活用して工夫しながら可能な限り緑化するのが望ましい。
- ⑤ 工場敷地内には、事務所棟のほか、工場、倉庫などの建築物があり、その多くは壁面に囲まれていることから、壁面やその前面も可能な限り緑化するのが望ましい。

キャノン川崎事業所：広大な事業所周辺部の外構植栽。多様な造園樹木が植栽されている。接道部は、クスノキ・シラカシ・シマトネリコなどの常緑広葉樹高木が植栽され、ヒイラギモクセイ・イヌツゲなどの中低木を導入して生垣状の植栽をしている。





尼崎市クリーンセンター第2工場：大気浄化植樹事業の事業地で、植栽面積は約6,600m²でこれまでの最大規模。
(兵庫県尼崎市)



尼崎市クリーンセンター第2工場：敷地外周部を中心にタブノキ・ヤマモモなどの常緑高木と中低木が植栽されている。
(兵庫県尼崎市)



アサヒビール吹田工場：国道479号に面する北西部はアラカシ・クスノキ・エノキなどの高木とツツジ類が植栽されている。
(大阪府吹田市)



アサヒビール吹田工場：南西部は街路に面して外側に常緑のアラカシ、内側にエノキが列状植栽され植栽帯を形成している。
(大阪府吹田市)



アサヒビール吹田工場：工場見学者が来訪する一角には園路が設けられ、静穏な緑陰を形成し憩いの空間になっている。
(大阪府吹田市)

5 駐車場

■ 大気浄化植樹の意義（駐車場）

都市域においては、人と物流が都市中心部や郊外の工業団地などに集中するため、規模の異なる数多くの駐車場が存在する。自動車は、主要な移動発生源の一つであり、数多くの自動車が出入りする駐車場も大気汚染の主要な発生源の一つとみなせる。

このような点を踏まえると、大気汚染の発生源対策の一つとして、駐車場は大気環境の改善に極めて有効な対象地と考えられる。

また、都市景観の向上の面からも緑化により修景することが望まれ、今後、大気環境の改善を主眼とした緑化を推進する上でも重視していきたい場所の一つである。

■ 植栽の基本的事項

- ① 土地価格が高い都市域においては、駐車場としての機能を最大限に発揮するために、敷地全体に舗装された駐車スペースが広がり、植栽可能空間は限られているといわざるをえない。
- ② しかし、屋外駐車場の敷地外周部には比較的広い空間があり、また駐車ゾーンを区分する区分帯も植栽の主要な対象場所になる。このような場所を中心に、高木植栽や中低木の組み合わせによる複合植栽や生垣により、遮蔽効果・吸収効果を高めることが可能であり、日陰では耐陰性の強い強健な地被植物の導入なども行われている。
- ③ また、駐車場を地下に埋めて、その上部の人工地盤を緑化したり、立体駐車場の屋上緑化や壁面緑化など、工夫次第で従来緑化されてこなかった駐車場の緑化も可能である。



千葉みなとバスターミナル：ターミナルの敷地外周部に高木のクスノキ、中木のベニカネメモチ、低木のツツジ類を組み合わせた緑量豊かな植栽帯を形成し、遮蔽効果を高めている。

（千葉県中央区中央港）



砧公園駐車場：駐車ゾーンを区分する区分帯に樹高 20m 近いケヤキが植栽されている。
(東京都世田谷区砧公園)



砧公園駐車場：ケヤキは伸び伸びと生育し緑量も多いため、大きな大気浄化効果が期待される。
(東京都世田谷区砧公園)



霞ヶ関ビル地下駐車場：地下駐車場の上の人工地盤に高木を植栽している。
(東京都千代田区霞ヶ関)



霞ヶ関ビル地下駐車場：落葉高木のイチョウを植栽し、オフィス街に貴重な緑陰を提供している。
(東京都千代田区霞ヶ関)



検見川浜マリンハイツ駐車場：中層住宅団地の住棟間の駐車場の上を利用して人工地盤に緑地を整備している。
(千葉市美浜区真砂)



検見川浜マリンハイツ駐車場：高木・中低木を植栽し、住民に憩いの場を提供し、各種行事もここで行われる。
(千葉市美浜区真砂)



第8章 植栽後の維持管理

- (1) 植栽後の日常的な維持管理は、植栽工事に比べると地味で軽視されがちであるが、植栽基盤の整備と同様、極めて重要な作業である。
- (2) 特に大気浄化植樹においては、一般の緑地整備よりも重要である。それは、都市特有の厳しい環境にさらされやすいため、適切な維持管理によって良好な生育を確保できなければ、その樹種固有の本来の大気浄化能力が発揮できないからである。
- (3) また、樹木の生育が良好に保たれば、大気汚染や病虫害などに対する抵抗力も高まり、その結果、大気浄化機能以外のその他の機能も高まることになる。
- (4) さらに、維持管理にあたっては、落葉や剪定枝条の処理、雨水の再利用など、きめ細かな配慮が望まれる。

解 説

1 維持管理の目的

植栽木の維持管理の目的は、植栽した樹木が正常に生育し、期待されるその樹種本来の大気浄化能力が十分に発揮され維持できるようにすることにある。

2 維持管理の項目と内容

維持管理の項目と内容は、一般の都市緑地の維持管理作業に準じる。樹勢・樹木活力度の低下に伴う大気浄化能力の低下は、樹種の違いによる大気浄化能力の大小よりもかなり大きいため、健全な生育が維持できるよう、必要な育成作業を適宜実施する。

なお、豊かな緑量を確保する観点から、事情が許す範囲内において、過密した場合の枝すかしややむをえない場合の支障枝の枝落としなど、剪定や整枝は最小限にとどめ、樹木の自然成長を重んじた、いわゆる弱剪定方式、自然成長方式を図りたい。ただし、実際には、落葉の問題や病虫害の発生など、近隣住民から伐採や剪定を望む声も大きいのが実状である。

表 I.8.1-1 植栽木の維持管理作業の年間スケジュールの一例（東京付近）
（樹木の設計編集委員会編、1977）

作業項目	月												備考
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
剪定：落葉樹	基本剪定							枝すかし				基本剪定	
剪定：常緑樹					枝すかし				切り詰め				
中低木の刈込													
除草													6～9月
施肥		寒肥			芽出し肥料			追肥				寒肥	
病虫害防除		カイガラムシ			アブラムシ・アメリカシロヒトリ・ウドンコ病等								
灌水													天候次第
補植		落葉樹						常緑樹				落葉樹	
支柱手入れ													結束直し

3 樹木の剪定方式

大気浄化効果を高めるためには、豊かな葉量の確保が大きいポイントになり、樹木の剪定は最小限に抑え、自然仕立ての弱剪定方式が望ましい。しかし、狭隘なわが国の都市域では植栽空間が限られ、信号やサインの視認、落葉や伸長枝への苦情など、様々な問題が生じる可能性がある。

しかし、植栽する場所の条件次第では、剪定を最小限に抑えて、植栽木を大きく伸び伸びと育てるのも一つの方法である。学校や公共施設などにおいては植栽空間に比較的余裕があるため、このような自然仕立ての剪定方法を採用するケースもある。一方、戸建住宅などでは剪定や刈込を頻繁に行っているのが実状であり、このような場合には、成長が速く大きくなり過ぎる樹種は最初から導入しないなどの配慮が必要である。

4 落葉や剪定枝条などのリサイクル

地球温暖化問題などに関連して、緑地整備の場面でも自然エネルギーの活用、落葉や剪定枝の処理、雨水の循環利用などが求められている。その一環として、従来焼却処理されることの多かった落葉や剪定・刈込を行った後の枝条をチップ化し、舗装材などに利用するほか、マルチング材や堆肥、燃料として利用するなど、維持管理による発生材のリサイクル利用が進められている。

落葉や剪定枝条の焼却処理は、地球温暖化問題のみならず大気汚染の上でも望ましくないことから、緑地の保全や創出ばかりでなく、維持管理の面でもきめ細かな配慮が必要である。

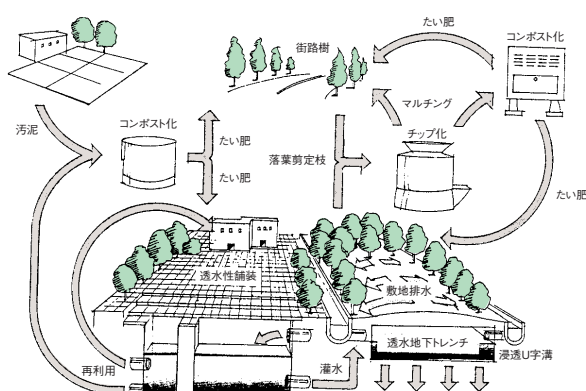


図 I.8.1-1 落葉・剪定枝条のリサイクル
(都市緑化技術開発機構、1994)

5 雨水、再生水等の循環利用

多くの都市域では、地表面がアスファルトやコンクリートで被覆されたため、降った雨は土壤中に浸透することなく、そのまま下水道に放流される。このため、集中豪雨などにより雨水が下水道の処理能力を越えた場合には、いわゆる都市型洪水が発生し、大きな被害を生じる。このため、多くの地方公共団体では、雨水の浸透・貯留・利用に取り組んでおり、雨水や再生水の循環利用が進められている。このような観点に応じて、大気浄化植樹においても、日常の維持管理に雨水や再生水を利用し、灌水や散水用の資源として積極的に利用するのが望ましい。

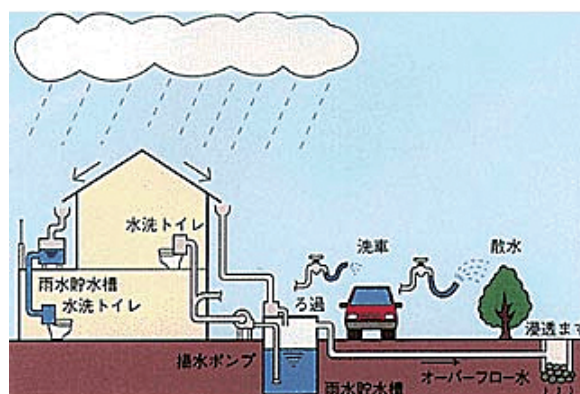


図 I.8.1-2 雨水の貯留・浸透・利用
(墨田区ホームページ)