

粒子状汚染物質の低減を目指した 大気浄化植樹事業の新たな展開に係る調査研究

株式会社プレック研究所

目次	2.大気浄化植樹事業の経緯と現状	19
【調査の目的】	3.今後の事業展開に向けての基礎的知見の整理	23
【調査の方法】	4.大気浄化植樹事業の今後の事業展開	34
【調査の結果】	5.今後の課題	42
1.樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果と植物への影響の把握	6.調査研究検討会の開催	43
	7.まとめ（総括）	45

【調査の目的】

本調査研究は、平成 23～25 年度に実施した「大気浄化植樹事業の効果の把握及び効果的推進のための調査研究」の補足・新たな展開により大気浄化植樹事業の助成申請件数の増加を促し、対象自治体の大気環境の改善に寄与することを目的とし、近年の大気環境の現状や緑地機能に対する国民のニーズの変化等を踏まえ、事業の新たな展開に資するために実施した。

また、これまでは主にガス状大気汚染物質の低減に着目して検討を進めてきたが、未だ研究の蓄積が不十分である樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果と粒子状汚染物質による植物影響を把握するため、東京農工大学の協力を得て実験的研究を行い、科学的な知見を獲得し、事業の改善に反映することとした。

【調査の方法】

調査研究のフローを図 1 に示すとともに、調査方法を p.2～p.3 に示す。

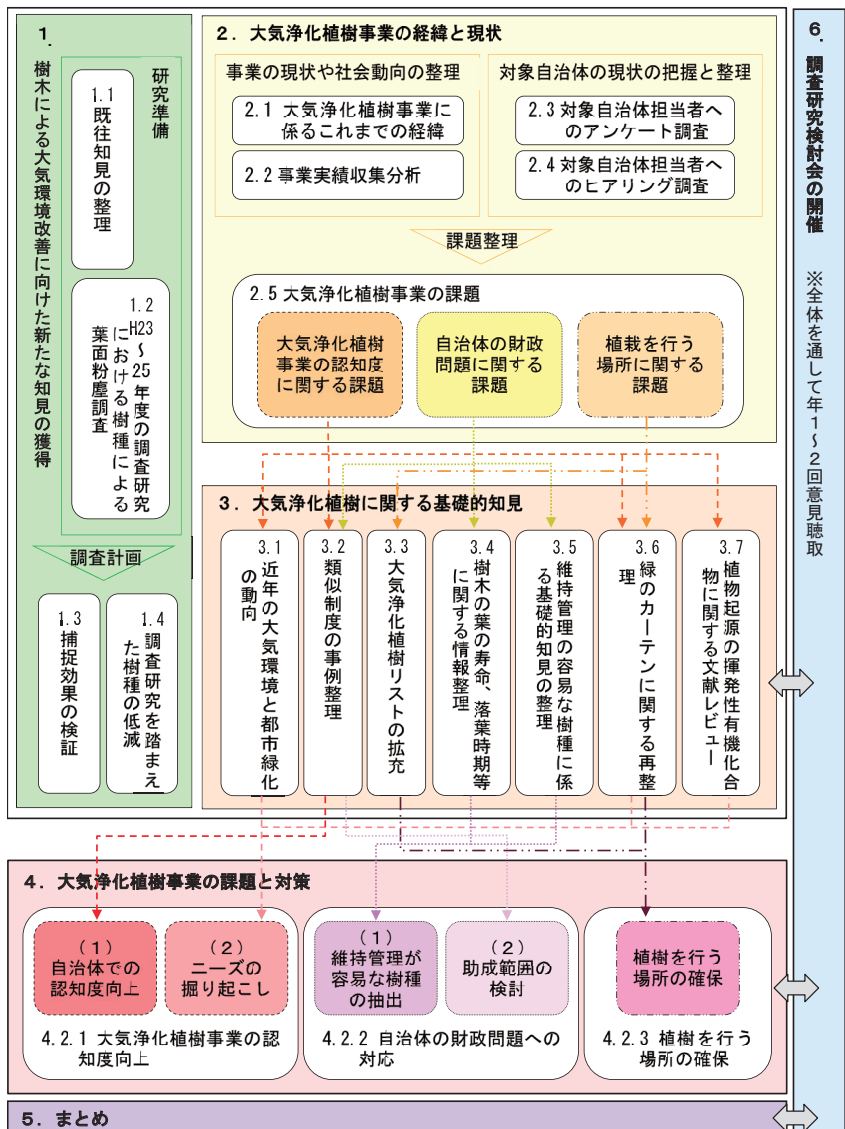


図 1 調査研究のフロー

1. 樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果と植物への影響の把握

1.1 既往知見の収集整理

樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果の研究は、高度経済成長期に盛んに行われていた。ここでは、1970～1990年代の知見と近年の知見を文献調査により整理した。

1.2 平成23-25年度の調査研究における樹種による葉面付着粉塵調査の再整理

平成23～25年度の調査研究において行った樹種による粒子状物質捕捉効果の樹種間差異を把握するための葉面付着粉塵量調査の成果を再整理した。

1.3 捕捉効果の検証

葉面に沈着する粒子状物質には様々なものがあるが、限られた時間と予算の中で、局地的汚染の主原因であり、自動車排ガスや生産活動に由来する燃料燃焼等で発生し、都市域の主要な粒子状汚染物質の一つであるブラックカーボン（BC）粒子を対象を絞った。

都市緑化樹木のBC粒子の捕捉効果を科学的に検証するため、落葉広葉樹5種と常緑広葉樹4種における葉面沈着量等（BC粒子の葉面沈着量、葉の純光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンス）の季節変化とそれに関与する植物要因（樹高と葉数、クチクラワックス量、葉面の接触角、走査型電子顕微鏡画像による葉表面の観察と気孔密度・毛状突起密度）や環境要因（BC粒子の大気中濃度、相対湿度、気温、降水量、風速）を測定し、相互の関係を明らかにすることを目的として実験的研究を行った。

1.4 研究結果を踏まえたBC粒子の低減に適した都市緑化樹木の樹種の提言

上記の研究結果に基づき、BC粒子に汚染された都市大気の浄化に適した樹種を提案するとともに、BC粒子の低減に適した植栽樹種の選抜方法を提言した。

2. 大気浄化植樹事業の経緯と現状（H29～30年度）

2.1 事業に係るこれまでの経緯

これまでの大気浄化植樹事業に係る経緯を整理した。

2.2 事業実施の収集整理

過去の事業実績一覧を活用し、対象自治体の事業実績の特性や傾向を分析した。

2.3 対象自治体担当者へのアンケート調査

事業の問題点・課題の把握を目的として、アンケート調査を行った

2.4 対象自治体担当者へのヒアリング調査

上記アンケート調査の補足・補完として、対面式・電話でのヒアリング調査を行った。

2.5 大気浄化植樹事業の課題

アンケート調査やヒアリング調査の結果を踏まえ、本事業の課題を抽出した。課題は、以下の5点に集約された。①周知不足、②ニーズの低下、③植栽後の維持管理が困難、④植栽場所がない、⑤財政的に困難。

3. 今後の事業展開に向けての基礎的知見の整理

3.1 近年の大気環境と都市緑化の動向

近年の大気環境は大幅に改善され、大気環境改善のための植樹の意義が薄れているのではないかという意見がある。そこで、近年の大気環境の現状と都市緑化の動向を整理した。

3.2 対象自治体の類似制度の事例整理

事業の課題の解決に向け、民有地緑化を支援する類似制度に着目し、助成内容、手続きの流れ、情報周知方法等について事例を収集し整理した。

3.3 大気浄化植樹に適した樹種の拡充

これまでの大気浄化植樹に適した樹種リストは、針葉樹がないなど、樹種が限られていた。このため、成長速度に着目して大気浄化に適した樹種を拡充した。

3.4 樹木の葉の寿命、落葉時期の既往知見の整理

地域住民による落葉の苦情や落葉の収集処理の問題に対応し、落葉に関わる樹木の葉寿命や落葉時期等に係る既往の知見を整理した。

3.5 維持管理の比較的容易な樹種の抽出

維持管理の経費や手間暇の問題に対応し、次善策として、大きくなり過ぎない樹種や維持管理の比較的容易な樹種を整理し提案した。

3.6 緑のカーテンについての再整理

草本ツル植物を用いる緑のカーテンは事業の対象外であるが、推奨している自治体も多い。緑のカーテンの効果、得失などを整理し、事業への取り込みの是非について検討した。

3.7 B-VOC（植物起源の揮発性有機化合物）に係る既往知見の整理

VOCの排出量は規制や対策により着実に削減しているが、光化学オキシダント濃度は依然として高い。ここでは、植樹との関係からB-VOCに係る既往知見を整理した。

4. 大気浄化植樹事業の今後の事業展開

4.1 大気汚染対策としての大気浄化植樹事業の位置づけ

大気環境の現状、対策の現状、局地汚染対策としての植樹の効果と他の対策との比較、緑地の多様な機能とニーズの変化などを踏まえ、新たな時代における大気浄化植樹の位置づけを見直した。従来の「大気汚染対策」から、大気環境改善を含む、より広範で総合的な都市環境改善を目指した「環境改善対策」への移行を提言した。

4.2 今後の事業展開に係る提案・提言

本事業は「公害健康被害の補償等に関する法律」に基づく事業であり、事業内容の大幅な変更は容易ではない、しかし、事業が始まってから約30年が経過し、わが国の大気環境も都市の緑に求められるニーズも大きく変化している。このため、今後も事業を継続していくためには、従来の「大気汚染対策」から、大気環境を広く捉えた、より総合的な「環境改善対策」へのシフトが求められる。

本研究においても、より実効性の高い取組として、法律改正を伴わない改善案を提案した。

【調査の結果】

1. 樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果と植物への影響の把握

1.1 既往知見の収集整理

1.1.1 1970～1990年代の知見

樹木による大気中の粒子状物質捕捉効果については、主として1970～1990年代の、いわゆる公害の時代を中心に精力的に研究が行われていたが、わが国の大気汚染がひと段落した2000年以降はほとんど研究が進展しなかった。

1970～1990年代の知見を整理すると、表1に示すように、粒子状汚染物質の捕捉効果の大きい樹種は、枝葉がよく繁茂する樹種で、葉の葉面構造や葉の展開機構が複雑な樹種である。また、植栽構成の面では、ある程度樹林の中に風が生じる範囲内で、葉群に隙間ができないように樹間距離を短くするほか、平面的には単列よりも複数列、垂直的には高木・中木・低木・地被類を適宜組み合わせさせた多層構造の複合植栽や、接道部では線的・面的に連続させる生垣状の植栽が効果的であることが知られている。

表1 粒子状汚染物質の捕捉効果の大きな樹種、植栽構成（1970～1990年代の知見）

捕捉効果の大きな樹種・植栽構成	
樹種	<p>◇枝葉がよく繁茂する樹種</p> <p>◇葉面構造や葉の展開機構が複雑な樹種</p> <ul style="list-style-type: none"> ・普通葉よりも鱗片葉など複雑な構造の葉（例：スギ、ヒノキなど） ・単葉よりも掌状複葉、羽状複葉（例：トチノキ、オニグルミなど） ・葉脈や葉柄に凹凸が多い樹種（例：ヤシャブシ、ガマズミなど） ・葉の縁が全縁よりも重鋸歯など複雑な樹種（例：ソメイヨシノ、クマシデなど） ・葉面に毛が多い樹種（例：キリ、ハクウンボクなど） ・葉面にシワが多い樹種（例：ハシバミ、マンサクなど） ・葉の裏面の脈腋に毛が密生する樹種（例：イトマキイタヤ、シナノキなど）
植栽構成	<p>◇できるだけ汚染物質の発生源に近い道路側に植栽</p> <p>◇葉群に過度の隙間ができないような密度（ある程度通風を確保する必要はあり）</p> <p>◇単木よりも線状あるいは面状に連続させた生垣状に植栽</p> <p>◇平面的には、単列でなく複数列に植栽</p> <p>◇垂直的には、高木・中木・低木・地被を組み合わせさせた多層構造の複合植栽</p> <p>◇適宜剪定・刈込みを行い枝葉の密度を高めるとともに葉を更新して樹勢を向上</p>

1.1.2 近年の知見

2000年以降、樹木による粒子状汚染物質の沈着に関する研究はほとんど停滞していたが、近年、越境大気汚染物質による地球規模の大気汚染が問題となり、主要な越境大気汚染物質であるブラックカーボン（BC）粒子や硫酸アンモニウム粒子の植物影響などに関する新たな知見が得られつつある。植物に対する粒子状物質の影響は、表2に示すように物理的影響と化学的影響に分けられる。

表2 樹木による葉面沈着量と植物に対する粒子状物質の影響

粒子状物質の植物への影響	
物理的影響	<ul style="list-style-type: none"> ・BC粒子などのような化学的に不活性な粒子を葉に暴露すると、粒子が葉面に沈着し、遮光作用によって葉の純光合成速度が低下する (Hirano et al.,1995)。 ・葉に沈着したBC粒子によって葉温上昇が引き起こされ、純光合成速度が低下し、蒸散速度が上昇する (平野ら,1991; Hirano et al.,1995)。 ・蒸散速度の上昇に伴い、植物の葉に水ストレスを生じる可能性がある。 ・このような遮光や葉温上昇の影響の程度を決める要因として、BC粒子の葉面沈着量と光吸収特性が考えられる (平野ら,1990)。
化学的影響	<ul style="list-style-type: none"> ・これまでに報告されている野外における樹木の葉面BC沈着量は、2~26.8 mg/m² (葉の両面の面積あたり) である (Fukazawa et al.,2012; Sase et al.,2012; Hara et al.,2014)。 ・PM_{2.5}による化学的影響を短期的に評価した例として、カシ類、トウモロコシ及びダイズに硝酸カリウム粒子、硝酸アンモニウム粒子及び硫酸アンモニウム粒子を短時間暴露し葉の光合成速度の違いを調べた結果、化学的影響は、その成分や植物種によって異なることが明らかにされている (Martin et al.,1992)。 ・日本の代表的な森林構成種であるブナ、スダジイ、カラマツ、スギの苗木を用いてサブミクロンサイズのBC粒子の長期曝露実験を行った結果、いずれの樹種においても純光合成速度の低下、蒸散速度の上昇、気孔開閉機能の低下はみられなかった (Yamaguchi et al.,2012)。 ・上記の樹種において、開発された方法で葉面に沈着したBC粒子を定量した結果、BC捕捉量は0.13~0.69mg/m²であった (Yamaguchi et al.,2012)。 ・電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いた葉面に沈着したサブミクロンサイズのBC粒子の観察法を確立した (Yamane et al.,2012)。 ・電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いてスギの針葉表面に沈着したサブミクロンサイズのBC粒子を観察した結果、BC粒子はエピクチクラワックス結晶が少ない葉表面に沈着しており、結晶が高密度で存在する葉表面には沈着がみられないことがわかった (Nakaba et al.,2016)。 ・現時点において、BC粒子などの粒子状物質と葉面特性との関係や粒子状物質の葉面への吸着機構などは明らかにされていない。BC粒子の葉面沈着量の樹種間差異は、葉の特性やクチクラ層の化学組成及び構造が関わっていることが考えられる (Terzaghi et al.,2013)。 ・葉表面における元素状炭素粒子の吸着メカニズムを調べた結果、BC粒子の葉面沈着に葉表面に存在するクチクラワックスなどの葉面特性が関与していることが示唆された (Wang et al.,2018)。 ・日本の代表的な樹木であるブナ、スダジイ、カラマツ及びスギの苗木を対象として、PM_{2.5}の主要無機成分である硫酸アンモニウム粒子を野外で観測されるレベルの濃度で2成長期間にわたって暴露した。その結果、実験終了時における各樹種の個体乾重量、葉の純光合成速度に有意な影響は認められなかった。これに対して、スギ当年葉の純光合成速度は有意に増加し、スギ旧年葉のそれは有意に低下した (Yamaguchi et al.,2014)。
総括	<ul style="list-style-type: none"> ・上記のように、BC粒子や硫酸アンモニウム粒子の葉面沈着量やそれらの植物影響などに関する知見が得られつつある。大気中の粒子状物質は、樹木の葉に沈着することが知られている (Beckett et al.,1998)。自動車から発生するBC粒子濃度を測定した研究によると、道路沿いに樹木を配置した結果、樹木を通過する前後で大気中のBC粒子濃度が最大で22%減少したことが報告されている (Brantley et al.,2014)。このように、樹木は大気中に存在するBC粒子などの粒子状物質の浄化能力をもっており、街路樹などの都市緑化樹木による大気浄化の効果が期待されている。 ・しかしながら、現在のところ、BCなどの粒子状物質の葉面沈着量の樹種間差異や樹木の葉面における粒子状物質の捕捉・沈着に関与する要因 (環境要因や植物特性) とその樹種間差異などはほとんど明らかにされていない。粒子状汚染物質の捕捉効果が高い都市緑化樹木を科学的根拠に基づいて提案するためには、樹木の葉面における粒子状物質の沈着量の測定方法を確立し、その方法を用いて都市緑化樹木として用いることが可能な常緑広葉樹や落葉広葉樹の葉面粒子沈着量とその季節変化などを明らかにする必要がある。

1.2 平成 23～25 年度の調査研究による樹種による葉面付着粉塵調査

樹木の葉面における粒子状物質の捕捉効果について、平成 23～25 年度（2011～2013 年度）の調査研究による結果概要を次に示す。

当該研究では、樹種による種間差異を把握するため、約 4 ヶ月（夏季～秋季、ただし台風襲来後約 1 ヶ月後試料採取）植木鉢に植栽した苗木を野外条件下で暴露し、葉面沈着粉塵（付着成分・固着成分）の質量濃度・炭素成分・イオン成分・金属成分が比較され、また、葉の形態的特徴との関係から効果的な樹種が検討されたものである。

<結果の概要>

- 葉面沈着量は樹種によって種間差異があるが、一般環境大気中では平均 $50\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($5\text{mg}/\text{m}^2$) 程度であった。
- 葉の表裏で粒子状物質の沈着量を比べると、常識的には表面のほうが沈着量が多いと考えられる。しかし、葉の裏面では中肋に沿って毛が密生する樹種や葉脈が裏側に隆起し凹凸が形成され粒子状物質が捕捉されやすい樹種など、葉の裏面での捕捉も決して無視できない。
- いずれの樹種でも元素状炭素の捕捉が確認されたことから、どの樹種にも人間由来の粒子状汚染物質の捕捉効果が多少に関わらずあることが把握できた。
- 粒子状物質の葉面沈着量の種間差異は、概ね以下のとおりである。
 - ✓ 葉面沈着量の多いのは、ヒラドツツジ、ヤマモモ、ヒイラギモクセイ > キンモクセイ、クルメツツジ、サツキ、サザンカ、モッコク > トベラ、ツバキの順であった。
 - ✓ 葉面に毛の多い樹種は沈着量が多い傾向がある（ツツジ類等）。
 - ✓ 主脈を境に葉が上向きに折れ曲がった樹種は沈着量が多い傾向がある（サザンカ等）。
 - ✓ ヤマモモは葉面沈着量が多く固着成分の割合が高い。ヤマモモの葉は革質・無毛であるが、同様にクチクラ層が発達し厚革質無毛であるツバキ、トベラ等と異なっていた。
 - ✓ 毛、しわ、葉脈等の凹凸など視覚的に確認できる葉の形態的特徴以外にも、葉表面のクチクラワックスなど、葉面の微細な構造が葉面沈着量に関与している可能性がある。

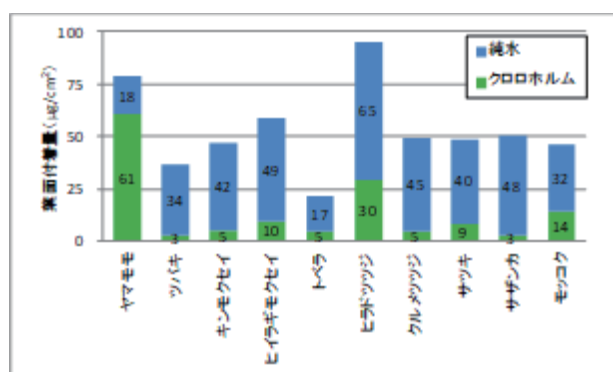


図 2 各樹種の葉面沈着量
(青：付着成分、緑：固着成分)

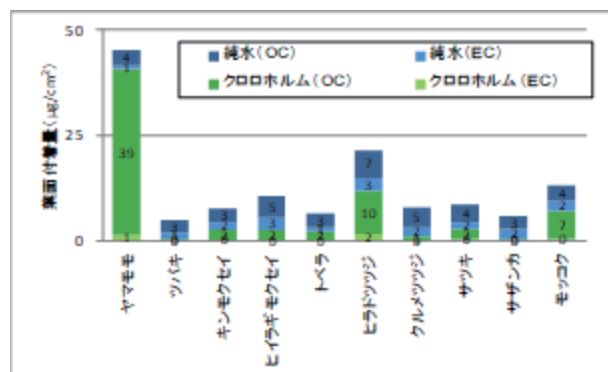


図 3 各樹種の葉面沈着量の炭素成分

1.3 捕捉効果の検証

本事業では、局地的汚染の主原因であり、自動車排ガスや生産活動に由来する燃料燃焼等で発生し、都市域の主要な粒子状汚染物質の一つであるブラックカーボン（BC）粒子を対象を絞り、捕捉効果の検証を行った。

1.3.1 先行研究の概要

クスノキ、イチョウ、マテバシイおよびケヤキにおけるブラックカーボン（BC）粒子の葉面沈着量の季節変化などを明らかにすることが目的とされた先行研究の概要を次に示す。

◇クスノキ（2年生苗）、イチョウ（3年生苗）、マテバシイ（4年生苗）およびケヤキ（2年生苗）を東京農工大学府中キャンパス内の圃場で2014年4月26日から2015年4月1日まで育成した。2014年6月から2015年4月にかけて、4樹種の葉面におけるBC粒子の沈着量およびクチクラワックス量を2ヶ月に1回の頻度で測定した。

◇4樹種における葉のBC粒子沈着量とクチクラワックス量の季節変化は次図のとおり。BC粒子の単位葉面積あたりの沈着量が最大値を示す時期は樹種によって異なったが、4樹種における葉面BC粒子沈着量の最大値に有意な差はなかった。これに対して、4樹種における葉面BC粒子沈着量の季節変化に樹種間差異が認められた。クスノキの一次展葉期の葉における葉面BC粒子沈着量は、4月の展葉から6月まで増加し、6月から8月および12月から2月にかけて減少し、4月に増加した。イチョウにおける葉面BC粒子沈着量は、4月の展葉から10月まで増加し、その後11月にかけて減少した。マテバシイの当年葉における葉面BC粒子沈着量は、4月の展葉から6月まで増加し、その後は12月にかけて減少し、12月から4月にかけて増加した。ケヤキの一次展葉期の葉における葉面BC粒子沈着量は、4月の展葉から8月まで増加し、その後10月にかけて減少した。これらの結果は、葉面BC粒子沈着量に季節変化とその樹種間差異があることを示している。

◇4樹種において葉面BC粒子沈着量が最も増加する時期とクチクラワックス量が最も増加する時期は一致した。クスノキとマテバシイにおいては、クチクラワックス量の減少に伴って葉面BC粒子沈着量が減少した。

◇以上のことから、クチクラワックスの分泌と減少は、葉面BC粒子沈着量の季節変化とその樹種間差異に関与する要因であると考えられる。都市緑化樹においてBC粒子の葉面沈着量が増加する時期は、大気からの同粒子の除去能力が高いと考えられる。したがって、BC粒子で汚染された大気の浄化を都市緑化樹で効率よく行うためには、同粒子の葉面沈着量における季節変化やその樹種間差異を考慮し、適切な樹種を選抜すべきである。

（本研究の内容は、第59回大気環境学会年会で口頭発表されたもの）

(参考図) 先行研究結果より

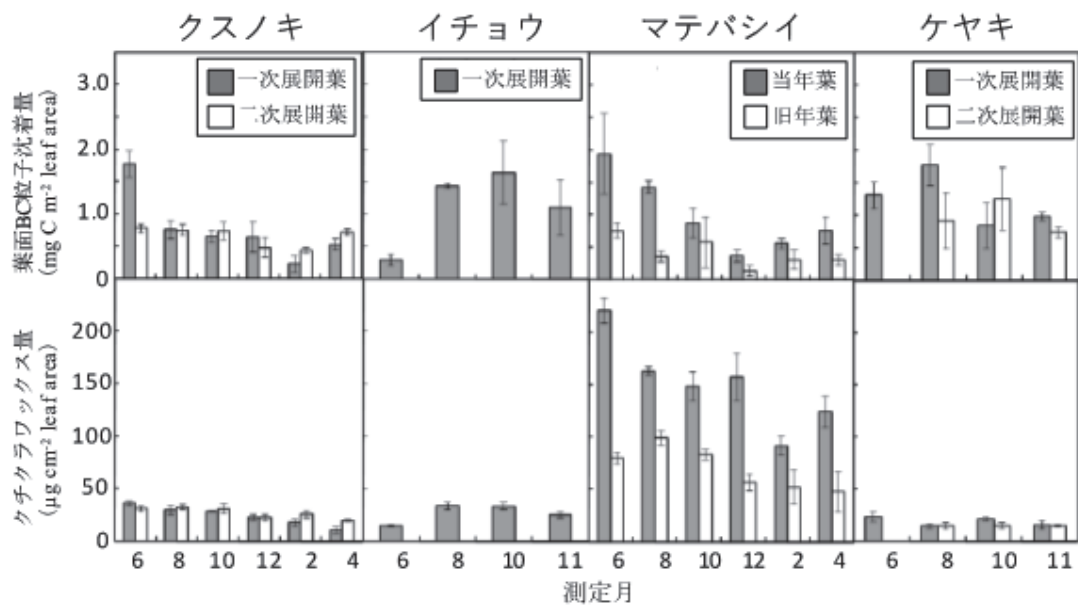


図 2014年6月から2015年4月までのクスノキ、イチョウ、マテバシイおよびケヤキの葉面におけるブラックカーボン(BC)粒子の沈着量とクチクラワックス量.

1.3.2 捕捉効果の検証

(1)目的

本事業では、都市緑化樹のブラックカーボン(BC)粒子の捕捉効果を科学的に検証するため、実験的研究によって日本の都市緑化樹として利用されている落葉広葉樹5種と常緑広葉樹4種におけるBC粒子の葉面沈着量の季節変化とそれに関与する植物要因や環境要因を明らかにすることを目的とした。また、実験結果に基づいて、BC粒子によって汚染された都市大気の浄化に適した都市緑化樹の樹種とその選抜方法を検討した。

(2)供試樹木

供試樹木として、落葉広葉樹5種(ケヤキ、エゴノキ、コブシ、ヤマボウシ、ハナミズキ)と常緑広葉樹4種(アラカシ、シラカシ、キンモクセイ、クロガネモチ)の4種を用いた。2018年2月10日に、黒ボク土を詰めた容量7Lのポットに1個体ずつケヤキ、エゴノキ、コブシおよびヤマボウシの苗木を移植した。また、2018年3月4日に、黒ボク土を詰めた容量14Lのポットに1個体ずつハナミズキの苗木を移植した。移植後、すべての苗木を東京農工大学農学部附属広域都市圏フィールドサイエンス教育研究センター(FSセンター)のFM府中研究圃場(東京都府中市)に配置し、2018年11月14日まで育成した。2017年10月6日に、黒ボク土を詰めた容量7Lのポットに1個体ずつアラカシ、シラカシ、キンモクセイおよびクロガネモチの苗木を移植した。移植後、すべての苗木をFM府中研究圃場に配置し、2018年12月31日まで育成した。なお、全ての樹種において、ポットに詰めた土壌の表面から50~150cmに位置する葉を測定対象とした。

(3)方法

- ・大気環境要因および大気中のBC粒子濃度の測定

実験期間中の相対湿度は、2018年1~12月にFM府中研究圃場に設置した温湿度記録計(TR-3110, 株式会社T&D)を用いて10分間隔で測定した。また、実験期間中の気温、降水量および風速は、実験場所から約40m離れた場所にあるアメダス府中によって10分間隔で測定されたデータを利用した(気象庁, 2018)。大気中のBC粒子濃度は、2017年12月~2018年11月に実験場所に設置したテープ式吸引率計(加藤ら, 2004)を用いて1分間隔で測定した。

- ・樹高と葉数の測定

育成期間中において、落葉広葉樹5種および常緑広葉樹4種の苗木の樹高と個体あたりの葉数を測定した(6個体/樹種)。ポットに詰めた土壌の表面から苗木の最上部までの長さを樹高とし、巻き尺を用いて測定した。葉数の測定においては、完全展開葉を計測対象とした。

- ・葉のガス交換速度の測定

育成期間中において、携帯式光合成・蒸散測定装置(LI-6400, Li-Cor Inc., Lincoln, USA)を用いて落葉広葉樹5種および常緑広葉樹4種の苗木の葉の純光合成速度、蒸散速度および水蒸気気孔コンダクタンスを測定した。葉を収容したリーフチャンバー内のCO₂濃度、気温および相対湿度は、それぞれ400 μmol mol⁻¹、25±0.1°C、65±5%に制御した。測定時の葉表面における光合成有効放射束密度を1500 μmol m⁻² s⁻¹に制御した。

・BC 粒子の葉面沈着量の測定

各樹種あたり 6 個体の苗木を無作為に選び、ブラックカーボン粒子の葉面沈着量を測定した (図 4)。採取した葉を平面上に並べ、デジタルカメラで撮影した。撮影した写真から画像解析ソフト (LIA32, フリーソフトウェア) によって葉面積を算出した。採取した葉を 150 mL の蒸留水で 3 分間にわたって洗浄し、100 mL または 150 mL のクロロホルム (99%, w/w) で 20 秒間にわたって抽出した。抽出液をシリカ濾紙 (QR-100, Advantec MFS Inc.) で濾過し、ブラックカーボン粒子を濾紙上に捕集した。シリカ濾紙上のブラックカーボン粒子の捕集量は、Thermal Optical Reflectance (TOR) 法 (IMPROVE 法) の OC/EC 炭素分析計 (Model 2001A, DRI) によって元素上炭素 (Elemental carbon, EC) として定量した。また、ブラックカーボン粒子を捕集したシリカ濾紙の 400~700 nm における吸光度を積分球付き分光光度計 (U-4100, 日立ハイテクノロジーズ) で測定した。吸光度と EC の関係から検量線を作成し、シリカ濾紙上のブラックカーボン粒子の捕集量を推定した。

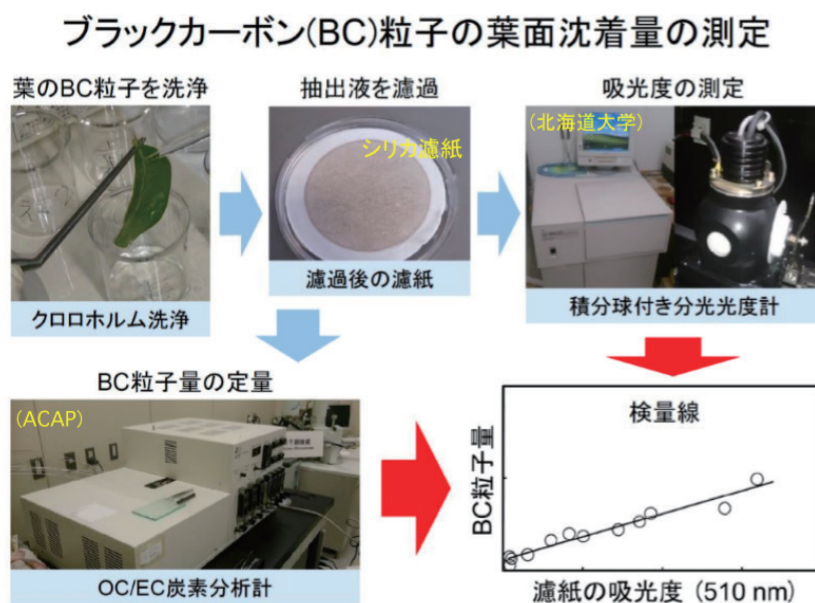


図 4 BC 粒子の葉面沈着量の測定方法

・葉面のクチクラワックス量の測定

ブラックカーボン粒子の葉面沈着量の測定において、シリカ濾紙で濾過した後のクロロホルム抽出液をあらかじめ重量を測定したガラス製シャーレに入れ、海砂を敷き詰めて 80°C に加熱したホットプレート上で加熱し、蒸発凝固させた。その後、ガラス製シャーレを室温にまで覚まし、再び重量を測定した。加熱前後のガラス製シャーレの重量の差をクチクラワックス量とした。

・走査電子顕微鏡画像による葉表面の観察

各樹種から 6 個体を無作為に選び、可視的損傷がない葉を 1 枚ずつ採取した。採取した葉からカミソリで約 3 mm 四方の葉片を切り取り、撮影時までデシケーター内で乾燥させた。乾燥させた葉片に厚さ 5 nm の金のコーティングを導電処理で施し、走査型電子顕微鏡 (JCM-5000, 日本電子株式会社) で観察し、画像を撮影した。

・葉面の気孔密度及び毛状突起（トライコーム）密度の測定

葉の走査型電子顕微鏡（SEM）画像から、葉面のクチクラワックスの形状、葉の気孔密度およびトライコーム（毛状突起）密度を算出した（図 5）。葉片の SEM 画像を倍率 150 倍で撮影し、気孔とトライコームを数え、それらの葉面における密度を算出した。なお、アラカシとシラカシの葉の背軸面においては気孔が毛状突起またはクチクラワックスによって覆われていたため、気孔密度の算出は行わなかった。また、アラカシの葉の背軸面においては毛状突起が密集して 1 本ごとの識別ができなかったため、毛状突起密度の算出は行わなかった。

・葉面の水滴の接触角の測定

BC 粒子の葉面沈着量を測定した各樹種の 6 個体から葉を 1 枚ずつ採取し、葉面の接触角を測定した（図 5）。接触角の測定は Takamatsu *et al.* (2001) の方法をもとに行った。マイクロシリンジ (HAMILTON80100) を用いて葉の向軸面と背軸面に 0.5 μL の超純水の水滴を落とし、その水滴の側方をプリズムミラーに映し、実体顕微鏡 (SMZ800, 株式会社ニコン) とデジタルカメラ (COOLPIX4500, 株式会社ニコン) を用いて画像を撮影した。この画像から水滴の直径と高さを測定し、以下の式を用いて接触角 ($^{\circ}$) を算出した。なお、本研究においては、葉の向軸面と背軸面において各 2 ヶ所の接触角を測定し、その平均値を向軸面または背軸面の接触角とした。

$$CA = 2 \times \tan^{-1} \{ [H/(BD/2)] \times (180/\pi) \}$$

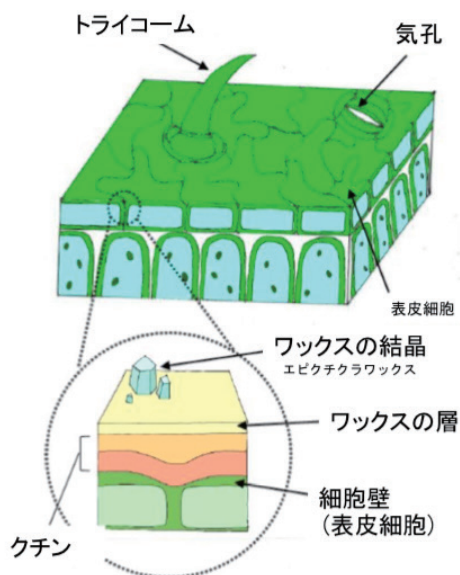
ただし、

CA: 接触角 ($^{\circ}$)

H: 水滴の高さ (cm)

BD: 水滴の直径 (cm)

葉の表皮構造



相賀・伊藤 (2015, 植物科学最前線)

植物の葉は最外層を表皮系に覆われており、表皮系は表皮細胞とその上を覆うクチクラからなる。

表皮細胞は通常一層で、一般的な表皮細胞以外に、孔辺細胞や毛状突起(トライコーム)などから構成される。

表皮細胞の上を覆うのがクチクラである。クチクラは不飽和脂肪酸の重合体であるクチンの層とそれを覆うワックスの層に分けられる。

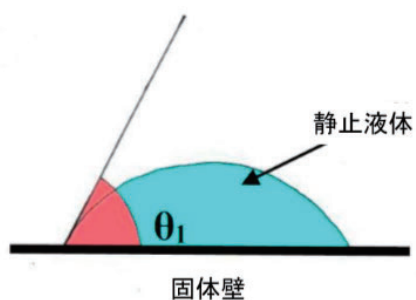
ワックスはクチクラの主たる構成要素であり、表皮細胞中で合成される。

葉のエピクチクラワックス量の測定法

ブラックカーボン粒子の葉面沈着量の測定における濾過作業時にシリカ濾紙で濾過した後のクロロホルム抽出液をサンプルごとにあらかじめ重量を測ったガラス製シャーレに入れ、海砂を敷き詰めて60℃に加熱したホットプレート上で加熱し、蒸発乾固させた。その後、ガラス製シャーレを室温まで冷まし、再び重量を測定した。加熱前後のガラス製シャーレの重量の差をエピクチクラワックス量とした。

16

葉の接触角 (Contact angle)



相賀・伊藤 (2015, 植物科学最前線)

接触角(θ_1)とは、
静止液体において固体壁と接触する場所における液体と固体面とのなす角度



接触角が高いほど、撥水性が高い

葉の向軸面と背軸面に0.2 μ lの超純水の水滴を落とし、その水滴の側方をプリズムミラーに写し、実体顕微鏡とデジタルカメラを用いて画像を記録した。この画像から水滴の直径と高さを測定し、接触角($^\circ$)を算出した。

21

図5 葉面の水滴の接触角の測定

(4)結果

- ・大気中のブラックカーボン（BC）粒子の月平均濃度

樹木の育成場所における大気中のBC粒子の月別平均濃度は、12月から7月にかけて減少し、7月から11月にかけて上昇した（図6）。また、月別平均風速は、春から夏にかけて高く、秋から春にかけて低かった（図6）。したがって、大気中のBC粒子濃度が比較的高い春や秋から冬の時期に捕捉効果の大きい樹種が大気中のBC粒子の低減に適する樹種であると考えられる。

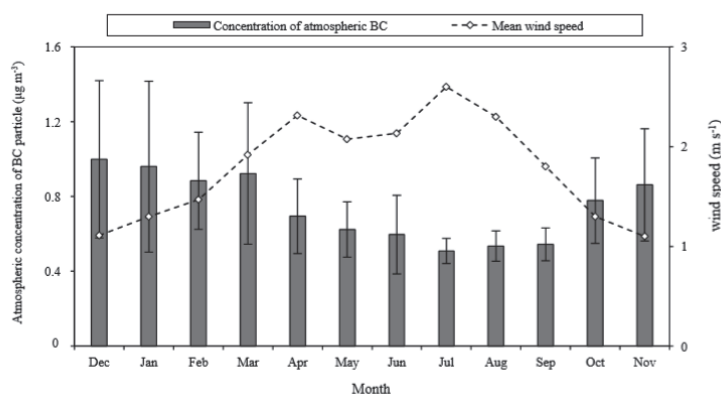


図6 2017年12月～2018年11月の大気中のBC粒子濃度の月平均値及び月平均風速
（棒グラフ：月平均BC粒子濃度、折れ線グラフ：月平均風速、エラーバーは標準偏差）

- ・落葉広葉樹の葉面BC粒子沈着量の季節変化とその環境要因・植物要因との関係

落葉広葉樹5種（ケヤキ、エゴノキ、コブシ、ヤマボウシおよびハナミズキ）においては、葉面BC粒子沈着量とその季節変化に樹種間差異が認められ、葉面BC粒子沈着量の最大値はハナミズキ>ヤマボウシ>ケヤキ>コブシ>エゴノキの順に高かった（図7）。

ケヤキ、エゴノキ、ヤマボウシおよびハナミズキの1次展開葉における葉面BC粒子沈着量は、展葉後から夏季にかけて有意に増加した。その後、葉面BC粒子沈着量は、ケヤキにおいては9月から10月にかけて有意に減少したが、エゴノキとハナミズキにおいては7月から8月にかけてほとんど変化しなかった。コブシ、ヤマボウシおよびハナミズキの2次展開葉におけるBC粒子の葉面沈着量は、展葉後に有意に増加した。その後、ヤマボウシとハナミズキのBC粒子の葉面沈着量は、それぞれ9月以降および10月以降はほとんど変化しなかった。

4～11月における落葉広葉樹5種の葉面BC粒子沈着量と環境要因または葉面特性との相関分析を行った結果（表3）、コブシにおいては、葉面BC粒子沈着量と大気中のBC粒子濃度との間に有意な正の相関が認められた。また、コブシおよびヤマボウシにおいては葉面BC粒子沈着量と風速との間に有意な正の相関が認められた。ヤマボウシおよびハナミズキにおいては、葉面BC粒子沈着量とクチクラワックス量との間に有意な正の相関が認められた。また、エゴノキ、コブシ、ヤマボウシおよびハナミズキにおいては、葉面BC粒子沈着量と葉面の接触角との間に有意な負の相関が認められた（図8）。したがって、落葉広葉樹においては、葉表面の撥水性（水のはじきやすさの性質）の指標である接触角が小さいほど、葉面BC粒子沈着量が大きくなるため、大気中のBC粒子の捕捉効果も大きくなり、大気中のBC粒子濃度の低減に適した樹種であると考えられる。そのため、葉面の撥水性に着目して、葉面の水滴の接触角の

測定によって大気中の BC 粒子の低減に適した落葉広葉樹を選定することができる可能性がある。

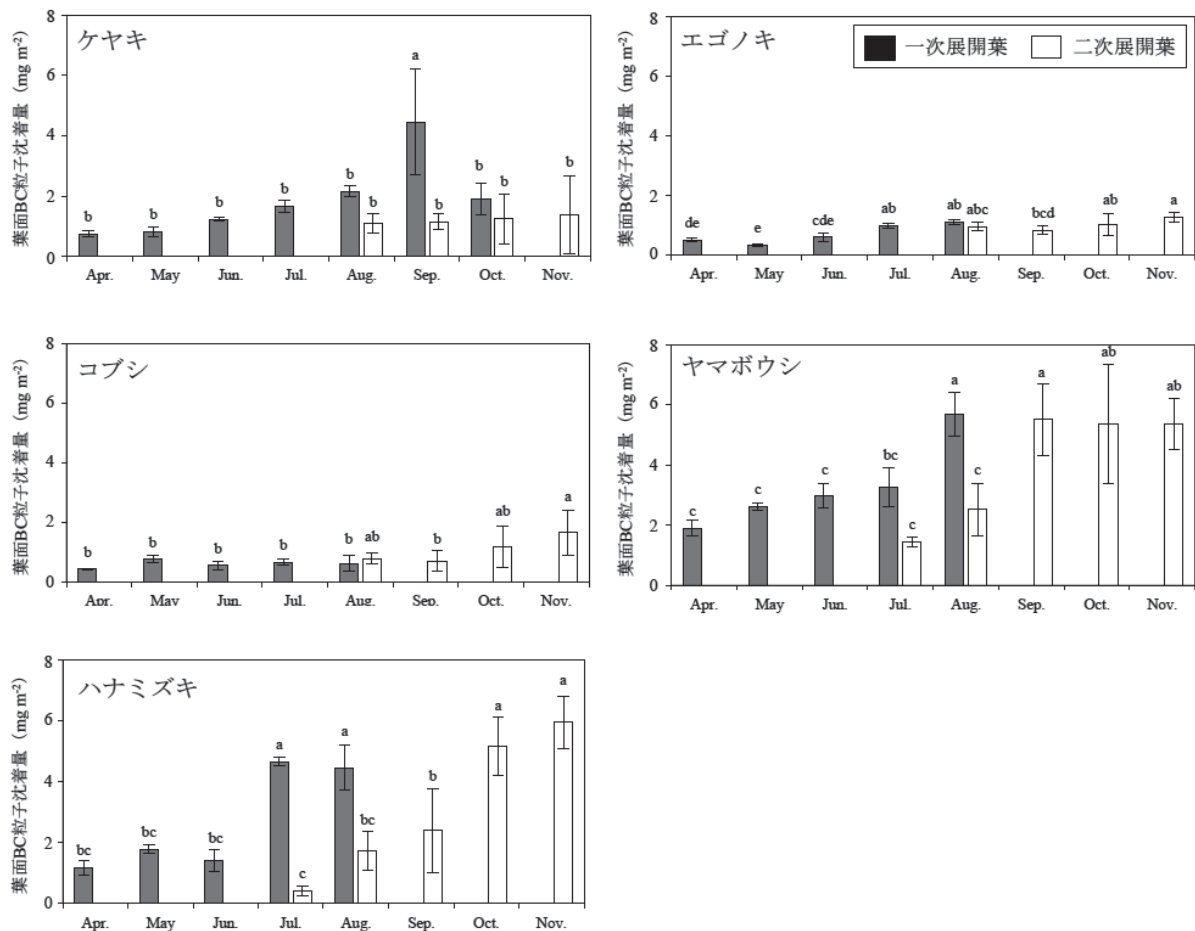


図7 落葉広葉樹5種における2018年4月～11月の葉面BC粒子沈着量の季節変化（各樹種4個体の平均値、エラーバーは標準偏差、異なるアルファベットが付いた値の間には有意差がある（ $p < 0.05$ ））

表3 落葉広葉樹5種の葉面BC粒子沈着量と環境要因・植物要因との関係

		相関係数 (R)				
		ケヤキ	エゴノキ	コブシ	ヤマボウシ	ハナミズキ
環境要因	大気中BC粒子濃度	-0.371	0.252	0.676 *	0.381	0.450
	気温	0.314	0.084	-0.421	-0.268	-0.214
	相対湿度	0.587	0.338	0.140	0.604	0.125
	風速	0.012	-0.441	-0.863 **	-0.701 *	-0.549
	降水量	0.585	-0.223	-0.408	0.031	-0.337
植物要因 (葉)	クチクラワックス量	0.428	-0.404	0.446	0.696 *	0.715 *
	接触角	-0.307	-0.832 **	-0.883 **	-0.690 *	-0.777 **
	純光合成速度	0.793 *	0.280	0.500	0.119	0.091
	蒸散速度	0.519	0.073	0.532	0.163	0.098
	気孔コンダクタンス	0.355	0.223	0.433	0.180	0.097

注) 表中の相関係数の有意水準: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

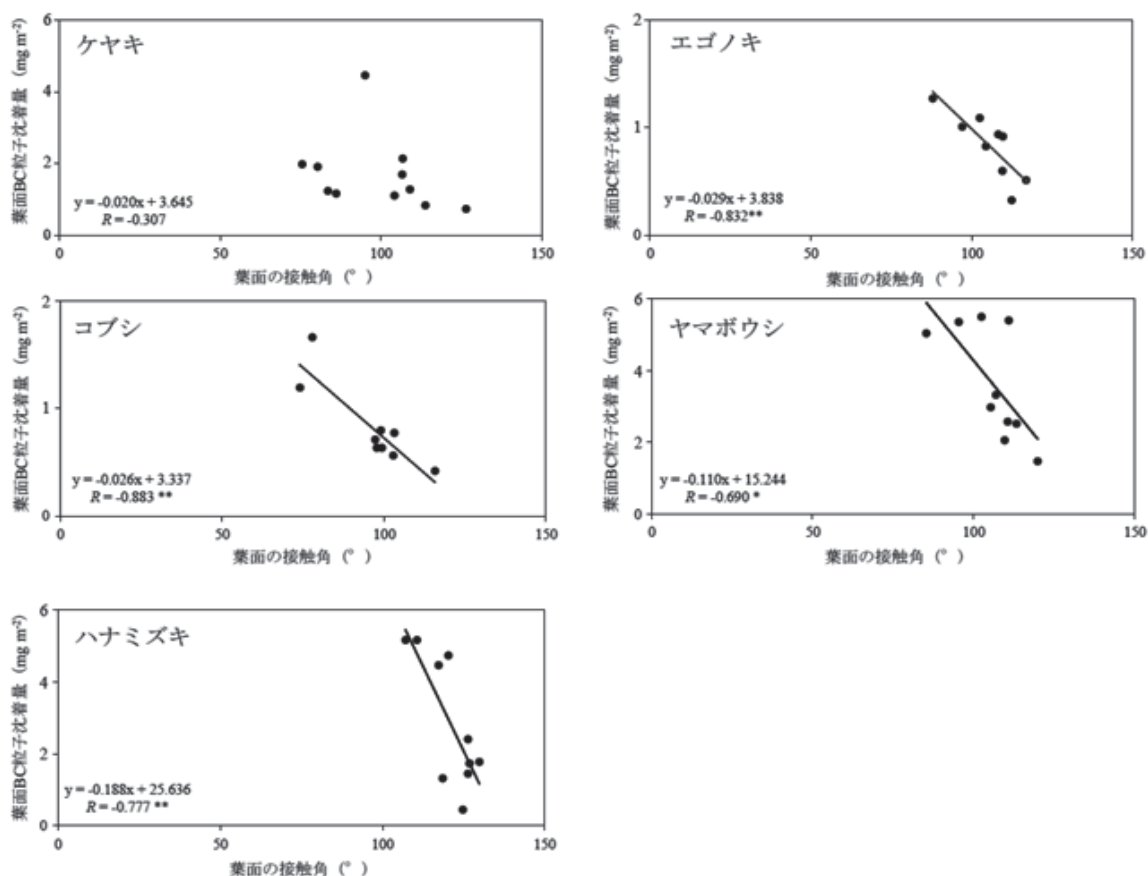


図 8 落葉広葉樹 5 種における葉面 BC 粒子沈着量と葉面の接触角の関係
(相関係数の有意水準：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

・常緑広葉樹の葉面 BC 粒子沈着量の季節変化とその環境要因・植物要因との関係

常緑広葉樹 4 種（アラカシ、シラカシ、キンモクセイおよびクロガネモチ）においては、葉面 BC 粒子沈着量とその季節変化に樹種間差異が認められ、葉面 BC 粒子沈着量の最大値はクロガネモチ>キンモクセイ>アラカシ>シラカシの順に高かった（図 9）。アラカシ、シラカシおよびキンモクセイの旧年葉の各月の葉面 BC 沈着量には有意な差が認められなかった。これに対して、アラカシの当年葉の葉面 BC 沈着量は、5 月から 7 月にかけて有意な増加傾向が認められ、7 月から 10 月まではほぼ一定の値を示し、10 月から 12 月まで再び増加傾向を示した。シラカシの当年葉の葉面 BC 沈着量は、5 月から 7 月にかけて有意な増加傾向が認められ、7 月から 8 月まではほぼ一定の値を示し、8 月から 10 月まで再び増加傾向が認められた後、12 月まではほぼ一定の値を示した。キンモクセイの当年葉の葉面 BC 沈着量は、4 月から 10 月まで有意に増加したが、10 月以降はほぼ一定の値を示した。クロガネモチの当年葉の葉面 BC 沈着量は 5 月から 10 月まで有意に増加したが、10 月以降はほぼ一定の値を示した。

2018 年 4～12 月における常緑広葉樹 4 種の葉面 BC 粒子沈着量と環境要因または葉面特性との相関分析を行った結果（表 4）、アラカシとクロガネモチにおいては、月平均大気中 BC 粒子濃度と葉面 BC 粒子沈着量に有意な正の相関が認められた（図 10）。また、アラカシ、キンモ

クセイおよびクロガネモチにおいては、月平均風速と葉面 BC 粒子沈着量に有意な負の相関が認められた。これに対して、いずれの樹種においても、葉面クチクラワックス量と葉面 BC 粒子沈着量との間に有意な相関は認められなかった。アラカシおよびシラカシにおいては、葉面の接触角と葉面 BC 粒子沈着量に有意な負の相関が認められた (図 11)。

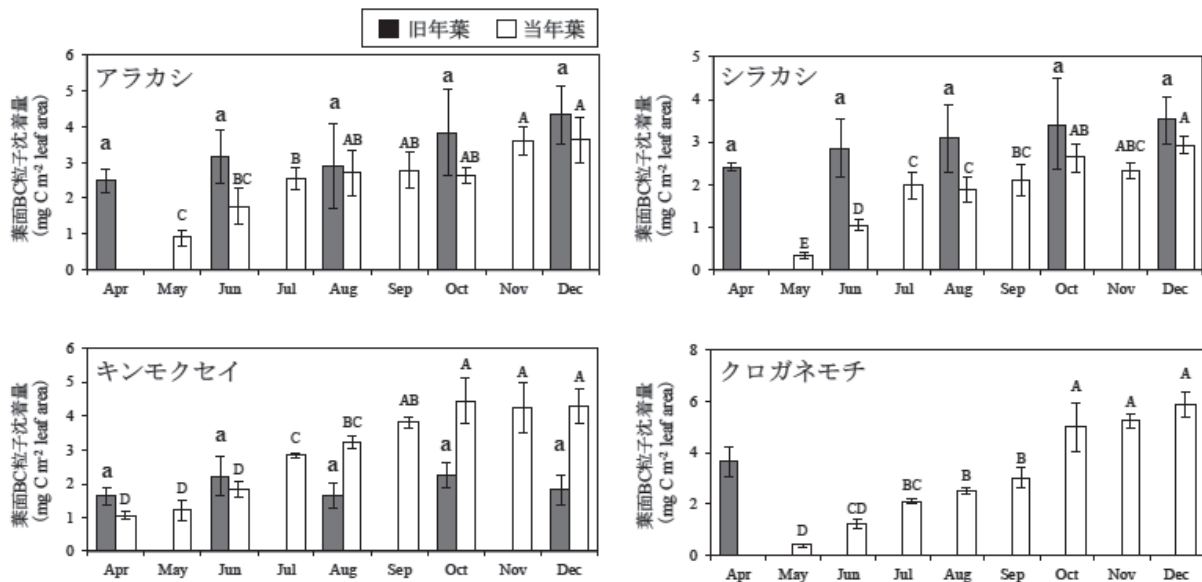


図 9 常緑広葉樹 4 種の 2018 年 4 月～12 月の葉面 BC 粒子沈着量の季節変化 (黒棒：旧年葉、白棒：当年葉、エラーバーは標準偏差、異なるアルファベットが着いた値の間には有意差があることを示す ($p < 0.05$))

表 4 常緑広葉樹 4 種の葉面 BC 粒子沈着量と環境要因・植物要因との関係

		相関係数 (R)			
		アラカシ	シラカシ	キンモクセイ	クロガネモチ
環境要因	大気中BC粒子濃度	0.612 *	0.476	0.287	0.816 **
	気温	0.501	0.350	0.152	0.697
	相対湿度	0.172	0.152	0.280	0.231
	風速	-0.609 *	-0.437	-0.548 *	-0.767 *
	降水量	0.406	0.367	0.003	0.504
植物要因 (葉)	クチクラワックス量	0.070	-0.131	-0.112	0.351
	接触角	-0.691 **	-0.724 **	0.248	-0.315
	純光合成速度	-0.243	-0.518	0.695 *	-0.705
	蒸散速度	-0.057	-0.568	0.611 *	-0.378
	気孔コンダクタンス	-0.050	-0.541	0.706 *	-0.407

注) 表中の相関係数の有意水準：* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

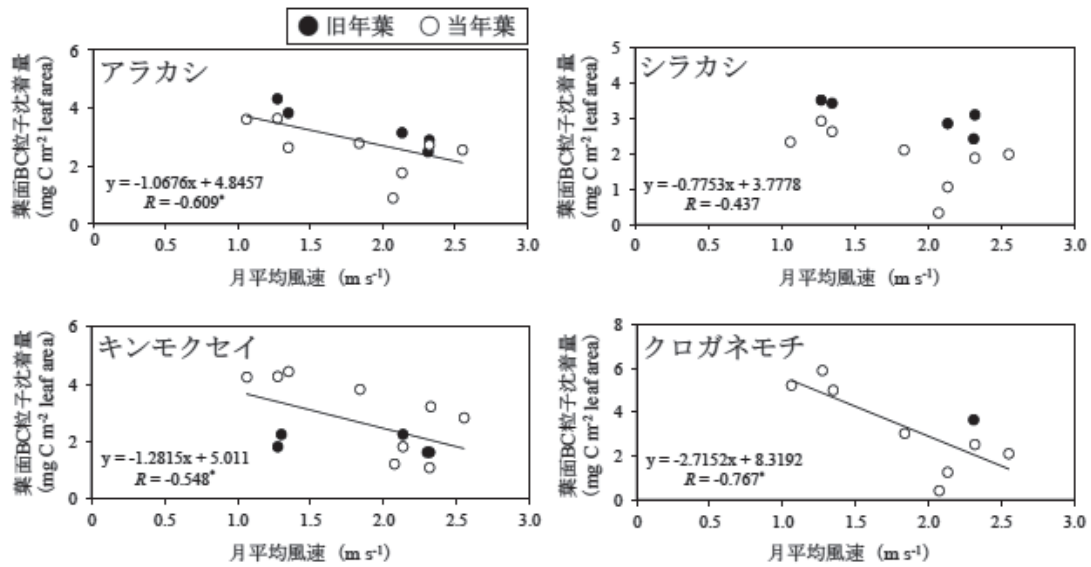


図 10 常緑広葉樹 4 種における葉面 BC 粒子沈着量と月平均風速の関係
(相関係数の有意水準: * $p < 0.05$)

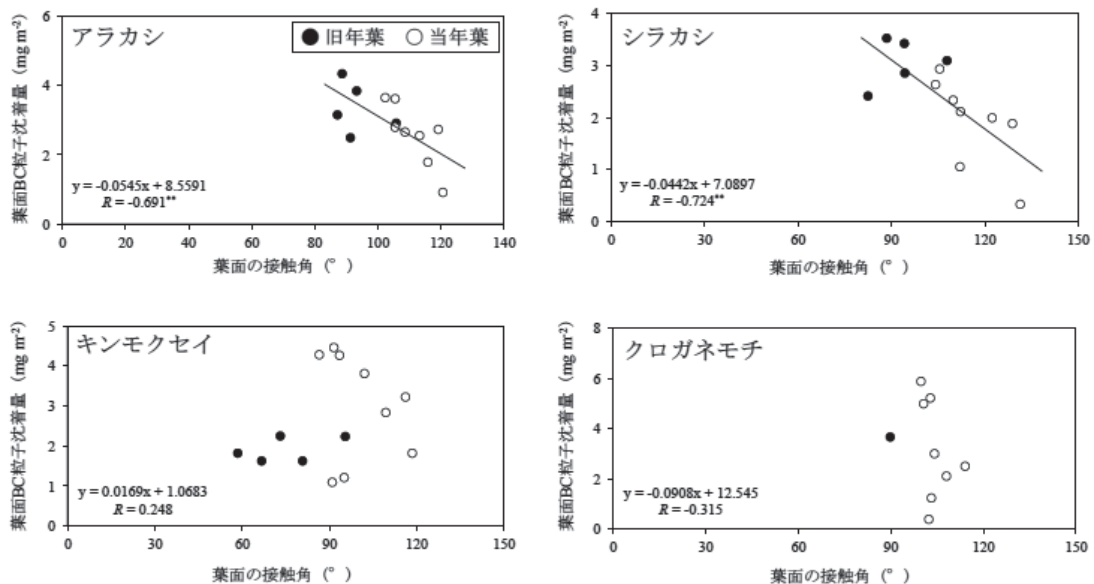


図 11 常緑広葉樹 4 種における葉面 BC 粒子沈着量と葉面の接触角の関係
(相関係数の有意水準: ** $p < 0.01$)

1.4 ブラックカーボン粒子の低減に適した樹種の提言と今後の課題

本実験的研究の結果より、樹木の葉はブラックカーボン (BC) 粒子を捕捉していることが示された。BC 粒子によって汚染された都市大気浄化に適している樹木は、単位葉面積あたりの BC 粒子沈着量が多く、さらに土地面積あたりの葉面積が大きい樹種である。土地面積あたりの葉面積は葉面積指数 (LAI) と呼ばれ、ある土地の上部にある植物のすべての葉面積を積

算した値を単位土地面積あたりに換算した値（個体あたりの葉面積/土地面積）である。LAIは樹種や生育環境などによって変化するが、東京都の市街地における樹木のLAIは最大で6程度と評価されており（國分ら, 2017）、土地面積の数倍の葉面積がBC粒子の沈着面として地表面の上部に存在している。したがって、単位土地面積あたりで考えると、植樹地においては樹木が植栽されていない土地（裸地）に比べて数倍のBC粒子の沈着面（葉）を有している。一般に、BC粒子のような微小粒子状物質（PM_{2.5}）は、拡散速度が比較的小さく、重力沈降の影響が小さいため、降雨がない場合は大気中における滞留時間が比較的長い（数日～数週間）。そのため、大気中に滞留しているBC粒子の一部は樹木の葉に捕捉されるため、樹冠（樹木の上部で葉が茂っている部分）の下部の地表面付近の大気BC濃度や地表面に沈着するBC粒子は少なくなると考えられる。人間は地上から2 m以下に存在する大気中のBC粒子に暴露されるが、一般に地上から2 m以上に存在する都市緑化樹の樹冠は土地面積の数倍のBC粒子の沈着面（葉）を有しているため、都市緑化樹を植栽すると地上から2 m以下の大気BC濃度は樹木が植栽されていない土地（裸地）のそれに比べて低いと考えられる。したがって、都市における植樹はBC粒子によって汚染された都市大気の浄化と人間へのBC粒子の暴露量の低減に寄与すると考えられる。今後は、樹林地と裸地における大気中のBC濃度を実測し、その濃度差などから都市緑化樹がBC粒子の低減にどの程度寄与しているかを確かめる必要がある。

これまでの樹木の葉面における粒子状物質の沈着量に関する研究では、ある時期の比較的短い期間で測定・評価されてきた。これに対して、本研究においては、葉面BC沈着量の一年を通じた季節変化を把握することにより、葉面BC沈着量の季節変化は大気中のBC濃度の季節変化と異なることが明らかになった。また、葉面BC沈着量の季節変化やその最高値には樹種間差異があることも明らかになった。わが国においては、一般に都市大気中のBC粒子濃度は夏に低く、春や秋から冬にかけて高い傾向があるため、大気BC粒子濃度が高い春や秋～冬に葉面BC粒子沈着量が多い樹種はBC粒子の大気浄化に適していると考えられる。その意味では、今回対象とした9樹種において、落葉広葉樹ではヤマボウシとハナミズキ、常緑広葉樹ではアラカシとキンモクセイはBC粒子の大気浄化に適している樹種である。

本研究においては、BC粒子の葉面沈着量には、これまで注目されていた葉面の毛や凹凸などの視覚的に確認できる程度の葉の形態的特徴以外に、葉表面のクチクラワックスに関する植物要因（葉面特性）が関与していることが明らかにされた。特に、葉面の撥水性（水のはじきやすさ）の指標である葉面の水滴の接触角と葉面BC粒子沈着量に有意な負の相関が多くの樹種で見られ、葉の撥水性が低いほど（葉面の接触角が小さいほど）、すなわちワックスの撥水性が低下し葉が濡れやすいほど、葉面BC粒子沈着量が多いことが明らかになった。このため、葉面の撥水性に着目して、葉面の水滴の接触角を測定することによってBC粒子の沈着に適した樹種の選抜が行える可能性がある。

上記のように、今回の実験的研究で対象とした9樹種では、BC粒子の葉面沈着に適した樹種の優劣を比較することはできたが、これを一般化するのは現段階では難しく、データの更なる蓄積が必要である。また、植樹によって粒子状物質の浄化効果を高めるためには、植栽樹種のみならず、植え方（階層構造や立木密度、葉群密度）や植栽後の管理の仕方（剪定・刈込み）などを検討する必要がある。

2. 大気浄化植樹事業の経緯と現状

2.1 事業に係るこれまでの経緯

大気浄化植樹事業については、昭和 62（1987）～63（1988）年度に当時の環境庁の大気保全局内に「大気環境に関する緑地機能検討会」が設けられ、大気環境保全の観点から都市緑地の保全・整備のあり方についての検討がなされ、「大気浄化植樹指針」が策定された。それを受けて、独立行政法人環境再生保全機構では、昭和 63（1988）年以來、大気汚染による健康被害を予防する事業（公害健康被害予防事業）の一環として、植物の大気浄化能力に着目した「大気浄化植樹事業」を地方公共団体に助成して行っている。

この大気浄化植樹事業に関連して、図 12 に示すように、環境省及び公害健康被害予防補償協会、環境事業団、独立行政法人環境再生保全機構（いずれも所属官庁は環境省）と、時代の変遷により組織や名称を変えながら、平成元年度以降、四半世紀以上に渡って様々な検討や調査研究がなされてきた。



図 12 大気浄化植樹事業に係るこれまでの経緯

2.2 事業実績の収集整理

(1) 事業件数の推移

大気浄化植樹事業は、昭和 63（1988）年に「公害健康被害の補償等に関する法律」が施行されたのを契機に開始された。事業開始直後の 1988 年～1989 年は、年間実績件数が 100 件を超えたが、以降徐々に件数が減り、近年は年間 10 件にも満たない、じり貧状態が続いている。

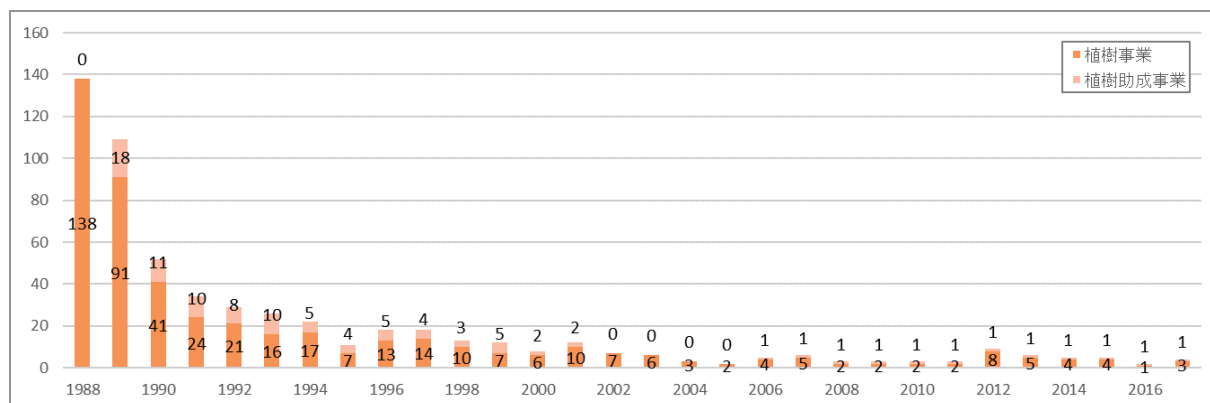


図 13 事業実績件数の推移

(2) 植栽規模、施設類型の内訳

大気浄化植樹事業、大気浄化植樹助成事業とあわせ、これまでに延べ 574 件の申請があった。植栽規模や施設類型の傾向を見ると、植栽規模は 100～300 m² がもっとも多く、全体の 32% を占める。一方で、1,000 m² を超える大規模な事業の件数は、全体の 10% に満たない。

施設類型は、大気浄化植樹事業による「教育施設・学校施設」が最も多く、全体の 49% を占める。次いで、多いのは大気浄化植樹助成事業による「民間施設」で、全体の 17% を占める。

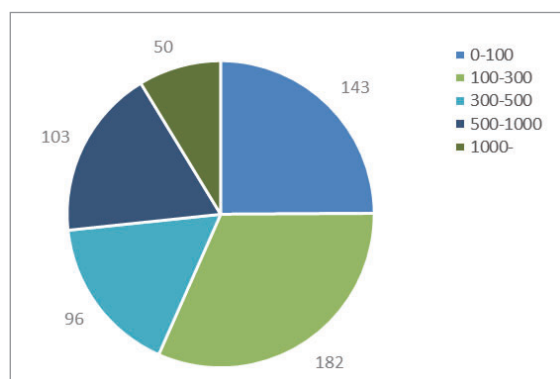


図 14 植栽規模 (m²) の内訳 (件数)

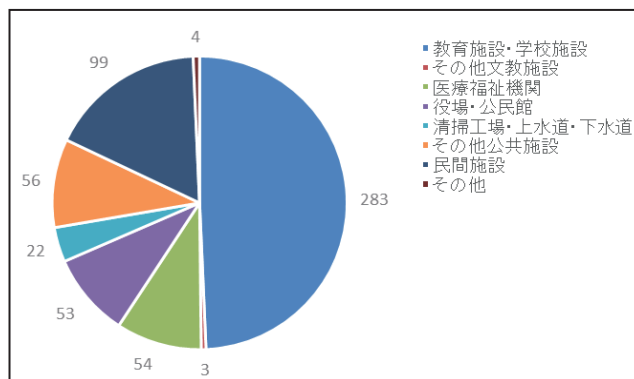


図 15 施設類型の内訳 (件数)

注) **大気浄化植樹事業**は、地方公共団体が大気浄化能力を有する植栽の整備を公的施設等に行う事業に対し、機構が植栽を実施する地方公共団体に助成する事業。
大気浄化植樹助成事業は、地方公共団体が民間事業者等に大気浄化能力を有する植栽の整備を行うために要する経費を助成することに対して、機構が地方公共団体に助成する事業。

2.3 対象自治体担当者へのアンケート調査

平成 29 年度に大気浄化植樹の対象自治体 46 団体の大気環境保全や保健に係る主管部署、公共施設の緑化や緑化推進に係る主管部署のほか、学校等教育施設の整備に係る主管部署も対象とし、アンケート調査を実施した。

調査方法は郵送とし、全て記名式で実施した。回収状況は全体で有効回収率 65.9%であった。

アンケートの主な質問項目と結果総括は以下のとおり。

事業の情報発信に係る設問	【質問項目】 事業の理解度／事業の周知と認知／事業の募集と申請／ 関連部署との関わり
【結果総括】 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 申請実績の有無に関わらず、事業を認知している自治体は 30～40%程度と低い。 ◆ 自治体内での事業周知の状況は、実績の有無に関わらず、ほとんどが「特に周知していない」と回答している。 ◆ 事業の認知方法は、実績の有無に関わらず、ERCA や関連部署から受動的に情報を得たとの回答が最も多く、実績のある自治体の約 60%がこれに該当する。ただし、実績のない自治体では、受動的に情報を得たとの回答が約 45%であったのに対し、自ら情報収集をする中で情報を得たとの回答も約 30%見られる。 ◆ また、実績のある自治体において、自治体内の実績を通じて事業を知ったとの回答は 4.5%に留まっている。 ◆ 事業の募集状況や申請手続きの状況については、「特段の募集は行っていない」、「申請は受け付けていない」との回答が多く、希望者がいた場合に「都度対応」としている自治体が多い。 ◆ 関係部署との関わりは、実績の有無に関わらず、50%以上が日常的に調整しているか、必要に応じて関われる体制になっていると回答している。 	
事業の内容や運用に係る設問	【質問項目】 事業の活用実績と本事業への期待／事業の助成対象／ 緑化をする上での課題／既存の緑化助成制度／緑地の活用
【結果総括】 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 本事業への期待については、多くの自治体が「わからない」と回答した。 ◆ 助成対象とする樹種については、申請実績の有無による差は見られず、いずれも回答にばらつきがあったが、助成対象経費については、実績のある自治体の半数以上が維持管理費用まで負担してほしいと回答した。緑化における課題についても、実績の有無による大きな差は見られず、いずれも回答がばらついた。細かく見ると、「大気浄化の問題が顕在化していない」、「道路管理者との調整が面倒」、「空間の確保が必要」は、実績のある自治体に比べ実績のない自治体が 20%以上高い値を示している。 ◆ 環境教育への活用については、「身近な動植物の観察」、「授業での活用」、「総合学習での活用」が半数を占めたが、「クラブ活動での活用」、「専門家による出前授業」に対しては消極的であった。 	
事業の課題と今後の展開に係る設問	【質問項目】 事業の課題／今後の展開
【結果総括】 <ul style="list-style-type: none"> ◆ 事業の課題については、「周知不足」や「大気浄化植樹のニーズが低下した」など事業の課題とともに、「植栽する場所がない」や「維持管理が困難」、「財政的に困難」など自治体が抱える課題も見えた。 ◆ 今後の展開については、「ホームページの充実」や「パンフレットの配布」、「実施事例集の作成と配布」、「維持管理の容易な樹種選定に関する情報提供」など事業の周知に係る意見のほか、「申請手続きの煩雑さの低減」や「一般市民が手軽に活用できるような助成制度に」など事業の見直しに係る意見が寄せられた。 ◆ 実績のある自治体から「インセンティブの充実」を求める声が挙げられた。 	

2.4 対象自治体担当者へのヒアリング調査

ヒアリング調査はアンケート調査の補足、補完と位置づけ、課題の解決につながり得るご回答をいただいた自治体担当者にヒアリング調査（対面・電話）を行い、ご意見を掘り下げた。

表5 ヒアリング項目と主なご意見

項目	主な意見
「周知不足」 について	<ul style="list-style-type: none"> ・ホームページで応募要領や事業のポイント、手続きの手順を紹介するほか、申請書類の様式の掲載、実績の紹介などがあるとうい。 ・関連部署が集まる会議の場を利用して周知を図るとよい。 ・緑地整備は新築マンションの付加価値向上のため、開発事業などをターゲットとするのも一つの方法である。
「ニーズの低下」 について	<ul style="list-style-type: none"> ・大気浄化植樹の効果をHPやパンフレットでわかりやすく発信する。 ・PM_{2.5}、ヒートアイランドなど、話題のキーワードと絡めて発信する。 ・緑の多面的機能のアピールには「大気浄化植樹」の名称を変更する。
「手続きが煩雑」 について	<ul style="list-style-type: none"> ・手続きに要する期間を明確にする。 ・予防事業全体の手続きは関連部署の連携が必要で手間がかかる。大気浄化植樹事業単体で申請を受け付けるなど、単独部署で行えるとよい。 ・一般市民が手軽に申請手続きできるような仕組みがあるとよい。
「維持管理が困難」 について	<ul style="list-style-type: none"> ・低木など、手軽に維持管理できるものがよい。 ・樹種選定には、地域の在来種や植栽場所の環境、地域住民の好みなども重要。将来的な倒伏の危険性などにも留意が必要。 ・維持管理費の助成は、対象木とそれ以外の木を区別するのが難しい。保護樹木など、対象を明確にしやすいものに限定してはどうか。 ・維持管理費を助成する場合、新たに手続きが煩雑になれば本末転倒。
「植栽場所がない」 について	<ul style="list-style-type: none"> ・公園や公開空地を対象にするとよい。 ・開発や人口増加が進み、新築・改築が増加しているエリアが有望。 ・緑のカーテンや生垣など、狭い空間でも対応できるものがよい。 <p><上記の注意事項として></p> <ul style="list-style-type: none"> ・屋上緑化は、導入できる人が限定されてしまう。 ・緑のカーテンは自治体が支援すべきで、国が支援する必要はない。 ・戦後に植栽した樹木が老齢化するため、今後その更新に活用したい。 ・地域の緑化施策に一致しない場合もあるため、樹種は限定しない。
「財政的に困難」 について	<ul style="list-style-type: none"> ・老朽化した公共施設の改築に合わせれば、事業費も確保できる。 ・現行通り、他の助成金との併用ができるのが望ましい
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・工場や事業所を対象とした意向調査を行ってみたいらどうか。 ・一般市民や自治会、学校などに緑化樹木の配布を行ってはどうか。 ・緑地の大気浄化機能について、認定制度を導入したらどうか。評価を受けた自治体のインセンティブに繋がるのみならず優良事例紹介になる。

2.5 大気浄化植樹事業の課題

アンケートやヒアリング調査の結果、本事業の課題として、大きく以下の5点が挙げられた。

◇大気浄化植樹事業の認知度に関して
<ul style="list-style-type: none"> ・周知不足 ・ニーズの低下
◇自治体の財政問題に関して
<ul style="list-style-type: none"> ・財政的に困難 ・植栽後の維持管理が困難（落葉の苦情や落葉収集処理の問題も含む）
◇植栽を行う場所に関して
<ul style="list-style-type: none"> ・植栽場所がない

(1) 周知不足

	内容
情報の認知状況	<ul style="list-style-type: none">・申請実績の有無にかかわらず、事業を認知・周知していない。・申請手続きにかかる手間や流れがわからない。
関連部署間での情報共有	<ul style="list-style-type: none">・現状では、機構から自治体の大気環境や保健を所管する部署に発信。・関連部署間の連携が悪く、窓口部署から関連部署への伝達に限界がある。・窓口部局は通常植栽事業を担当しないため、事業活用の機会が少ない。・複数部署での対応が求められる現在の仕組みは、やや負担に感じる。
ホームページでの情報提供	<ul style="list-style-type: none">・応募要領、事業のポイント、手続きの手順がHPで紹介されていない。・機構HPにも事業説明のページはあるが、具体的な内容・手順がない。・過去に実績のある自治体も、それが引き継がれていない。

(2) ニーズの低下

	内容
大気汚染に対する意識	<ul style="list-style-type: none">・大気汚染が改善され、問題が顕在化していない。・PM_{2.5}や光化学オキシダントなど話題のキーワードは市民の関心も高い。
大気浄化植樹に対するイメージ	<ul style="list-style-type: none">・都市緑化による大気浄化に期待がもてない。・「大気浄化植樹」という名称が古臭く、緑の多面的機能を強調すべき。

(3) 自治体の財政問題

	内容
財政的に困難	<ul style="list-style-type: none">・他に優先すべき事業がある。・手続きにかかる人件費の確保が困難。・財政が厳しく、施設整備自体の予算が減っており、事業活用の機会もない。・財政がひっ迫し、必要最小限の事業しか行えない。
植栽後の維持管理が困難	<ul style="list-style-type: none">・維持管理に経費や手間がかかる。・維持管理の経費や手間のかからない樹種を推奨してほしい。・維持管理費の助成は、他の樹木と区別ができないため難しいのではないか。・維持管理費は、本来なら各自自治体で負担すべきものである。・実績のある自治体の半数以上が維持管理費の負担を要望している。

(4) 植栽する場所の問題

	内容
新たに植栽する場所がない	<ul style="list-style-type: none">・開発や人口増加が進み新築・改築が増えているエリアが有望ではないか。・戦後植栽した樹木が老衰しているため老木の植替えに活用したらどうか。・緑のカーテン、生垣、プランターなどへの助成も考慮すべき。・これまで実績のない自治体では植え場所の確保が困難という意見が多い。

3. 今後の事業展開に向けての基礎的知見の整理

3.1 近年の大気環境と都市緑化の動向

近年の大気環境は、ひと頃の公害の時代の大気環境に比べると、官民一体の様々な施策や改善策によって大幅に改善され、大気環境改善のための植樹の意義が薄れているのではないかと、という意見がある。ここでは、近年の大気環境の状況と人の健康や植物への影響を整理した。また、都市緑地の現状と都市緑化の動向を整理した。

(1) 大気環境の現状

1960年代に顕在化した硫黄酸化物を中心とした産業公害型の大気汚染に対する対策は着実

な進展を遂げ、続く 1970 年代後半からの窒素酸化物や浮遊粒子状物質を中心とした都市・生活型の大気汚染も様々な対策により環境基準が達成され、あるいはほぼ達成に近いなど大気環境は大幅に改善されつつある（図 16）。

このように、第二次世界大戦後の高度経済成長期を中心とした、いわゆる公害の時代の深刻な大気汚染は克服され、現在はわが国の大気環境はひと頃 비해大幅に改善されてきている。

しかしながら、現在では、その生成機構が複雑な光化学オキシダント、海外からの越境汚染なども懸念されている微小粒子状物質、低濃度長期暴露による健康影響が心配される有害大気汚染物質などが新たな課題となっている。

このうち光化学オキシダントについてみると、長期的な改善傾向を評価するための指標（8 時間値の日最高値の年間 99 パーセンタイル値の 3 年平均値）を用いて経年変化をみると、注意報発令レベルの超過割合が多い地域では近年は減少傾向ないしは横ばい傾向にあり、一定の改善傾向が伺える（図 17）。しかし、昼間の日最高 1 時間値の年平均値は、漸増ないしは横ばい傾向が続いており（図 16）、環境基準達成率は一般局、自排局いずれも 0%で、依然として極めて低い水準となっている。

更に、地球温暖化に係る温室効果ガスなどは地球環境問題として、我々の子孫の生存を脅かす深刻な問題となっている。

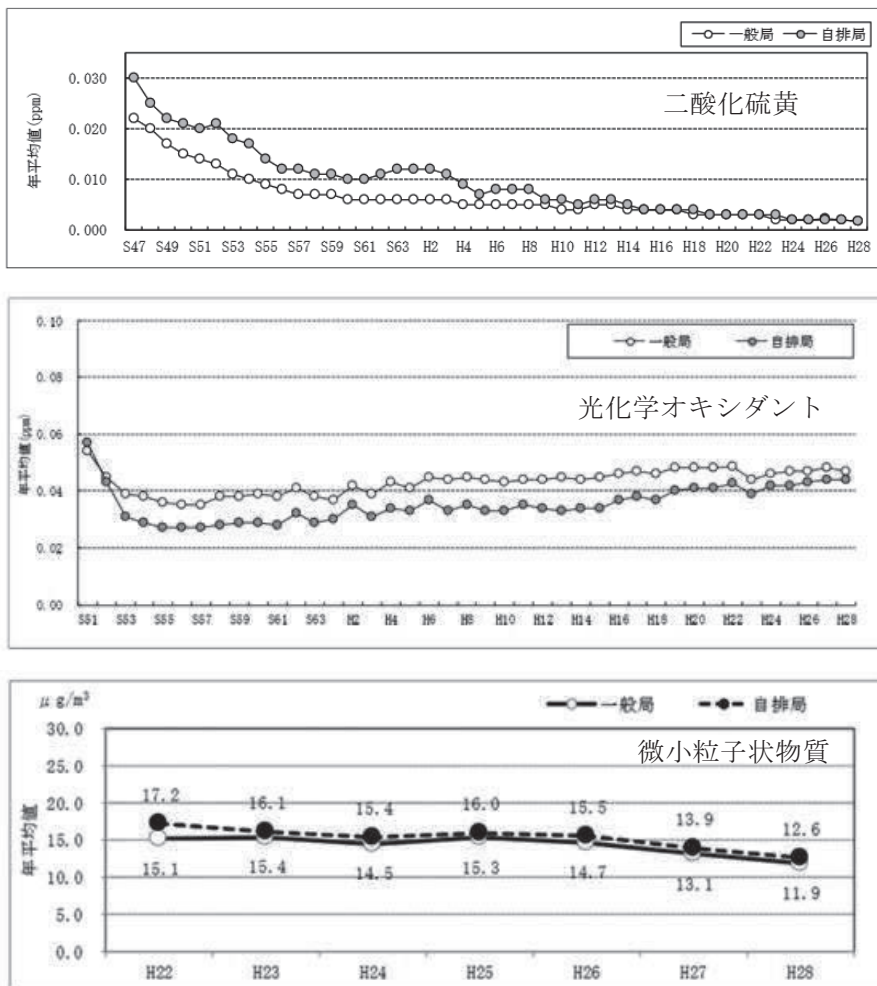


図 16 二酸化硫黄、光化学オキシダント、微小粒子状物質の年平均値の推移

出典) 環境省 (2018) : 平成 28 年度の大気汚染の状況 (平成 30 年 3 月 20 日報道発表資料)

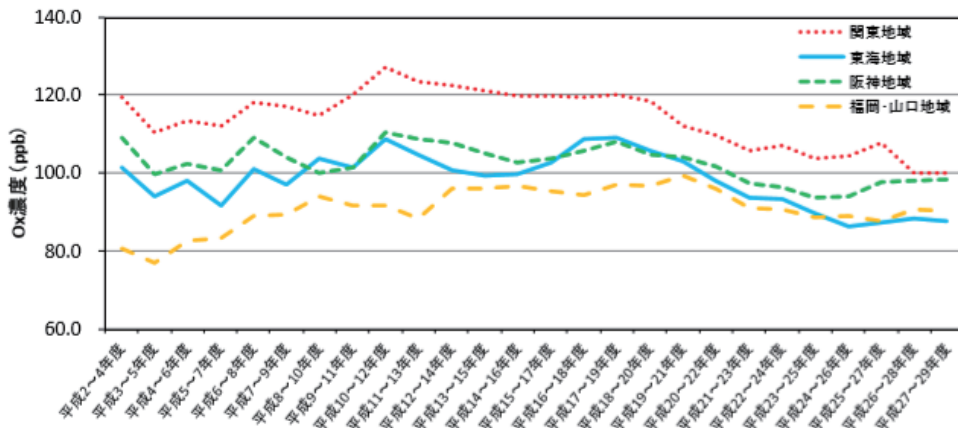


図 17 光化学オキシダント濃度の長期的な改善傾向を評価するための指標（8時間値の日最高値の年間 99 パーセンタイル値の 3 年平均値）を用いた地域内最高値の経年変化

(2) 都市緑化の動向

◆首都圏における緑地面積の推移

昭和 40（1965）年から平成 15（2003）年の約 40 年間に、農地・林地が約 21.9 万 ha（山手線内側面積の約 34 個分）減少した一方、都市公園が約 1.6 万 ha 増加している。緑地面積の合計では約 22%減少している（図 18）。

◆全国的にみた緑被率の推移

昭和 57（1982）年から平成 12（2000）年の約 20 年間で緑被率（国土に占める農用地、森林、原野、都市公園の占める割合）は 83.9%から 81.6%に全国的に減少している。三大都市圏、地方圏においてもほぼ同様に推移している（図 19）。

都市公園の面積は増加しているものの、緑地の大部分を占める森林や農用地が減少しているため、緑被率は全体としては減少している。

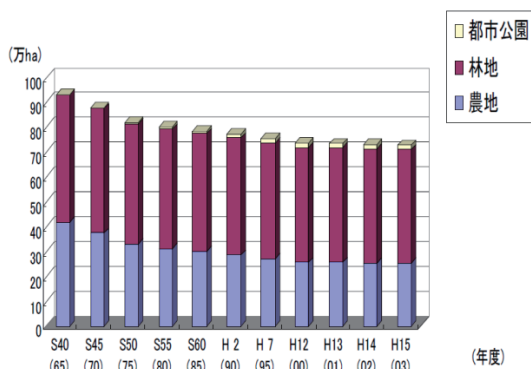


図 18 首都圏における緑地面積の推移
出典) 国土交通省：みどりの政策の現状と課題

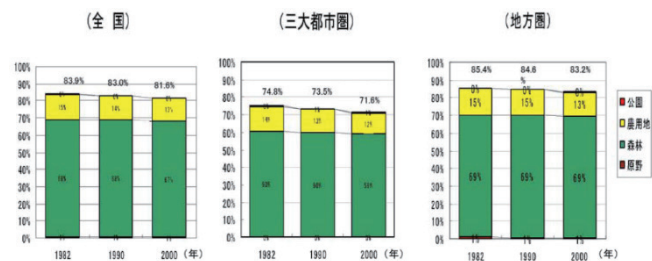


図 19 全国・首都圏・地方圏の緑被率の推移
出典) 国土交通省：みどりの政策の現状と課題

◆都市公園の整備の推移

昭和 35（1960）年以降、一人当たりの公園面積は順調に増加している。一人当たりの公園面積の推移を平成 2（1990）年から平成 17（2005）年の 16 年間でみると、一人当たりの都市公園面積の全国平均は 5.8m² から 9.1m² と約 1.6 倍に増加している（図 20）。

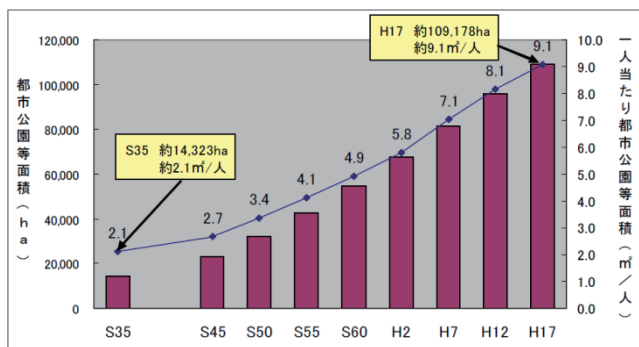


図 20 都市公園面積と一人当たりの都市公園面積の推移
出典) 国土交通省：みどりの政策の現状と課題

3.2 対象自治体の類似制度の事例整理

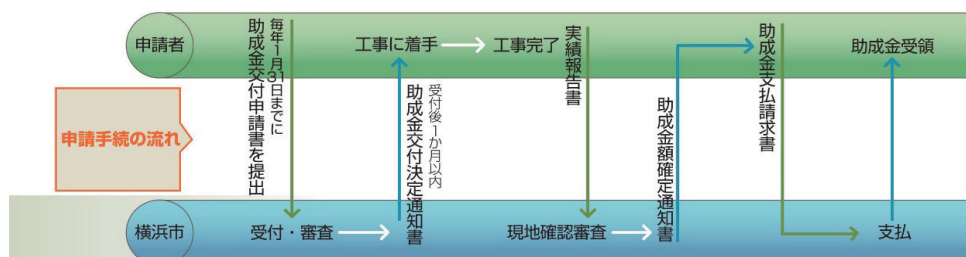
近年の都市緑地の動向を整理する中で、本事業の対象自治体における、民有地緑化を支援する助成制度を一覧で整理した。類似の助成制度には、屋上緑化、壁面緑化、接道部の緑化、生垣、緑の塀、敷地内緑化（ヒートアイランド対策）、駐車場緑化、空地緑化、保存樹木、保存樹木の維持管理、緑のカーテンと芝生造成（ヒートアイランド対策）、植樹、花壇等がある。

大気浄化植樹の課題の解決に向け、助成内容、手続き、情報周知方法など、特に参考になる事例を整理し、ポイントとなる事項を整理すると、以下のような点が挙げられる。

- ・助成対象費目として、基盤整備費（暗渠設置・灌水施設設置・植樹設置）、ブロック塀及びフェンス等の撤去費、維持管理費、市民協働による緑化活動費を助成
- ・地区により助成内容を調整
- ・募集要項とあわせて緑化の必要性や効果、優良事例などを紹介
- ・申請手続きの流れ（分担や手続きに要する日数）などを明示
- ・生垣助成では、助成対象を「m」単位で算定

【横浜市の民有地緑化助成事業の例】

- ・助成対象費目の幅が広い（樹木等の材料費、植栽費、灌水施設設置費、塀等の撤去費）
- ・地区により助成内容に違いがある
- ・申請手続きの流れ（申請者と審査者の分担や申請に要する日数等）が明示されている



出典) 横浜市「民有地緑化助成事業」パンフレット

【大阪府のみどりづくり推進事業】

- ・緑化に対する市民活動を助成対象にしている
- ・助成対象費目の幅が広い（活動経費として講師謝礼、研修会経費等も認められる）
- ・助成実績（緑化面積、助成金額、補助事業者など）が一般に広く公開されている
- ・内容を限定せず、助成対象者を限定している

過去3年間に於けるみどりづくり活動助成の実績

平成29年度	平成28年度	平成27年度
募集期間： ・平成29年6月9日から平成29年7月31日まで ・平成29年8月14日から平成29年10月31日まで 緑化面積： 286平方メートル 助成金額： 2,825千円 補助事業者（2施設） ・英園保育園（茨城市） ・携津峡もりもり緑の会（高槻市）	募集期間： ・平成28年4月1日から平成28年5月9日まで ・平成28年8月2日から平成28年9月30日まで ・平成28年11月1日から平成28年11月22日まで 緑化面積： 1,161平方メートル 助成金額： 3,572千円 補助事業者（2施設） ・富雄幼稚園緑化委員会（堺市） ・みどり愛好会「くすのき会」（河内町）	募集期間： ・平成27年4月1日から平成27年5月1日まで ・平成27年6月9日から平成27年8月3日まで ・平成27年10月29日から平成27年11月18日まで 緑化面積： 54平方メートル 助成金額： 811千円 補助事業者（1施設） ・長楽苑グリーンクラブ（大阪市）

出典）大阪府「みどりづくり推進事業」ホームページ

3.3 大気浄化植樹の樹種リストの拡充

「大気浄化植樹マニュアル」に提示していた大気浄化に適した樹種は、藤沼ら（1985）による気孔開度に基づくデータに準拠していた。このため、針葉樹が欠けていたり、その検討の際に計測が行われた樹種に限られるなどの欠点があった。このため、ここでは「成長速度が速い樹種ほど、光合成や蒸散などの生理活性も盛んで、大気浄化能力も高い」という考え方にに基づき、各樹種の成長速度が明記されている「樹木ガイドブック」（上原敬二、2012）をもとに、樹種リストを見直し、拡充することとした。

上原の樹木の「成長速度」と藤沼ら（1985）に基づいて区分した「大気浄化能力」のランクとの関係を表6に示す。樹木の「成長速度」と「大気浄化能力」のランクとの間には密接な関係があり、「成長速度」が速い樹種ほど全般的に「大気浄化能力」が高い傾向がみられる。

表6 樹木の成長速度と大気浄化能力との関係

		樹木の成長速度（上原（2012）による）※2					
		極めて遅い	遅い	やや遅い	やや速い	速い	極めて速い
大気 浄化 能力※1	高	1%	1%	1%	1%	20%	10%
	中	—	4%	5%	9%	31%	3%
	低	—	1%	8%	3%	1%	1%

※1：藤沼ら（1985）の葉面拡散抵抗に基づき、大気浄化能力を高・中・低に3区分

※2：上原（2012）：「樹木ガイドブック」に基づき樹木の成長速度を6区分

※3：緑色、黄色の着彩は、各欄の構成割合がそれぞれ、5%以上、2~4%のものを示す。

上記のように、「大気浄化能力」の評価の目安として、上原（2012）の樹木の「成長速度」を指標として用い、樹木の「成長速度」が「極めて速い」～「速い」ものを大気浄化能力「高」、
「成長速度」が「やや速い」～「やや遅い」ものを大気浄化能力「中」、
「成長速度」が「遅い」～「極めて遅い」ものを大気浄化能力「低」とすると、表7に示すように大気浄化植樹の適用樹種のリストが拡充できる。

表7 樹木の成長速度から評価した大気浄化能力の区分

大気浄化能力	常緑樹	落葉樹
高	イヌマキ・アカマツ・クロマツ・モミ・ヒマラヤスギ・スギ・マテバシイ・シラカシ・アコウ・ムベ・ヒイラギナンテン・ゲッケイジュ・クスノキ・タブノキ・ヤブニッケイ・アブラチャン・タチバナモドキ・サツキ・ネズミモチ・アベリア（ハナヅノツクバネウツギ）・カナメモチ・マサキ・	イチョウ・カラマツ・メタセコイア・シダレヤナギ・ドロノキ・ヤマナラシ・ポプラ・オニグルミ・サワグルミ・ハンノキ・ヤマハンノキ・シラカンバ・ウダイカンバ・イヌシデ・アカシデ・クマシデ・クリ・カシワ・ミズナラ・ムクノキ・エノキ・ハルニレ・ケヤキ・イチジク・クワ・カツラ・アケビ・ナンテン・ハクモクレン・シモクレン・シデコブシ・コブシ・ホオノキ・ユリノキ・ロウバイ・ガクアジサイ・アジサイ・パイカウツギ・トサミズキ・ヒュウガミズキ・フウ・マンサク・アメリカスズカケノキ・ヤマザクラ・ヒガンザクラ・シダレザクラ・ソメイヨシノ・ウワミズザクラ・シウリザクラ・イヌザクラ・ウメ・モモ・ハナカイドウ・ズミ・ボケ・カリン・ヤマブキ・アズキナシ・サンザシ・コデマリ・シモツケ・ユキヤナギ・ハマナス・フジ・ハナズオウ・ハギ・サイカチ・ネムノキ・ニワウルシ・センダン・ナンキンハゼ・ハゼノキ・ウメモドキ・アオハダ・ツルウメモドキ・イロハモミジ・イタヤカエデ・トウカエデ・ツタ・シナノキ・ムクゲ・フヨウ・アオギリ・ミツマタ・アキグミ・ザクロ・ミズキ・ヤマボウシ・リョウブ・ミツバツツジ・ハクウンボク・エゴノキ・レンギョウ・ムラサキハシドイ（ライラック）・ヒトツバタゴ・フジウツギ・キリ・ノウゼンカズラ・ハコネウツギ・
中	カヤ・ナギ・ゴヨウマツ・トドマツ・ヒノキ・サワラ・ネズミサシ・スダジイ・アカガシ・ウバメガシ・アラカシ・ウラジロガシ・タイサンボク・オガタマノキ・シキミ・シロダモ・トベラ・ユズリハ・モチノキ・ソヨゴ・ホルトノキ・ヤブツバキ・サザンカ・チャノキ・ヒサカキ・ハマヒサカキ・サカキ・ジンチョウゲ・ヤツデ・カクレミノ・キヅタ・アオキ・シャクナゲ・クルメツツジ・アセビ・マンリョウ・キンモクセイ・ヒイラギ・ヒイラギモクセイ・オリーブ・キョウチクトウ・テイカカズラ・クチナシ・ハクチョウゲ・サンゴジュ・ツクスキニンドウ・スイカズラ・	コナラ・クスギ・アベマキ・ユスラウメ・ニワウメ・エンジュ・ニシキギ・トチノキ・クロウメモドキ・ナツツバキ・ヒメシャラ・ハナミズキ・サンシュユ・ハナイカダ・ドウダンツツジ・ネジキ・カキノキ・サワフタギ・トネリコ・ムラサキシキブ・ヤブデマリ・ガマズミ・
低	ソテツ・イチイ・イヌガヤ・エゾマツ・ツガ・コウヤマキ・アスナロ・ヤマモモ・イスノキ・ビワ・マルバシャリンバイ・ツゲ・イヌツゲ・タラヨウ・モッコク・クロガネモチ・	ブナ・アキニレ・ナナカマド・レンゲツツジ・オオデマリ・

注) 表6に示した樹木の「成長速度」と「大気浄化能力」区分との関係から、「樹木ガイドブック」(上原敬二、2012)に掲載されている樹木の「成長速度」に基づき、成長速度が「極めて速い」～「速い」樹種を大気浄化能力「高」、成長速度が「やや速い」～「やや遅い」ものを大気浄化能力「中」、成長速度が「遅い」～「極めて遅い」ものを大気浄化能力「低」に区分した。
網掛けは「大気浄化植樹マニュアル 2014年改訂版」より新たに追加されたものを示す。

3.4 葉の寿命・落葉時期についての知見整理

自治体が植樹事業を躊躇する理由の一つに、落葉に係る近隣住民からの苦情や落葉の収集処理の問題がある。大気浄化植樹は、大きくなる樹木を大きく伸び伸びと育てるのが基本であるが、このようなやむを得ぬ事情がある場合には、次善策として着葉量の少ない樹種や落葉の少ない樹種を用いることが考えられる。ここでは、樹木の葉寿命や落葉時期に係る知見を整理し、葉寿命の長い樹種、異なる落葉時期の樹種の組み合わせにより落葉を少なくする樹種選定を提案した。落葉の問題に対して、次善策として以下のような対応が考えられる。

<落葉問題に対する樹種選定の対応>

第一は、落葉樹よりも常緑樹を採用することである。落葉樹の場合、春に展葉し晩秋に落葉するため、着葉期間は半年足らずで落葉してしまうのに対し、常緑樹の場合は少なくとも一年以上着葉している。

第二に、樹木の葉寿命は樹種によって違いがあるため、葉寿命の長い樹種を採用することが挙げられる。

第三は、樹種によって展葉・紅葉・落葉など葉の生活史が様々であることから、異なる落葉時期の樹種の組み合わせによって落葉時期を分散させることが考えられる。

【樹木の葉の寿命に係る知見】

- ・葉の寿命は一般に落葉樹 1 年未満（半年程度）、常緑広葉樹 1～3 年、マツ 2 年前後、スギやヒノキ 3～5 年、モミヤトウヒ 5 年前後、アスナロ 10 年前後
- ・葉の寿命は生存戦略と関連し、一般に遷移初期段階のパイオニア樹種は寿命が短く、遷移後期段階のクライマックス樹種は寿命が長い
- ・葉の寿命は生育場所の光条件と関連し、日陰ストレスを受ける亜高木や低木樹種は葉の寿命が長く、日陰ストレスを受けない高木樹種は短い
- ・葉の寿命は、同じ樹種であっても、低標高・低緯度の温暖な地域では葉の寿命が短く、高標高・高緯度の寒冷な地域では長い
- ・葉の寿命は、同じ樹種、同じ地域であっても、日当たりのよい場所（日向）では葉の寿命が短く、日当たりの悪い場所（日陰）では長い
- ・同じ個体でも常緑樹の場合は、葉の着いている場所により葉齢が異なり、光条件のよい樹冠外側（日向）よりも光条件の悪い樹冠内側（日陰）の葉のほうが葉齢は古い

【展葉時期・落葉時期に係る知見】

- ・落葉広葉樹林では、下層木は上層木の林冠が閉鎖する前に葉の展開を済ませ、早春に好適な光環境を得ている
- ・着葉期間及び葉の寿命との関連から、各樹種の遷移系列上の位置づけが可能
- ・樹木の開葉・落葉のフェノロジーは生育場所の環境条件により異なる
- ・枝の落葉率は、当年性枝よりも二年生枝、陽樹冠よりも陰樹冠のほうが大きい
- ・開葉日は樹種や年により大きく異なるが、全般的に常緑樹よりも落葉樹の方が早い
- ・展葉時期は、同一サイトでは落葉広葉樹のほうが常緑広葉樹よりも早い
- ・冷温帯の落葉広葉樹林では、落葉広葉樹の落葉時期は開葉時期に比べて樹種間の差異が小さく、2 週間程度に集中する
- ・暖温帯の落葉広葉樹では、落葉広葉樹の平均落葉日は樹種間で約 2 ヶ月のズレがある
- ・暖温帯の常緑広葉樹の落葉時期は 12～3 月の冬季を除いて樹種ごとに年中まんべんなくみられるが、開葉期以後の 6 月頃が比較的多い

3.5 維持管理の比較的容易な樹種の抽出

自治体が植樹事業を躊躇する理由のもう一つの大きな理由は、維持管理に要する費用や手間暇の問題である。大気浄化植樹の基本は大きくなる木を伸び伸びと育てることにあるが、剪定や刈込によってある程度成長をコントロールする必要がある。近年は街路樹などもハナミズキなど、最初からあまり大きくなり過ぎない樹種が多用される傾向にある。大気浄化に適した樹種は、成長速度が速い樹種であり、当然のことながら剪定や刈込が必要になるが、やむを得ない場合には、次善策として大きくなり過ぎない樹種や維持管理の比較的容易な樹種を提案した。

【維持管理に比較的手間暇のかからない樹種の例】

- ◇常緑広葉樹高木：ヤマモモ、モチノキ、クロガネモチ、ツバキなど
- ◇落葉広葉樹高木：コブシ、エゴノキ、ヤマボウシ、ハナミズキなど
- ◇常緑広葉樹中木：キンモクセイ、イヌツゲ、サザンカ、ヒイラギなど
- ◇落葉広葉樹中木：ウメ、シデコブシ、シモクレン、ハナズオウなど

【日当たりの悪い狭い植栽空間でも耐えられる樹種の例】

- ◇管理の比較的容易な耐陰性樹種：カクレミノ、サンゴジュ、イヌツゲ、ヒイラギなど

3.6 緑のカーテンについての再整理

草本のツル植物を用いる緑のカーテンは、大気浄化植樹事業の対象にはなっていない。しかし、緑のカーテンは誰にでも手軽にでき、緑の果たす環境改善効果に関心を持ってもらい周知することにも役立つため、自治体や学校ではよく取り組まれている。ヒートアイランド対策の一環として奨励している自治体も多い。また、緑のカーテンは植栽場所がなく狭い場所でもできる点も樹木植栽と異なっている。このため、平成23～25年度の調査研究では、その効果を検証した。ここでは、緑のカーテンの効果、長所・短所、大気浄化植樹事業に採り入れた場合の得失などを再整理し、事業への取り込みの是非について検討した。

表 8 緑のカーテンの効果に係る科学的知見の整理

緑のカーテンによる効果	
プラス面	<ul style="list-style-type: none"> ・室内の温熱環境が改善され、体感温度が低下する ・体感温度の低下には放射環境の改善が寄与している (緑被による日射遮蔽、いわゆる日傘効果により、強い日差しを和らげる) ・葉の表面温度等はむしろ上昇し、蒸散により空気が冷却される証拠はまだない ・ガス状汚染物質の収着や粒子状汚染物質の沈着にも効果がある
マイナス面	<ul style="list-style-type: none"> ・通風(風通し)阻害により、室内外の空気の流れが滞りやすい ・室内の照度が低下し薄暗くなり、照明を点灯する機会が増える

表 9 緑のカーテンづくりの長所と短所

緑のカーテンづくりの得失	
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・多額な費用を要せず、誰でも手軽に植栽し育成できる ・広大な植栽空間を必要とせず、狭隘な空間でも対応できる ・大気環境への関心や普及・啓発、学校での環境教育にも活用できる ・身近に実行できるため、家庭での取り組みなど、自主的取り組みに繋がる ・既に自治体や学校などでの取り組みも多く、一般に広く周知されている ・緑とのふれあいを含む、緑による多面的な効果や環境改善効果にも繋がる
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・草本植物を用いるため、生育期間が半年程度に限られ、効果が持続しない ・冬季には枯れてしまうため、冬季の効果はゼロになる ・効果を高めるためには、上手に生育させる園芸的な技術(コツ)が必要 (土づくり、ネットの固定、水やり、摘心など) ・大規模になると、台風などを考慮した本格的施設整備が必要(耐荷重の確認を含む)

表 10 「緑のカーテンづくり」を大気浄化植樹事業に採り入れた場合の得失

緑のカーテンによる効果	
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・1件当たりの事業費が少額であり、限られた予算の中で助成件数が増やせる ・自治体や事業者のみならず個人参加も可能で、国民に広く啓発できる ・経費不足や植栽場所がないなどの事業実施上の課題をクリアできる ・既に全国的によく周知されており、募集しやすい
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・草本植物を用いるため、晩秋には枯れてしまい、樹木のように効果が持続できない ・効果を持続するためには、少なくとも数年は継続して実施する必要がある ・個人参加などを含め応募が増えた場合、助成の事務手続きなどが現状では対応できない ・「緑のカーテンづくり」は他の部署でも奨励されており、それを差別化できない

3.7 B-VOC (植物起源の揮発性有機化合物)に係る既往知見の整理

わが国の大気環境は、SO_x、NO_x等については環境基準を達成し大幅に改善されたが、光化学オキシダントについては依然として改善が遅れている。光化学オキシダントの前駆物質であるVOC(揮発性有機化合物)の排出量は規制や対策により着実に削減されているが、光化学オキシダント濃度はむしろ上昇傾向にある。ここでは、植樹との関連から、B-VOCに係る既往の知見を整理した。

なお、東京都環境科学研究所において、「高濃度光化学オキシダントの低減対策に関する研究」(研究期間：平成28～30年度)が行われており、その中で植物起源VOC(B-VOC)の都内排出量推計に関する調査が実施されている。これは、都内23区の優占街路樹20種の単位葉面積・単位時間当たりのB-VOC放出量を把握し、23区全域に現存する樹木の総葉面積を推定し、予測モデルを用いて都内23区の年間B-VOC総排出量を推計したものであり、最終的には東京都

全域の年間 B-VOC 総放出量を推計している。その成果については、専門家会議等で報告されているが、学会発表や研究所年報などでの公開は今後の予定であり、まだ一般には公表されていない（近々公表予定）。

表 11 B-VOC（植物起源の揮発性有機化合物）に係る文献レビューの結果概要

項目	概要
1.光化学オキシダントの前駆物質（NO _x 、VOC）排出量の削減実績	<ul style="list-style-type: none"> 光化学オキシダントの前駆物質である NO_x 排出量、VOC 排出量は、規制や対策によりいずれも着実に削減している。
2.光化学オキシダントの発生に係る環境濃度の現状	<ul style="list-style-type: none"> 光化学オキシダントの発生に係る前駆物質である NO_x、NMHC、VOC の濃度は年々低下傾向にある。 一方、光化学オキシダントの大気中濃度は依然として上昇傾向にある。
3.光化学オキシダントと VOC に係る基礎的知見	<ul style="list-style-type: none"> 大気中に NO_x 及び VOC が共存すると、O₃ 生成の連鎖反応が進行し、O₃ 濃度が増加する。 VOC を削減した場合、VOC 律速条件下では光化学オキシダントは確実に低減し、NO_x 律速条件下でも増加することはない。
4.VOC と光化学オキシダント、SPM との関係	<ul style="list-style-type: none"> 大気中に NO_x 及び VOC が共存すると、光化学反応により光化学オキシダントが生成される。それと同時に、VOC が酸化されて難揮発性物質が生じ、これが濃縮・凝結して二次粒子が生成される。 二次粒子を効率的に生成する VOC は環状アルケン及び芳香族炭化水素であり、大気中に多く存在する環状アルケンは主に針葉樹林から放出されるテルペン類である。
5.B-VOC の発生量と環境濃度	<ul style="list-style-type: none"> B-VOC 放出量の推定にあたっては不確実性が大きいと、排出インベントリの精緻化を急ぐ必要がある。 まずは測定データの蓄積が重要であり、B-VOC の環境濃度の環境調査が行われている（東京都ほか）。 B-VOC 放出量予測モデルにおいて重要なパラメータである B-VOC 基礎放出量が樹種別・季節別に観測されている。その結果、B-VOC 放出量は春～夏に高く、秋～冬に低い季節性が確認されている。
6.VOC に占める B-VOC の割合	<ul style="list-style-type: none"> 全 VOC 濃度に占める B-VOC の割合は全般的に小さい。 冬季よりも夏季、夜間よりも昼間の方が濃度は高い。 全 VOC 濃度に占める B-VOC の割合は 8 月の昼間でも最大 5%。 B-VOC 放出量は葉温・光量に依存し、季節性があることが確認されている。これらを考慮して推計すると、全 VOC に占める B-VOC の割合は従来考えられているような値よりも大きくなる可能性が示唆されている（東京都環境科学研究所、近々公開予定）。
7.B-VOC の光化学オキシダント発生への影響	<ul style="list-style-type: none"> 光化学オキシダントの発生の面から、B-VOC は、季節、場所、時間帯によっては無視できない濃度レベルになる。 チャンバー試験によると、光化学オキシダント生成への寄与は、特にアルデヒド、芳香族炭化水素、アルカン、アルケン等の人為起源の VOC の割合が大きく、B-VOC の割合は小さい。 森林からはイソプレンやモノテルペン類が放出されており、これは街路樹や都市緑化樹木から放出される B-VOC の放出でも光化学オキシダントの生成が起り得るリスクがあることを示唆する。 しかし、都内、首都圏近郊での調査結果によれば、光化学オキシダント生成への B-VOC の寄与率は全般的に小さく、人為起源 VOC に比べると寄与率はずっと小さい。 ただし、東京都による最新の推計によると、全 VOC に占める B-VOC の寄与割合は従来よりも大きく推計されており、注意が必要である（東京都環境科学研究所、近々公開予定）。

8.B-VOC の SPM 発生への影響	<ul style="list-style-type: none"> ・ VOC は大気中の二次粒子の生成に関与している。 ・ 近年、陸上の有機エアロゾルの代表的前駆物質であるテルペン類のエアロゾル生成過程が明らかになりつつある。 ・ しかし、植物が放出しているテルペン類には多くの異性体があり、まだほとんどわかっていないのが実情である。
9.樹種による B-VOC の放出量の違い	<ul style="list-style-type: none"> ・ B-VOC の主な排出源は森林であり、一般的に針葉樹からは主にモノテルペン類、広葉樹からはイソプレンを放出する。 ・ わが国の主な針葉樹のうち、スギはモノテルペン、セスキテルペンを、ヒノキはモノテルペンを放出している。 ・ 広葉樹は、山地帯のブナはいずれの B-VOC も放出していないが、自然林・二次林のコナラ、ミズナラはイソプレンを放出している。 ・ わが国は森林率が高い上、スギやヒノキの人工林が多く、二次林もコナラ、ミズナラが多いことを踏まえると、森林からの B-VOC の放出は見逃せない。 ・ しかし、B-VOC の放出量は樹種によって様々であり、植物分類群が同じであっても一概にいけないのが現状である。 ・ 都内 23 区の優占街路樹上位 20 種のうち 9 樹種から B-VOC の放出が確認された。B-VOC 放出量が多かったのはモミジバフウ、プラタナス、エンジュ、クスノキなどであり、主要成分は落葉広葉樹ではイソプレン、常緑広葉樹ではオシメンやα-ピネンであった。また、B-VOC を放出していない街路樹も多くみられた（イチヨウ、ケヤキ、サクラ類など）。
10.B-VOC の視点からみた大気浄化植樹について	<ul style="list-style-type: none"> ・ B-VOC が光化学オキシダントや SPM の生成に関与していることは否定できないが、その寄与率は人為起源の VOC に比べると小さいと考えられる。 ・ 街路樹や公園樹木で整備される都市緑地の規模は森林に比べるとずっと小さい。 ・ したがって、森林や都市緑地は、大気環境の改善を含む多様な機能を複合的に有していることが最大の特徴であるが、B-VOC が光化学オキシダントの生成に例え関与しているとしても、その寄与は森林に比べると比較的小さく、森林や都市緑地の保全、緑地整備の意義を否定する理由にはならないと考えられる。 ・ ただし、最新の研究によると、樹種によっては B-VOC をかなり放出している樹種があり、全 VOC に占める B-VOC の割合も従来考えられていたよりも大きいのではないかという見解もあることから、今後の研究成果に十分注意する必要があると考えられる（東京都環境科学研究所、近々公開予定）。 ・ 近年においては、緑地保全による豊かな住環境の整備とコミュニティの形成、官民連携した緑地整備と賑わい空間の創出、社会を巻き込んだ協働型の植樹ネットワークづくりなど、国や自治体による「グリーンインフラ」の取組が進行している。特に近年課題となっている気候変動に対する適応策、自然環境を活用した防災・減災対策、生物多様性の保全等の自然と共生する社会の実現、少子高齢化・人口減少が進展する中での土地利用や維持管理のあり方など、「グリーンインフラ」に関する取組においても B-VOC に関わる知見を有効に活用することが望まれる。

4. 大気浄化植樹事業の今後の事業展開

4.1 大気環境対策としての大気浄化植樹事業の位置づけ

4.1.1 大気環境の現状

1960年代に顕在化した硫黄酸化物を中心とした産業公害型の大気汚染に対する対策は着実な進展を遂げ、続く1970年代後半からの窒素酸化物や浮遊粒子状物質を中心とした都市・生活型の大気汚染も様々な対策により環境基準が達成あるいは達成に近いなど大気環境は大幅に改善されつつある。

このように、高度経済成長期を中心とした、いわゆる公害の時代の深刻な大気汚染は克服され、現在ではわが国の大気環境はひと頃に比べ大幅に改善されてきている。

しかしながら、現在では、その生成機構が複雑な光化学オキシダント、海外からの越境汚染なども懸念されている微小粒子状物質、低濃度長期暴露による健康影響が心配される有害大気汚染物質などが新たな課題となっている。更に、地球温暖化に係る温室効果ガスは地球環境問題として、我々の子孫の生存を脅かすなど、深刻な問題となっている。

4.1.2 大気環境改善対策の現状

硫黄酸化物を中心とする産業公害対策は着実な進展を遂げたが、1970年後半から大都市地域を中心とした都市・生活型の大気汚染が問題となった。その主な発生源は工場・事業所のほか、年々増加した自動車（移動発生源）であり、ディーゼル車から排出される窒素酸化物（NO_x）、浮遊粒子状物質（SPM）対策が重要な課題となり、現在様々な対策が行われている（表12）。

「大気浄化植樹」は、これらの対策の中で、「移動発生源対策」のうちの「局地汚染対策」の一つとして位置づけられている。幹線道路の交差点など、高濃度汚染が生じている局地で、環境基準の達成が困難な地域において、植物の有する大気浄化能力に着目して、直接的に大気を浄化・低減する対策である。

表12 大気環境改善対策の概要

大気環境改善対策	概要
固定発生源対策	集塵、排煙脱硫、重油脱硫、排煙脱窒など
移動発生源対策 (自動車排出ガス規制など)	自動車排出ガス規制、自動車排出ガス対策技術、自動車燃料品質に関する許容限度など
移動発生源対策 (低公害車)	低公害車・低排出ガス車の普及促進（電気自動車、天然ガス車、メタノール自動車、ハイブリッド自動車など）
移動発生源対策 (交通需要マネジメントなど)	交通需要マネジメント（バス専用レーン、交通情報等の提供、時差出勤、フレックスタイムの導入など）
	局地汚染対策（土壌による大気浄化システム、光触媒を用いたNO _x 浄化システム、植物の汚染ガス吸収による大気浄化など） エコドライブのすすめ

4.1.3 植樹の効果と他の対策との比較

沿道汚染対策としての緑地帯による大気汚染物質の低減効果の評価についてみると、小川（1989・1993）によれば、埼玉県内の上尾運動公園（上尾市、国道17号が隣接）及び与野公園（さいたま市、首都高速埼玉大宮線が隣接）の緑地帯によるNO_x吸収量は前面道路通過車両か

らの NO_x 排出量の 0.5～0.9%程度であると試算されている。植物の吸収に頼って幹線道路の大気汚染を軽減することの困難さが理解できる。とはいえ、それはひとえに局地的な自動車からの排出量が大きすぎるためであり、大気中の NO_x 濃度としては、実際に上尾運動公園の沿道緑地帯では 14.1%、与野公園の沿道緑地帯では 7%の低減が確認されており、これらの低減率は決して小さな値ではない。これらの実証研究から、沿道緑地帯は NO₂ や PM_{2.5} が高濃度になる幹線道路の局地的対策として有効であるものと考えられる（小川、2013）。

表 13 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、NO₂ 低減率

調査地点	緑地帯規模	交通量 (台/日)	NO _x 排出量 (kg)	NO ₂ 吸収速度 (mg/100cm ²)	NO ₂ 吸収量 (g)	吸収割合 (%)	NO ₂ 低減率 (%)
上尾運動公園 (上尾市)	長さ 200m 幅 14m	43,000	17.2	0.07	148	0.9	14.1
与野公園 (さいたま市)	長さ 150m 幅 13.6m	80,000	27.5	0.14	140	0.5	7

出典) 小川和雄 (2013) : 植栽による大気浄化機能の評価 みどりによる環境改善 (戸塚 績編著) 朝倉書店

一方、沿道大気汚染の局地汚染対策として、土壌の吸着特性や土壌微生物の働きを利用した「土壌浄化法」や、酸化チタンなど光を吸収して触媒作用を示す物質を塗料などに混ぜ、その塗料を路面の舗装や遮音壁・ガードレール等に塗布し沿道の大気汚染を低減する「光触媒による浄化」などの技術が開発されている。表 14 に示すように、NO_x の削減効果等が報告されているが、「土壌浄化法」では、低減率が極めて高いことが示されているものの、これは土壌浄化装置の出入口の濃度を比較したものであり、トンネル内を対象とした「低濃度脱硝設備」(東大阪市生駒山上の高濃度トンネル換気ガスのトンネル型システム) によるものを除いて、実際にどれだけ大気中の濃度を下げるとかは明らかにされていない。「土壌浄化法」は、沿道局地汚染の著しい場所でモデル施設など試行的に行われたものの、いずれも億単位の施設設置費や高額な維持管理費が毎年必要であることから、この対策が普及するまでには至っていない。また、「光触媒を用いた大気浄化」についても、試験施工やフィールド実験が行われたものの、NO_x の削減効果は期待されたほどではなく、これも実用には至っていない。

表 14 局地汚染対策技術の具体例とその効果 (環境省、2013)

対策	地点	NO _x 削減効果	PM 削減効果	備考
土壌浄化	東京都板橋区大和町交差点	低減率 ^{※1} 90%	低減率 ^{※1} 89%	設置費 4 億円
	川崎市川崎区産業道路	低減率 ^{※1} 80%	低減率 ^{※1} 99%	設置費 4 億円
	大阪府吹田市	低減率 ^{※1} 85%	低減率 ^{※1} 89%	設置費 1.4 億円
	大阪市長生駒山トンネル	低減率 ^{※1} 92%	低減率 ^{※1} 92%	設置費 1 億円
光触媒	千葉県内 3 箇所	除去率 ^{※2} 舗装 0.1-1.3%	—	—
	東京都目黒区大阪橋交差点	低減率 ^{※3} 13～6%	低減率 ^{※1} 38～57%	(公募型)
	大阪府大阪臨海線	削減率 ^{※3} 1.0%	—	—
	兵庫県米谷昆陽尼崎線	NO _x 削減量 ^{※4} 施工直後 740 台分 1 年後 350 台分	—	—

注) 表中の低減率、削減率、削減量は、以下のように各事例により異なるので注意が必要。

※1 : 除去装置の出入口の濃度比較による低減率

※2 : 自動車排出量に対する除去率

※3 : 実験区間を走行する自動車の NO_x 排出量に対する削減率

※4 : 1 日当たりに走行する自動車台数に換算した NO_x 削減量

4.1.4 緑地の多様な機能とニーズの変化

森林や都市緑地に対する国民のニーズも、時代の変遷とともに変化してきている。

大気浄化の面で見ると、現在の大気環境はひと頃に比較すると大幅に改善されたため、SO₂、降下煤塵等の収着や沈着への期待は低下している。しかし、地球温暖化に関わるCO₂の吸収・固定、都市のヒートアイランド現象の抑制に関わる気象緩和、気候変動や異常気象に伴い近年多発している洪水や山崩れに関連して自然災害防止等の機能への期待は年々高まっている。

また、SDGsの観点から、生物多様性保全、レクリエーション、アメニティー等に果たす緑地の役割への期待も益々高まっている。

大気環境改善の対策は前に述べたように様々なものがあるが、大気浄化植樹による都市緑化の推進は、他の対策、例えば排煙脱硫設備の設置、局地汚染対策としての土壌浄化や光触媒とは異なり、植樹によって都市緑地を整備し緑の環境を豊かにする意味において、**大気環境の改善のみならず、緑の有する多様な機能が相乗的に発揮されることに最大の特徴があり、これは他の対策では代替できない最大のメリットである。**

表 15 近年における都市緑地のニーズの変化

緑の機能	主な内容	ニーズの変化	
気象緩和	気象緩和、木陰形成、ヒートアイランド抑制など	増加	
水保全	河川流量平準化、水質保全など	変化なし	
土壌浸食防止	土壌の表層浸食の抑制など	変化なし	
自然災害の防止	洪水防止、山崩れ防止など (気候変動による自然災害の増加に対応)	増加	
防火	延焼防止、災害時の避難場所としての利用など	変化なし	
大気浄化	CO ₂ 吸収貯留	温暖化ガスの主要要素であるCO₂吸収固定など	増加
	酸素供給	光合成による酸素の供給	変化なし
	汚染物質低減	SO ₂ など、ガス状大気汚染物質の収着	低下
	降下煤塵低減	降下煤塵など、粒子状大気汚染物質の沈着	低下
	PM _{2.5} 低減	微小粒子状物質の沈着	増加
	光化学オキシダント	光化学オキシダントの低減	増加
騒音防止	騒音の低減・抑制	変化なし	
環境指標	環境指標種としての活用	低下	
生物多様性の保全	野生動物保護、外来生物侵入抑制、生息場所保全	増加	
保健休養	健康増進、みどりによる安心・やすらぎなど	増加	
景観保全	景観の保全・創出	変化なし	
アメニティー	自然とのふれあい、自然観察など	増加	

※：太字は、多様な機能のうち、近年特に求められている機能を示す

4.1.5 大気浄化植樹事業の新たな展開

このような近年における大気環境の変化や国民の森林や都市緑地に対するニーズの変化を踏まえると、従来の植樹による大気汚染物質の収着・沈着による汚染物質濃度の低減を中心とした「大気汚染対策」から、大気環境の改善を含む都市環境の総合的な改善を目指した、より広範で総合的な「環境改善対策」にシフトしていくことが求められる。このため、大気浄化植樹事業の新たな展開として、従来の「大気汚染対策」から、より広範で総合的な「環境改善対策」を目指すことが望ましいと考えられる（図 21 参照）。

また、2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030年アジェンダ」に記載されたSDGs（Sustainable Development Goals：持続可能な開発目標）は、2016年か

ら 2030 年までの国際目標になっている。わが国においても SDGs 達成のため、2016 年内閣に SDGs 推進本部を設置し、実施指針を定めるなど、積極的な取組が行われている。大気環境の改善を含む都市環境の総合的な改善を目指した植樹は、SDGs の面においても、「③保健」をはじめ、「④教育」、「⑪都市」、「⑬気候変動」、「⑮陸上資源」、「⑰実施手段」など、多くの個別目標の達成に寄与することが期待できる。

更に、近年においては特に、緑地保全・創出による豊かな住環境の整備（QOL/quality of life：生活の豊かさなどの質的向上）とコミュニティの形成、官民連携した緑地整備と賑わいの空間の創出、社会を巻き込んだ住民参加による協働型の植樹ネットワークづくりなどが求められており、国や自治体による「グリーンインフラ」の取組が進んでいる。特に近年課題となっている気候変動に対する適応策、自然災害の頻発化・激甚化に対応した自然環境を活用した防災・減災対策、生物多様性の保全などの自然と共生する社会の実現、少子高齢化・人口減少が進行するなかでの土地利用や維持管理のあり方など、「グリーンインフラ」に関する各種取組においても植樹による都市環境改善は十分な効果を期待しうると考えられる。

＜大気浄化植樹事業の新たな展開＞
 「大気汚染対策」から、より広範で総合的な都市環境の「環境改善対策」へ

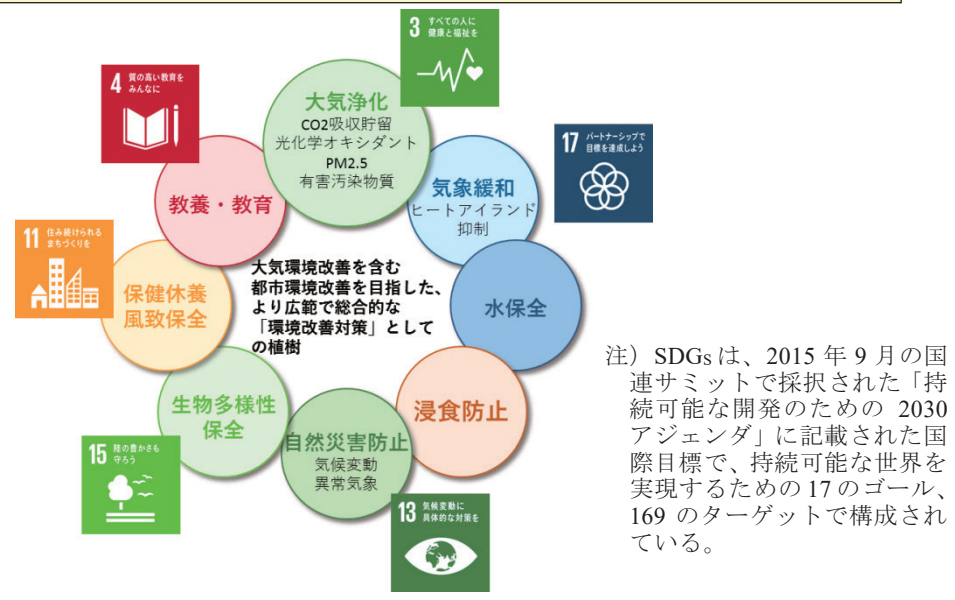


図 21 環境改善対策としてのこれからの大気浄化植樹のイメージ

4.2 今後の事業展開

アンケート調査やヒアリング調査の結果、事業の推進にあたって、以下のような課題が挙げられた。

【課題 1】 大気浄化植樹事業の認知度向上

【課題 2】 自治体の財政問題への対応

【課題 3】 植樹を行う場所の確保

第一は、大気環境がひと頃比べると大幅に改善されてきているため、植樹により大気浄化を行う意義が薄れているのではないかという認識があり、このため大気浄化植樹事業の認知度が低下している点で、この認知度を向上させる必要がある。このためには、自治体での認知度の向上、ニーズの掘り起こしが重要である。

第二は、自治体の財政問題への対応である。このためには、維持管理の容易な樹種（地域住民の落葉の苦情や落葉の収集処理の問題を含む）や維持管理に要する経費を含む助成範囲の見直しなどが必要である。

第三は、新たに植樹を行う場所がないなど、植栽場所の確保の問題である。これには狭小な場所でも植栽が可能な緑のカーテンの導入の是非や耐陰性の強い樹種の提案などが考えられる。

これらの課題を踏まえ、以下に示すような改善案の提案を行った。

4.2.1 大気浄化植樹の認知度向上

(1)自治体での認知度向上

◇申請手続きに関して

【改善案 1】 ホームページ（HP）に応募要項等を掲載する

現状では、手続き内容の詳細を把握しないまま、人件費や時間の確保を懸念している自治体が多い。このため、応募要項など必要な情報を HP に掲載することで、申請手続きに要する手間を事前に把握できるようにする。

【改善案 2】 問い合わせ先等を明記する

現時点の大気浄化植樹の Web ページには事務手続きに関する内容が掲載されていない。自ら情報収集して機構 HP にたどり着いても、次のステップにつながりにくいことから、少なくとも問い合わせ先を明記する。

◇関係部署との連携、事業周知に関して

【改善案 1】 アンケート対象者にメールを配信する

情報伝達の機会を増やすため、対象自治体の大気環境保全・保健系だけにとどまらず、今回アンケート調査の対象とした土木（施設整備・緑化）系、教育系のリスト等を活用し、より多くの関連部署に情報を配信する。

【改善案 2】 一般の補助金サイトに情報掲載する

自ら情報収集する際の手助けとして、助成金の活用を積極的に検討している方が簡単に閲覧できる一般の補助金サイトに情報提供する。このことにより情報を求めている人に、より効率的に情報が届くようになる。

◇ホームページ掲載情報に関して

【改善案】新たに大気浄化植樹に関する特設ページを設ける

現行の機構 HP にも大気浄化植樹の情報はあるが、他の事業も含めた階層構造に組み込まれており、なかなかたどり着けない。このため、新たに「大気浄化植樹」の特設ページを設ける。募集要項、申請用紙、問い合わせ先など、申請手続きに要する情報や最新の科学的知見などを新たに追加する。

(2)ニーズの掘り起こし

◇事業の活用に関して

【改善案】環境学習・環境教育に活用する

大気浄化植樹の環境教育への活用が期待される。植樹による緑地整備は、大気浄化以外にも、気候変動に影響する CO₂ の吸収貯留、ヒートアイランドの抑制、異常気象に伴う自然災害の多発の抑制など、大気環境や自然環境に関心をもつ絶好の機会になりうる。

◇大気浄化に適した樹種に関して

【改善案 1】ガス状汚染物質の収着に適する樹種リストの拡充

これまでの「大気浄化植樹マニュアル」には針葉樹が欠落するなど、樹種が限られていた。このため、「成長速度が速い樹種ほど光合成なども活発で大気浄化能力も高い」ことに着目し、樹木の成長速度から樹種リストを拡充し樹種選定の選択肢の幅を広げた。

【改善案 2】粒子状汚染物質の捕捉に適する樹種を提案

粒子状物質の捕捉効果の大きい樹種として、基本的には枝葉がよく茂り葉量の大きな樹種、また葉レベルでは、毛や凹凸が多いなど形態的に粒子状物質を捕捉しやすい葉面構造を有する樹種を提案した。また、これに係る最新の科学的知見を獲得した。

【改善案 3】粒子状汚染物質の捕捉に適する植栽構成を提案

粒子状物質の捕捉効果を高めるためには、できるだけ粒子状物質と葉の接触面積が多くなるように多層構造の複合植栽が望ましい。また、適宜剪定・刈込みを行うと枝葉の密度が高まり、更新により樹勢も向上するメリットがある。

◇普及啓発資料の作成

【改善案】新たに大気浄化植樹の趣旨や魅力を伝える普及啓発資料を作成

事業をよく知らない担当者や一般の方々を対象に、事業の趣旨や魅力を伝える普及啓発資料を作成した。これは、大気浄化植樹の「入口」とも言えるものであり、近年の大気環境の現状、植物による大気浄化の機構、都市緑地の多様な機能やニーズの変化、植樹の方法、具体的な事業の内容や事例、参考情報、問い合わせ先などを平易にまとめた。作成した普及啓発資料は次ページ図 22 及び図 23 のとおり。

4.2.2 自治体の財政問題への対応

(1)維持管理が容易な樹種

◇維持管理に関して

【改善案1】維持管理に比較的手間暇のかからない樹種の情報提供

大気浄化植樹の基本は大きくなる樹種を伸び伸びと育てることにあるが、維持管理の軽減のため、次善策として、あまり大きくなり過ぎない樹種や維持管理の比較的容易な樹種を検討し情報提供した。

【改善案2】落葉量を抑えるための葉寿命・落葉時期等の情報提供

近隣住民からの落葉の苦情や落葉収集処理の問題に応えるため、次善策として、落葉樹よりも常緑樹、常緑樹でも葉寿命の長い樹種、異なる落葉時期の樹種の組み合わせにより落葉時期を分散させることなどを提案し、必要な情報を提供した。

【改善案3】落葉量を抑えた樹木の剪定・刈込みに係る情報提供

落葉に対する苦情は各地で生じており、落葉が少なくなるようなきめ細かな対応が求められている。ここでは、落葉量を抑える剪定刈込手法として、こまめな剪定、落葉前の強剪定、景観を考慮した二段階剪定（京都方式）を紹介した。

(2)助成範囲の検討

◇助成金の基準額に関して

【改善案1】事業全体の年間上限金額を明示し、件数制限する代わりに基準額を引き上げる

大気浄化植樹事業の助成の基準額は、類似事例に比べると低額であり魅力に欠ける。事業費が限られているのであれば、年間助成総額や助成件数を限定する代わりに基準額を引き上げる。「広く浅く」から「狭く深く」に切り替え、申請件数を積み上げる。

【改善案2-1】市街化区域内のみ、限定的に基準額を引き上げる

限られた事業費の中で事業を進めるために、地域を限定して基準額を引き上げるのも一つの考え方である。より多くの人々が住んでいる市街化区域内の住居専用地域や住居地域を対象を限定するなど、地域を限定し基準額を引き上げる。

【改善案2-2】公共性の高い事業のみ、限定的に基準額を引き上げる

事業者が行う植樹のうち、公共性の高いものに限り、基準額を引き上げる。自治体や事業者に“お得感”を与えるだけでなく、事業の目的を理解した上で、事業活用してもらうことも期待できる。

◇助成範囲に関して

【改善案】維持管理費や市民活動による活動経費等も助成対象とする

保護樹木の助成制度にみられるように、樹木本数を基準単位とすることで、会計が煩雑になることを防ぎながら維持管理費を助成する。大気浄化植樹で植栽した樹木を優遇すれば、リピーターの増加も期待できる。

特に近年は、官民連携による緑地整備や地域住民との協働型の緑化活動が盛んになってきている。多様な主体が参加するからこそ、より適切なマネジメントが必要である。このため、従来のように単に植栽材料（樹木費用）や植栽経費（植栽作業費用）を対象に助成するにとどまらず、これらの市民活動を助成対象に広げ、活動経費としてリーダー等の人件費や研修会経費なども助成対象に広げることも考えられる。

4.2.3 植樹を行う場所の確保

◇植樹を行う場所の確保に関して

【改善案1】 樹木にとどまらず、緑のカーテンに用いられるツル植物にも拡充する

草本のツル植物を用いる緑のカーテンは助成事業の対象ではない。しかし、緑のカーテンは比較的狭い場所でも植栽できるメリットがあり、ヒートアイランド抑制策として奨励している自治体も多い。1件当たりの助成費用も少額のため、限られた事業費の中で、より広く大気浄化植樹の理念を普及できるメリットもある。

【改善案2】 狭小な場所にも生育できる耐陰性の強い樹種の情報提供

新たに植樹を行える場所がないことと関連し、日当たりの悪い狭小な場所での植栽ケースも想定される。ここでは、そのような場所でもある程度生育の見込める、耐陰性が強く強健な、維持管理の比較的容易な樹種の情報を提供した。

4.3 実験的研究の成果

- 樹木の葉がブラックカーボン（BC）粒子を確実に捕捉していることが確認された。
- 土地面積当たりの葉面積を考慮すると、樹木植栽地では裸地の数倍程度の沈着面を有することから、BC粒子の低減に寄与するものと考えられる。
- 葉面BC粒子沈着量には、明瞭な季節変動があることが確認された。
- 葉面BC粒子沈着量の季節変動とその最高値には樹種間差異があることが確認された。
- 葉面BC粒子沈着量は、これまで注目されていた視覚的に確認できる程度の葉の形態的特徴の他に、葉表面のクチクラワックスに関係する植物要因（葉面特性）が関与している可能性があることが示唆された。
- 葉面の撥水性（水をはじく性質）の指標である葉面での水滴の接触角と葉面BC粒子沈着量に有意な負の相関が多くの樹種でみられたことから、葉面の撥水性に着目して、葉面での水滴の接触角を測定することによってBC粒子の沈着に適した樹種の選抜が行える可能性があることが示唆された（粒子状物質捕捉に適した樹種の選抜方法の開発）。

5. 今後の課題

(1) 植樹による「環境改善対策」の一般への普及啓発

大気浄化植樹事業自体は法律に縛られる事業であるが、ここで提示した「大気汚染対策」から、より広範囲で総合的な「環境改善対策」への移行を目指す理念は重要であり、より広く一般に普及していくことが望まれる。

(2) 光化学オキシダントに着目した情報収集

光化学オキシダントは一定の改善傾向が認められるものの、依然として極めて低い水準であることから、今後も大気浄化植樹を推進・展開していくためには、植樹による光化学オキシダントの低減効果や樹木への影響等に関する知見を収集し蓄積する必要がある。また、必要に応じて新たな調査研究の推進も重要である。

(3) 葉面沈着量の樹種間差異の一般化と粒子状物質捕捉に適した樹種の選抜方法の確立

樹木による粒子状物質の葉面沈着量には、季節変動や樹種間差異があることが今回の実験的研究で確認できたが、これらを一般化することはできていない。このため、ある程度データを

蓄積して、樹種間の違いを一般化し、粒子状物質捕捉に適した樹種の選抜方法を確立するとともに、粒子状物質の捕捉に効果的な樹種を明らかにする必要がある（樹種リストの作成）。

また、今回は BC 粒子で検討したが、硫酸塩粒子などの他のエアロゾルでも検討する必要がある。

(4) 大気汚染物質の収着・沈着に効果的な植栽構造の検討

植樹によるガス状汚染物質の収着や粒子状物質の沈着による大気浄化効果は、樹種のみならず、植栽構造（階層構造、立木密度等）や植栽後の維持管理方法（剪定や刈込み）にも関連する。このため、模擬実験やモデルによるシミュレーションなどにより適切な階層構造、立木密度や葉群密度を検討する必要がある。

6. 調査研究検討会の開催

平成 29 年 10 月 16 日、平成 30 年 1 月 29 日、平成 30 年 10 月 29 日に調査研究会を開催した。また、最終成果とりまとめ前の平成 30 年 1 月下旬に委員へ個別ヒアリングを行った。

検討会及び個別ヒアリングでは、調査研究の実施計画等に対しご意見をいただくとともに、今後の大気浄化植樹事業のあり方について、議論を深めた。結果の概要を表 16 に示す。

表 16 検討会結果概要

平成 29 年度第 1 回検討会	
1. 本調査研究の進め方について	<ul style="list-style-type: none"> ○葉が持つ粒子状物質の捕捉効果は、葉のつく位置により異なる。大規模な苗、樹木単位での推定や値の扱いには注意すること。 ○粒子状汚染物質の他に、光化学オキシダント等の影響にも目を向けると良い。 ○この事業でターゲットとする汚染物質とその物質が人体へ与える影響を再整理すると良い。 ○大気環境に対する関心は年々薄れており、一般の方が関心を持ちやすい分野とリンクした事業展開をする等、多少の方向転換が必要である。 ○各自治体の緑化事業の推進状況には差がある。こうした点に着目して情報収集すると良い。
2. 大気浄化植樹事業の課題の把握と今後の事業展開のあり方の検討	<ul style="list-style-type: none"> ○事業名に「環境」という言葉を用いるなど、事業内容を時代にあわせて更新できると良い。 ○この事業について、ホームページ等で PR 活動を行う必要がある。 ○ディベロッパーや住宅メーカーをターゲットとした事業展開も検討できると良い。 ○事業の説明は、「大気浄化能力等の環境改善機能の高い植栽」等、柔らかな表現にすること。 ○アンケートを依頼する際には、事業説明のパンフレットや資料を同封すること。 ○他の部署への質問も含め、アンケート全体が見えるようにすると良い。 ○アンケートの回収率を確保するため、回収方法を十分に検討すること。
3. 樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果と植物への影響の把握	<ul style="list-style-type: none"> ○質疑以外のご意見なし
平成 29 年度第 2 回検討会	
1. 対象自治体へのアンケート結果及びヒアリング計画（案）について	<ul style="list-style-type: none"> ○まずは情報周知を徹底することが重要である。 ○環境省と本事業の HP の連携強化など、情報をより見つけやすくする工夫が必要である。 ○植物が持つ大気浄化機能のみならず、その他の多面的な機能も含めて、植樹の意義を伝えていくことが必要である。 ○既存の樹木の維持管理を通して大気浄化機能を高めるという考え方で、維持管理を助成することはできないか。 ○新しい知見が出てくれば、事業の注目度が上がり、事業活用のきっかけになるのではないか。 ○自治体ヒアリングでは、本事業の改善策につながるアイデアをうまく引き出せると良い。

2. 樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果と植物への影響の把握について
<ul style="list-style-type: none"> ○観察する葉の葉齢によって、データに差違が出ることはないか。常緑と落葉を比較する際は、葉齢などの条件を揃えてデータ解析する必要があると思う。 ○個葉レベルと群落レベルでは、沈着量の傾向が異なるのではないか。推奨樹種等の判断をする際は、注意する必要がある。 ○ガス状物質は、気孔経由で植物の体内に入るが、粒子状物質は表面沈着であり、プロセスが全く異なる。ガス状物質に関する研究成果がそのまま生きることはないだろう。
3. 本年度調査のとりまとめと次年度調査計画（案）について
<ul style="list-style-type: none"> ○調査研究の開始時期を考えれば、現段階の進捗としては、調査研究の構想整理ができていれば十分ではないか。 ○この調査研究においてまとまった成果が出なくとも、光化学オキシダントやPM_{2.5}に関する最新の解説を示すことで、一般の方の関心をもう少し集められるのではないかと思う。 ○2020年東京五輪に向けて、都市環境の改善に関する取組みを推進していく必要がある。大気浄化植樹機能について、定量的な効果を示せなくとも、まずは事業を推進してほしい。
平成30年度第1回検討会
1. 昨年度の振り返りと今年度の進め方について
<ul style="list-style-type: none"> ○新たな視点を盛り込んでもう少し大胆に事業展開することも検討できると良い。
2. 今後の事業展開に関する検討について
<p><緑のカーテンへの助成について></p> <ul style="list-style-type: none"> ○一定の期間、繰り返し緑のカーテンを構築する等の条件を付加する必要がある。また、多角的かつ科学的な視点から、緑のカーテンの機能を説明した方が良い。 ○本事業の助成も広く普及させるためには、他の一般的な緑のカーテンに関する事業と同様に簡便なしくみとした方が良い。 ○他の助成金と重複して助成を受けることを認めるのか、検討する必要がある。 ○緑のカーテンは、比較的小規模なものが多く、この助成事業の対象となるような規模のものがあるのか疑問である。 ○緑のカーテンを科学的な視点で見ると、教育現場において科学的な学習の素材として活用することも考えられる。大気浄化植樹の活用イメージまで提案すべき。 ○今後のERCAの事業として、光化学オキシダントに関する知見の集積が必要ではないか。 <p><維持管理費への助成について></p> <ul style="list-style-type: none"> ○植栽後、定期的に現地を査察し、管理状況に応じて補助金を出すといった仕組みも良い。 ○学校などと連携し、苗の育成から植樹までのプロセスに対する助成も考えられる。 <p><事業周知の方法について></p> <ul style="list-style-type: none"> ○申請者の迷いをなくすよう、助成条件を丁寧に説明しておく必要がある。 ○機構ホームページに事業の概要紹介と問合せ先を示した方が良い。 ○本事業の目的を変える必要はないが、「SDGs」など新しい観点を加えるなど、時代にふさわしい観点を加えて、現在だけでなく、将来に向けた事業でもあることが伝わると良い。
3. 事業の運用に向けた普及啓発資料の検討について
<ul style="list-style-type: none"> ○大気浄化植樹としての一般論と大気浄化植樹事業としての特殊性を少ないページの中でどのように表現するか、工夫する必要がある。 ○大気浄化植樹は、一般には全く馴染みのない話である。大気浄化植樹の概念を易しく説明した上で、それとなく本事業の話に繋いでいく方が良い。 ○今後の事業展開を整理してからでないと、普及啓発資料はまとめられないのではないか。 ○基準額5,200円/m²が何を意味するのか、整理が必要である。基準額を上げることができないならば、今ある植栽に補植をしていく考え方もあるだろう。 ○国の事業として外せないストーリーはあるものの、全地方自治体を対象とするか、予防事業の対象46地域だけとするのか整理が必要である。 ○「生態系サービス」、「生物多様性」といったキーワードを盛り込みつつ、1本筋を通した垂直の流れと水平的な見方と、上手く融合させられると良い。
4. 樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果と植物への影響の把握について
<ul style="list-style-type: none"> ○植物が持つ粒子状汚染物質の補足機能について、本調査研究の中で一般化することは難しいだろう。今回は、各供試木の具体的な浄化機能まで示せると良い。

平成 30 年度個別ヒアリング	
1. 平成 30 年度第 1 回検討会の振り返りと対応方針について	対応方針について問題はない。
2. 樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果と植物への影響の把握について	<p>○大変な時間と労力をかけて実験を行ったことには敬意を表する。ただし、大量のデータを得ていながら、結論が乏しい印象を受ける。追加の解析に期待したい。</p> <p>○結論として維持管理の容易な樹種（≒大気浄化能力の低い樹種）を推奨しているが、大気浄化植樹事業として適切だろうか。もう少し丁寧に説明する必要がある。</p> <p>○今回の実験の成果としては、植物が PM_{2.5} などの微小粒子を捉えている、植樹が粒子状汚染物質の浄化に寄与するという科学的に解明できれば十分な成果だろう。</p> <p>○葉の展葉とともにクチクラワックスが増加する、葉が大きくなると面積当たりの吸着量は減少するなどといった考察も考えられる。</p> <p>○落葉の問題が取り上げられているが、樹木は大気浄化能力以外にも様々な効用を持っていることを考えれば、ある程度掃除等の手間がかかるのは仕方ないことではないか。</p>
4. 普及啓発資料内容（案）について	○専門用語や堅苦しい表現を避け、平易な言葉を使うとともに、事例写真を使用する等の工夫が必要である。
5. 今後の課題について	<p><事業展開（案）の細部について></p> <p>○緑のカーテンを助成対象とする場合には、助成金額について新たな基準が必要と考える。</p> <p>○緑のカーテンは播種から収穫まで 1 年で完結するという意味で、学校教育の教材に適している。一方、苗木の育成等は長期に渡るため、学年を超えた継続的な活動が必要であり、生物部などある程度生き物に興味のある生徒向けのプログラムとなるだろう。</p> <p><事業の枠組みについて></p> <p>○現在注目されている視点として、SDGs や環境改善のほか、気候変動適応といった観点も盛り込めるのではないか。</p> <p><その他></p> <p>○植物の大気浄化機能は、樹種間差違よりも林分構造の違いで大きな差が生じる。樹種の限定にとらわれず、植栽密度や配植といった植え方を提案する方が重要ではないか。</p>

7. まとめ（総括）

【調査の目的】

大気浄化植樹事業の助成申請件数を増やし、対象自治体の大気環境の改善に資することを目的として、事業の新たな展開を検討した。また、樹木による粒子状物質の捕捉効果と植物影響について、東京農工大学の協力を得て実験的研究を行い、科学的知見を獲得した。

【調査の方法】

事業実績の分析を踏まえ、対象自治体担当者にアンケート調査やヒアリング調査を行って、課題を抽出した。これらの課題を踏まえ、今後の事業展開の検討に必要な基礎的知見を整理した。また、樹木による粒子状物質の捕捉効果と樹木への影響を把握するため、実験的研究（捕捉効果の検証）を行った。これらの結果を踏まえ、今後の新たな事業展開の方向性を検討し、課題に対する改善案を提示した。

【調査の結果】

1. 樹木による粒子状物質の捕捉効果と植物への影響の把握

- ・今回の実験的研究によって、以下のことを新たに確認した。
- ・葉面は BC 粒子を確実に捕捉していることが確認された。

- ・土地面積当たりの葉面積（LAI：葉面積指数）を考慮すると、樹木植栽地では植栽されていない土地（裸地）に比べて数倍の沈着面を有しており、BC 粒子の低減に寄与すると考えられる。
 - ・葉面 BC 粒子沈着量には季節的変化があることが初めて確認された。
 - ・葉面 BC 粒子沈着量の季節変化とその最高値には樹種間差異があることが確認された。
 - ・葉面 BC 粒子沈着量はクチクラワックスに関係する植物要因（葉面特性）が関与している。
 - ・葉面の撥水性の指標である葉面の接触角を用いて最適な樹種を検索できる可能性がある。
2. 大気浄化植樹事業の経緯と現状
 - ・事業実績を分析し、近年事業件数がじり貧状態になっていること、植栽規模の小規模なものが多いこと、施設類型では、教育・学校施設が半数を占めることが確認された。
 - ・アンケートやヒアリングの結果、事業の課題として、①事業の認知度向上、②自治体の財政問題への対応、③植樹を行う場所の確保の3つの課題が重要であると考えられた。
 3. 今後の事業展開に向けての基礎的知見の整理

課題の解決に向け、①近年の大気環境と都市緑化の動向、②対象自治体の類似制度の事例整理、③大気浄化植樹の樹種リストの拡充、④葉寿命や落葉時期の知見整理、⑤維持管理の比較的容易な樹種の検討、⑥緑のカーテンについての再整理、⑦B-VOCに係る知見の整理を行い、課題の克服に向けた提案に反映した。
 4. 大気浄化植樹事業の今後の事業展開
 - ・近年における大気環境の変化や森林や緑地に対する国民のニーズの変化を踏まえ、新たな事業展開として、これまでの「大気汚染対策」から、より広範で総合的な都市環境の「環境改善対策」を目指す。
 - ・事業展開の課題として、①事業の認知度向上、②自治体の財政問題への対応、③植樹を行う場所の確保の3つの課題をとりあげ、これを踏まえて改善案を提案した。
 5. 今後の課題
 - ・植樹による「環境改善対策」の一般への普及啓発
 - ・光化学オキシダントに着目した情報収集
 - ・葉面沈着量の樹種間差異の一般化と粒子状物質捕捉に適した樹種の選抜方法の確立
 - ・大気汚染物質の収着・沈着に効果的な植栽構造の検討
 6. 調査研究検討会の開催
 - ・学識者からなる検討会を設け、昨年度から今年度まで計3回の検討会と1回の個別ヒアリングを行った。検討会、個別ヒアリングでは、調査研究の実施計画等に対しご意見をいただくともに、今後の大気浄化植樹事業のあり方について、議論を深めた。