

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

【調査の目的】

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）として、大気汚染の改善を図る事業を行っているところである。その一環として、植物の大気浄化機能に着目した「大気浄化植樹事業」を予防事業対象地域の自治体（以下「対象自治体」という）に助成して行っている。

大気浄化植樹は、緑地整備や都市緑化の中で、主として大気環境の改善に資することを主眼として行う緑化事業であるが、大気環境改善の役割以外にも、周知のように都市緑地の役割として、都市生活に潤いや安らぎをもたらす心理的効果、騒音防止等の生活環境保全、震災等の防災や安全に関わる都市防災の拠点、生物多様性や生態系の保全等があり、更に近年における気候変動の影響やヒートアイランド現象の緩和等のひっ迫する環境問題への対応等もあり、大気環境の改善のみならず、様々な役割が期待されており、これらの緑地効果が総合的に発揮される利点がある。

大気浄化植樹事業が始まってから約 30 年が経過するが、この間、大気環境の面では、NO_x や SO_x 等の大気汚染の改善はある程度達成されたが、PM_{2.5} や光化学オキシダントの大気濃度はほぼ横ばいまたは増加傾向であり、改善が思うように進まない状況にある。また、近年、顕在化している酸性雨や温暖化等の広域的な環境問題は、世界規模での対策が必要とされるが、各国の経済状況、社会情勢により足並みがそろわず、対策は遅々として進まない状況にある。

こうした中で、昭和 63（1988）年に環境庁（現在は環境省）がとりまとめた「大気浄化植樹指針」をベースに、平成 7（1995）年に環境再生保全機構が「大気浄化植樹マニュアル」の初版を発行し、平成 12（2000）年には更に見やすくリニューアルした改訂版を発行した。更に平成 27（2015）年には植物の大気浄化に係る新たな知見や緑化技術の進展、ガス状汚染物質の低減に加えて葉面における粒子状汚染物質の捕捉効果等も新たに追加し、「大気浄化植樹マニュアル 2014 年度改訂版」を発行したところである。

しかしながら、大気浄化植樹事業の実績について、年度ごとの事業件数や植樹面積の推移をみると、事業発足当時の 2～3 年は事業件数も多かったが、その後は徐々に件数が減り、近年では年数件に満たないじり貧状況が続いている。このため、今後の事業推進の課題として、①申請手続きの簡略化、②助成金交付の対象範囲の拡充（植樹のみが助成対象であり、緑のカーテンや植栽木の維持管理は対象外）、また、施設類型別では学校等教育施設や公共施設の助成申請が多いことを踏まえると、③教育委員会や緑化担当部局等との連携、④総合学習等を含めた環境教育への活用、更に⑤事業の周知の徹底など、事業内容や手続きの面からみた見直しを図ることが、今後の大気浄化植樹の効果を最大限に活用していくために非常に重要であると考えられる。

一方、植物による粒子状物質の削減効果については、過年度（平成 23～25 年度）の調査研究において、習志野緑地や一般住宅の庭木・生垣を対象に、浮遊粉塵、葉面付着粉塵及び PM_{2.5}

を含め、それらの捕捉効果がある程度確認できたが、フィールドにおける計測であったため、環境条件の設定が難しく期待したような結果は得られなかった。植物による粒子状物質の捕捉効果や植物への影響に関する調査研究は、現在のところ極めて限られているが、最近はいくつかの新たな調査研究が始まっており、大気汚染物質と植物との関係も従来考えられていたように単純ではなく、葉面における粒子状物質の捕捉効果も季節変動することなどが明らかにされつつある。平成 23～25 年度の調査研究の総合評価では、学識者から「植物による粒子状汚染物質の捕捉効果については、ガス状汚染物質とは異なる粒子状汚染物質固有の挙動があるため、環境条件を調整した実験室レベルでの検討も必要ではないか」といったご意見もいただいていた。

以上の経緯を踏まえ、本調査研究では、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て、大気浄化植樹事業の助成範囲や環境教育への活用、他部局との連携を含めた事業内容の面からみた事業のあり方の見直しを図るものである。

さらに、未だ世界的に研究の蓄積が不十分である、樹種による粒子状汚染物質の捕捉効果と植物への影響の種間差の比較、捕捉効果の評価手法について、実験設備と科学的知見・研究技術を有する大学（東京農工大学）と連携し基礎的知見を得るなど、大気浄化植樹事業の事業効果の科学的裏づけの充実にも取り組む。

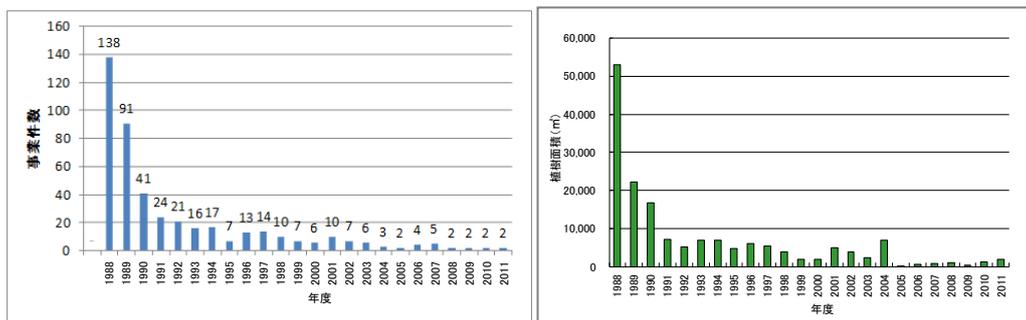


図 1 大気浄化植樹事業の事業件数の推移 図 2 年度ごとの植樹面積の推移

表 1 平成 23～25 年度「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」

年度	主な検討項目
平成 23 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・文献資料調査（PM_{2.5}、大気汚染の影響、樹木による粒子状物質捕捉効果等） ・有識者へのヒアリング（最近の研究動向、調査研究計画の妥当性など） ・樹木による粒子状汚染物質の低減効果に係る定量的評価方法の検討 ・大気浄化植樹事業等のフォローアップ調査 ほか
平成 24 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・粒子状汚染物質の削減効果の把握に係る現地調査（千葉県習志野緑地） ・大気浄化植樹事業のフォローアップ調査（現地調査） ・学校緑化による効果の検証（緑のカーテンの生育状況、熱画像、気温計測など）
平成 25 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・粒子状汚染物質の捕捉効果に係る追加調査（樹種、植栽形態の違い） ・緑のカーテンの効果に係る追加調査（大気中の浮遊粉塵濃度、葉面付着粉塵等） ・大気浄化植樹事業の事業効果の評価 ・大気浄化植樹マニュアルの増補改訂版の作成

【調査の方法】

1. 大気浄化植樹事業の課題の把握

1.1 事業実績収集分析

環境再生保全機構が整理している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。

1.2 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、対象自治体担当者を対象にアンケート調査を実施した。本事業の理解度や周知状況、緑化に関する地域の現状、事業に対するご意見等について設問を用意し、回答いただいた。

1.3 対象自治体担当者へのヒアリング調査

ヒアリングは、アンケート調査の補足、補強と位置付け、実施した。

対象は、アンケートにおいて、本事業の課題解決につながり得る意見を寄せていただいた自治体担当者とし、対面式を基本として実施した。

1.4 近年の大気環境と都市緑化の動向

インターネットを活用し、既往の知見を整理した。大気環境の現状については、環境省の「平成 29 年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書」から引用した。大気汚染の影響については、大気環境学会の「大気環境の健康影響と植物影響」に関する特集や埼玉県環境科学国際センターのホームページ等を参考にした。また、都市緑化の動向については、国土交通省の「みどりの政策の現状と課題」、「平成 28 年全国屋上・壁面緑化施工実績調査の結果報告」等を参考にした。

1.5 事業展開に向けての課題の整理

上記 1.1～1.4 の結果を踏まえ、本事業の課題を整理した。

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

2.1 既往知見の収集整理

植物と粒子状汚染物質の関係に関する科学的知見は現在のところ極めて限られているが、近年、PM_{2.5}の葉面沈着現象や植物生理学的影響などに関する新たな研究が始まりつつある。

このような最新の知見を収集・整理した。

2.2 捕捉効果の検証

樹木の葉による粒子状汚染物質の捕捉効果と樹木への影響を明らかにするために、常緑広葉樹と落葉広葉樹の苗木を東京農工大学府中キャンパスの圃場で育成し、育成地点の粒子状汚染物質の大気濃度、粒子状汚染物質の葉面付着量、葉の純光合成速度、蒸散速度、気孔コンダクタンス及び葉面クチクラワックス量などを定期的に計測し、それらの季節変動を把握する。

葉面に付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ひとつであるブラックカーボン粒子を対象を絞って検討する。

近年深刻な環境問題となっている PM_{2.5} 等の微細粒子状物質の葉面沈着量は、葉脈や葉面における毛の有無等の葉の形態的特徴のみならず、葉面微細構造も影響していることが示唆されているため、葉面微細構造の樹種間差にも着目するとともに、走査型電子顕微鏡等による観察に基づいて、粒子状汚染物質の粒径割合（微細粒子とそれ以外の粒子の沈着数の割合）の把握などを試みる。

対象樹種は、助成申請が最も多い学校などの教育施設で多用されている樹種の内、常緑広葉樹及び落葉広葉樹より各 6 樹種とした。なお、初年度においては、調査研究が始まる時期は既に落葉広葉樹の葉の老化・落葉が始まっていることが想定されたため、常緑広葉樹（秋～冬）を対象樹種とした。

3. 調査研究検討会の開催

調査研究の実施にあたっては、調査研究の内容や進め方の妥当性、調査研究の途中成果を踏まえた調査研究計画の修正の要否を確認し、定期的に助言・評価を得るために、以下の学識者からなる検討会を設け、今年度は、2 回の検討会を開催した。

表 2 検討会委員

氏名	所属	専門
輿水 肇	明治大学農学部名誉教授・ 都市緑化機構理事長	造園学・緑化学
畠山史郎	埼玉県環境科学国際センター総長	大気環境
藤沼康実	前鳥取環境大学環境学部教授	植物生理・大気汚染と植物

【調査の結果】

1. 大気浄化植樹事業の課題の把握

1.1 事業実績収集分析

(1) 事業件数の推移

大気浄化植樹事業は、昭和 63 年（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。

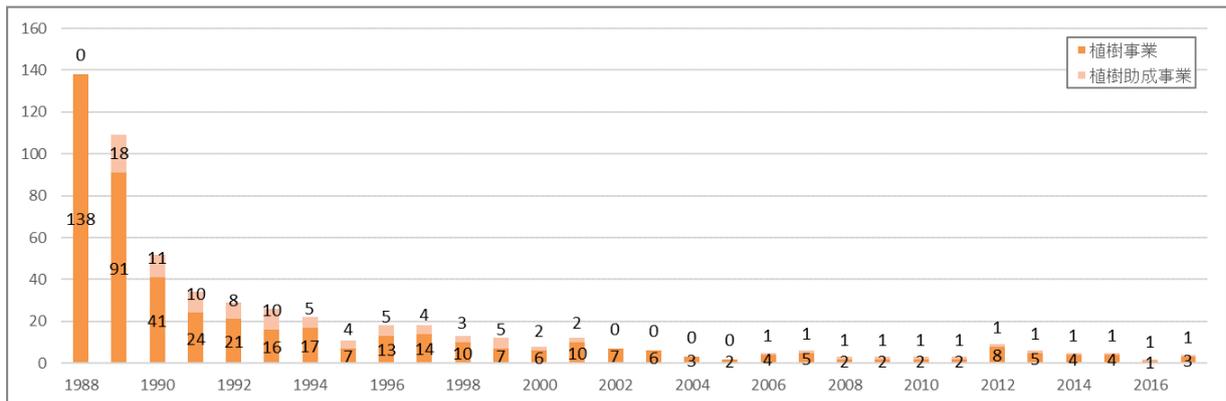


図 3 事業実績件数の推移

(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 ㎡がもっとも多く、全体の 32% を占める。一方で、1,000 ㎡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。

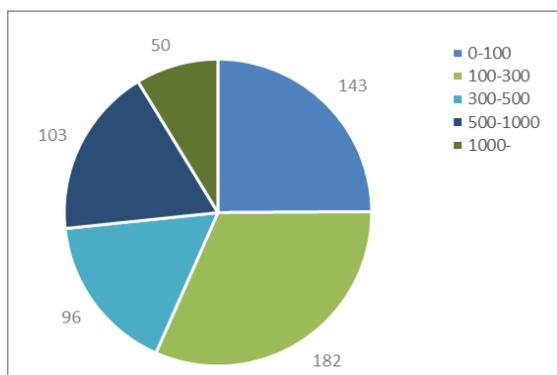


図 4 植栽規模 (㎡) の内訳 (件数)

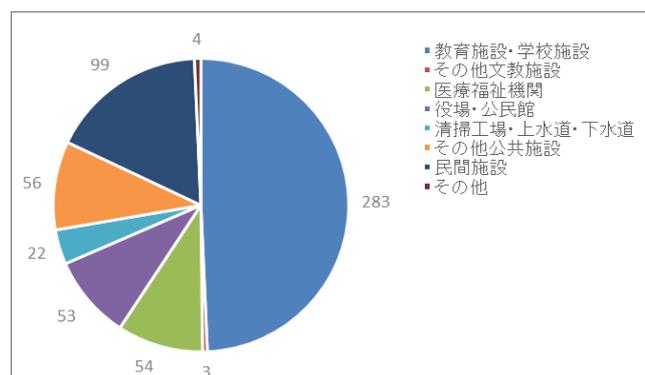


図 5 施設類型の内訳 (件数)

(3) 都道府県別の実績

実績を都道府県ごとに整理すると、その実績特性から、以下4つのタイプに分類することができる。

- ◆ タイプ1：初期集中・少数継続型…東京都、大阪府、兵庫県、福岡県
- ◆ タイプ2：少数継続型…岡山県
- ◆ タイプ3：初期少数型…千葉県、神奈川県、愛知県
- ◆ タイプ4：実績なし…静岡県、三重県

タイプ1の初期集中・少数継続型は、実績の約75～80%が事業開始直後（1988～1993年）に行われたものであるものの、過去3年以内にも申請が見られ、実績は途絶えていないという特徴が見られ、今後の事業展開の方向性として、事業件数の回復と大都市圏のモデル地域を目指すことが考えられる。

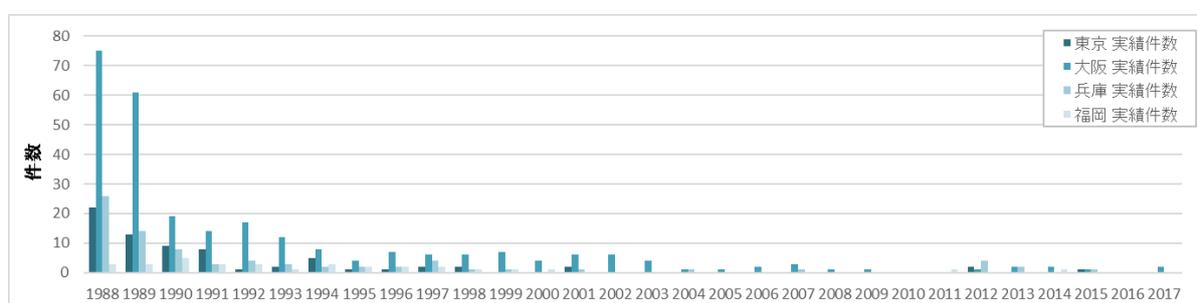


図6 事業実績件数の推移 (タイプ1)

タイプ2の少数継続型は、各年の実績は10件以下であるものの、近年まで継続して事業が実施されているという特徴が見られ、今後の事業展開の方向性として、事業の拡大と地方都市のモデル地域を目指すことが考えられる。

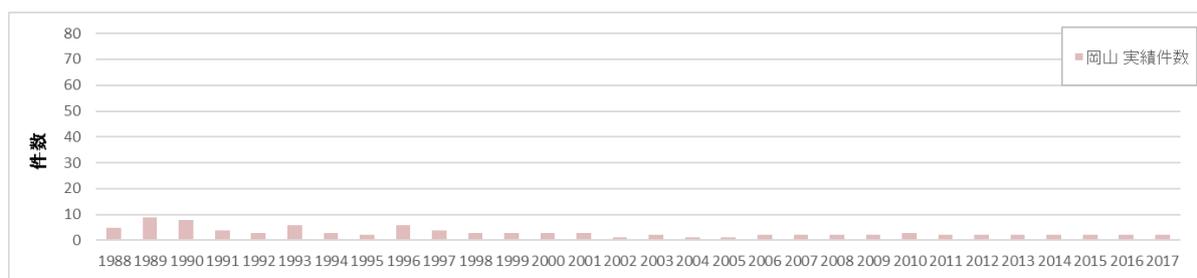


図7 事業実績件数の推移 (タイプ2)

タイプ3の初期少数型は、過去の実績が各県15件に満たず、さらに実績の約90%が事業開始直後の1988～1993年に行われたもので、過去10年間以上申請がないという特徴が見られ、今後の事業展開の方向性として、タイプ1をモデルとして事業件数の増加を目指すことが考えられる。

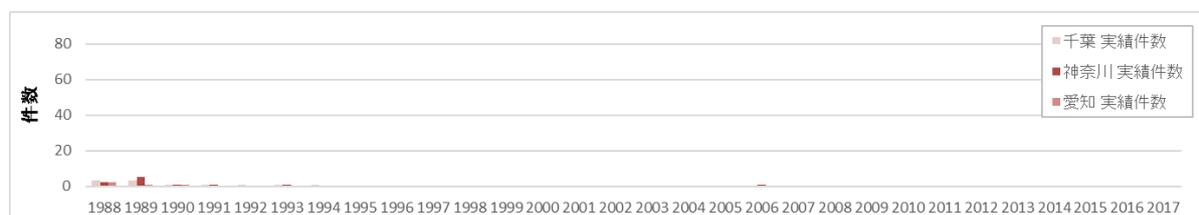


図8 事業実績件数の推移 (タイプ3)

タイプ4については、過去に実績がない。今後の事業展開の方向性としては、いずれも大都市近郊の都市であることから、タイプ2をモデルとして事業の導入を目指すことが考えられる。

1.2 対象自治体担当者へのアンケート調査

大気浄化植樹事業では、住宅・病院・老人ホーム・保育園・公民館等の敷地内で行う植樹を対象に植栽に係る費用の助成を行っているが、過去の実績では、学校等の教育施設や庁舎・公民館、その他の公共施設での植樹が多い状況となっている。

このため、本事業を活用し得る部署として、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。

- I 大気環境保全、保健に係る主管部署・・・環境保全課、保健所など
- II 公共施設の緑化や民有地の緑化推進に係る主管部署・・・公園整備課、緑地政策課など
- III 学校等教育施設の整備に係る主管部署・・・教育委員会総務課など

調査項目は、本事業の理解度や周知状況、緑化に関する現状、事業に対するご意見等とし、I～IIIの対象者別に設問を用意して、回答いただいた。

調査期間は平成29年11月8日～12月8日の1カ月間で、アンケート用紙は郵送での配布、回収を基本とし、全て記名式で実施した。対象者が回答に必要な基礎知識を補えるよう、アンケート用紙とあわせて本調査研究の概要や本事業の概要、環境再生保全機構の事業概要などに関する資料を同封した。

回収状況は、以下のとおりで、全体で有効回収率65.9%と、比較的高い回収率を確保することができた。

表3 アンケート回収状況

	I 大気環境保全、 保健に係る主 管部署	II 公共施設の緑 化や民有地の 緑化推進に係 る主管部署	III 学校等教育施 設の整備に係 る主管部署	全体
送付数	58票	59票	56票	173票
回収数	39票	39票	41票	119票
うち白票・無効票	3票	1票	1票	5票
有効票数	36票	38票	40票	114票
有効回収率	62.1%	64.4%	71.4%	65.9%

アンケートの結果を以下に整理する。

なお、以下「(1) 事業の情報発信について」にも示すとおり、回答者の多くが本アンケートで初めて大気浄化植樹事業を認知したと答えており、事業への理解度が不十分な状態で回答している可能性も示唆される。次年度調査研究において、事業展開の具体方策を検討するにあたり、アンケート結果を活用するには、回答者の属性分析をより詳細に行うなど、結果の取り扱いに十分注意する必要がある。

(1) 事業の情報発信について

事業の情報発信について、事業の理解度や周知状況、募集状況等に関する設問を設け、各自治体の現状を把握した。

結果から、多くの自治体で本事業が認知されておらず、周知・募集活動も行われていないことがわかった。

本事業の理解度について、「今回のアンケートで初めて知った」との回答が多かったことから、環境再生保全機構からの情報周知が課題の一つであると考えられる。また、関係部署との関わりが「ある程度日常的にある」との回答が10%にも満たず、大気環境を管轄する部署では50%近くが関係部署との関わりが「ほとんどない」と答えたことから、環境再生保全機構から提供している情報が自治体内でうまく共有されていないことが推察され、情報発信の方法、窓口部署や情報発信相手の選定にも課題があると考えられる。

(2) 事業の内容や運用について

事業の内容や運用については、事業の活用実績と今後の活用方針、緑化をする上での課題、既存の緑化制度等に関する設問を設け、各自治体の現況を把握した。

これまでの活用実績が「ある」との回答は10%にとどまった。本事業の窓口部署ではない、緑化に係る主管部署、教育に係る主管部署に対しては、「わからない」の選択肢を用意したところ、それぞれ25%程度、実績が「わからない」と回答したことから、部署、自治体内で実績を共有されていないことが推察され、ここでも環境再生保全機構からの実績を含めた情報周知が課題の一つになっていると考えることができる。

事業の助成対象については、対象樹種、対象経費共に「現行のままで良い」、「拡大すべき」と回答が二分したことから、見直しが求められているとは言い切れないが、対象樹種や対象経費を決定した背景となる、事業目的や方針（単なる緑化推進事業ではないということ）をより明確に示すことが必要と考えられる。

また、緑化をする上での課題は、「維持管理」に関するものが最も多く、次いで「落葉」や「病害虫」など周辺住民に対する配慮が挙げられたことから、維持管理費や手間の軽減も課題として挙げられる。

(3) 自治体が考える事業の課題と今後の事業展開について

アンケートの後半では、自由記述形式で各自治体が考える事業の課題や、今後の事業展開に対する考えを伺った。

自治体が考える本事業への申請が少ない理由としては、「周知不足」、「大気浄化のニーズが低下した」、「手続きが煩雑」など事業の課題とともに、「維持管理が困難」、「植栽場所がない」、「財政的に困難」などといった自治体が抱える課題も挙げられた。

また、自治体が考える今後の事業展開に向けた意見としては、「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。

(4) アンケート結果から見えた本事業の課題

以上の結果から、本事業の課題として以下の6点が抽出された。

周知不足／ニーズの低下／手続きが煩雑／
植栽後の維持管理が困難／植栽場所がない／財政的に困難

1.3 対象自治体担当者へのヒアリング調査

ヒアリングは、アンケート調査の補足、補強と位置付け、実施した。

対象者は、アンケートにおいて、大気浄化植樹事業の課題解決につながり得る意見を寄せていただいた自治体担当者を7名選出し、うち趣旨をご理解の上、協力の意向を示してくださった6名にご対応いただいた。

調査期間は平成30年2月1日～2月9日として、実施方法は対面式を基本として行った。

ヒアリングでは、本事業の課題や自治体が抱える課題について、アンケートよりも詳細な情報をいただいたり、各自治体での優良事例を伺ったりするなどし、本事業の課題解決に寄与する情報、ご意見を収集した。

ヒアリング結果の概要として、特に今後の事業展開に直結するご意見を以下にまとめる。

なお、ヒアリングでいただいたご提案は、次年度調査研究において、事業の目的や要綱に照らしながら、実現可能性を吟味し、事業展開の具体方策への反映を検討する。

表 4 ヒアリング結果概要

項目	ヒアリング結果概要
課題1.「周知不足」について	<ul style="list-style-type: none">・ホームページで応募要項や事業のポイント、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良い。・関連部署が集まる自治体内の審議会や、複数自治体の土木系部署が集まる連絡会、研究会の場を活用して、情報周知を行ってはどうか。・緑地整備は、新築マンションの付加価値の向上にも寄与することに着目し、開発事業をターゲットとして情報提供、情報周知をしてはどうか。
課題2.「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ホームページやパンフレットなどを用いて、よりわかりやすく発信してはどうか。・PM_{2.5}やヒートアイランド、都市景観など、話題のキーワードと絡めて、緑の有する多面的機能を紹介するのは効果的だと思う。・緑の有する多面的機能をアピールしていくために、「大気浄化植樹」の名称を変更してはどうか。・カーボンオフセットの考え方を参考に、直接的な排出源以外から離れた場所であっても、大気浄化の意義があるということを伝えてはどうか。

項目	ヒアリング結果概要
課題 3.「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ホームページなどで明確にしてもらえると良い。 ・予防事業全体の手続きは、個別事業の担当部署との連携が必要であり、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等、単独部署で手続きを完結できるしくみになると良い。 ・一般市民が手軽に申請手続きできるしくみをつくってはどうか。
課題 4.「植栽後の維持管理が困難」について	<ul style="list-style-type: none"> ・低木など手軽に管理できるもので、事業推進をしてはどうか。 ・樹種選定においては、地域の在来種や植栽場所の環境、地域住民の意見に配慮することが重要である。さらに維持管理の手間も重要な観点で、将来的な倒伏の可能性なども考慮する必要がある。 ・維持管理費の助成は、対象木とそれ以外の区別が煩雑になる恐れがあるため、保護樹木など、対象を明確にしやすいものに限定して助成を行ってはどうか。 ・維持管理費を助成する場合、毎年少額を支給するか、数年に1度まとまった金額を支給するか、2つの考え方ができる。 ・維持管理費を助成する場合、新たな手続きフローが発生し、手間、人件費が増大するようであれば、本末転倒である。
課題 5.「植栽場所がない」について	<ul style="list-style-type: none"> ・地域の景観向上や市民への公開性などの観点から、緑化効果の高い、公園に面した場所や公開空地などを対象としてはどうか。 ・開発や人口の増加が進み、新築、改築工事の増えているエリアを対象としてはどうか。 ・緑のカーテンや接道部の生垣、プランターなど、規模が小さく、植栽場所が限定されないもので本事業を活用してはどうか。 (上記の注意事項として) ・屋上緑化は、緑化推進の一つの方策と考えられるが、コストのかかる植栽であるため、導入できる人(=助成を受けられる人)が限定されてしまう恐れがある。 ・緑のカーテンなど市民レベルでできるものは、自治体が支援すべきであり、国から助成する必要性は低い。 ・接道部の緑化は、安全性の確保が求められ、維持管理にも注意が必要となる。 ・老木の補植に活用できないか。 ・地域の緑化政策の方針が、大気浄化植樹事業の方針と一致しない場合もあるため、対象樹種を可能な限り限定しないでほしい。

項目	ヒアリング結果概要
課題 6.「財政的に困難」について	<ul style="list-style-type: none"> ・事業取りやめの可能性が低い、老朽化した公共施設の改築事業などとあわせて本事業を活用してはどうか。 ・現行どおり、他の助成金との併用ができると良い。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・工場・事業所向けに、大気浄化植樹助成事業の活用意向に関するアンケートを行ってはどうか。 ・一般市民や自治会、学校等向けに、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対して、認定制度を導入してはどうか。評価を受けた自治体のインセンティブにつながるだけでなく、優良事例の紹介への寄与も期待できる。

1.4 近年の大気環境と都市緑化の動向

1.4.1 大気環境の現状とその影響

(1) 大気環境の現状

二酸化硫黄の2015年度の年平均値は、一般環境測定局(以下、「一般局」という)が0.002ppm、自動車排出ガス測定局(以下、「自排局」という)が0.002ppmで、近年は横ばい傾向にあるものの、環境基準の達成率はそれぞれ99.9%、100%であり、近年良好な状況が続いている。

窒素酸化物のうち二酸化窒素の2015年度の年平均値は、一般局0.010ppm、自排局0.019ppmであり、近年緩やかな低下傾向がみられる。環境基準の達成率も一般局100%、自排局99.8%であり、近年はいずれも高い水準で推移している。

浮遊粒子状物質(SPM)の2015年度の年平均値は、一般局0.019mg/m³、自排局0.020mg/m³であり、一般局、自排局とも近年横ばい状態で推移している。環境基準の達成率は一般局が99.6%、自排局99.7%であり、いずれも高い水準を維持している。

微小粒子状物質(PM_{2.5})の2015年度の有効測定局数は、一般局が765局、自排局が219局であり、PM_{2.5}が常時監視項目に加わった2010年度以降、着実に増加し、監視体制の充実が持続している。環境基準の達成率も一般局、自排局とも増加しつつあるが、2015年度の環境基準達成率は一般局74.5%、自排局58.4%に止まっている。

PM_{2.5}については、一般環境111地点、道路沿道33地点、バックグラウンド20地点で成分分析が行われている。この結果を見ると、道路沿道では自動車排ガスの影響が大きい元素状炭素(EC)の割合が他の地点より高いほか、一般環境や道路沿道はバックグラウンドに比べて硝酸イオンや元素状炭素の割合が高く、硫酸イオンの割合がやや低い傾向がみられる。

光化学オキシダントの2015年度の環境基準の達成状況は、一般局、自排局いずれも0%であり、依然として極めて低い水準となっている。注意報等発令延日数、被害届出人数とも減少傾向がみられるものの、2016年の注意報等発令延日数は16都府県46日、被害届出人数は2県46人であった。なお、注意報等発令延日数を月別でみると、7月が最も多く、次いで8月であり、夏期に集中している。

以上のように、硫黄酸化物、窒素酸化物、SPMについては、官民一体となった発生源対策等

の諸施策により改善されてきているが、PM_{2.5}や光化学オキシダントについては横ばい状態が続
き、環境基準の達成状況も思わしくない。わが国の大気環境は、高度経済成長時代のいわゆる
公害の時代に比べればずいぶん改善されてきているが、PM_{2.5}や光化学オキシダントのように未
だ環境基準が達成できない項目も残されており、これらの改善が課題になっている。したがっ
て、大気環境の問題といっても、質的に大きく変化していることに留意が必要である。

(2) 大気汚染による人の健康への影響

◇PM_{2.5}による影響

PM_{2.5}の健康影響に関する研究は、暴露期間の面では短期暴露と長期暴露に、健康影響の面では急性影響と慢性影響に大別される。欧米の研究によれば、短期暴露では、高濃度のPM_{2.5}への短期暴露が循環器系・呼吸器系疾患による死亡を増加させたり、呼吸器症状の増加、呼吸機能の低下、不整脈の増加、心拍変動の低下など、広範な健康影響が見出されている。一方長期暴露では、死亡率は大気汚染レベルの高い都市ほど高く、各都市のPM_{2.5}濃度との間に強い正の相関が認められている。また、全米50都市の約30万人を対象とした研究でもPM_{2.5}濃度と総死亡率、心肺疾患、肺がんによる死亡との関連が報告されている。

環境省によるPM_{2.5}暴露影響調査も行われている。わが国の一般環境大気中のPM_{2.5}の健康影響について、1999年に「微小粒子状物質暴露影響調査」を開始し、暴露、疫学、毒性学の3分野で8年間にわたる調査研究が行われた(環境省、2007)。PM_{2.5}の短期暴露の影響については、PM_{2.5}の日平均濃度の増加により総死亡のリスクがわずかに増加し、呼吸器系疾患による死亡についても有意な増加が観察されたが、循環器系疾患との関連はみられなかった。また、長期暴露の影響については、全国7地域の小児とその保護者を対象にした研究では、PM_{2.5}濃度が高い地域ほど保護者の持続性の咳や痰の有症率が高かったが、小児の呼吸器症状の有症率、罹患率は居住地域のPM_{2.5}濃度との関連はみられなかった。

また、自動車排ガスの健康影響に関する疫学研究も行われている。気管支喘息の患者数は世界的に増加傾向にあり、特に都市化の進んだ地域における増加が著しく、大気汚染との関係が懸念されていることから、自動車に由来する粒子状物質やNO_x濃度の高い幹線道路沿道部で沿道住民を対象とした疫学研究が行われている。千葉県下10小学校を対象にした自動車排出ガスの健康影響に関する疫学研究調査では、学童のぜん息症状の有症率、罹患率は居住地区により差がみられ、各地区の大気汚染濃度に対応する結果であった。ぜん息症状の罹患率が男女ともに沿道部が最も高いことから、自動車排ガス由来の大気汚染が学童のぜん息の発症に関与していることが示唆されている。

◇光化学オキシダントによる影響

光化学オキシダントの人の健康への影響としては、目の症状(目がチカチカする、涙が出るなど)、呼吸器の症状(のどが痛い、咳が出る、息苦しいなど)、更に症状が重くなると急性症状(吐き気、頭痛、けいれんなど)が出るということが知られている。

光化学オキシダントによる被害を未然に防止するための対策として、わが国では環境基準濃度の2倍にあたる1時間値0.12ppm以上の高濃度状況が継続すると考えられるときには光化学スモッグ注意報が、0.24ppm以上では警報が発令され、屋外での行動等の制限を呼び掛けている。

る。

このように、光化学オキシダントは人の健康への影響のみならず、日常的な生活や活動にも少なからず影響を与えている。

1.4.2 都市緑化の動向

(1) 都市の緑地の現状

国土交通省は、首都圏、名古屋市、大阪府・大阪市の3地域の緑地面積の推移を整理している。このうち首都圏では、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。また、全国的にみた緑被率（国土に占める農用地、森林、原野、都市公園の占める割合）の推移は、昭和57（1982）年から平成12（2000）年の約20年間で83.9%から81.6%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。

(2) 都市の公園面積の推移と都市の規模別にみた公園整備の推移

国土交通省によれば、一人当たりの公園面積は、昭和35（1960）年以降、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元（1989）年から平成17（2005）年の17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。これを都市の規模別にみると、一人当たりの公園面積は、都市の規模が大きくなるにしたがって減少し、整備の進捗率も低くなっている。平成17年現在の一人当たりの公園面積は人口100万人以上の都市では5.8m²で、人口10万人未満の都市の12.3m²の約47%と半分以下である。

(3) 屋上緑化・壁面緑化の実績の推移

屋上緑化や壁面緑化は、都市におけるヒートアイランド現象の緩和、美しく潤いのある都市空間の形成、都市の低炭素化等の観点から全国的に取り組が進められている。国土交通省（2017）によれば、調査を開始した平成12（2000）年から平成28（2016）年の17年間で、屋上緑化は約471ha、壁面緑化では約86ha、合わせて557haの緑地が創出された（それぞれ東京ドームの面積約4.7haの約100個分、約18個分に相当）。

施工実績の推移をみると、屋上緑化では平成19～20年頃、壁面緑化は平成20～23年頃をピークに一時減少傾向にあったが、近年再び増加傾向にある。その要因として、市街地における大規模な再開発や郊外における集客施設や工場・倉庫等において規模の大きな屋上緑化・壁面緑化が積極的に採り入れられたことが挙げられる。特に最近では、緑化技術の向上により、建物の屋上に限らず、バルコニーやちょっとした空間でも緑化が可能になったことも見逃せない。また、樹木・草本・つる植物・羊歯類・コケ類等を組み合わせた多様性のある壁面緑化を実現するための技術開発が進んだこと、商業施設などにおいて高質で魅力ある空間づくりにおいて華やかさやボリューム感等の演出のために多様な植物を用いた壁面緑化が可能になったことも重要な要因として挙げられる。

(4) 都市緑化の助成制度

都市の緑地は、良好な自然環境を行為制限（ある行為を禁止したり、許可・申請制にしたりすること）等により守る都市計画の諸制度や、都市公園の整備など、多様な手法で保全・創出が進められている。

従来、都市緑地整備は公共主導で実施可能な公共緑地の整備を主体に行われてきたが、財政が厳しい今日においては私有地の緑化を進める必要がある。私有地の緑、特に戸建て住宅の庭木や生垣の効果については、個々の敷地面積は例え小規模であっても、都市全体の総量で見れば相当な量になるものと期待され、樹林や農耕地が急速に失われている都市域にあって、それによる大気浄化効果も無視できないものがある。

このため、自治体では私有地の緑化を進めるために様々な助成制度が設けられている。主な助成制度には、生垣、接道部の緑化、駐車場の緑化、屋上緑化・壁面緑化、保存樹木や保存樹林への助成などである。これらの自治体の多くは、ホームページ上に申請手続きの流れ、助成の対象、対象となる経費や助成金額等が紹介されている他、リーフレットやパンフレット、申請書類・記入例等の関連書類がダウンロードでき、申請書に必要事項を記載し受付窓口で申請手続きをするだけになっている場合が多い。

(5) 近年における緑化樹種の推移

高度経済成長期の公害の時代には大気汚染が酷く、主な排出源である工場の敷地回りにはキョウチクトウ、カイヅカイブキなどの公害に強い樹木、二酸化硫黄などに対する耐性の強い樹種が目立っていたが、近年は大気汚染に対する耐性をそれほど考慮する必要がなくなってきたことや緑に対する国民のニーズが多様化していることもあり、植栽に用いられる樹種も多様になってきている。

国土技術政策総合研究所の緑化生態研究室（2014）による昭和 62（1987）年～平成 24（2012）年までの 30 年間の道路緑化樹木（高木）の上位 10 種の推移を見ると、中低木ではこの 25 年間で大きな変化はないが、高木では昭和 62 年に 3 位であったプラタナス類が徐々に減少して平成 24 年には 10 位まで順位を落としていること、またハナミズキの増加が著しく、平成 14 年以降 4 位となっている。また、総本数は年々増加しているが、イチョウは変わらず 1 位を続けているものの、2 位のサクラ類との差が縮まっている。

近年増加の著しいその他の樹種については、次のような特徴がある。ケヤキは成長が旺盛であるが、新緑、紅葉、樹形の美しさが好まれ、東北や関東を中心に自治体のシンボルの木に指定されている。クスノキはこんもりとした樹形で年間を通じて豊かな緑を提供し、都市景観に風格を与えることから、近畿や九州等の自治体の木に指定されている。また、サクラ類はわが国を代表する象徴のような花木であり、全国的に根強い人気を有している。

以上のように、かつての公害の時代は公害に強い遮蔽効果のある樹種が多用されていたが、近年は大気環境が改善されてきているため、そのような大気汚染に対する耐性に縛られる必要がなくなり、国民の緑に対する意識の多様化もあって植栽樹種も多様化しつつあるが、最近では維持管理のしやすい樹種などに変化しつつあるのが現状である。

1.5 事業展開に向けての課題の整理

アンケートの結果より、本事業の課題として以下の6点が抽出された。

周知不足／ニーズの低下／手続きが煩雑／ 植栽後の維持管理が困難／植栽場所がない／財政的に困難

アンケートやヒアリングでいただいたご意見を見ると、対象自治体が抱える課題や本事業の課題として指摘される部分は、概ねいずれの自治体も共通しているが、望む解決策の方向性は、自治体の財政や地域の社会情勢により異なっている。

また、大気環境の現況を見ると、NO_x、SO_x、粒子状汚染物質については、概ね改善されてきているが、PM_{2.5}や光化学オキシダントについては横ばい状態が続き、環境基準を達成できていない状況で、大気浄化植樹事業を開始した当初と比べ、大気環境の問題は質的に大きく変化していると言える。

今後の事業展開の検討においては、各地域の特性や時代の変化に合わせ、より柔軟な事業展開を目指していく必要があると考えられる。

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

2.1 既往知見の収集整理

本調査研究に役立てるために、PM_{2.5}（ブラックカーボン粒子および硫酸アンモニウム粒子）の植物影響に関する既往知見を整理した。PM_{2.5}などの粒子状物質の植物影響に関する既往知見については、2017年、東京農工大学伊豆田教授らが書籍の一節で整理している（Yamaguchi and Izuta, 2017a; Yamaguchi and Izuta, 2017b）。ここでは、サブミクロンサイズのブラックカーボン粒子と硫酸アンモニウム粒子の植物影響に関する最新の知見を抜粋して紹介する。

ブラックカーボン粒子は、ディーゼルエンジンの排気や石炭燃焼などから生じる黒色の微小粒子状物質であり、その平均的な粒径は約200 nmである。Yamaguchi et al. (2012)は、日本の代表的な森林構成樹種であるブナ（*Fagus crenata*）、スダジイ（*Castanopsis sieboldii*）、カラマツ（*Larix kaempferi*）およびスギ（*Cryptomeria japonica*）の苗木を対象に、2成長期間にわたるサブミクロンサイズのブラックカーボン粒子の長期暴露実験を行った。いずれの樹種においても、遮光による純光合成速度の低下、葉温上昇による純光合成速度の変化や蒸散速度の上昇および気孔閉塞作用による気孔開閉機能の低下は認められなかった。Yamaguchi et al. (2012b)によって開発された方法で葉面に沈着したブラックカーボン粒子を定量した結果、0.13～0.69 mg m⁻²（葉の両面の面積あたり）であった。Yamane et al. (2012)は、電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM）を用いたスダジイの葉とスギの針葉に沈着したサブミクロンサイズのブラックカーボン粒子の観察法を確立した。また、Nakaba et al. (2016)は、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ブラックカーボン粒子を観察し、ブラックカーボン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、エピクチクラワックス結晶が高密度で存在する葉表面には沈着が見られないことを報告した。

硫酸アンモニウム粒子は、二酸化硫黄が酸化されて生じた硫酸とアンモニアの中和反応によって生成され、長距離輸送される微小粒子状物質である。Yamaguchi et al. (2014)は、日本の代表的な樹木であるブナ、スダジイ、カラマツおよ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に硫酸アンモニウム粒子暴露の有意な影響は認められなかった。また、2成長期目の夏季におけるブナ、スダジイ（当年葉、旧年葉）およびカラマツの葉の純光合成速度に硫酸アンモニウム粒子の有意な影響は認められなかった。これに対して、同時期におけるスギ当年葉の純光合成速度は硫酸アンモニウム粒子の暴露によって有意に増加し、スギ旧年葉のそれは有意に低下した。これらの結果から、2成長期間にわたる硫酸アンモニウム粒子暴露は4樹種の個体乾物成長に有意な影響を及ぼさないが、純光合成速度に対する硫酸アンモニウム粒子の影響には樹種間差異があり、スギの針葉は影響を受けやすいことが明らかになった。スギの針葉における硫酸アンモニウム粒子の沈着量は、暴露量が同じでも、他の3樹種と比較して多かったため、スギの葉の純光合成速度に硫酸アンモニウム粒子の有意な影響が認められたと考えられる（Yamaguchi et al., 2014）。スギ当年葉の葉内における NH_4^+ 濃度、遊離アミノ酸濃度およびタンパク質濃度が硫酸アンモニウム粒子暴露によって増加した。したがって、スギの当年葉においては、葉面に沈着した硫酸アンモニウム粒子が潮解して NH_4^+ が葉内に吸収され、アミノ酸やタンパク質に代謝された結果、純光合成速度が増加したと考えられる。これらの結果は、硫酸アンモニウム粒子などの潮解性の粒子は、クチクラまたは気孔を介して葉内に吸収され、葉内成分を変化させることを示している。Motai et al. (2017)は、サブミクロンサイズの硫酸アンモニウム粒子の葉面沈着量の測定法を検討し、コマツナ（品種：はっけい）の成長と収量に対するサブミクロンサイズの硫酸アンモニウム粒子の影響を調べた。播種後10~25日目の16日間にわたる硫酸アンモニウム粒子の暴露（ $\text{PM}_{2.5}$ 中の SO_4^{2-} の濃度増加は $22.5 \mu\text{g m}^{-3}$ ）によって、コマツナの葉の水蒸気気孔拡散コンダクタンスが低下し、成長と収量も低下したが、葉の窒素濃度とクロロフィル濃度に有意な影響は認められなかった。

引用文献

- Motai, A., Nakaba, S., Lenggoro, I. Wuled, Watanabe, M., Wada, Y. and Izuta, T. (2017) Effects of submicron ammonium sulfate particles on the growth and yield of komatsuna (*Brassica rapa* L. var. *perviridis*). *Atmospheric Environment*, 169, 278-286.
- Nakaba, S., Yamane, K., Fukahori, M., Nugroho, W. D., Yamaguchi, M., Kuroda, K., Sano, Y., Lenggoro, I. W., Izuta, T. and Funada, R. (2016) Effect of epicuticular wax crystals on the localization of artificially deposited sub-micron carbon-based aerosols on needles of *Cryptomeria japonica*. *Journal of Plant Research*, 129, 873-881.
- Yamaguchi, M., Otani, Y., Takeda, K., Lenggoro, W., Ishida, A., Yazaki, K., Noguchi, K., Sase, H., Murao, N., Nakaba, S., Yamane, K., Kuroda, K., Sano, Y., Funada, R. and Izuta, T. (2012a) Effects of long-term exposure to black carbon particles on growth and gas exchange rates of *Fagus crenata*, *Castanopsis sieboldii*, *Larix kaempferi* and *Cryptomeria japonica* seedlings. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 6, 259-267.
- Yamaguchi, M., Takeda, K., Otani, Y., Murao, N., Sase, H., Lenggoro, I. W., Yazaki, K., Noguchi, K., Ishida, A. and Izuta, T. (2012b) Optical method for measuring deposition amount of black carbon

- particles on foliar surface. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 6, 268-274.
- Yamaguchi, M., Otani, Y., Li, P., Nagao, H., Lenggoro, I. W., Ishida, A., Yazaki, K., Noguchi, K., Nakaba, S., Yamane, K., Kuroda, K., Sano, Y., Funada, R. and Izuta, T. (2014) Effects of long-term exposure to ammonium sulfate particles on growth and gas exchange rates of *Fagus crenata*, *Castanopsis sieboldii*, *Larix kaempferi* and *Cryptomeria japonica* seedlings. *Atmospheric Environment*, 97, 493-500.
- Yamaguchi, M. and Izuta, T. (2017a) Chapter 19 Effects of aerosol particles on plants. *Air Pollution Impacts on Plants in East Asia* (Edited by Takeshi Izuta), pp. 283-293, Springer.
- Yamaguchi, M. and Izuta, T. (2017b) Chapter 20 Effects of black carbon and ammonium sulfate particles on plants. *Air Pollution Impacts on Plants in East Asia* (Edited by Takeshi Izuta), pp. 295-308, Springer.
- Yamane, K., Nakaba, S., Yamaguchi, M., Kuroda, K., Sano, Y., Lenggoro, I. W., Izuta, T. and Funada, R. (2012) Visualization of artificially deposited submicron-sized aerosol particles on the surfaces of leaves and needles in trees. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 6, 275-280.

2.2 先行研究

2.2.1 目的

現在、人為起源のブラックカーボン粒子による人間の健康被害が懸念されている。街路樹の葉には自動車由来のブラックカーボン粒子が沈着するため、同粒子で汚染された大気を浄化し、人間に対する同粒子の暴露量を低下させることが期待されている。しかしながら、街路樹におけるブラックカーボン粒子の葉面沈着量の季節変化と樹種間差異は明らかにされていない。そこで本研究では、日本の主要な街路樹であるクスノキ、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粒子の葉面沈着量の樹種間差異と季節変化およびそれらの要因を明らかにすることを目的とした。

2.2.2 材料と方法

クスノキ (*Cinnamomum camphora*, 2年生苗)、イチョウ (*Ginkgo biloba*, 3年生苗)、マテバシイ (*Lithocarpus edulis*, 4年生苗) およびケヤキ (*Zelkova serrata*, 2年生苗) を東京農工大学フィールドミュージアム府中(東京都府中市幸町)の研究圃場で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ブラックカーボン粒子の沈着量およびエピクチクラワックス量を2ヶ月に1回の頻度で測定した。

2.2.3 結果と考察

図9に、クスノキ(常緑広葉樹)、マテバシイ(常緑広葉樹)、イチョウ(落葉広葉樹)およびケヤキ(落葉広葉樹)のブラックカーボン粒子の葉面沈着量を示した。ブラックカーボン粒子の単位葉面積あたりの沈着量(葉面沈着量)が最大値を示す時期は樹種によって異なったが、4樹種における最大葉面沈着量に有意な差はなかった。これに対して、4樹種におけるブラックカーボン粒子の葉面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1次展葉期の葉

におけるブラックカーボン粒子の沈着量は、展葉（4月）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。イチョウにおけるブラックカーボン粒子の葉面沈着量は、展葉（4月）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ブラックカーボン粒子の葉面沈着量は、展葉（4月）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1次展葉期の葉におけるブラックカーボン粒子の葉面沈着量は、展葉（4月）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、ブラックカーボン粒子の葉面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。

図10に、クスノキ、マテバシイおよびイチョウにおける葉のエピクチクラワックス量とブラックカーボン粒子の葉面沈着量との関係を示した。これらの3樹種において、両者の間に正の直線関係が認められた（ケヤキでは有意な相関は認められなかった）。3樹種においては、ブラックカーボン粒子の葉面沈着量が最も増加する時期とエピクチクラワックス量が最も増加する時期は一致した。また、クスノキおよびマテバシイにおいては、エピクチクラワックス量の減少に伴って、ブラックカーボン粒子の葉面沈着量が減少した。以上のことから、エピクチクラワックスの分泌と減少は、ブラックカーボン粒子の葉面沈着量の季節変化とその樹種間差異に關与する要因であると考えられる。

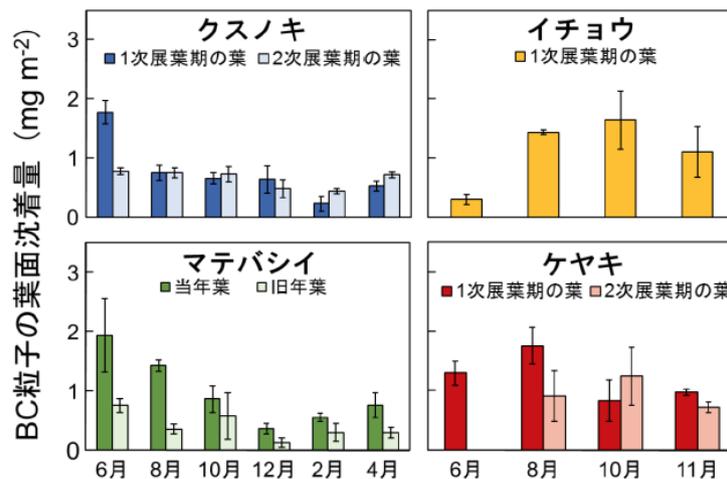


図9 クスノキ、マテバシイ、イチョウおよびケヤキのブラックカーボン粒子の葉面沈着量

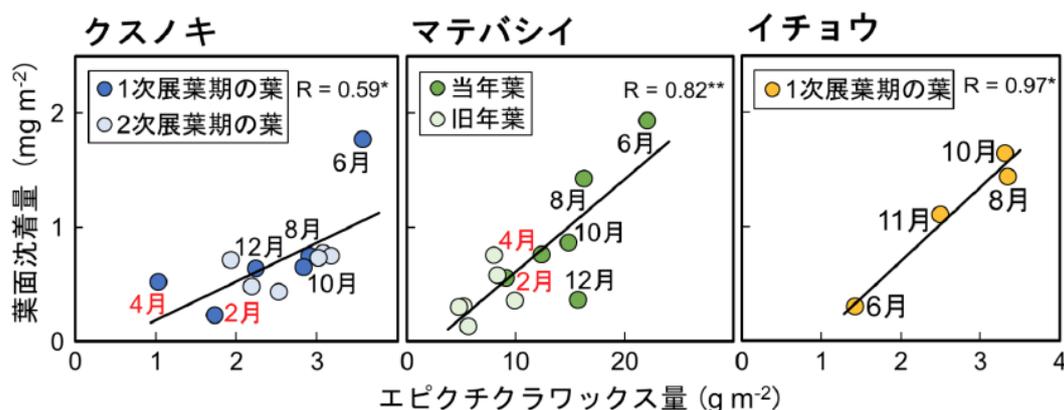


図 10 クスノキ、マテバシイおよびイチョウにおける葉のエピクチクラワックス量とブラックカーボン粒子の葉面沈着量との関係

街路樹においてブラックカーボン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、ブラックカーボン粒子で汚染された大気の浄化を街路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と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。

2.3 捕捉効果の検証

2.3.1 常緑広葉樹と落葉広葉樹の苗木実験

2017年10月6日に常緑広葉樹4樹種（シラカシ、アラカシ、クロガネモチ、キンモクセイ）の苗木を、黒土を詰めたポットに移植し、東京農工大学府中キャンパスの圃場で育成を開始した（写真2）。また、同圃場で、2017年11月8日からテープ式ブラックカーボン濃度測定機による大気中のブラックカーボン粒子の濃度測定を開始した。

育成開始時の常緑広葉樹4樹種の苗木の樹高と葉数を計測した。また、常緑広葉樹4樹種におけるブラックカーボン粒子の葉面沈着量を測定するために、2017年12月1日、2018年1月15日、2月15日および3月15日に葉のサンプリングを行った。

2.3.2 ブラックカーボン粒子の葉面沈着量の測定方法

クスノキ、マテバシイ、イチョウおよびケヤキを供試樹木として行った先行研究の結果を用いて、葉のブラックカーボン沈着量の定量方法を検討している。現在検討している方法は、以下の通りである（図11）。

- (1) 採取した葉の面積を画像解析ソフト（Lia 32 ver.0.378, フリーソフトウェア）を用いて測定する。
- (2) 葉を脱イオン水で3分間にわたって洗浄し、その後、約30 mlのクロロホルム（99%, w/w）で20秒間にわたって抽出する。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同濾紙上に捕集する。
- (3) 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）によって元素状炭素（Elemental carbon, EC）として定量する。

- (4) ブラックカーボン粒子を捕集したシリカ濾紙の500～700 nmにおける吸光度を積分球付き分光光度計（U-4100, 株式会社日立ハイテクノロジーズ）で測定する。
- (5) シリカ濾紙の吸光度と原子状炭素（EC）量との関係から、シリカ濾紙上のブラックカーボン粒子の捕集量を推定するための検量線を樹種ごとに作成する。

供試樹木 (<http://www.chiba-museum.jp/jyumoku2014/kensaku/nae.html#ki>)

常緑広葉樹



落葉広葉樹



写真 1 本研究の供試樹木（常緑広葉樹 6 樹種と落葉広葉樹 6 樹種）

クスノキ、マテバシイ、イチョウおよびケヤキを供試樹種として先行研究を行っている。また、シラカシ、アラカシ、クログネモチおよびキンモクセイを供試樹木として、平成 29 年度から常緑広葉樹によるブラックカーボン粒子の捕捉効果に関する実験を開始した。ハナミズキ、コブシ、ヤマボウシおよびエゴノキを供試樹木として、平成 30 年 4 月から落葉広葉樹によるブラックカーボン粒子の捕捉効果に関する実験を開始する予定である。



写真 2 常緑広葉樹（シラカシ、アラカシ、クログネモチ、キンモクセイ）の苗木の育成風景（2017 年 11 月 23 日撮影、東京農工大学府中キャンパス内の風景）

ブラックカーボン(BC)粒子の葉面沈着量の測定

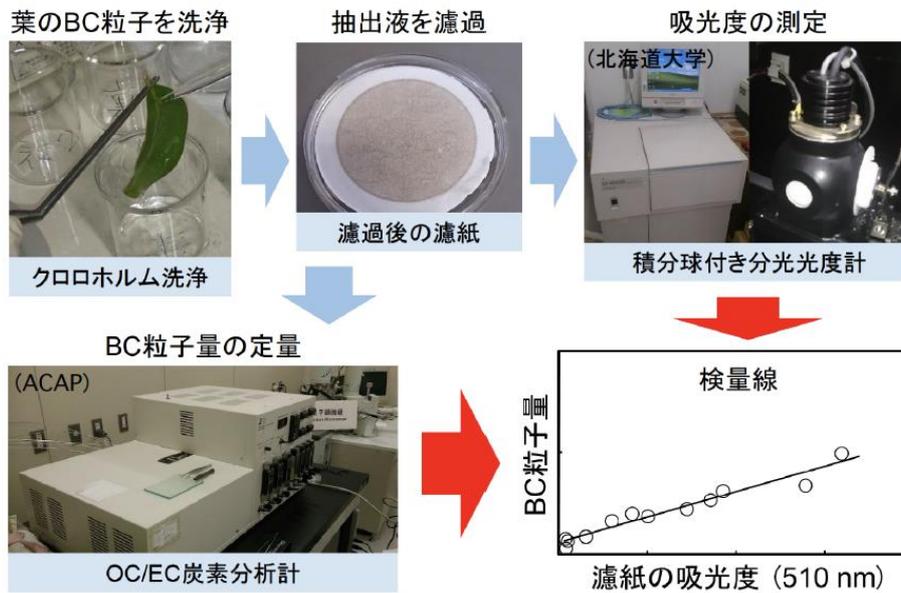


図 11 ブラックカーボン粒子の葉面沈着量の測定方法

2.3.3 ブラックカーボン粒子の捕捉効果の評価方法

上記の実験的研究で得られた単位葉面積あたりのブラックカーボン粒子沈着量とその季節変化から各樹種における1年間の単位葉面積あたりのブラックカーボン粒子捕捉量を明らかにする。次に、各樹種における1年間の単位葉面積あたりのブラックカーボン粒子捕捉量に基づいて、実際の樹木（街路樹などの大きな樹木）1本あたりの葉面積や葉数を用いて、樹木1本あたり1年間でどのくらいのブラックカーボン粒子を葉に捕捉することができるのかを評価し、その樹種間差異を比較する。その際、実験的研究における測定結果から得られた各樹種の葉面積推定式や葉数推定式（例えば、樹種別の平均葉面積、根元直径や胸高直径と葉数との関係式、胸高直径と樹木1本あたりの総葉面積との関係式など）を構築する。実際の公園樹木や街路樹の胸高直径や樹高を調べ、1本の樹木（街路樹などの大きな樹木）によって1年間でどの程度のブラックカーボン粒子を捕捉するかを推定し、大気中のブラックカーボン濃度からある一定空間における1本の樹木によるブラックカーボン粒子に注目した大気浄化能力（大気中に存在するブラックカーボン粒子の何%くらいが葉に捕捉されるのか）を推定し、評価する。さらに、粒子状汚染物質の捕捉の面から、公園樹木や街路樹として、どのような樹木をどのように植栽すれば（植栽形態や密度など）、ブラックカーボン粒子に着目した大気浄化能力が高まるのかを考察し、効果的な植栽手法などを提案する。

3. 調査研究検討会の開催

平成29年10月16日に今年度第一回、平成30年1月29日に今年度第二回検討会を開催した。検討会では、調査研究の実施計画に対しご意見をいただくとともに、次年度に詳細検討予定の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5に示す。

表5 検討会結果概要

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ため、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していかると良い。○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。○Ⅰ～Ⅲはすべて1つの冊子にまとめ、他の部署への質問も含めアンケート全体が分か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	質疑以外のご意見なし
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。○環境省のホームページと本事業のホームページの連携を強化するなど、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、例えば、5年、10年に一度、維持管理の助成をすることはできないか。○新しい知見が見つければ、この事業にもう一度注目が集まり、事業活用のきっかけにつながると思う。

○ヒアリングでは、現状を伺うだけでなく、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

○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には、大きな間違いのないよう、注意する必要があると思う。

○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、表面沈着ということで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

○調査研究の開始時期を考えれば、現段階の進捗としては、調査研究の構想をまとめ、準備を進めているという状況で十分ではないか。

○この調査研究においてまとめ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年に東京オリンピック・パラリンピックの開催を控えているが、都市環境の改善に関する取組みは全く進んでいない。植物が持つ機能について、定量的な効果を示せなくとも、まずは植樹を推進して行ってほしい。

【まとめ】

1. 大気浄化植樹事業の課題の把握

1.1 事業実績収集分析

過去の事業実績一覧を分析し、対象自治体を4つのタイプに分類して整理した。

1.2 対象自治体担当者へのアンケート調査

対象自治体担当者を対象にアンケート調査を実施し、本事業の課題として「周知不足」、「ニーズの低下」、「手続きが煩雑」、「植栽後の維持管理が困難」、「植栽場所がない」、「財政的に困難」の6点を抽出した。

1.3 対象自治体担当者へのヒアリング調査

アンケートにおいて、本事業の課題解決につながり得る意見を寄せていただいた自治体担当者を6名に対してヒアリングを実施し、各自治体の現状や課題のほか、本事業の課題解決に寄与する情報、ご意見を収集した。

1.4 近年の大気環境と都市緑化の動向

わが国の大気環境は、高度経済成長期のいわゆる公害の時代に比べれば随分改善されてきているが、PM_{2.5}や光化学オキシダントのように未だ環境基準が達成されない項目もあるなど、人の健康への影響のみならず、日常的な生活や活動にも少なからず影響を与えている。

一方、都市緑化については、経済的な問題や緑化する場所がないなど阻害要因はあるものの、屋上緑化や壁面緑化等の技術開発は年々進んでいる。

1.5 事業展開に向けての課題の整理

アンケートやヒアリングでいただいたご意見を見ると、対象自治体が抱える課題や本事業の課題として指摘される部分は、概ねいずれの自治体も共通しているが、望む解決策の方向性は、自治体の財政や地域の社会情勢により異なっている。また、大気環境の現況を見ると、大気浄化植樹事業を開始した当初と比べ、大気環境の問題は質的に大きく変化していると言える。

今後の事業展開の検討においては、各地域の特性や時代の変化に合わせ、より柔軟な事業展開を目指していく必要があると考えられる。

2. 樹木による粒子状汚染物質捕捉の捕捉効果と植物への影響の把握

2.1 既往知見の収集整理

植物と粒子状汚染物質の関係に関する科学的知見を収集・整理した。既往知見と先行研究を踏まえ、「2.2 補足効果の検証」の手法を検討した。

2.2 捕捉効果の検証

常緑広葉樹、落葉広葉樹各4種の苗木を購入し、先行研究の供試樹木とあわせ常緑広葉樹、落葉広葉樹各6種の育成を進め、実験の準備を整えた。常緑広葉樹6種については、平成30

年3月までに4回葉のサンプリングを行った後に、炭素分析計や分光光度計を用いた測定を行った。

3. 調査研究検討会の開催

学識者からなる検討会を設け、今年度は2回開催した。検討会では、調査研究の実施計画に対しご意見をいただくとともに、次年度に詳細検討予定の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。

【平成 30 年度の調査計画】

1. 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

先行研究となる平成 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」や、本調査研究で今年度把握された課題を踏まえ、今後の大気浄化植樹事業の継続・展開に向け、事業内容の見直しを含め、事業の今後のあり方を検討し提案する。

より多くの対象自治体に大気浄化事業を活用いただき、対象地域の大气環境を改善するため、主な検討項目としては、現段階では以下のような事項を想定する。

- ◇インセンティブの付与（認証制度、緑の多面的機能の総合発揮など）
- ◇助成範囲の拡充（現在、助成対象範囲は植樹に限られているが、維持管理に係る費用、学校や自治体庁舎等での整備が多い緑のカーテンを含む草本植物の導入等も検討する）
- ◇環境教育への活用（総合学習等でのプログラム、パンフレット原案作成など）
- ◇緑化に関わる部局や教育委員会（過年度の実績では、申請の大半を占めるのが学校等の教育施設である）などの他の部局との連携強化
- ◇申請手続きの見直しと明示化
- ◇事業周知方法の改善（ホームページ掲載のためのコンテンツ作成など）

近年、都市緑地整備の現場においては、近隣住民からの落葉、日影、病虫害等の苦情が多く、植樹を望まないケースも多いことから、葉齢や展葉・落葉時期の分散などを考慮した樹種選定など必要な情報を整理し、維持管理の手間がかからない、苦情の少ない樹種選定を提案する。

また、自治体の財政事情等も考慮し、なるべく維持管理の手間のかからない樹種選定や、落葉の少ない剪定方式など、植栽後の維持管理作業の軽減を含めた検討を行い情報提供する。

検討にあたっては、適宜環境再生保全機構との打合せ協議を行い、調整しながら進めることとする。

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

2.1 捕捉効果の検証

平成 29 年度の調査研究に引き続き、常緑広葉樹（春～冬）に加えて、落葉広葉樹（春～冬）の計測を実施し、葉における粒子状汚染物質（前年度に引き続きブラックカーボン粒子を対象とする）の捕捉量の季節変動などを把握し、捕捉効果と植物影響に係る樹種間差を把握する（科学的裏づけを明確にする）。得られた結果に基づき、捕捉効果の季節変動やその樹種間差異などを考慮した粒子状汚染物質の捕捉に適した樹種リストの提示に活用する。また、樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果をわかりやすく説明するため、樹木 1 本あたりに着生している葉面積を推定し、樹木 1 本あたり 1 年間あたりの捕捉量をブラックカーボンを対象に概算推計し、大気中に存在するブラックカーボン粒子の何%程度を捕捉できるのかを推計し評価する。

また、樹木による効果に限らず、近年、学校や一般家庭で普及している緑のカーテンによる効果をわかりやすく説明できるように、平成 23～25 年度の調査研究で実施した板橋区立の小中学校での緑のカーテンの調査結果を再整理し、既往の知見等も加えて、環境教育への活用を含め、粒子状汚染物質の捕捉効果を含む緑のカーテンの効果について検討し情報提供するとともに、普及啓発に係るパンフレットを作成する。

なお、VOCについては、粒子状汚染物質との直接的な関わりはないが、光化学オキシダントの生成、オゾン層の破壊など、近年の深刻な大気環境問題に深く関わることから、植物起源のVOCの知見をあわせて整理する。

2.2 事業に向けた総合的考察（事業への反映）

以上の検討結果を踏まえ、樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果や植物影響等を樹種間で比較し、効果的な樹種選定に資する。

現在のところ、樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果を評価する手法は確立されていないが、評価手法の確立に向け、基礎的な情報や評価手法の考え方、手法確立に向けた問題点や課題を整理する。基本的には樹木1本の1年間あたりの捕捉量を試算することによって評価するが、今回測定の対象とするのは常緑広葉樹6種、落葉広葉樹6種の合計12種程度であるが、今後、都市緑化樹木の中で効果的な樹種を検索できるようにするため、評価手法の基本的考え方や評価手法確立に向けての課題を整理する。また、今回は予算や時間の制約の中で対象物質を炭素成分のうちのブラックカーボンに絞ったが、金属成分、イオン成分の捕捉効果の評価手法の考え方や課題も整理する。

粒子状汚染物質の捕捉効果からみた大気浄化植樹の植栽構成や植栽密度など、植え方に係る留意点等を整理する。

学校等の教育施設での助成申請の増加を促すため、総合学習でのプログラム作りなど、環境教育への活用について検討し提案する。

大気浄化植樹事業の事業効果の科学的裏付けを得るため、樹木による粒子状汚染物質捕捉効果について、科学的かつわかりやすい資料にまとめる。

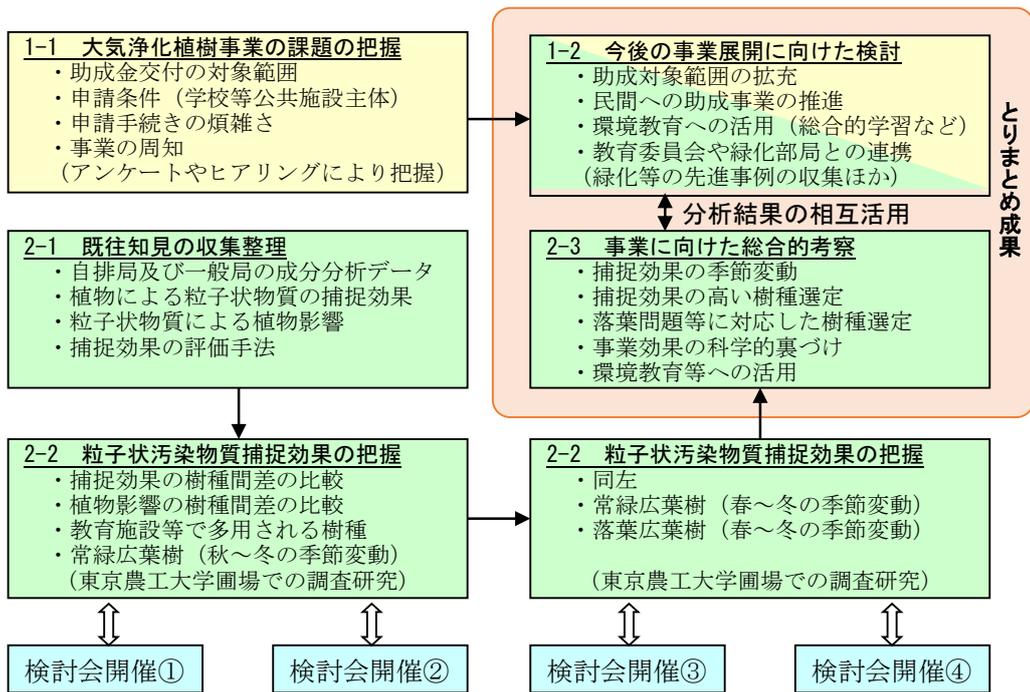
なお、1.の「今後の事業展開のあり方の検討」と2.の「樹木による粒子状汚染物質の捕捉効果と植物影響の把握」は相互に関連し科学的な根拠に裏付けられた事業展開の検討が重要であるが、実験的研究で得られた科学的知見を最大限今後の事業の展開に活かすほか、今後、大気浄化植樹の普及啓発や環境教育への活用場面を想定し、それぞれの成果を独立に活用できるよう、例えば普及啓発用のパンフレット原案（A4版数頁程度）を作製するなど、成果物の仕立て方を工夫する。

3. 調査研究検討会の開催

今年度と同様、調査研究の内容や進め方の妥当性、調査研究の途中成果を踏まえた調査研究計画の修正の可否を確認し、定期的に助言・評価を得るために、検討会を2回開催する。

<平成 29 年度（1 年目）>

<平成 30 年度（2 年目）>



注) 上図のうち、緑色の部分は国立大学法人東京農工大学との共同研究を予定。

図 12 本研究の検討フロー

表 6 平成 30 年度の調査研究の工程（予定）

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
1.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													
事業展開のあり方の検討	[Progress bar]											←	
・助成範囲の検討	[Progress bar]												
・申請手続の検討	[Progress bar]												
・環境教育への活用				[Progress bar]									
・連携の検討							[Progress bar]						
・事業周知の検討										[Progress bar]			
・ERCA との調整	(適宜打合せ協議)												
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													
2-2 捕捉効果検証	[Progress bar]												
・計測（常緑広葉樹）	●		●		●		●		●				
・計測（落葉広葉樹）			●		●		●		●				
2-3 事業に向けた総合的考察								[Progress bar]					
・捕捉効果の検討								[Progress bar]					
・植物影響の検討								[Progress bar]					
・適正樹種の検討								[Progress bar]					
・評価手法の検討									[Progress bar]				
・環境教育への活用											[Progress bar]		
・留意事項の検討											[Progress bar]		
3. 調査研究検討会													
検討会開催								●			●		