

首都圏都市樹木によるオゾン濃度低減・健康リスク低減効果の推定

國分優孝・平林 聡*

(*米国農務省フォレストサービス/The Davey Tree Expert Company)

【要約】

首都圏の都市樹木が大気質におよぼす影響を把握するため、樹木のオゾン沈着モデル i-Tree Eco と首都圏全域の衛星画像による都市樹木データを用いて、都市樹木のオゾン濃度低減量を推定した。また、都市樹木によるオゾン濃度低減で回避されるオゾン健康被害を疫学統計モデル BenMAP を用いて試算した結果を報告する。

【キーワード】 光化学オキシダント（オゾン）、都市樹木、オゾン乾性沈着、大気浄化、オゾン健康影響

【目的】

首都圏の都市樹木が大気質におよぼす影響の把握を進めている。樹木は空気中に含まれる大気汚染物質を植物体表面に乾性沈着させることで大気を浄化する機能があると言われており、特に森林ではこの働きが物質循環において重要な役割を果たしていると考えられている。一方、都市においても樹木が大気浄化に無視できない影響を持つ可能性があるが、都市部の研究は世界的にも限られており、定量的な影響は明確になっていない。本研究は、大気汚染物質の一つとして光化学オキシダント（以下、オゾンと記述）に着目し、首都圏全域で都市樹木がオゾン濃度におよぼす影響の定量評価を目的として、都市樹木への乾性沈着によるオゾン除去量の推定、その除去によって低減するオゾン濃度の推定、さらに、オゾン濃度低減によって回避される健康被害（健康リスク低減効果）の試算を行った。

【方法】

(1) 都市樹木のオゾン除去量

推定には米国農務省の i-Tree Eco モデルを用いた。i-Tree Eco は、下記(i)–(iii)のデータを入力値として、乾性沈着によって樹木が除去する大気汚染物質の量を下式(1)–(3)に基づいて推定する。計算において、樹冠抵抗をはじめとする各抵抗値のパラメタリゼーションは既往文献¹⁾に従った。また、計算に考慮される樹木の各パラメーター（健康状態、枝葉欠損率、露光方向数、等）は、東京都建設局の街路樹形状の記録台帳（港区・中央区・千代田区・世田谷区・目黒区の都道）を参考に設定した。

$$\text{除去量 (g m}^{-2} \text{ s}^{-1}) = \text{乾性沈着速度 (m s}^{-1}) \times \text{大気汚染物質濃度 (g m}^{-3}) \quad (1)$$

$$\text{乾性沈着速度} = (\text{空気力学抵抗} + \text{準層流境界層抵抗} + \text{樹冠抵抗})^{-1} \quad (2)$$

$$\text{樹冠抵抗}^{-1} = (\text{気孔抵抗} + \text{葉肉抵抗})^{-1} + \text{土壌抵抗}^{-1} + \text{クチクラ抵抗}^{-1} \quad (3)$$

(i) 首都圏全域の都市樹木データ：

これまでの調査で作成した首都圏全域の植生（樹木+草地）データから²⁾、以下の方法で市街地の樹木を抽出することで首都圏の都市樹木データを作成した。植生葉面積については、東京区内には WorldView-2/3 衛星画像（解像度 2 m）を使用し、東京区外には Sentinel-2 衛星画像（解像度 10 m）を使用し、首都圏を南北 335 × 東西 305 の 1 × 1 km 格子に加工したグリッドデータとして整備した（図 1、a）。都市樹木の分布は、環境省

生物多様性センターの土地区分データならびに Terra MODIS 衛星の Vegetation Continuous Fields データ (解像度 250 m) を基にした。具体的には、環境省生物多様性センターWeb サイトに GIS データとして纏められている首都圏市街地ゾーンと、上記の衛星画像 (WorldView-2/3, Sentinel-2) からの植生葉面積分布データ (東京区内: 解像度 2 m、東京都区外: 解像度 10 m)、および Terra MODIS 衛星の Vegetation Continuous Fields データからの樹木分布データ (解像度: 250 m) を重ね合わせ、1×1 km 単位で都市樹木の葉面積分布を抽出した。

(ii) オゾン濃度データ :

首都圏全域の各 1×1 km セルに最も近い大気測定局の 2015 年度の特別測定値 (国立環境研究所・大気汚染常時監視データ³⁾) を、各セルのオゾン濃度とした。測定局数は 322 であり (図 1b、ピンク色プロット)、欠損値の補間方法は米国内で環境保護庁の大気質データを用いた i-Tree Eco 計算で行われている方法に準じた⁴⁾。

(iii) 気象データ :

気象モデル WRF (バージョン version 4.3) で計算された 2015 年 1 月 1 日-12 月 31 日の関東域における地表 5×5 km メッシュの特別の気温、湿度、光量(PAR)、降水量、気圧、風速、被雲率、大気混合層高度を各 1 km² セルに割り振った (図 1、b)。WRF の設定は J-STREAM の推奨設定に準じ、計算領域としては東アジア領域 (45 km 格子)、日本周辺領域 (15 km 格子)、関東領域 (5 km 格子) を設定し、東アジア領域→日本周辺領域→関東領域という 3 段階の一方方向ネスティング計算を行った (図 1、b)。計算では全球客観解析データ (NCEP FNL) と AMeDAS 観測値によるデータ同化 (補正) を施すことで十分な再現性を得た。

(2) 乾性沈着によるオゾン濃度低減量

樹木へのオゾン乾性沈着によって低減される大気濃度は、地表大気混合層内でのオゾン濃度は鉛直方向に均一という仮定のもと、樹木による各 1 km²セル内のオゾン除去量をセル体積 (1 km²×大気混合層高度) で除算することで濃度低減量を求めた。また、上記(ii)のオゾン濃度から求めたセル体積内のオゾン質量と、樹木によるセル内のオゾン除去量の比をとることで大気改善率 (%) を算出した。

(3) オゾン濃度低減による健康リスク低減効果

疫学統計モデル BenMAP (健康影響関数) :

推定には米国環境保護庁の疫学統計モデル BenMAP を用いた。BenMAP は、文献に基づき作成された米国各郡のオゾン濃度 (日最大値、日平均値、8 時間移動平均値、日最大 8 時間移動平均値) の経年変化に対する、年齢層別人口・健康被害件数の経年変化の関係式 (健康影響関数) で構成される。この健康影響関数は、オゾン濃度変動に起因する 5 種類の健康被害 (急性呼吸器疾患、呼吸器疾患による救急外来受診及び入院、登校不可、死亡) の発生件数を推定する。米国の各郡それぞれの健康影響関数が BenMAP には搭載されているが、それらの中から、本研究では首都圏での経年のオゾン濃度変化に合致する郡を複数選定し、それらリファレンス郡の健康影響関数を、既往文献⁵⁾に従い首都圏の人口規模に基づく調整を施したうえで用いた。なお、BenMAP の健康影響関数は日本のオゾン健康被害の実データに基づいていないため、本研究の推定は「米国と日本でオゾン汚染の健康影響は同等」という前提に立った場合のものであることに留意されたい。

モデル入力データ :

健康影響関数の入力値として、上記(1)で得られた各 1 km²セルの樹木のオゾン濃度低減量、ならびに首都圏市街地に含まれる区市町村別の年齢層別人口データ・年齢層別余命データ (2020 年国勢調査結果より作成) を用いた。首都圏都市部の各 1 km²セルに各区市町村の人口を割り振って年齢層別人口・年齢層別余命データを作成した。その際、人口は各区市町村内の森林・農地以外の地域で一様に分布していると仮定した (図 1、c)。

これらを入力値とする BenMAP 計算を各セルで行い、樹木によるオゾン除去で低減する健康被害を推定した。

【結果の概要】

i-Tree Eco により、首都圏市街地の緑化樹木がオゾンを除去する速度（乾性沈着速度）、オゾン除去量（乾性沈着速度×オゾン大気濃度）、およびオゾン濃度低減量を推定した。まず乾性沈着速度は、日中の平均でおよそ 0.007 m s^{-1} であった（図 2、b）。これは、文献²⁾からの実測・推定値（ $0.003\text{--}0.011 \text{ m s}^{-1}$ ）と比較しても妥当である。次にオゾン除去量は、首都圏で合計すると年間 6,992 トンであり、その分布は図 2(a)となった。そしてオゾン濃度低減量は、通年で図 2(c)の日内変動を示した。加えて、濃度低減による大気濃度の改善率（%）は、通年で図 2(d)の日内変動を示した。図 2 の結果の妥当性は、濃度低減効果の実データが存在しないために比較検証はできないものの、将来的にはオゾン濃度を緑地の内外で実測し比較するといった検証を積み重ねていくことで、結果の妥当性に対する知見が得られるものと考えられる。

BenMAP により、オゾン濃度低減によって回避される健康被害を試算した。その結果、年間で回避される健康被害は、首都圏全体で急性呼吸器疾患 99,939 件、救急外来受診 12 件、入院 162 件、登校不可 47,616 件、死亡 31 件であった。ただしこの試算結果の妥当性は、比較検証できるオゾン汚染の健康被害の実データが国内に存在しないことから、慎重に判断すべきである。BenMAP は米国での適用を想定したモデルのため、今後、BenMAP に国内のオゾン健康被害実績を考慮するなど、推定手法のさらなる改善により結果の妥当性を高めていくことが課題である。

本研究では大気汚染物質の一つとしてオゾンに着目し、濃度や健康リスクの低減効果を推定したが、i-Tree Eco と BenMAP はさらに PM_{2.5}、NO₂、SO₂ の影響を算出するモデルも保持している。今後、それら他の大気汚染物質に対する同様の解析結果を加味することで、都市樹木の大气質への影響がより詳細に把握できるようになる。また都市樹木の機能は、今回推定した大気浄化による健康リスク低減に加えて、暑熱の緩和、景観向上、レクリエーション、生物多様性保全など多岐にわたるが、その一方で、維持管理や倒木事故、害虫等の発生、BVOC 放出によるオゾン生成といったマイナスの側面も指摘されている。都市樹木の価値最大化を検討するには、これらを総合的に定量評価していく必要がある。

【引用文献】

- 1) Hirabayashi S., Kroll C., Nowak D., Endreny T. (2022): i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions. https://www.itreetools.org/documents/60/i-Tree_Eco_Dry_Deposition_Model_Descriptions_V1.5.pdf (2024 年 8 月 23 日アクセス)
- 2) 國分優孝, 高橋和清 (2021): 首都圏市街地における植生葉面積分布データの作成: 東京都環境科学研究所年報 2021, 36-37.
- 3) 国立環境研究所: 環境数値データベース, <https://www.nies.go.jp/igreen/index.html> (2020 年 3 月 10 日アクセス).
- 4) i-Tree Eco and UFORE Resources: Single imputation method of missing air quality data for i-Tree Eco analyses in the conterminous United States. https://www.itreetools.org/documents/51/Single_imputation_method_of_missing_air_quality_data_for_i-Tree_Eco_analyses_in_the_conterminous_United_States.pdf (2024 年 8 月 23 日アクセス).
- 5) 平林 聡, 徳江義宏, 伊藤 綾, Ellis A., Hoehn R., 今村史子, 森岡千恵 (2016): 川崎市川崎区を事例とした i-Tree Eco による街路樹の生態系サービスおよびその貨幣価値の推定, 日緑工誌, 42(1), 44-49.

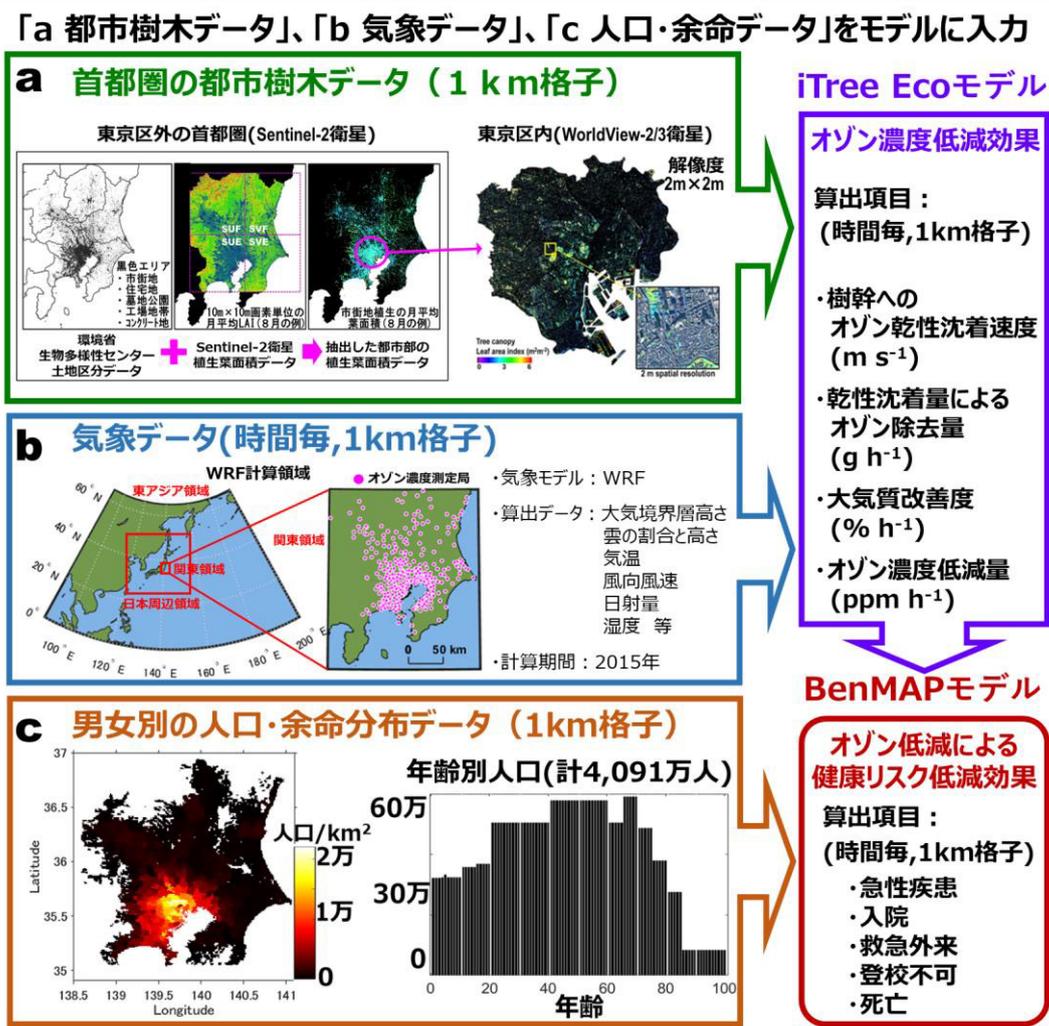


図1. 全体の解析の流れ

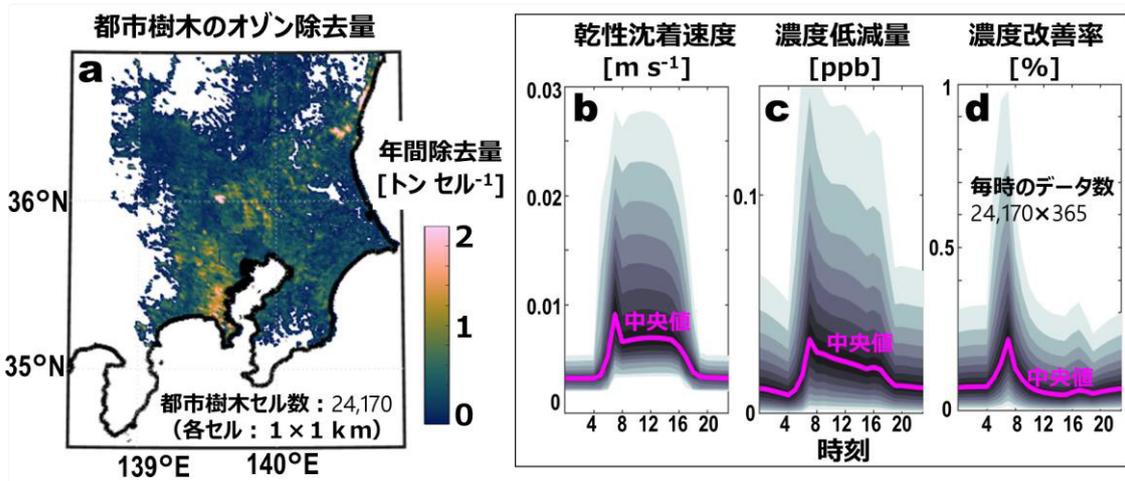


図2. 都市樹木の (a) 年間オゾン除去量の分布、通年の (b) オゾン乾性沈着速度、(c) オゾン濃度低減量、(d) オゾン濃度改善率の日内時間変化。(b-d) ピンク色プロットは中央値を、中央値の上下ハッチ部分は各時刻のデータ (各時刻: セル数 24,170 x 日数 365 = 8,822,050 データ) の 80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%が含まれる範囲を黒から薄灰色まで段階的に表す。