

## 2 植物起源 VOC (BVOC) インベントリ作成に関する研究

### はじめに

シミュレーションモデルを用いた光化学オキシダントの発生源寄与割合では、自動車、VOC 発生施設等の人為起源の発生源のほかに、自然起源の寄与割合が確認された。光化学オキシダント生成に係る自然起源として、植物起源 VOC (BVOC) が挙げられる。BVOC のインベントリは、排出量推計の不確実性が大きく、森林や大規模緑地が少ない市街地では樹木からの BVOC 放出量が正確に捉えきれていないという課題がある。

東京都環境科学研究所では、BVOC の光化学オキシダント生成への影響について把握するため、BVOC に関する調査研究を実施している。本章では、東京都環境科学研究所における BVOC の研究状況について取りまとめた。

### 2.1 背景と目的

東京都は光化学オキシダントの低減のため、その生成原因物質である揮発性有機化合物 (VOC) の削減対策に取り組んできた。削減のためには VOC の様々な発生源からの排出量の目録 (インベントリ) の整備が必要であり、東京都でも産業、自動車、家庭等の人為的に排出されている VOC のインベントリ作成に取り組んできた。

光化学オキシダント生成には人為的に排出される VOC だけでなく、自然起源の VOC も大きく寄与すると考えられている。自然起源 VOC の代表的な排出源である植物から排出される VOC についても、これまでに多くの研究者が全国的なインベントリの整備を行ってきた。しかし、これまでに整備されてきた全国的なインベントリは、森林簿や環境省の植生図を基に植物起源 VOC (BVOC) の放出量推計が行われており、森林や大規模緑地が少ない都市域では樹木からの BVOC 放出量は正確に捉えきれていないという問題がある (図 2-1)。また、BVOC は反応性が高く、NO<sub>x</sub> が高い都市域では放出されてから速やかに反応し、都市の高濃度オキシダント生成に関与していることが予想される。そのため、東京都の光化学オキシダント対策を進める上では、都内市街地での放出実態を把握する必要がある。現状の推計では捉えられていない都内 23 区の街路樹等から放出される BVOC を別途推計していく必要がある。

本研究では、都内 23 区の BVOC 放出量を推計し、その結果を基に都内の街路樹等を含めた緑地から放出される BVOC が光化学オキシダント生成にどれほど寄与しているかを評価することを目的に研究を進めてきた。

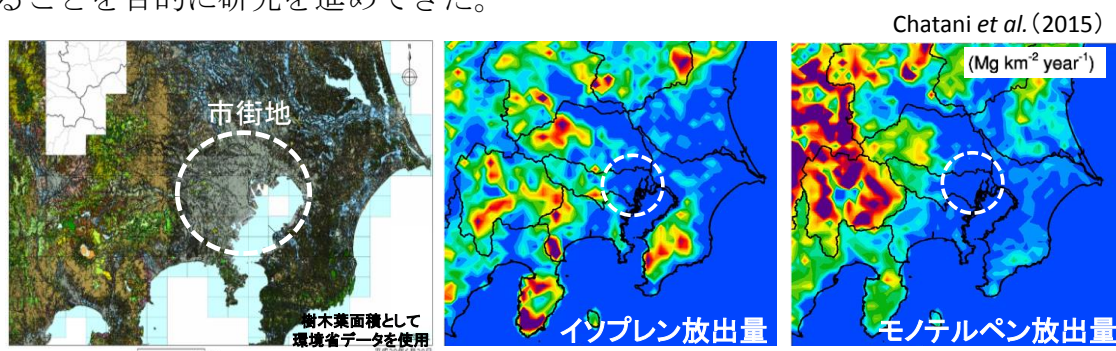


図 2-1 既存モデルによる BVOC 放出量分布の推移例<sup>13</sup>

<sup>13</sup> S. Chatani, S. Matsunaga, S. Nakastuka: Estimate of biogenic VOC emissions in Japan and their effects on photochemical formation of ambient ozone and secondary organic aerosol, Atmos. Environ., 120, 38-50 (2015)

## 2.2 方法

都内緑地からの BVOC 放出量を推計するには、①「樹木の単位葉面積当たりの BVOC 放出量」、②「都内 23 区の樹木の総葉面積」の 2 つを把握する必要がある。都内 23 区からの BVOC 総放出量は①×②で表される。下記に各々の把握のための調査手法を示す。

### 2.2.1 樹木の単位葉面積当たりの BVOC 放出量の測定方法

まず、都内 23 区の街路樹本数ランキングの上位 20 位（東京都建設局調べ）までの樹種の BVOC 放出の有無を調査した。その結果、9 樹種から BVOC の放出が確認された。この 9 樹種について詳細な BVOC 放出特性を測定した。

単位葉面積当たりの BVOC 放出量測定は、リーフキュベット法（図 2-2）と枝チャンバー法（図 2-3）を併用して行った。



図 2-2 リーフキュベット法による BVOC 放出量測定

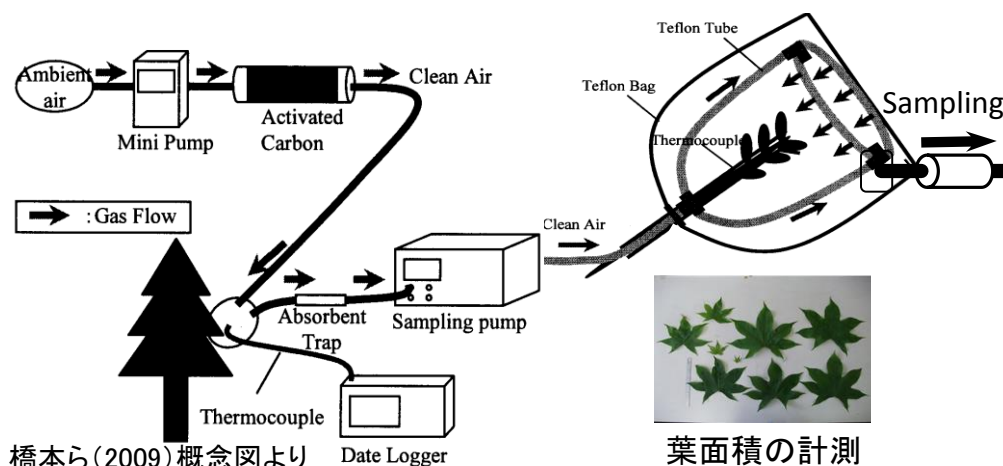


図 2-3 枝チャンバー法による BVOC 放出量測定<sup>14</sup>

リーフキュベット法では、対象樹木の葉の一定面積を専用の機器に挟み込む形でセットし、温度、光量を一定に制御しながら葉が放出する BVOC を採取した。採取には Tenax TA と Carbotrap を充填した吸着管を用い、採取後は加熱脱着-GC/MS 法で定量した。

<sup>14</sup> 橋本翔, 加賀昭和, 近藤明, 井上義雄: 枝チャンバー法による樹木からの BVOC の測定, 空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集 A-19, (2009)

枝チャンバー法では、測定対象樹種の枝の一部をテフロン製バックで覆い、精製空気を流しながらバック内空気の一定量を、Tenax TA と Carbotrap を充填した吸着管に採取し、採取後は加熱脱着-GC/MS 法で定量した。採取する時には光量（光合成有効光量子束密度：PPFD、単位： $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）と葉温（ $^{\circ}\text{C}$ ）を測定し、様々な温度、光量の条件下での BVOC 放出量データを得た。

本研究における BVOC 放出量の測定では、リーフキュベット法と枝チャンバー法を併用している。リーフキュベット法は、高精度な測定ができるが、装置が高価で複雑な構造のため使用頻度が制限される。一方、枝チャンバー法は、測定精度ではリーフキュベット法に劣るが、より簡便な構造のため装置を比較的容易に製作でき、複数台準備することで多数の個体を網羅的に測定できる。そこで、1 台のリーフキュベット法の装置で高精度な BVOC 放出量データを得るとともに、4 台の枝チャンバー法の装置で多数の樹木個体から網羅的にデータを収集した。

### 2.2.2 都内 23 区の樹木の総葉面積の推計方法

葉面積の推計にはディジタルグローブ社の商業地球観測衛星である World View 2 の画像データを用いた。この画像は可視・近赤外多波長帯（8 波長）観測で得られた地上解像度 2 m の高解像度画像であり、この画像の測定波長の解析から正規化植生指数（NDVI）を算出した。緑葉期と落葉期の 2 種の画像を用いることにより、常緑樹と落葉樹に分けて NDVI を求めた。

次に、衛星画像から得られた NDVI を用いて単位地表面積あたりの樹木葉面積（LAI）の推定方法を検討した。検討は魚眼レンズを用いた現地観測（図 2-4）を行い、観測から得られた LAI と当該地域の衛星画像から得られる NDVI を比較し、LAI-NDVI 関係式を導出した。緑葉期・落葉期ともに導出した LAI-NDVI 関係式を用いて、都内 23 区全域での LAI を緑葉期・落葉期別に算出した。

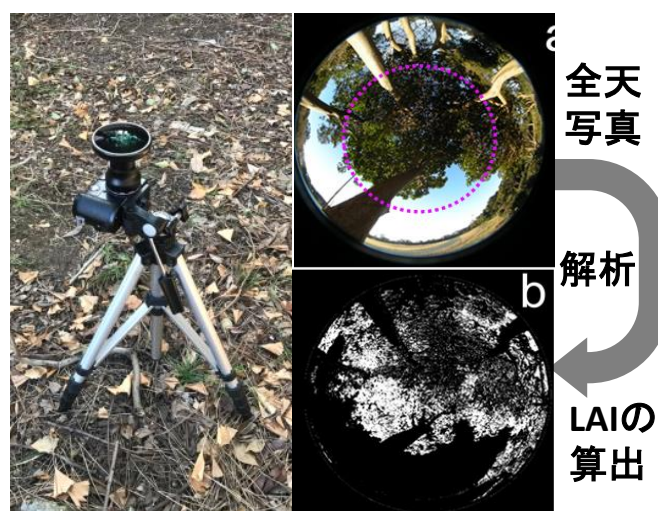


図 2-4 LAI の現地観測状況

また、衛星画像の解析によって得られた樹木の分布推定精度の検証のため、一部地域で航空写真による目視確認や樹木分布の現地調査による確認を行った。



## 2.3 結果及び考察

### 2.3.1 樹木の単位葉面積当たりの BVOC 放出量

リーフキュベット法による精密観測結果より、都内に植樹された樹木の BVOC 放出量が、温度及び光量に明瞭に依存することを確認した (図 2-5)。ここでは、例として BVOC 放出量が特に多かった 4 樹種について示す。図から、BVOC 放出量が温度・光量の変化に対して同様の応答を示すことが認められる。

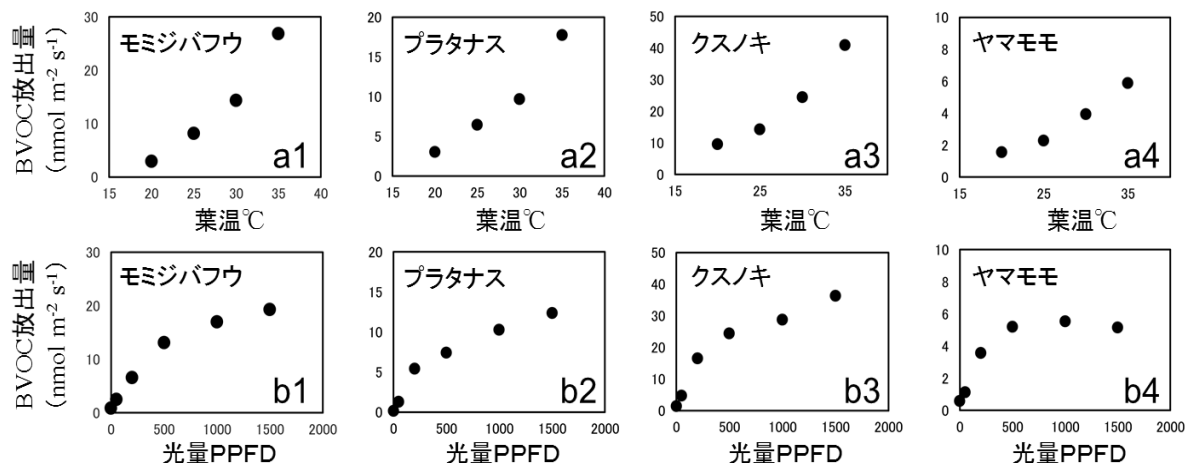


図 2-5 BVOC 放出量の葉温・光量依存性の確認 (BVOC 多量放出 4 樹種の例)

※ 光量 1000 PPFD 一定での葉温と放出量の関係 (a1-a4)、

※ 葉温 30°C 一定での光量と放出量の関係 (b1-b4)

そこで、各々の樹種の BVOC 放出量の予測に G93 モデルと呼ばれる既存の温度・光量依存型 BVOC 放出量予測モデルが適用可能か検討した。結果を図 2-6 に示す。ここでは、BVOC の放出が確認された 9 樹種について、各樹種 1 個体ずつの結果を示す。

G93 モデルは

$$\text{BVOC 放出量} = \text{基礎放出量} \times f(\text{温度, 光量})$$

で表される。ここで  $f$  は温度、光量で決定される値であり 0~2 の間の値をとる。例えば温度 30°C、光量 1000 PPFD (PPFD: 光合成光量子束密度) では  $f=1$  となり、基礎放出量は  $f=1$  のときの放出量でありモデルの傾きに相当する。図 2-6 に示されたように実測値はモデルの推定線上にプロットされ、実測値より求められるモデル式によって任意の温度・光量での BVOC 放出量が推定可能となった。

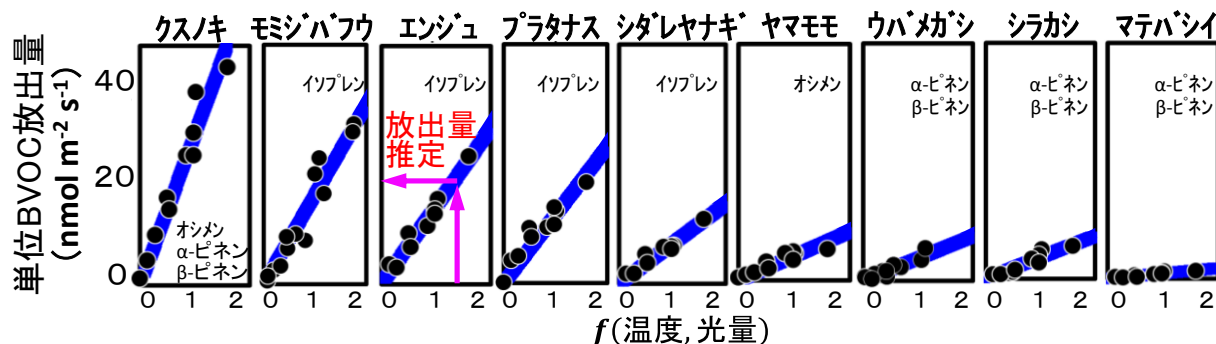


図 2-6 BVOC 実測値と G93 モデルの関係 (BVOC 放出樹種、1 個体ずつの例)

そこで、BVOC 放出樹種（9 樹種）の観測個体数を増やし、それらの観測を季節ごとに実施した。結果を図 2-7 に示す。BVOC 放出量は同じ温度・光量でも季節ごとに異なることが分かった。そのため、都内の BVOC 放出量推計には季節別のモデル式を算出して用いることとした。

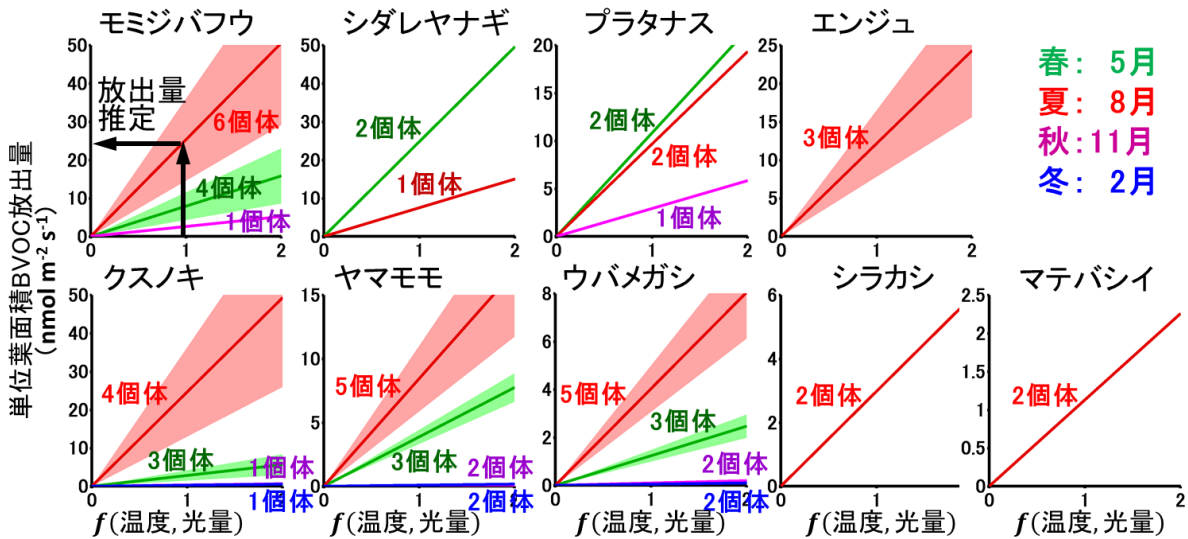


図 2-7 季節別の BVOC 放出量予測モデル (G93 モデル)

### 2.3.2 都内 23 区の樹木の総葉面積

図 2-8 に現地観測 LAI と衛星データ NDVI の関係（落葉期の例）を示した。両者の関係の検討では衛星画像の位置誤差等の影響を考慮して、得られていた衛星画像データの現地 LAI 観測地点最近傍画素の周辺 3×3 画素にある NDVI 値を用いた。日陰の影響を回避するために、検討に用いた 9 画素のうち、最大の NDVI を用いることで LAI と良好な関係式が導き出せることが分かった。これにより、衛星画像から LAI を直接推定することが可能となった。図 2-9 に、例として都立木場公園を対象に行った LAI 推定の結果を示す。同様の調査を緑葉期にも実施し、緑葉期、落葉期各々の LAI-NDVI 関係式を用いて年間の都内 23 区全域の LAI を算出した。

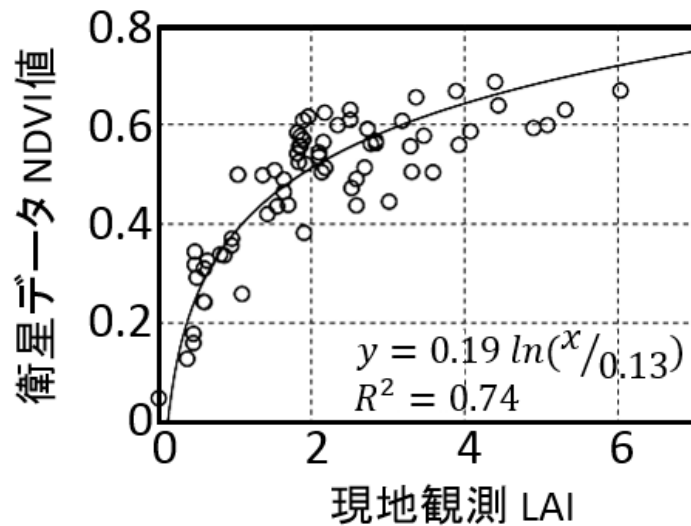


図 2-8 現地観測 LAI と衛星データ NDVI の関係、及び NDVI-LAI 関係式(落葉期の例)

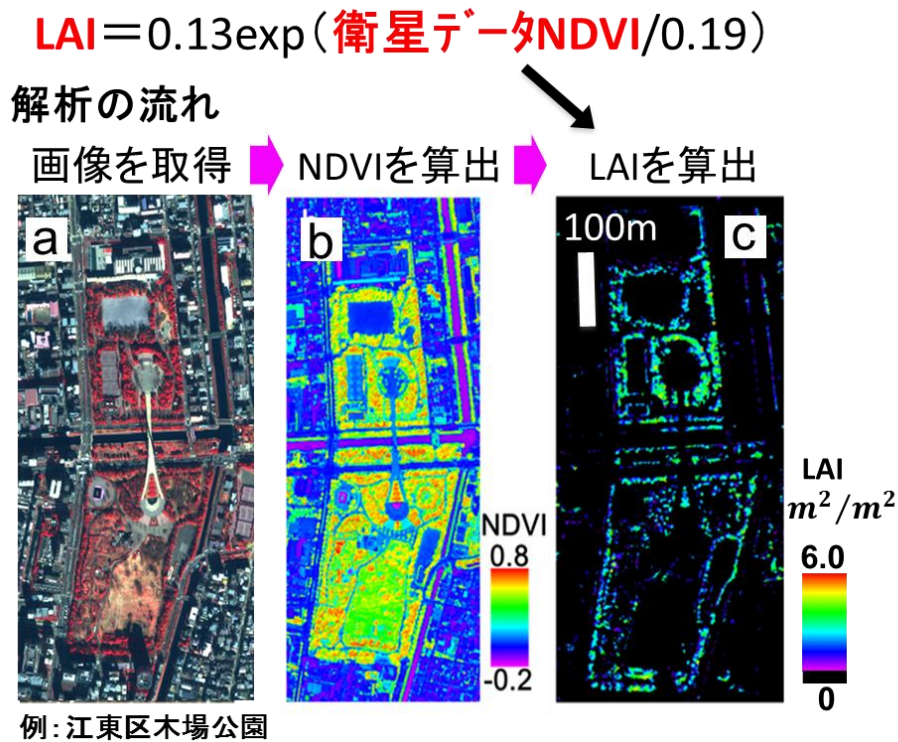


図 2-9 衛星画像 (a) のデータから算出した NDVI (b) に対して、NDVI-LAI 関係式の計算を行うことで、LAI が得られた (落葉期、木場公園の例)

算出された LAI を用いて都内 23 区における総葉面積を推計すると、緑葉期は 217 km<sup>2</sup>、落葉期は 93 km<sup>2</sup> となった。

### 2.3.3 都内 23 区の植物起源 VOC 放出量の推計

2.3.1 及び 2.3.2 で得られた結果から都内 23 区の BVOC 総放出量を 2016–2018 年の 3 年間推計した。まず、2.3.2 で得られた総葉面積に都内街路樹の樹種別本数割合（東京道路の緑 2017）<sup>15</sup>を乗じて緑葉期、落葉期ともに総葉面積を樹種別に算出した。さらに各々の樹種ごとに 2.3.1 で得られた四季別、放出物質別の単位葉面積 BVOC 放出量 ( $\text{nmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) を、気象条件（気温、日射量）による補正を行って算出し、それに樹種別の総葉面積に乗じて合計することで都内 23 区の総 BVOC 放出量を推計した。なお、気温と日射量には気象庁気象官署東京局で観測された時間別データを用いた。

その結果、23 区内からの BVOC 放出量は、2016–2018 年の 3 年間で平均すると、春季（緑葉期）360 t（標準偏差  $\pm 36$  t）、夏季（緑葉期）1,554 t（ $\pm 283$  t）、秋季（落葉期）17 t（ $\pm 3$  t）、冬季（落葉期）0.3 t（ $\pm 0.03$  t）で合計 1.9 千 t（ $\pm 321$  t）となり、2015 年度の都内 VOC 総排出量（60.4 千 t）に対して約 3%の量に相当すると推計された。なお、この推計結果は、現在得られつつある最新の研究成果を合わせて更新中であり、今後さらに精緻化することが可能と考えている。

## 2.4 今後の課題

これまで、実態が把握できていなかった都内市街地における BVOC の放出実態を成分別に推計し、人為起源 VOC に対する BVOC の放出割合も明らかになってきた。しかし、BVOC は大気中での反応性が高く、放出された近傍での  $\text{NO}_x$  濃度や気象条件等によって都内での高濃度オキシダント生成への寄与割合が異なってくるのが予想される。本研究で把握された BVOC がどのように影響していくかを評価するためには、都内全域の総量ではなく、一定面積のグリットごとの物質別放出量に割り振る手法を検討し、そのインベントリデータを用いたシミュレーション解析が必要と思われる。今後は、正確な BVOC の影響が見積もられた中でシミュレーションを実施し、人為起源 VOC の排出削減効果とその可能性を評価し、効果的な対策を立案していく必要がある。

---

<sup>15</sup> 東京都建設局：街路樹マップ TOKYO 道路の緑 2016, (2017)