東京都心で排出される植物由来VOCの実態把握
－樹木のテルペン類放出に着目して－

（公財）東京都環境公社　東京都環境科学研究所
環境資源研究科　　國分優孝

発表の全体構成

研究の背景 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ スライド３～６

研究の目的 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ スライド７

研究の内容

①都内23区の優占街路樹20種のBVOC放出量の把握
・・・・・・・・・・ スライド８～１４

②都内23区全域に現存する樹木の葉面積の推定
・・・・・・・・ スライド１５～１８

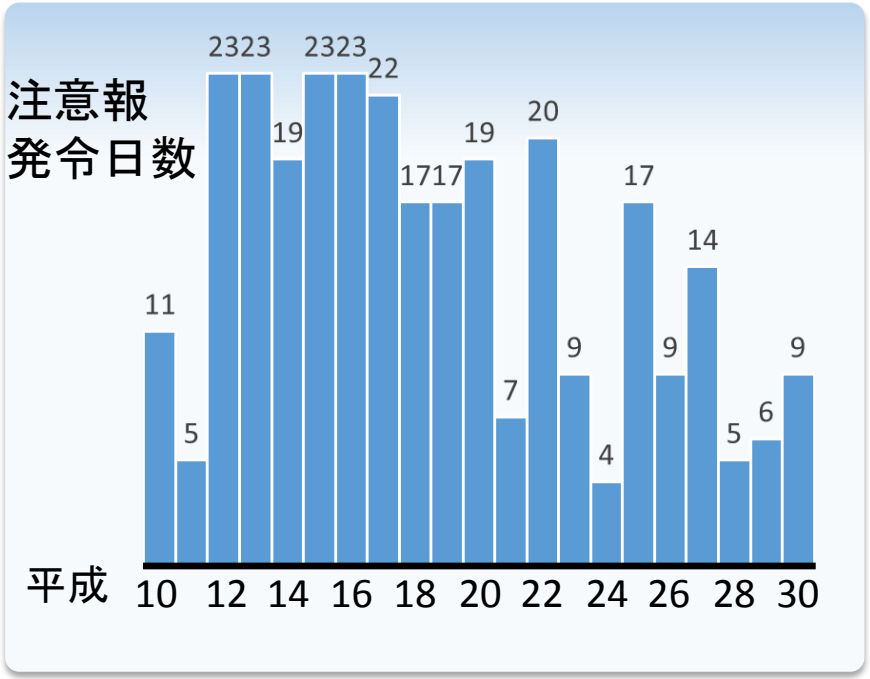
③都内23区の年間BVOC総放出量の推計
・・・・・・・・ スライド１９～２０

研究のまとめと課題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ スライド２１

今後の展開 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ スライド２２

光化学オキシダントの生成要因

都内の光化学スモッグ注意報発令数



人為由来VOC・NOxの削減は進んだが
発令日数は依然多い（特に夏季）

植物由来VOC（BVOC）の都内放出量の実態把握が急務

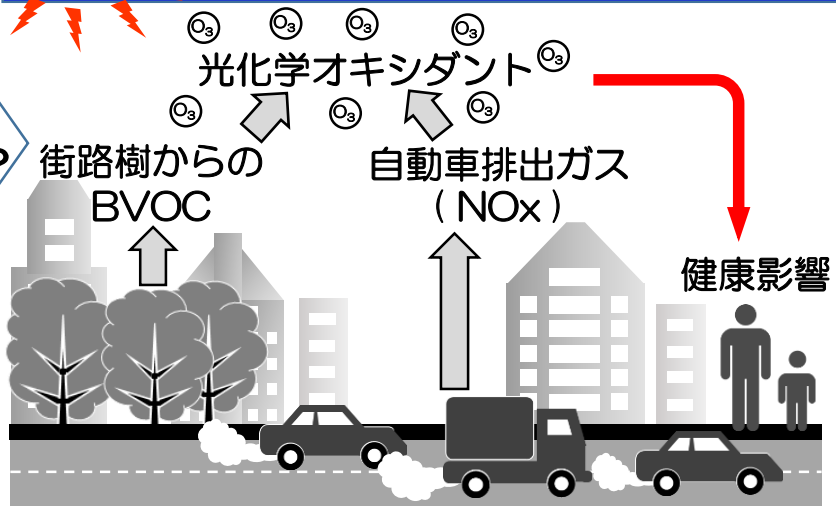
研究の背景

都会の街路樹は、
「オアシス」的存在

一方で
実態は？

太陽

沿道でBVOCとNOxが反応し
局所的にオキシダントが生成？



・街路樹は、都市部の主要なBVOC発生源と指摘されている

・NOxが存在する都市大気では、BVOCからのオキシダント生成が疑われる

都市大気中に放出されるBVOCの実態把握が必要

東京都心の大気中BVOC濃度は？

観測地点（●）

一般環境測定局

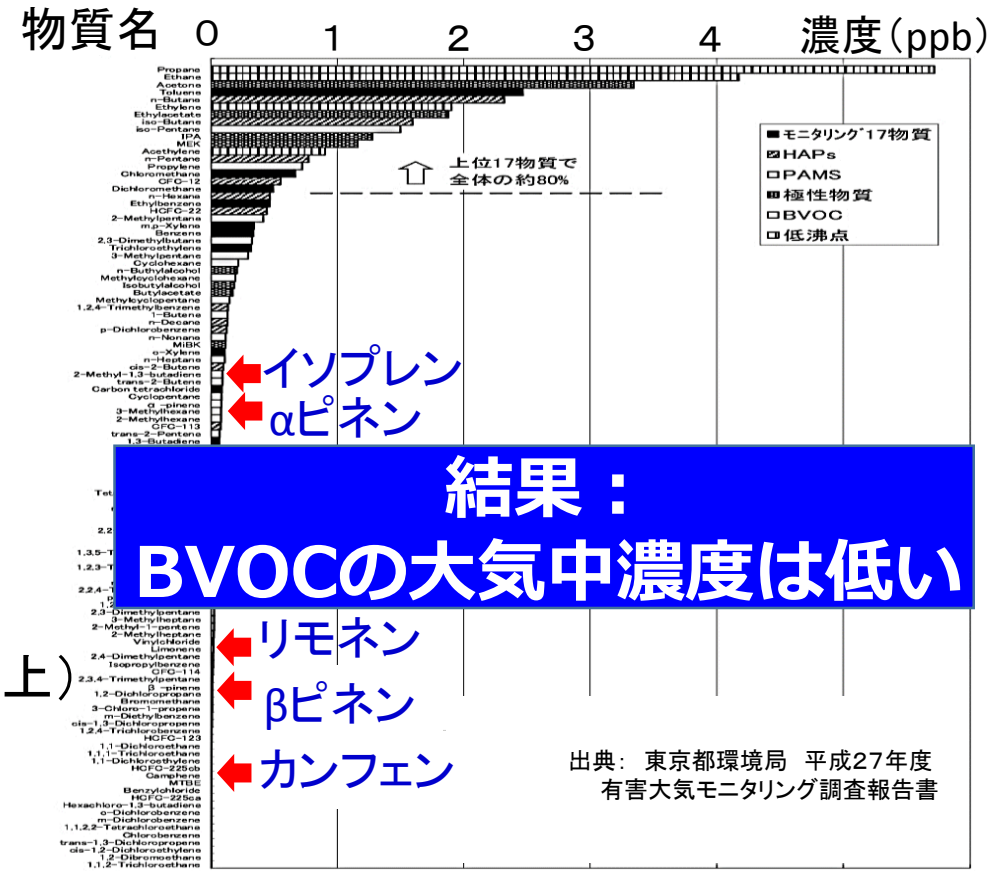
出典：フリー素材のDigipot

測定期間： 毎月

測定物質：・人為由来VOC（100物質以上）

・BVOC（5物質）

VOC各物質の年平均濃度 (2017年度)



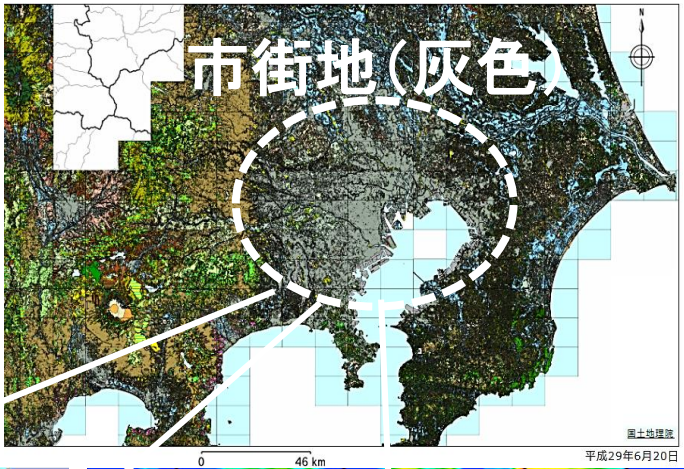
結果：
BVOCの大気中濃度は低い

しかし、**BVOCは反応性が高く**、すでに消失し、検出されていない可能性がある

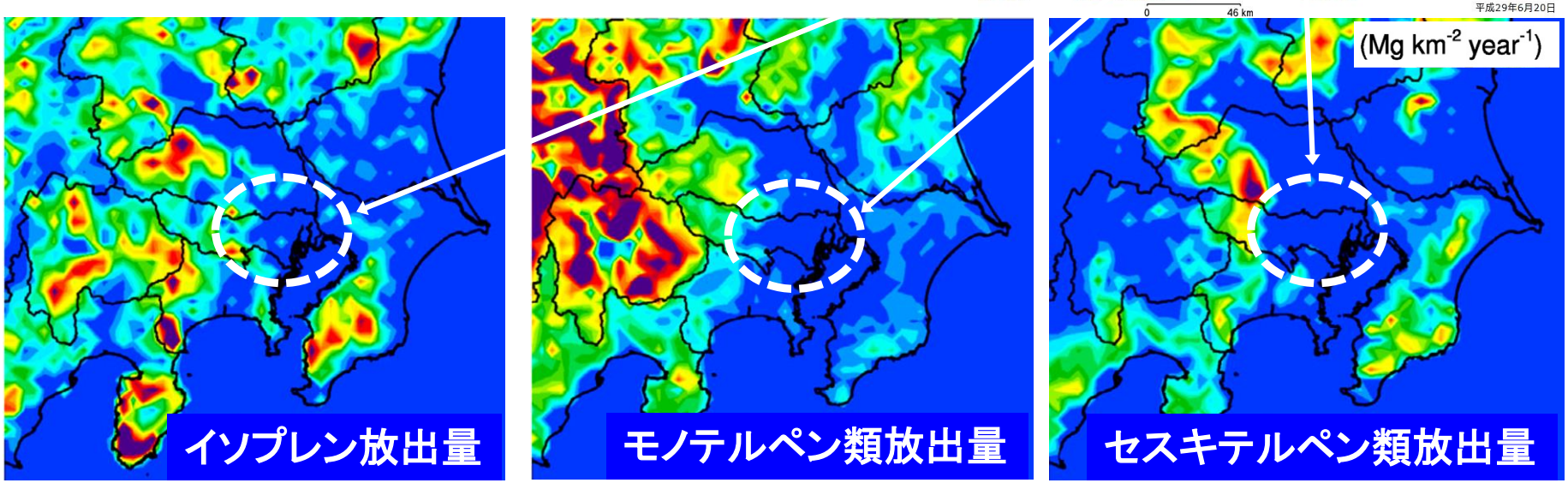
BVOCの影響把握には，大気中濃度ではなく，放出量の把握が必要

東京都心からのBVOC放出量は？

Chatani *et al.*（2015）



最新の推定でも、東京都心部のＢＶＯＣ放出は
正確に捉えられていない



出典：Chatani S., Matsunaga S. and Nakatsuka S.（2015）Estimate of biogenic VOC emission in Japan and their effect on photochemical formation of ambient ozone and secondary organic aerosol. Atmospheric Environment, 120, 38-50.

原因は、東京都心部の土地被覆カテゴリーが、「市街地」とみなされていたため

東京都心部に現存する樹木からのBVOC放出量の把握が必要

「東京都心部からのBVOC放出実態」を解明する

① 23区優占街路樹20種の「BVOC放出量」の把握･･･スライド　8～14

単位葉面積･単位時間あたりのBVOC放出量（樹種別・季節別）

② 23区全域に現存する「樹木の葉面積」の推定･････スライド 15～18

衛星リモートセンシングにより2m地上解像で算出 （季節別）

③ 都内23区の「年間BVOC総放出量」の推計･･･････スライド 19～20

①×②から、２３区からの年間のBVOC総放出量を推計

最終的には、東京全域のＶＯＣ総排出量の把握に貢献し、

「人為由来VOCの削減目標」の明確化につなげる

内容① ２３区の優占街路樹２０種のBVOC放出量の把握

観測対象

23区の街路樹本数上位20種のうち、

予備調査でBVOC放出が見込まれた樹種（➡）

- **生育場所**
  - ・研究所の敷地内
  - ・下水道局の敷地内
- **調査時期**
  - 2017年、2018年
  - ・春 5月　・秋11月
  - ・夏 8月　・冬 2月

２３区本数ランキング

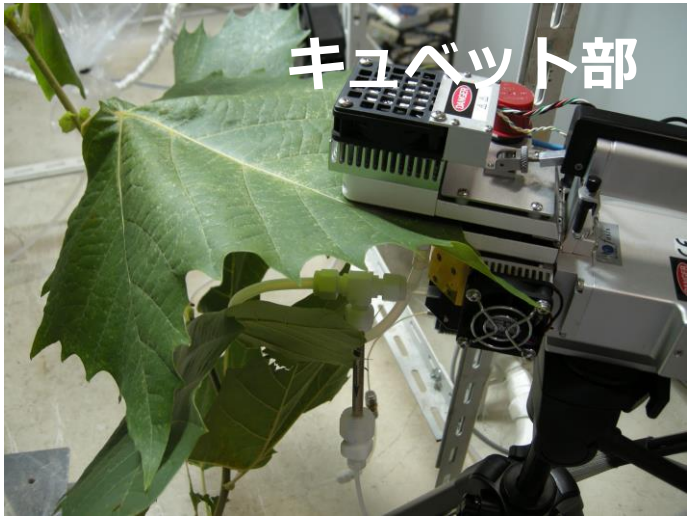
順位	樹種名
1	ｲﾁｮｳ
2	ﾌﾟﾗﾀﾅｽ類
3	ﾊﾅﾐｽﾞｷ
4	ｻｸﾗ類
5	ﾄｳｶｴﾃﾞ
6	ｸｽﾉｷ
7	ｹﾔｷ
8	ﾏﾃﾊﾞｼｲ
9	ﾔﾏﾓﾓ
10	ｴﾝｼﾞｭ類
11	ﾓﾐｼﾞﾊﾞﾌｳ
12	ｺﾌﾞｼ
13	ﾕﾘﾉｷ
14	ｻﾙｽﾍﾞﾘ類
15	ｱｵｷﾞﾘ
16	ﾂﾊﾞｷ類
17	ｱｷﾆﾚ
18	ｼﾗｶｼ
19	ｳﾊﾞﾒｶﾞｼ
20	ｼﾀﾞﾚﾔﾅｷﾞ

出典：東京都建設局TOKYO道路のみどり

特に多くのＢＶＯＣ放出が見込まれた樹種

内容① ２３区の優占街路樹２０種のBVOC放出量の把握

・観測方法１.「リーフキュベット法」

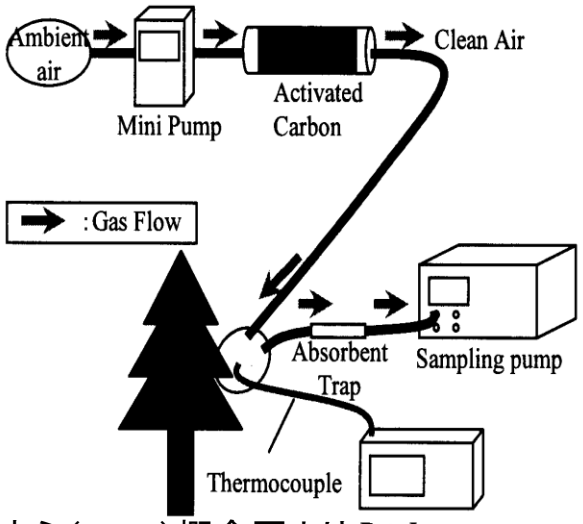


開閉式キュベット（容器）内の葉から放出されたBVOCを採取

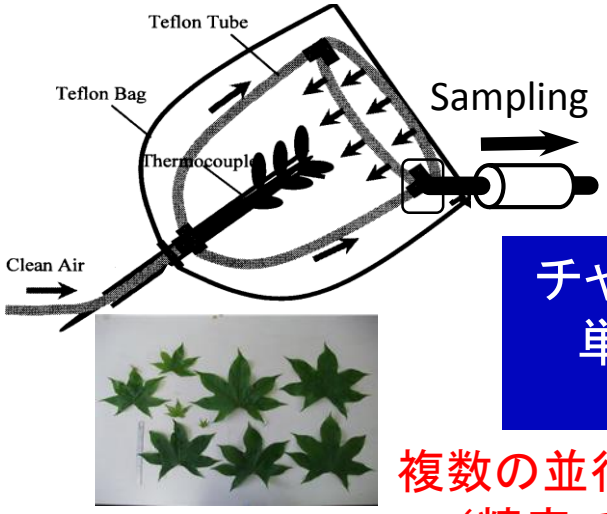
キュベット内部の葉面積（6cm^2）から
単位葉面積BVOC放出量が求まる（nmol m^{-2} s^{-1}）

キュベット内部の温度・光量を精密制御できるため、
任意の温度・光量での放出量が高精度で求まる

・観測方法２.　「枝チャンバー法」



橋本ら（2009）概念図より



葉面積の計測

チャンバー内部の葉から
放出されたBVOCを採取

チャンバー内の枝の葉面積から
単位葉面積放出量が求まる
（nmol m^{-2} s^{-1}）

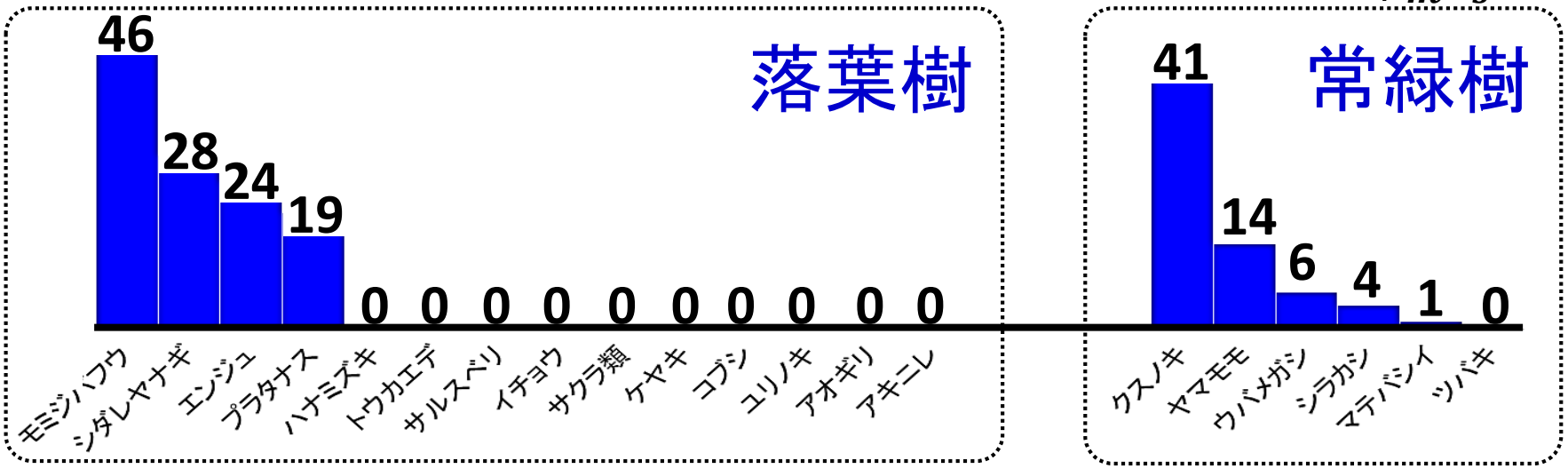
複数の並行観測ができ、網羅的観測に適す
（精度では、リーフキュベット法が優る）

「枝チャンバー法」によるＢＶＯＣ採取

内容① ２３区の優占街路樹２０種のBVOC放出量の把握

結果：都内23区の優占２０樹種のうち、９樹種からのBVOC放出を確認

各樹種で観測された最大の単位葉面積BVOC放出量 ($nmol/m^2 \cdot s$)



しかし、環境(温度・光量)の変化に応じ、BVOC放出量も変化していた

そこで、既存の温度・光量依存型のBVOC放出量推定モデル（G93モデル）で上記9樹種のBVOC放出量がモデル化できるのか、検証することにした

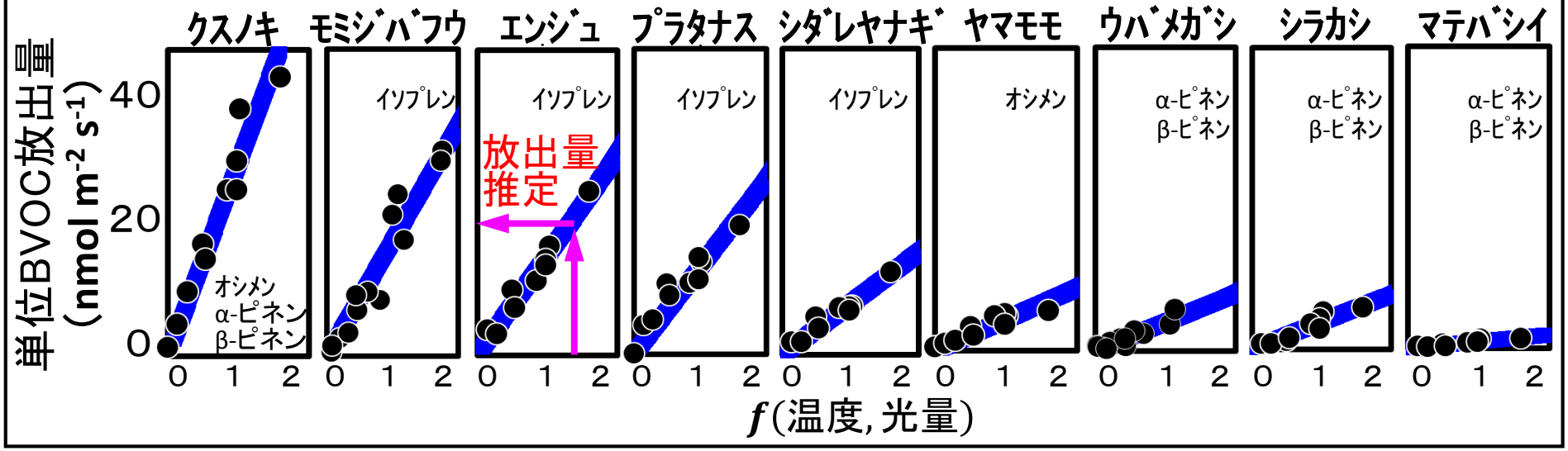
BVOC放出量 ＝ 基礎放出量 × f(温度, 光量)

f(温度, 光量)：0～2の間で定まる値　　**基礎放出量**：$f(30℃, 1000PPFD)$＝1での放出量

内容① ２３区の優占街路樹２０種のBVOC放出量の把握

放出量の実測値をモデルにあてはめた（各樹種１個体ずつ, 夏データの例）

モデル推定値（ 青線 ）と 実測値（ ● ）を比較し、モデルの妥当性を検証



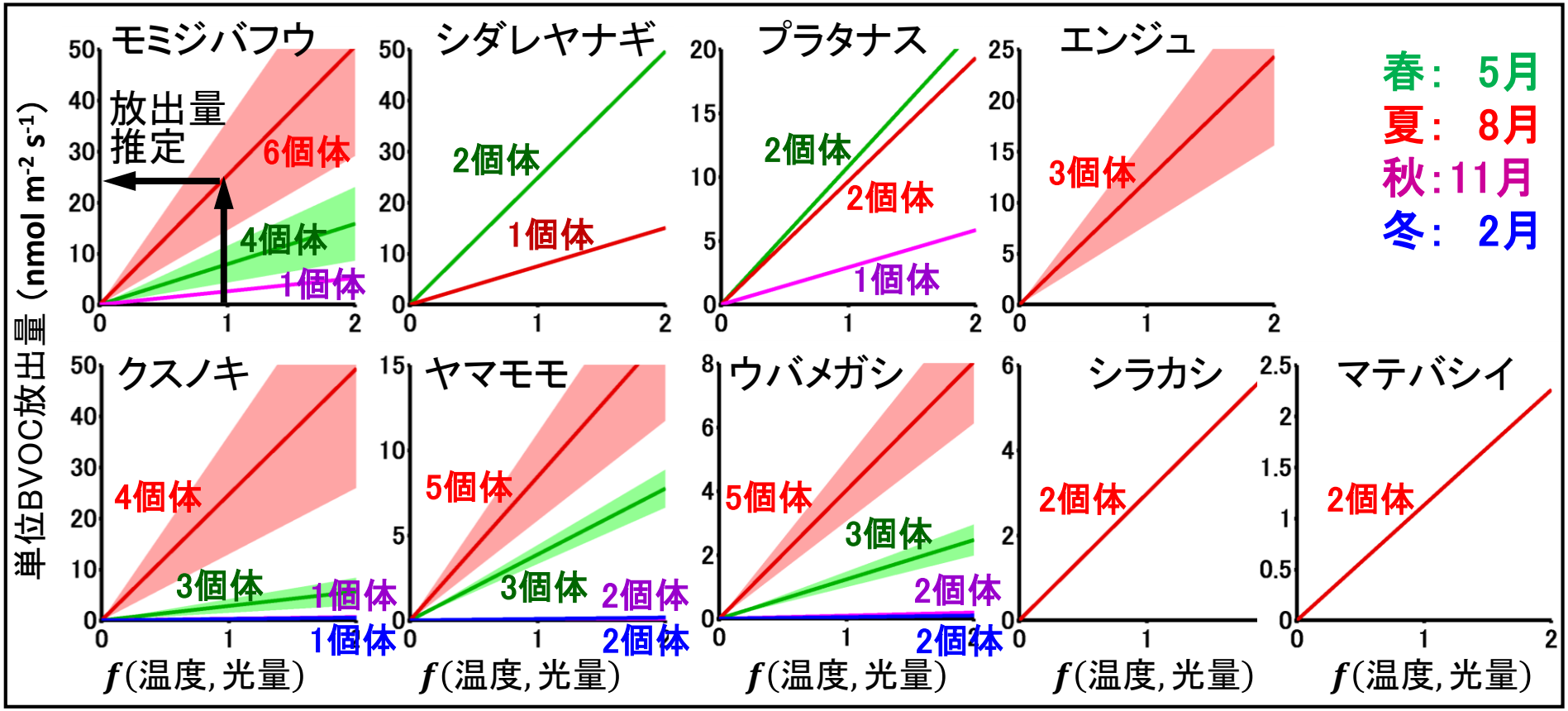
結果

- G93モデルによる推定値（青線）上に、実測値のプロット（●）がほぼ乗った
- G93モデルの推定値（BVOC放出量）は、十分な精度で実測を再現していた

９樹種のBVOC放出量が、任意の温度・光量で推定可能だと確認できた

内容① ２３区の優占街路樹２０種のBVOC放出量の把握

９樹種の観測個体数を増やし、季節別のBVOC放出量推定モデルを導出



結果 ・BVOC放出量の推定値は、同じ温度・光量条件でも、季節で異なる

・通年の放出量を算出するには、季節別のモデルを用いることが重要

９樹種のBVOC放出量が、通年で推定可能になった

内容① ２３区の優占街路樹２０種のBVOC放出量の把握

まとめ：

- ２０樹種の内、**９樹種からのBVOC放出**を確認
- ９樹種のBVOC放出量が、既存の**G93モデルで推定可能だ**と確認
- BVOC放出量は、同じ温度・光量でも**季節で異なる**と確認（夏が最大）
- 季節別に実測データを収集し、放出量推定モデルを**季節別に導出**

通年での単位葉面積BVOC放出量が算出可能となった

さらに、23区の樹木の総葉面積がわかれば、

単位放出量との積算から、総BVOC放出量が推計できる

内容② ２３区全域に現存する樹木の葉面積の推定

最新の衛星画像データを活用する

使用衛星と画像データ

・衛星：World View 2

・特徴：**可視・近赤外多波長帯（8波長）観測**

（多様な地表面を判別し、解析に有効）

2m地上解像度（単木が認識可能なレベル）

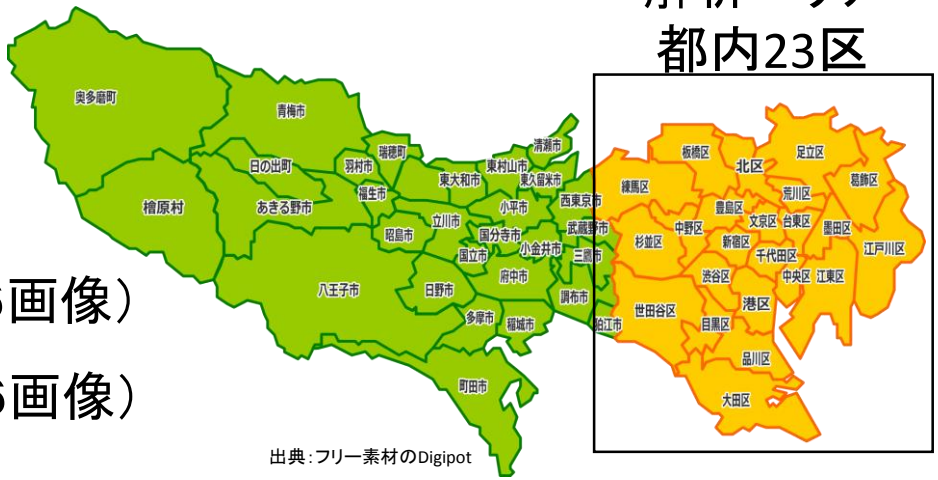
同一地点多頻度撮影（数日に1度）

・画像データ：

・春・夏：2013～2015年、9～11月（6画像）

・秋・冬：2013～2015年、1～ 2月（6画像）

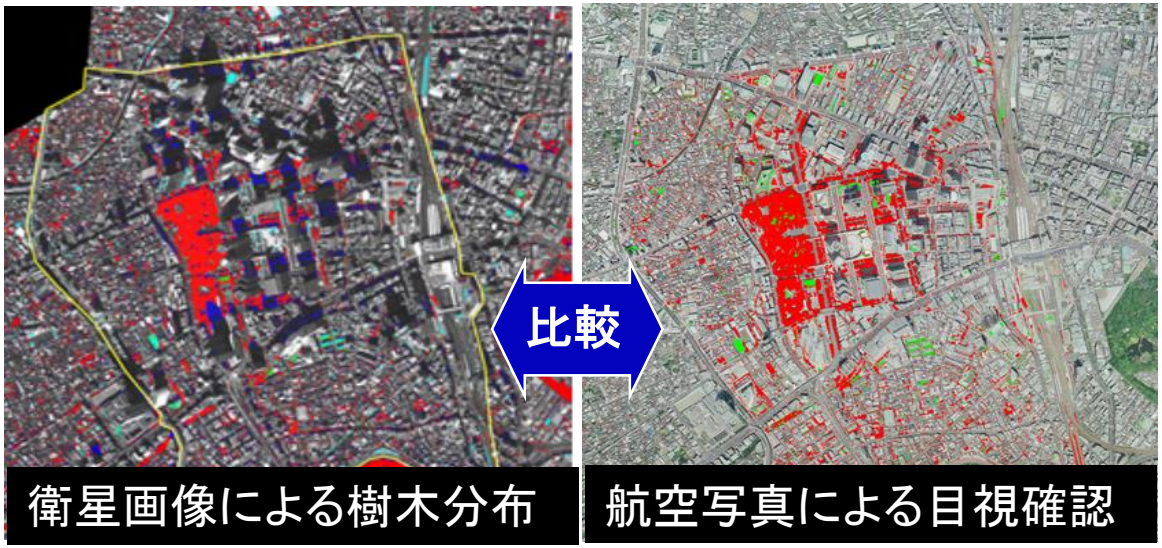
解析エリア
都内23区

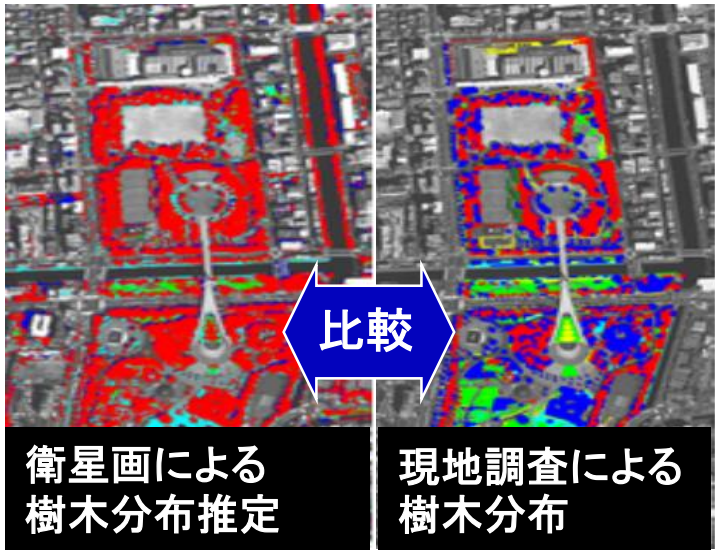


出典：フリー素材のDigipot

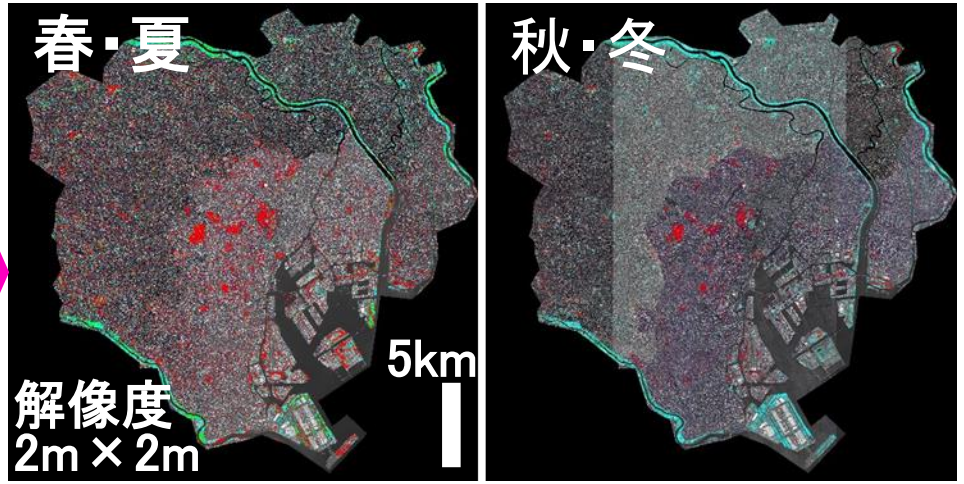
内容② ２３区全域に現存する樹木の葉面積の推定

２m×２mの地上解像度で、樹木の「分布」を推定





樹木マッピング精度：目視・現地調査と比較した結果、誤差は5%以内

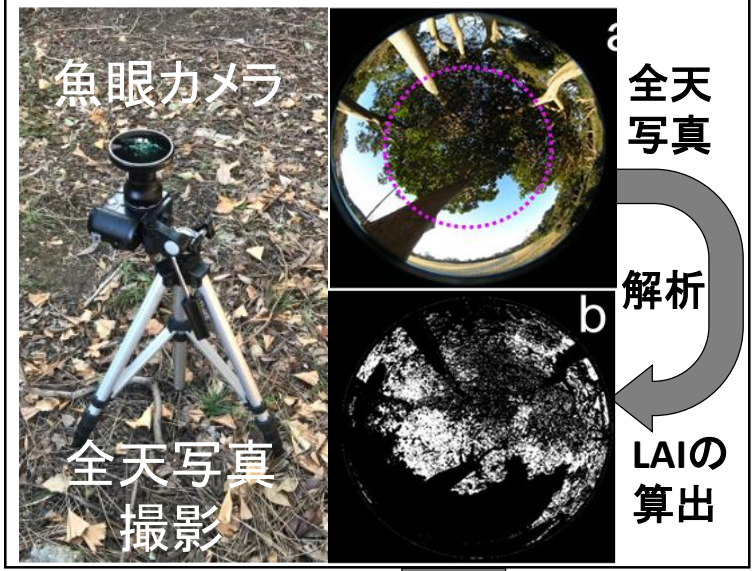


次に、BVOC放出量算出のため、推定した樹木分布の「葉面積」を求めた

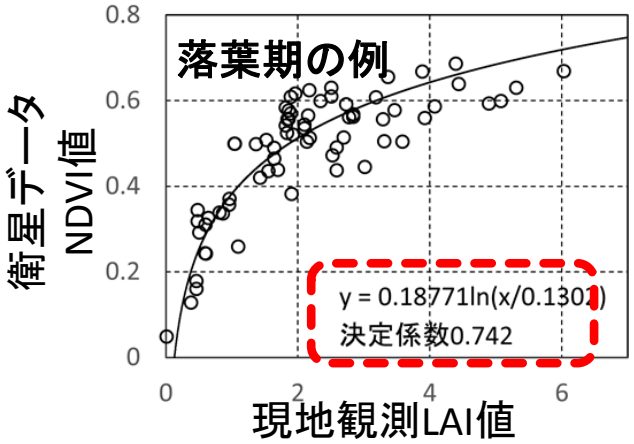
内容② ２３区全域に現存する樹木の葉面積の推定

衛星画像から単位地表面積あたりの樹木葉面積（LAI）を推定する技術を開発

樹木LAIの現地観測



同一地点のLAIと衛星ﾃﾞｰﾀ関係式導出



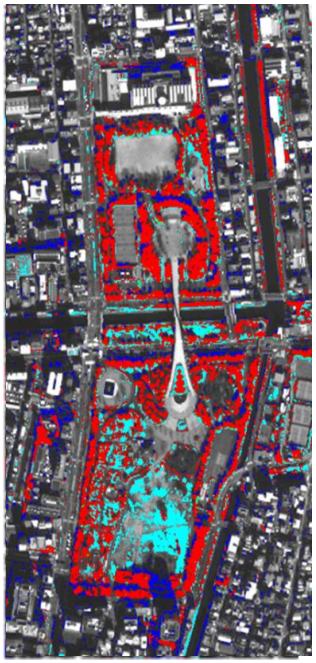
関係式から，衛星画像からLAI分布を直接推定

LAI＝0.13exp（衛星ﾃﾞｰﾀNDVI/0.19）

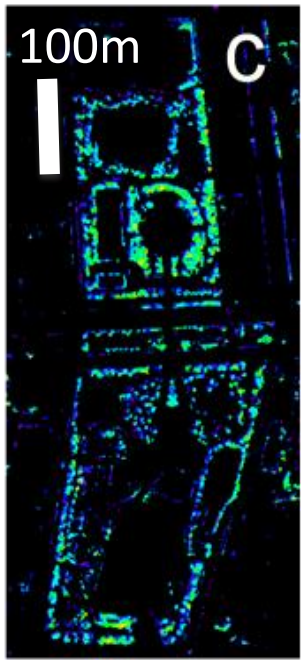
解析の流れ

画像を取得 ➡ 分布を推定 ➡ LAIを算出

例：江東区木場公園

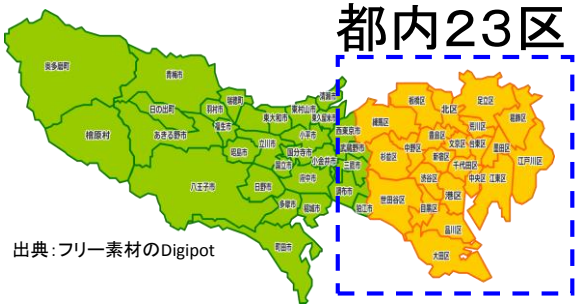


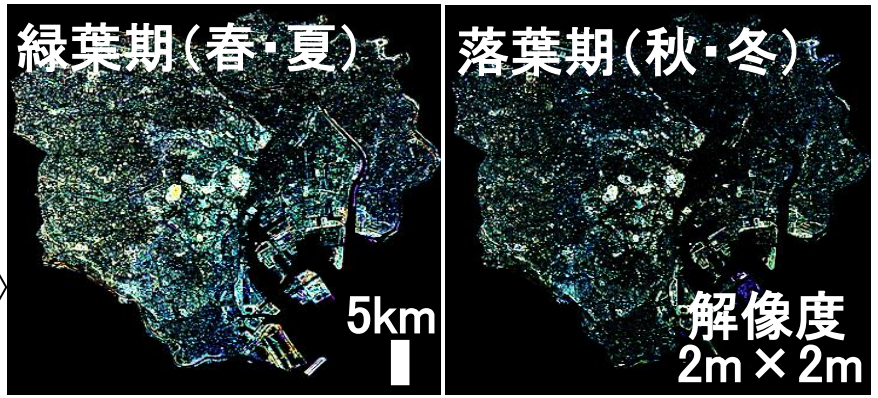
赤：樹木
緑：草地（密）
水色：草地（粗）
青：植生（影域）



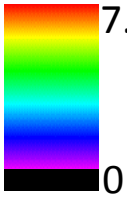
内容② ２３区全域に現存する樹木の葉面積の推定

都内２３区全域の樹種別・季節別の総葉面積を算出した





LAI（m^2/m^2）
単位土地面積
あたりの葉面積



総葉面積の算出方法：

23区の総葉面積		23区街路樹の本数割合[1]		23区の「樹種別・季節別の総葉面積」	
春・夏 217 km^2	×	・優占20樹種 41 %[2]	=	春・夏	・優占20樹種 合計 89km^2
					・その他の樹種 合計128km^2
秋・冬 93 km^2		・その他の樹種 59 %[2]		秋・冬	・優占20樹種 合計 38km^2
					・その他の樹種 合計 55km^2

1）東京都建設局TOKYO道路の緑2017より
2）23区の全樹木が、街路樹と同じ本数割合で存在しているという仮定に基づく

年間総放出量の推計方法：

都内23区の「総葉面積」（樹種別・季節別）

×

単位葉面積BVOC放出量（nmol m^{-2} 秒$^{-1}$）

・優占20樹種（樹種別・季節別）

・その他樹種（季節別）：優占20樹種平均

※気温データ（季節平均）には、気象庁による東京の月平均値（6時～18時）を使用

※光量データ（季節平均）には、小林ら（2002）の手法に従い、気象庁による東京の全天日射量データ×0.48で得た光合成有効放射量を使用

×

時間（秒）

各季節

5,184,000

※ 12時間×30日×4ヶ月

＝

23区のBVOC総放出量

年間198 トン

内容③ 都内２３区の年間ＢＶＯＣ総放出量の推計

東京の年間BVOC総放出量

23区の総放出量
年間198 トン

＋

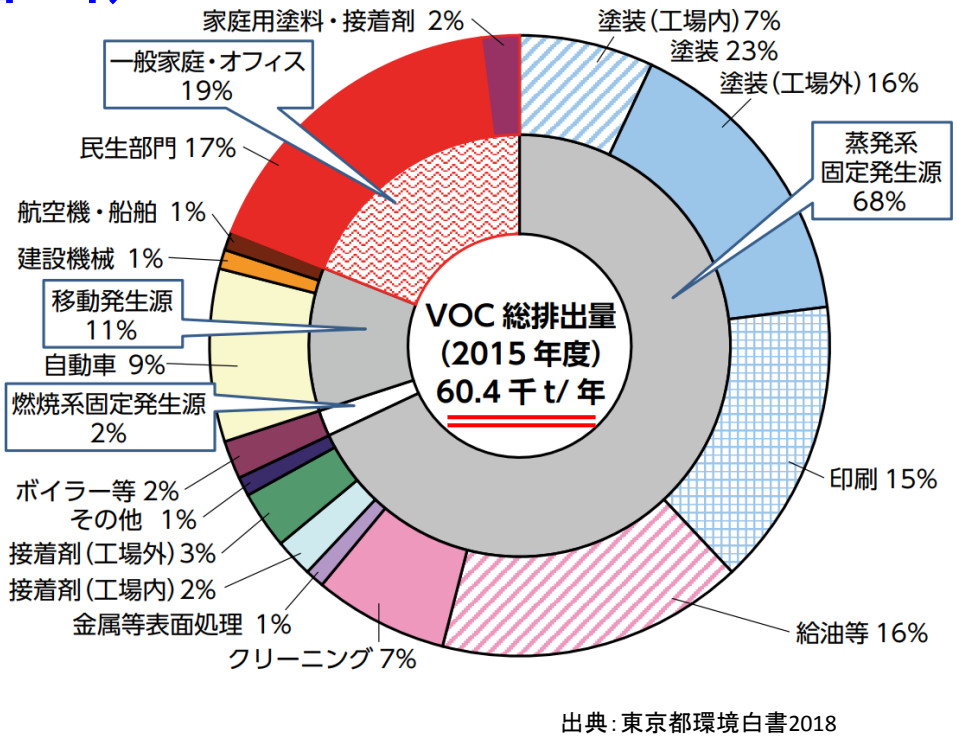
市町村域の総放出量
年間2,443 トン

※既存の排出量データEAGrid2000から算出

東京の人為VOC年間総排出量

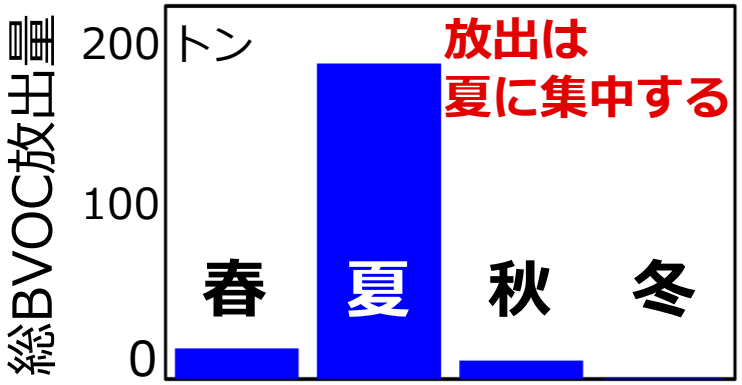
2.6千トン ⇔ 60.4千トン

（4%に相当）



出典：東京都環境白書2018

23区のBVOC総放出量



BVOCの寄与は,一年の中で夏の日中にもっとも高まる

研究のまとめと課題

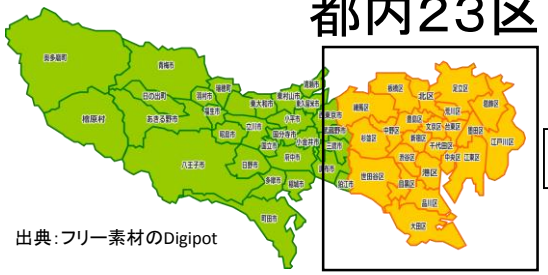
まとめ：

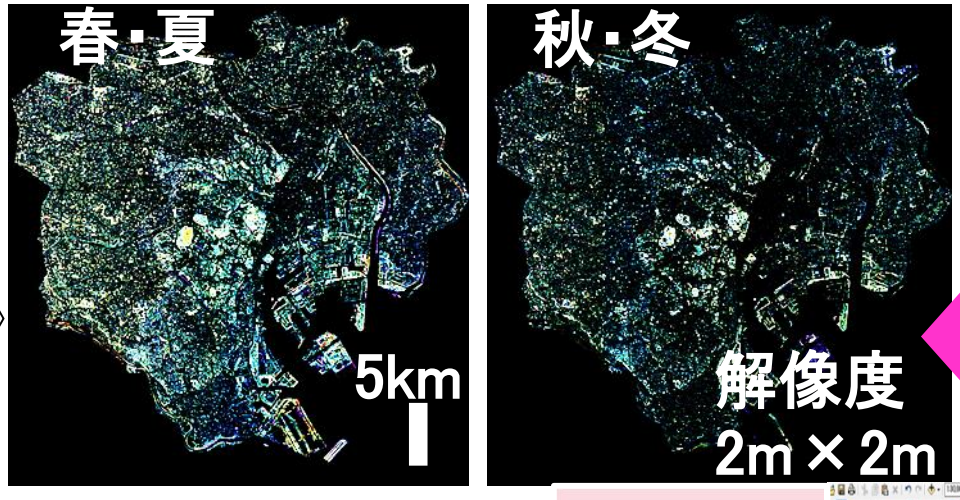
内容①23区の優占街路樹20種のBVOC放出量： 単位放出量が算出可能になった

内容②23区全域に現存する樹木の葉面積： 衛星画像から季節別に推計できた

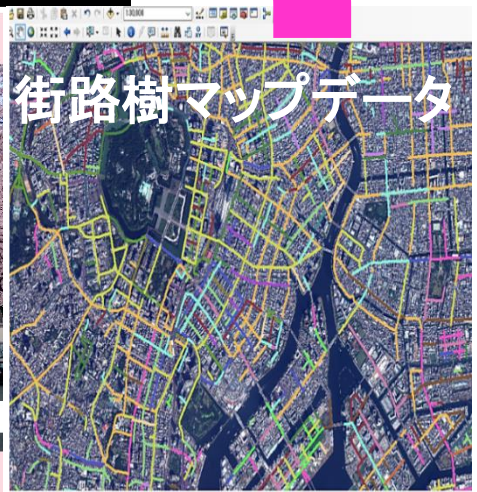
内容③23区の年間BVOC総放出量の推計： 課題①×課題②より算出できた

解析エリア
都内23区





樹種を
分類



課題：

BVOCが生成する都内オキシダント量の解明

オキシダント生成量の算出には、
本研究成果を組込んだ大気化学ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝが有力

入力データの樹種別葉面積データを整備する

今後の展開

これまでの研究で、

未把握だった都内23区のBVOC放出量を解明できる目処が立ち

オキシダント生成への影響評価が、次の課題となった

街路樹BVOC放出量は、季節、気温、光量でダイナミックに変動する

BVOCによるオキシダント生成量を把握するには、
複雑な条件を考慮できる「大気化学シミュレーション」の実施が必要

本研究成果を組み込んだ「大気化学シミュレーション」を新たに構築し、

オキシダント生成への「人為由来VOC」と「BVOC」の寄与割合解明を目指す

「人為由来VOC削減目標」の明確化につなげる