

# 大気観測に基づく都市域CO<sub>2</sub>排出の起源別推定



産業技術総合研究所 環境創生研究部門  
環境動態評価研究グループ  
石戸谷重之

## 緩和に向けて：ゼロエミッション国際共同研究センターの設立（吉野彰センター長） Global Zero Emission Research Center, GZR



[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/news/pr20200117.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/news/pr20200117.html)



GZR研究施設（つくば西事業所）完成イメージ  
<https://www.gzr.aist.go.jp/intro/>

創エネルギー・蓄エネルギー・省エネルギー・資源循環等に係る研究ユニット（主力）

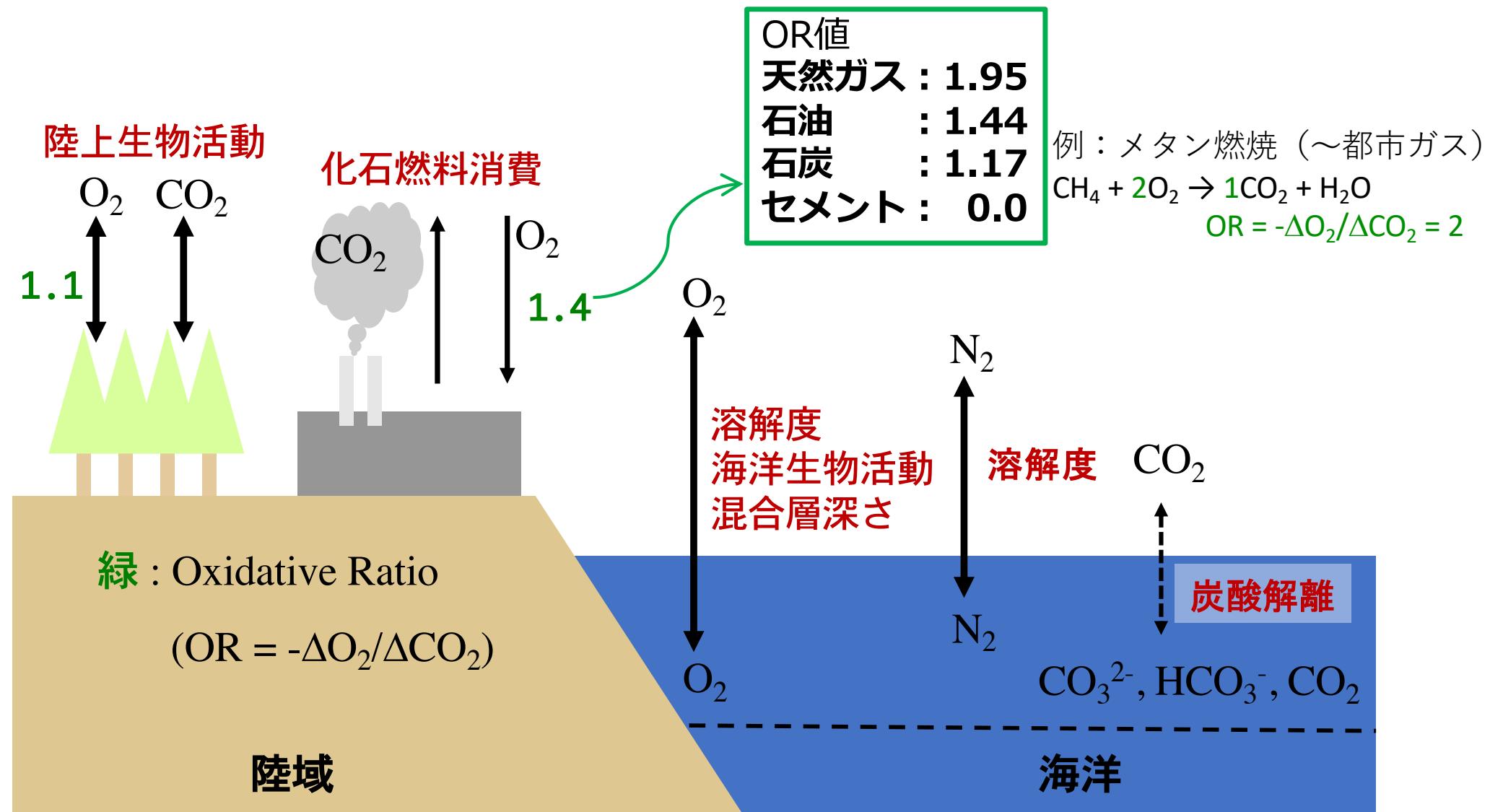
## 適応に向けて：気候変動のモニタリングとその影響評価

リスク評価・環境診断に係る研究ユニット

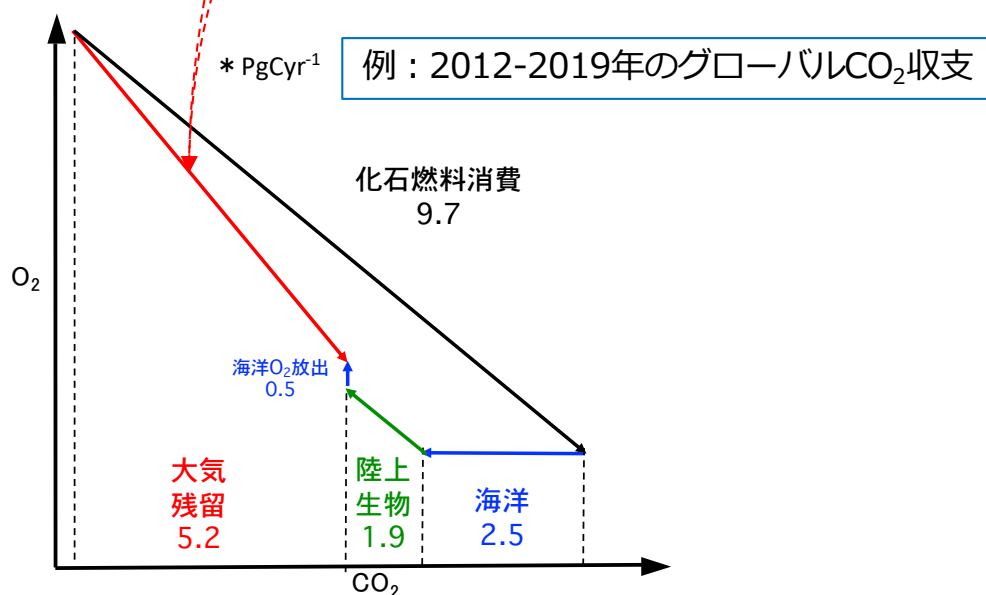
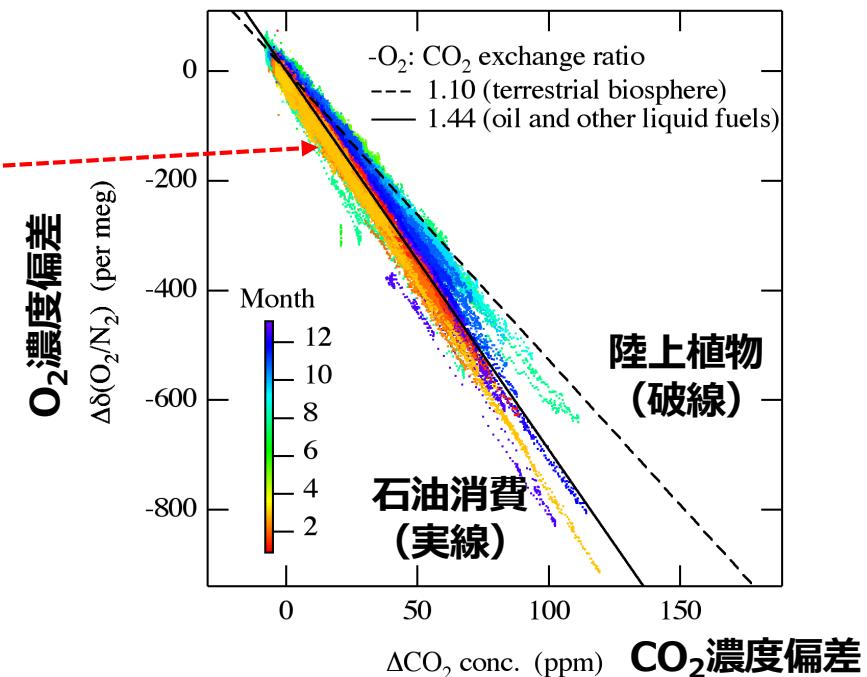
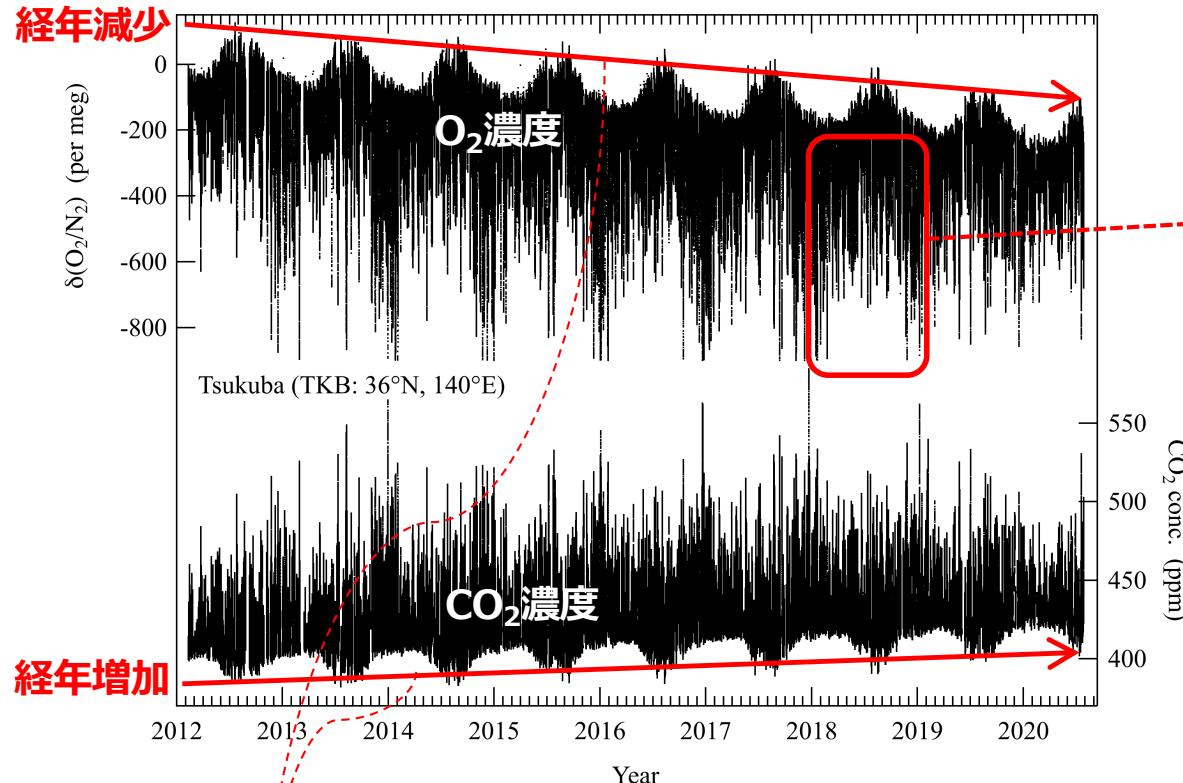
本日の話題：緩和へのゼロエミ技術の社会実装時の評価に、大気モニタリングを応用する

# 本研究の大気モニタリング対象：酸素 ( $O_2$ ) と二酸化炭素 ( $CO_2$ )

## 大気中 $O_2$ 濃度および $CO_2$ 濃度の変動要因



# 大気中O<sub>2</sub>濃度とCO<sub>2</sub>濃度の観測例（つくば市産総研構内）



大気中のO<sub>2</sub>濃度とCO<sub>2</sub>濃度を組合せた解析から、

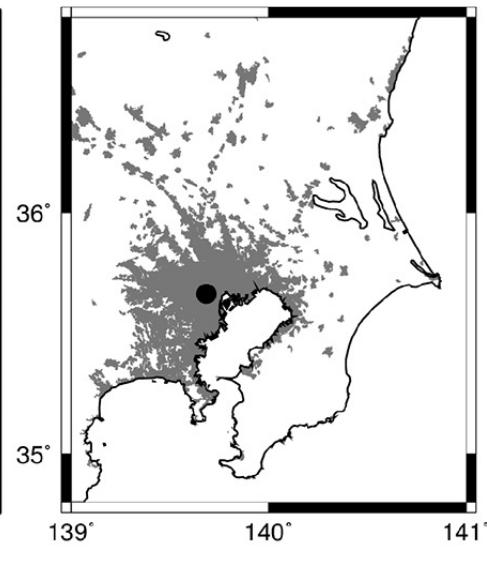
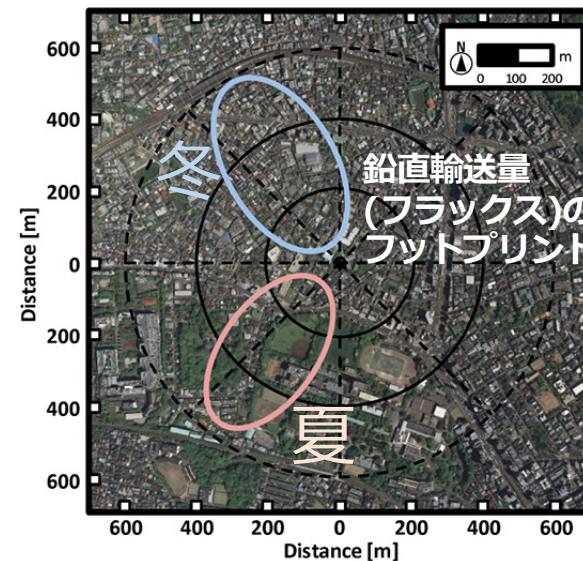
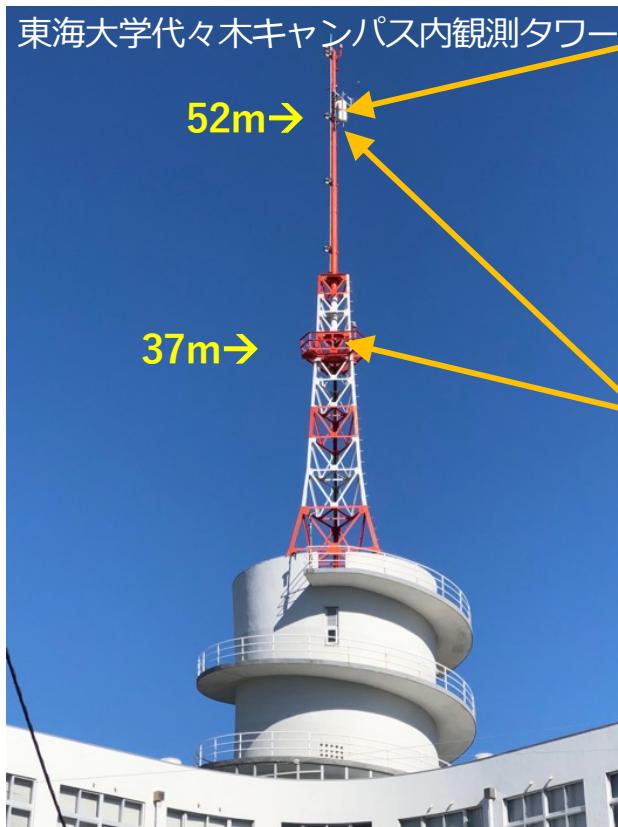
【経年変動成分】グローバルCO<sub>2</sub>収支（左図）

【短周期変動】局所での濃度変動要因（上図）

【季節変動】海からの酸素放出・吸収

などが得られるが、今回は局所の情報に着目。

# 東京都渋谷区代々木（東海大学代々木キャンパス）における大気中O<sub>2</sub>濃度とCO<sub>2</sub>濃度、および鉛直CO<sub>2</sub>輸送量の同時観測



Hirano et al. (2015 SOLA)

鉛直CO<sub>2</sub>輸送量 (CO<sub>2</sub>フラックス : F<sub>c</sub>) を渦相関法により観測

都市キャノピー上の 2 高度で大気中O<sub>2</sub>濃度とCO<sub>2</sub>濃度を観測、高度差ΔO<sub>2</sub>、ΔCO<sub>2</sub>を算出

F<sub>c</sub>、ΔO<sub>2</sub>、ΔCO<sub>2</sub>の関係（傾度法）

$$F_c = -K \Delta O_2 / \Delta Z$$

$$F_c = -K \Delta CO_2 / \Delta Z$$

$$\rightarrow OR_F = -F_c / F_c = - \Delta O_2 / \Delta CO_2$$

F<sub>o</sub> : 鉛直O<sub>2</sub>輸送量

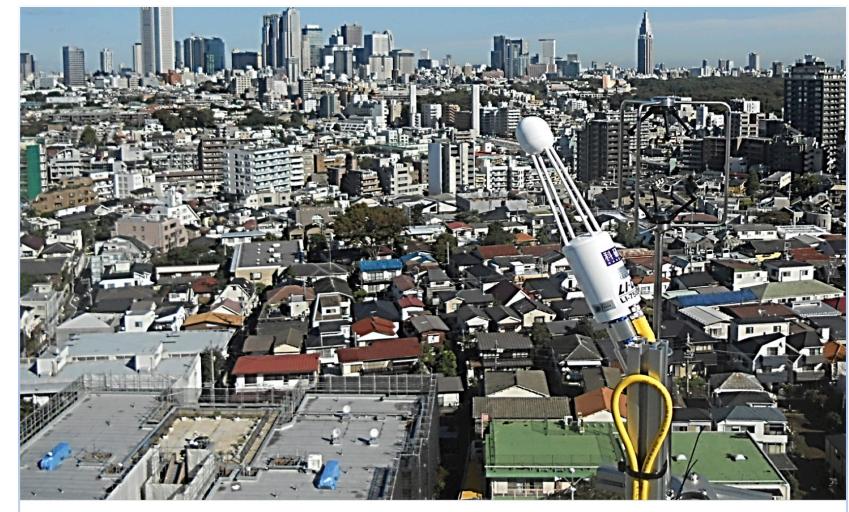
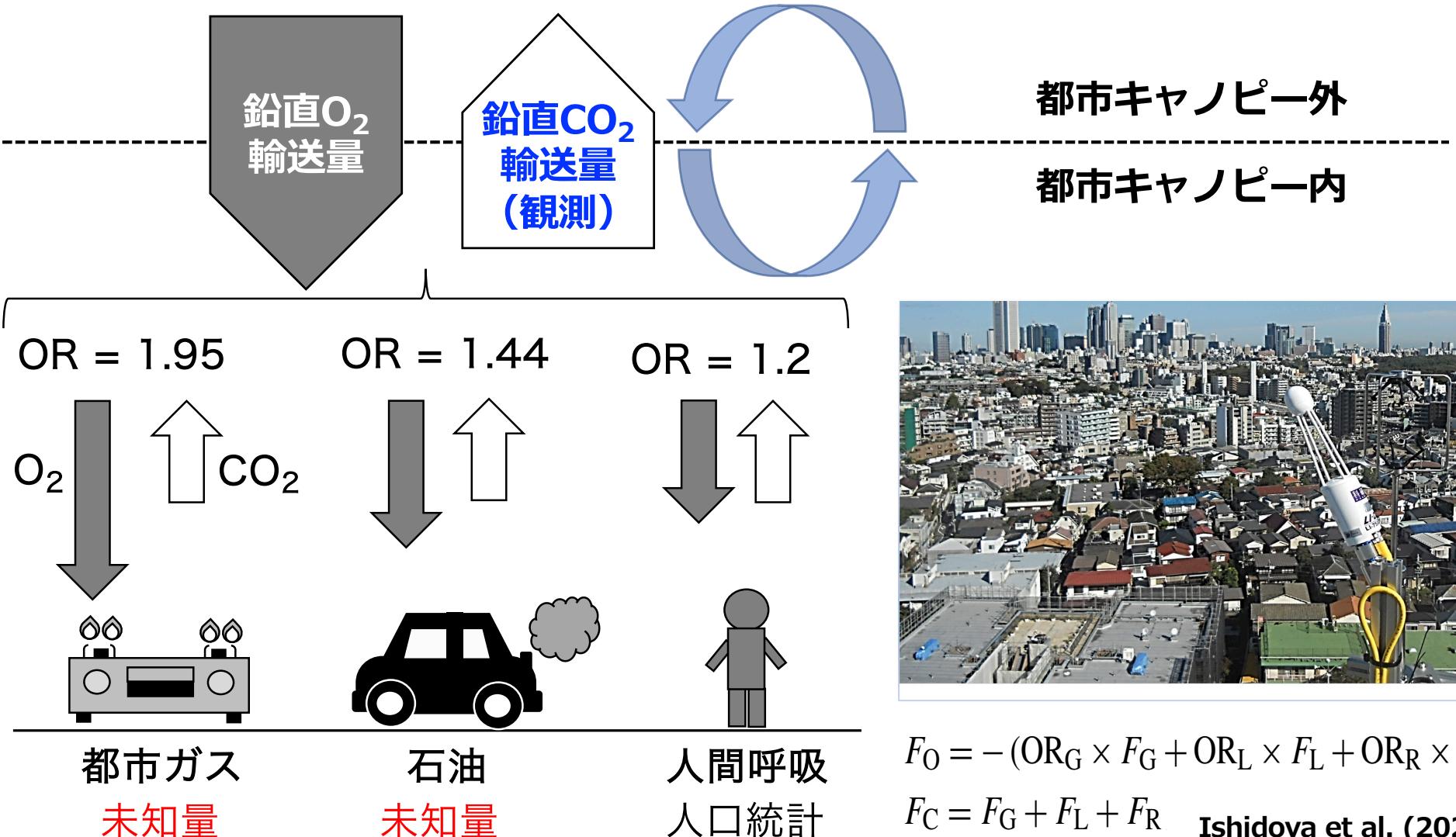
K : 鉛直渦拡散係数

OR<sub>F</sub> : 鉛直輸送のOR (O<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub>交換比)

不確かな拡散係数を使用せずにOR<sub>F</sub>を導出可能！

# 都市キャノピーから大気に排出されるCO<sub>2</sub>（鉛直CO<sub>2</sub>輸送量）の起源別推定法の考案

## OR<sub>F</sub>：観測



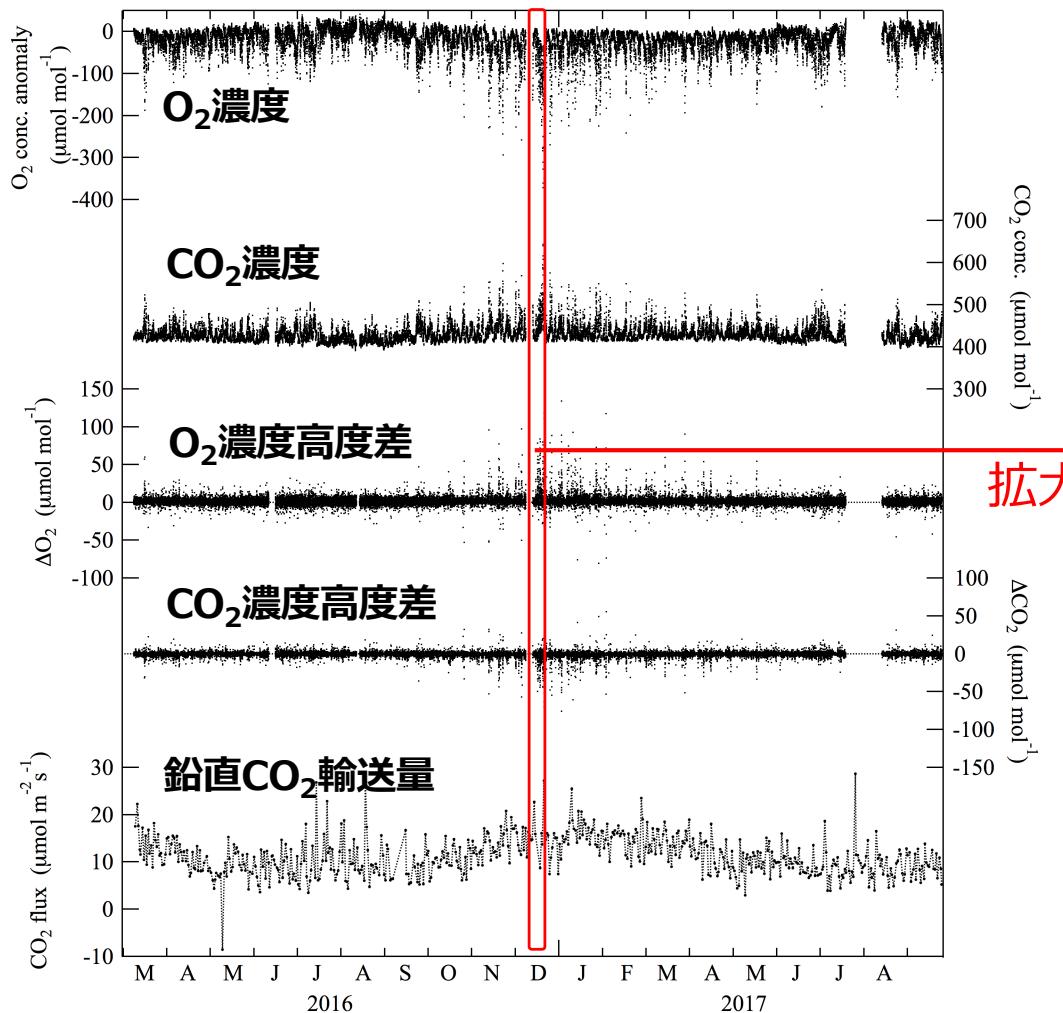
$$F_0 = -(OR_G \times F_G + OR_L \times F_L + OR_R \times F_R)$$

$$F_C = F_G + F_L + F_R$$

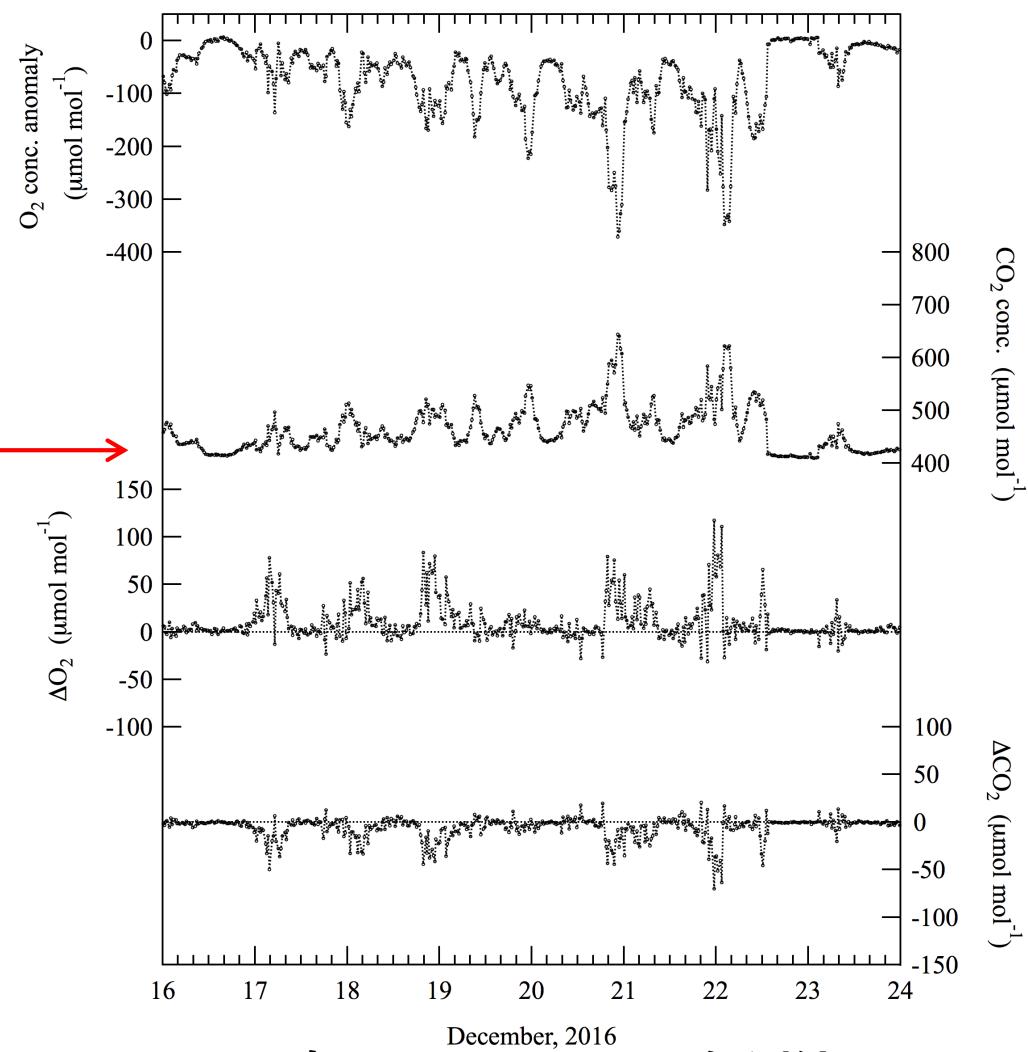
Ishidoya et al. (2020 ACP)

代々木サイトの鉛直CO<sub>2</sub>輸送のフットプリント内の植生面積は十分に小さく、石炭消費やセメント生産の影響は無視できるため、人間呼吸量を統計量から与えることで、O<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の収支式から『都市ガス』と『石油』の消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量を分離評価できる。

# 代々木サイトでの大気中O<sub>2</sub>濃度、CO<sub>2</sub>濃度および鉛直CO<sub>2</sub>輸送量の観測結果



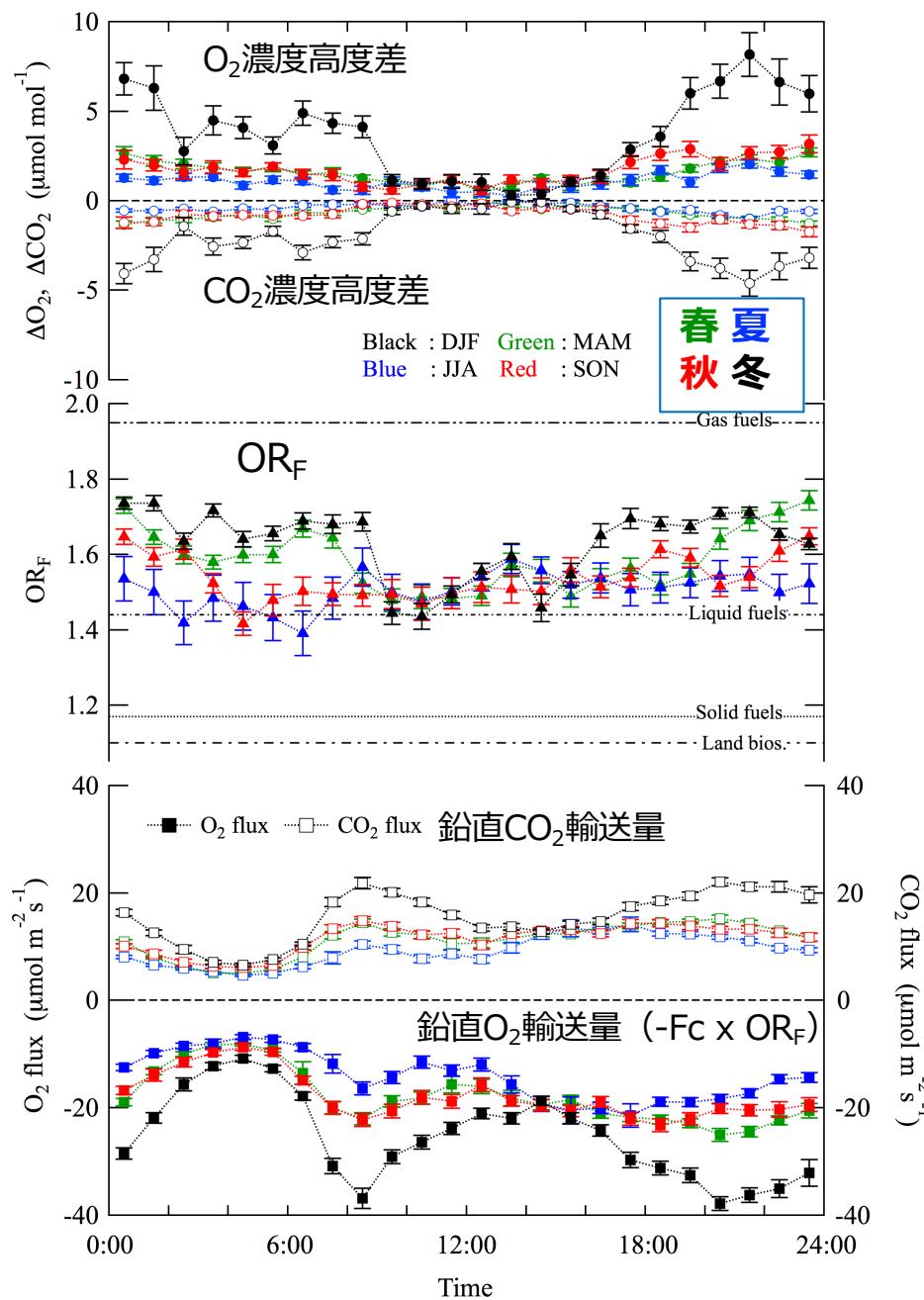
2016年3月～2017年9月の観測結果



2016年12月16～23日の観測結果

CO<sub>2</sub>濃度が増加する時にO<sub>2</sub>濃度が減少する短周期の変動が多数観測されており、同様の対応は濃度の高度差にも見られている（冬季8日間の拡大図を右図に示す）。また渦相関法で観測された鉛直CO<sub>2</sub>輸送量には、冬季に排出が極大となる季節変動が見られる。

# 代々木サイトで観測された季節平均のO<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>濃度の高度差、OR<sub>F</sub>、鉛直CO<sub>2</sub>およびO<sub>2</sub>輸送量の日内変動



春夏秋冬の四半期毎に観測データをCompositeした、各季節の平均的な日内変動を示す。

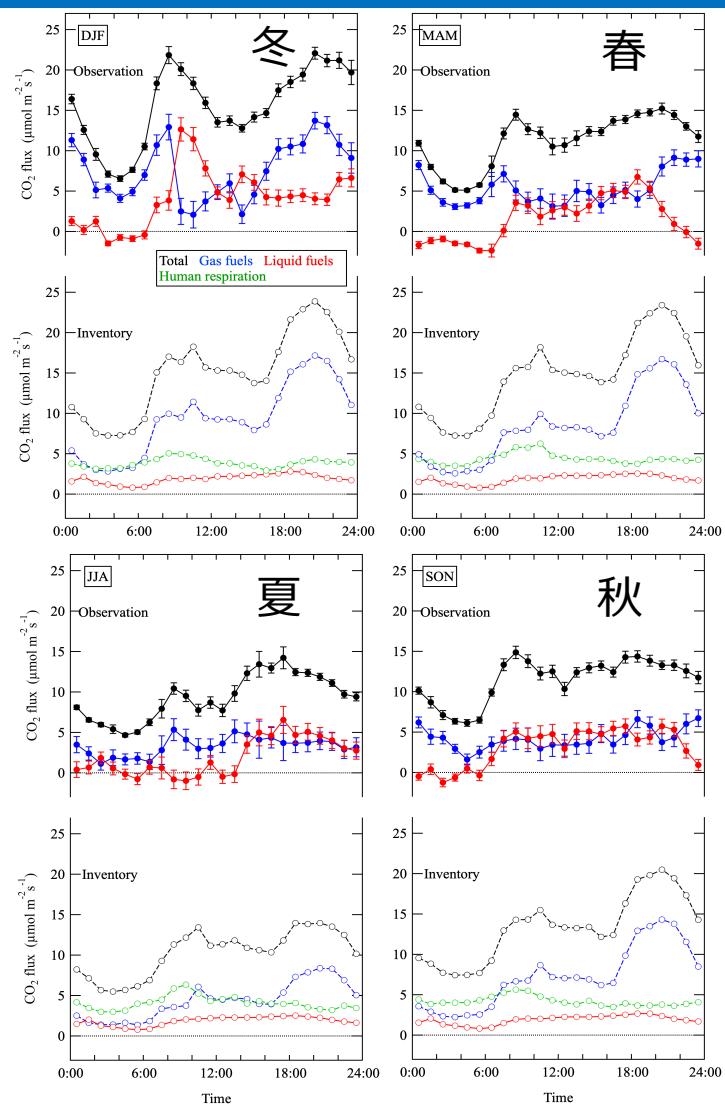
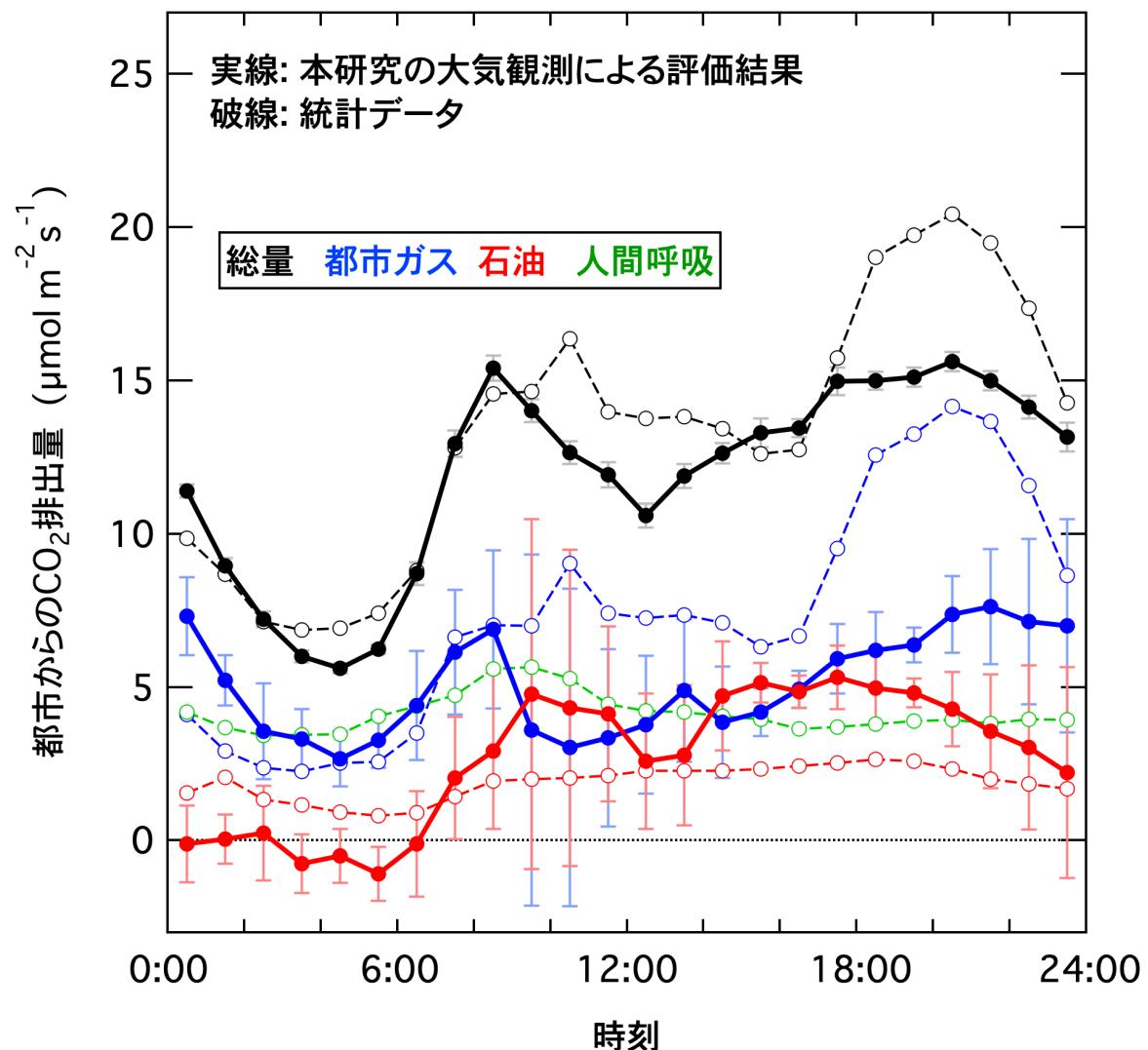
O<sub>2</sub>濃度およびCO<sub>2</sub>濃度の高度差は夜間に大きく、季節的には冬季に大きい。

OR<sub>F</sub>は夜間に高く日中に低い値を示し、季節的には冬季に高い値を示す。総じて、天然ガス消費と石油消費のORの中間的な値である。

鉛直CO<sub>2</sub>輸送量はいずれの季節も都市から大気への排出であり冬季が最大で、午前と夜間に極大を示す。

鉛直CO<sub>2</sub>輸送量にOR<sub>F</sub>を乗じて算出される鉛直O<sub>2</sub>輸送量（大気O<sub>2</sub>の消費量）は、グローバルな大気中O<sub>2</sub>濃度減少における単位面積当たりのO<sub>2</sub>消費量の、数百倍の大きさである。

# 代々木におけるCO<sub>2</sub>の起源別排出量の日内変動 – 大気観測によるトップダウン法と統計量に基づくボトムアップ法の比較 –



トップダウン法の結果を、代々木近郊の交通量と家庭・飲食店の都市ガス消費統計によるCO<sub>2</sub>排出量と比較すると、夜間の都市ガス消費における違いが顕著であり、そのため統計量に基づく評価では代々木街区のCO<sub>2</sub>排出量が過大に見積もられていることが示唆される。また誤差は大きいものの、給湯・調理に伴う早朝の都市ガス消費のピークや、通勤時間帯の交通量増加による午前中の石油消費の漸増も見て取れる。

今回の手法では人間呼吸量を統計データから算出しているが、今後、国立環境研究所が行っている放射性炭素同位体比等の観測も組み合わせて化石燃料起源と生物起源のCO<sub>2</sub>排出量を分離し、大気観測だけで石油・都市ガス・人間呼吸による排出量を分離して評価できる手法の開発を目指す。

大気観測に基づき自動車と都市ガス由来のCO<sub>2</sub>排出量を街区スケールで分離評価することが可能となつた。手法の更なる高度化を図ることで、ゼロエミッション技術の社会実装時に、そのCO<sub>2</sub>削減効果を燃料種・産業部門別に検証するためのツールになることが期待される。



[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/news/pr20200117.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/news/pr20200117.html)

大気観測に基づく  
トップダウン法による検証

CO<sub>2</sub>排出量の減少  
製造？運輸？発電？  
石油？ガス？石炭？

統計量に基づく  
ボトムアップ法による評価