

# ローコストセンサ(LCS)を用いた 大気環境計測の基礎と応用

2025/12/19

水・大気環境連携セミナー2025  
ーデータで切り拓く環境研究の未来ー



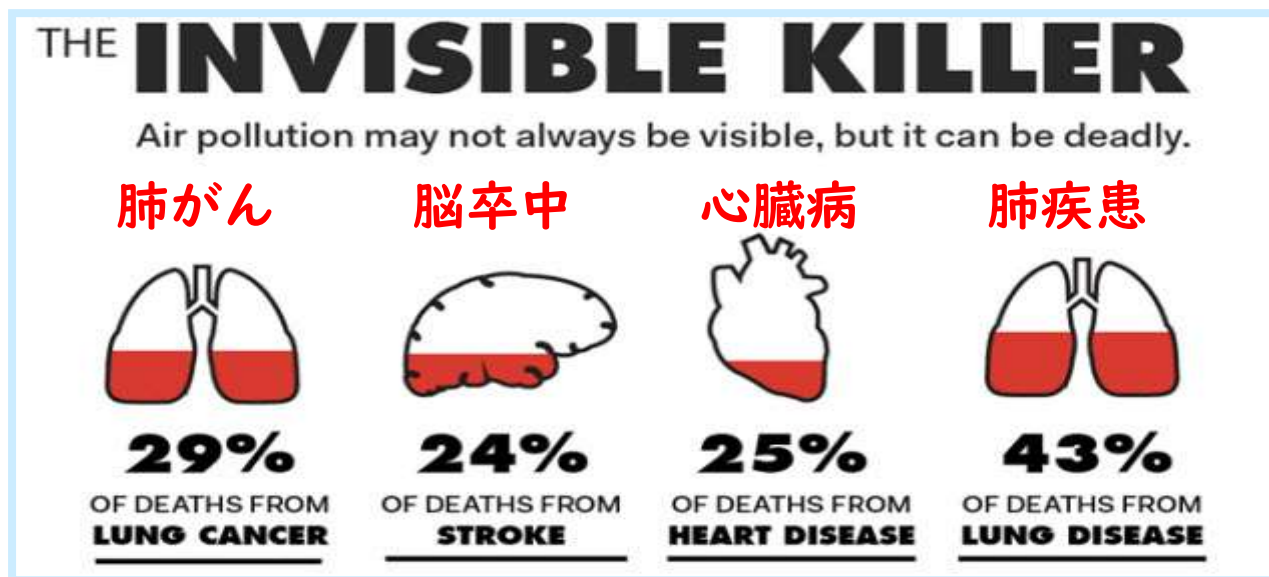
長崎大学 環境科学部/大学院総合生産科学研究科

中山 智喜



謝辞 松見豊, 山崎高幸(名古屋大), 鐘ヶ江健太(長崎大), Aakashプロジェクトメンバー(地球研ほか), パナソニック(株)、柴田科学(株)の共同研究者/研究協力者の皆様など多数

# PM<sub>2.5</sub>などによる大気汚染による早期死亡



[WHF (2019)を一部  
改変]

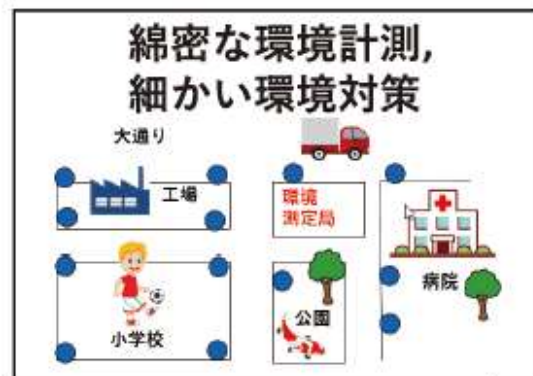
年間の早期死亡者数: 屋外大気汚染で420万人  
屋内大気汚染で380万人 [WHO (2021)]

大気汚染はヒトの健康に及ぼす最大のリスク要因の1つ

- ・ 様々な環境下における大気汚染物質の動態把握と影響評価が必要
- ・ しかし、手動での秤量や大型の自動測定器は、「過酷な環境」,  
「多地点観測」,「モバイル計測」には向かない

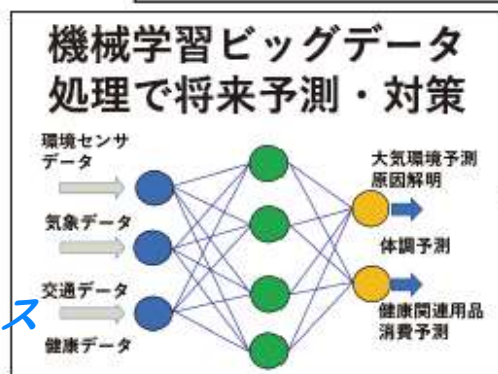
# 小型大気環境センサ(LCS)の活用が期待される分野

データ公開  
産官学連携



シチズンサイエンス

データ  
サイエンス



小型環境  
センサ

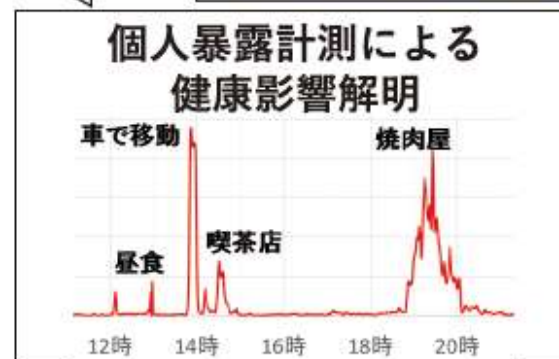
大気環境をプラス面に  
健康志向, スマートシティ



ヘルス  
ツーリズム

コミュニティ  
・街づくり

行動変容 /  
政策提言

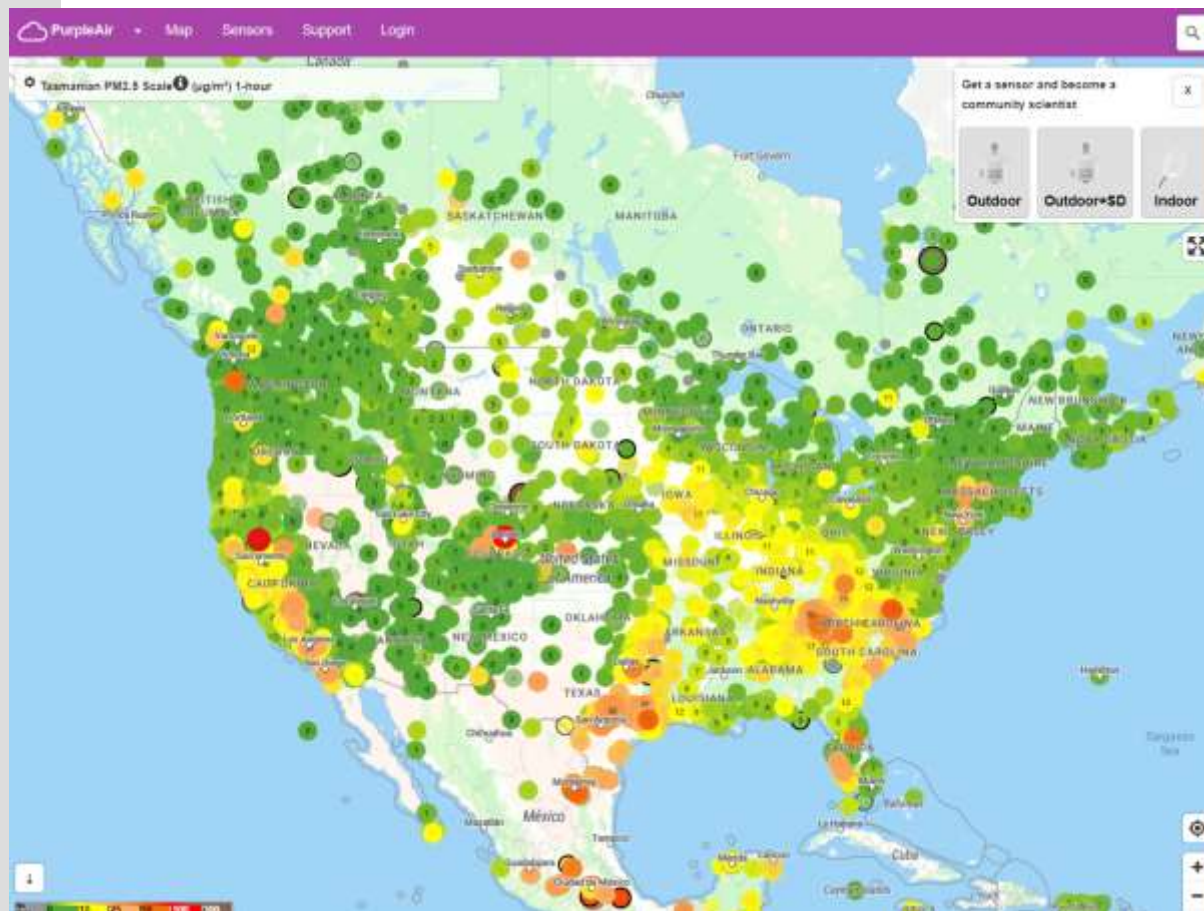


疫学  
公衆衛生

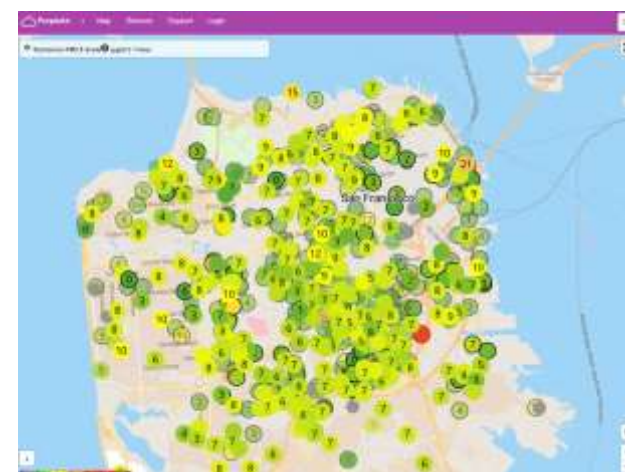
[松見・中山、  
地球環境 (2019)  
を一部改変]

# 市民参加型LCSネットワークの例

## PurpleAir Network (PM<sub>2.5</sub>)



## San Francisco



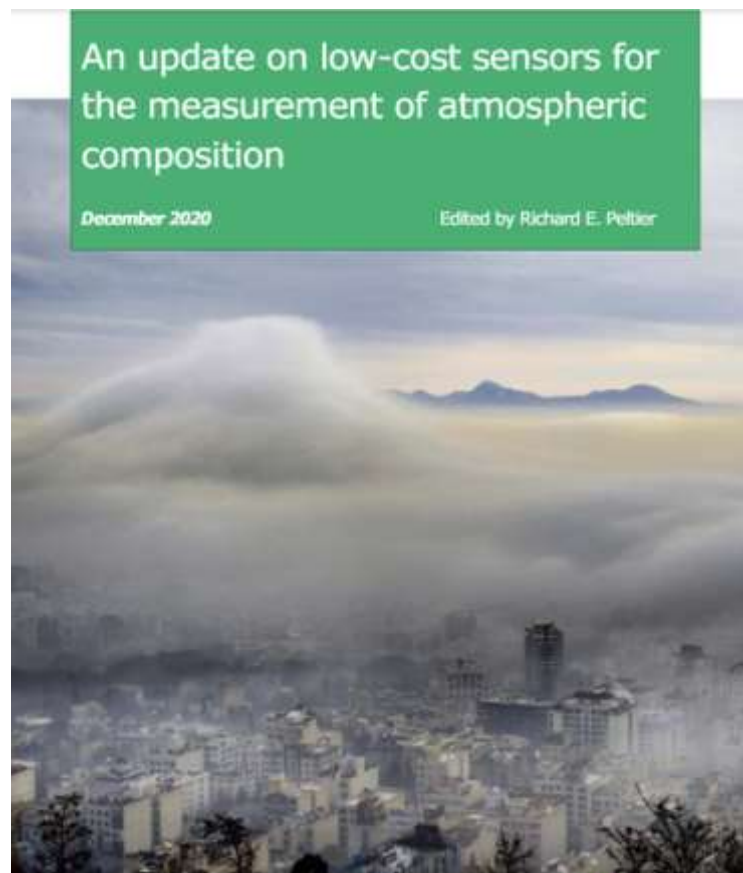
<https://www2.purpleair.com/>

10 km

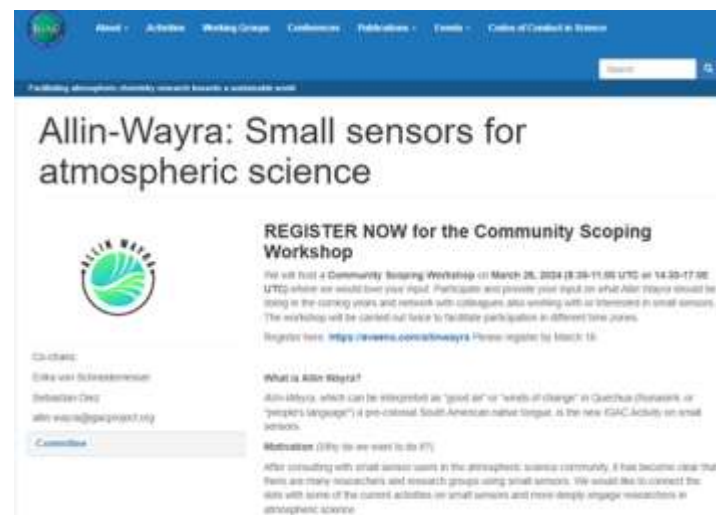


# 国際的な取り組み

## 世界気象機関(WMO)の報告書 (2018, 2021)



## 地球大気化学国際共同研究計画 (IGAC)のグループ



## 東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)のプロジェクト

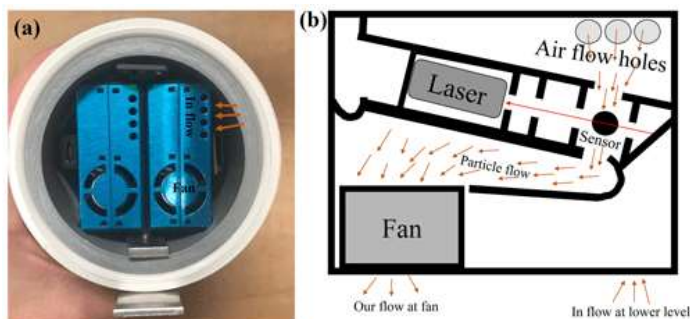


# PMセンサー

## 光学式センサ：粒子からの散乱光を検出

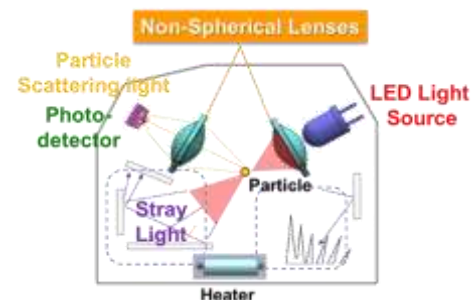
- 1) ネフエロメータ方式：多数の粒子からの散乱光をまとめて測定
- 2) OPC方式：個々の粒子の散乱光を測定  
→粒径分布が変化する場合、OPC方式が有利

### PMS5003 (Plantower) in PurpleAir



[Ardon-Dryer *et al.* AMT (2020)]

### Our (Panasonic-Nagoya U.) sensor



[Nakayama *et al.* AST(2018)]

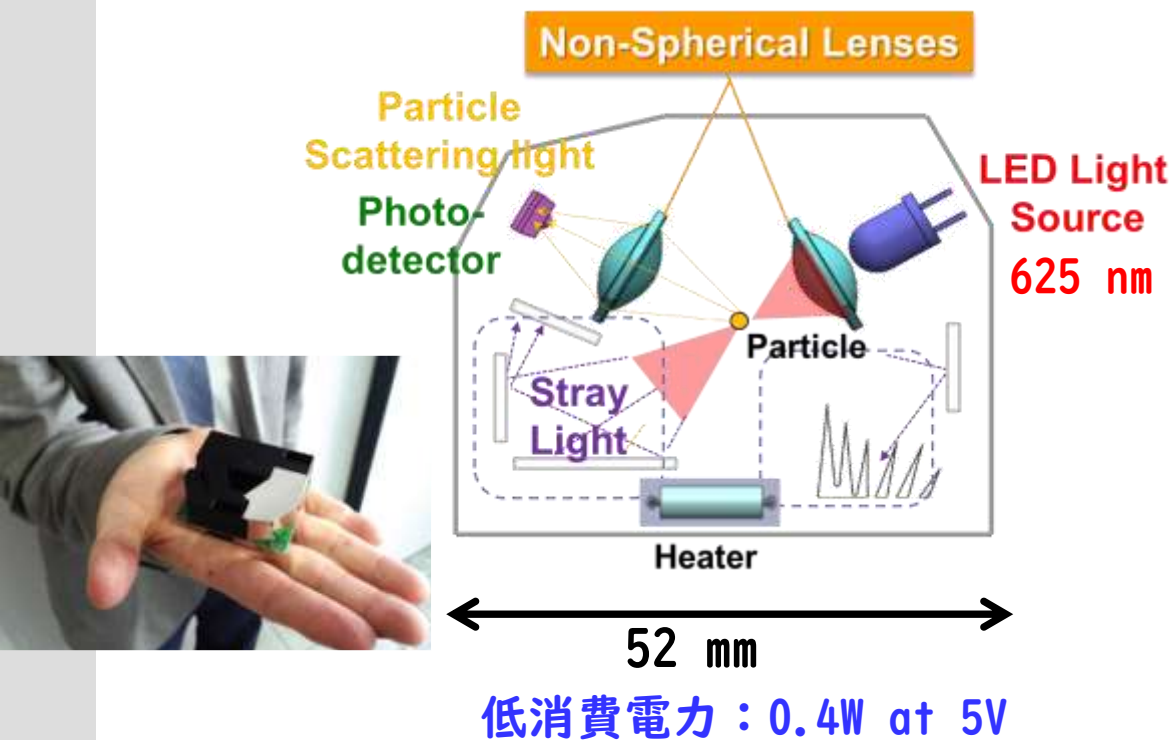
センサによって、

「光源」，「幾何構造（散乱角度）」，「流量，流路形状」

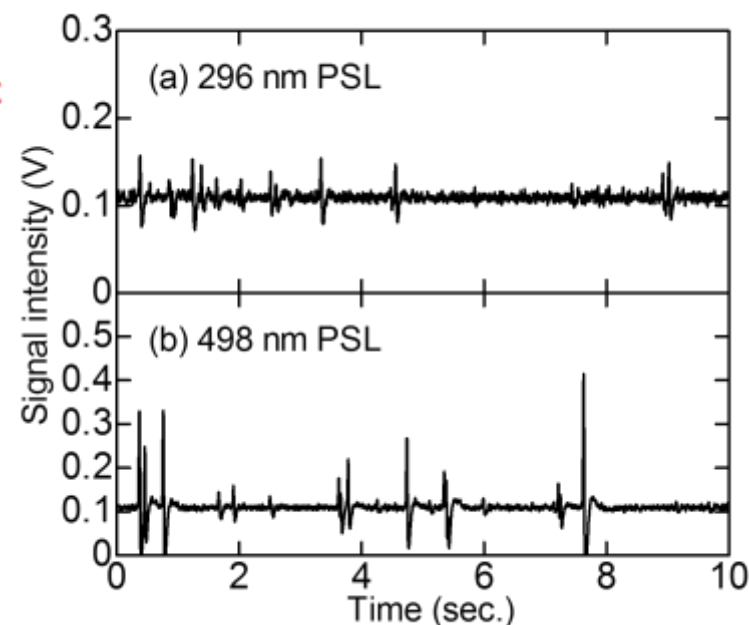
「散乱信号から重量濃度を導出するアルゴリズム」などが異なる

# 小型PM<sub>2.5</sub>センサーの開発

パナソニック(株)  
との共同開発



## PSL (polystyrene latex) 粒子の散乱信号の例

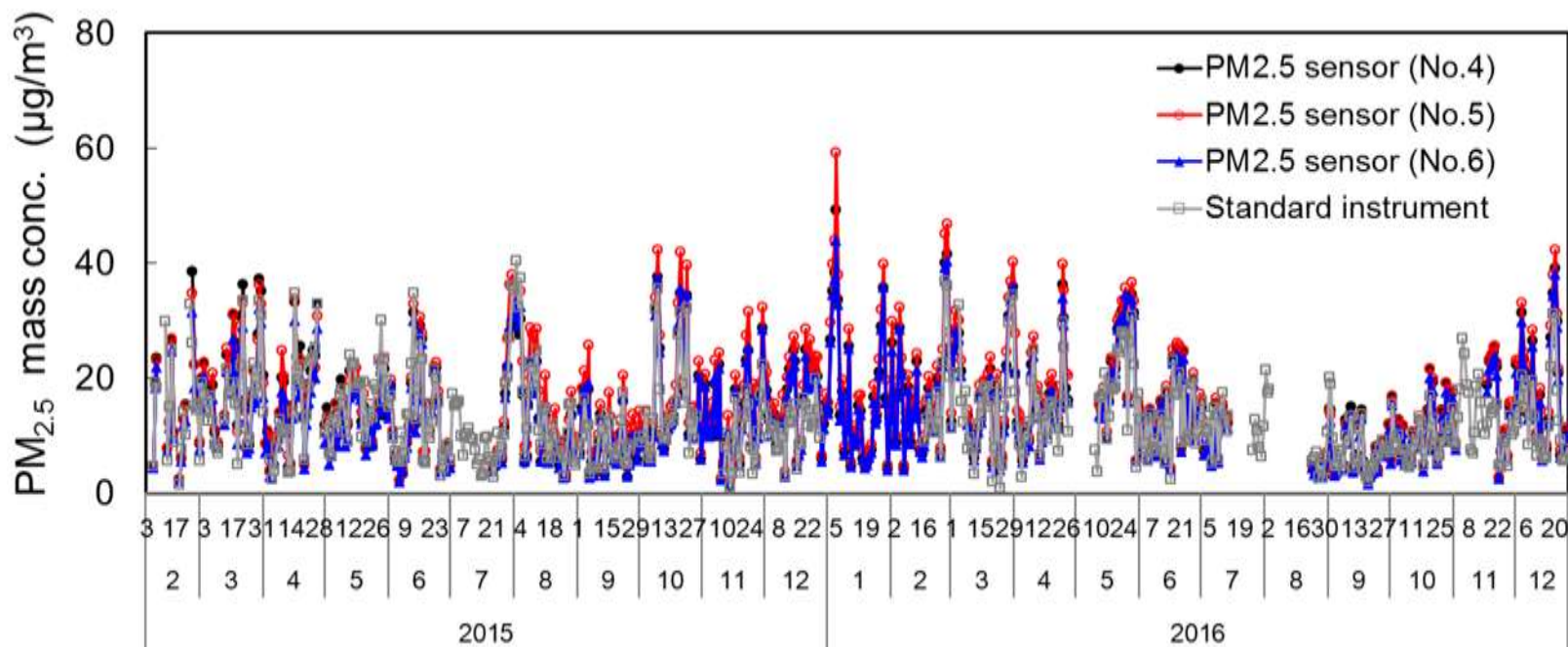


[Nakayama, Matsumi *et al.* AST(2018)]

- ・ 直径300nm以上の単一粒子を検出可能
- ・ 粒子サイズを考慮して、PM<sub>2.5</sub>重量濃度を算出

# 大型装置(ベータ線吸収法)との比較の例

## I 日平均値@門真(大阪府)

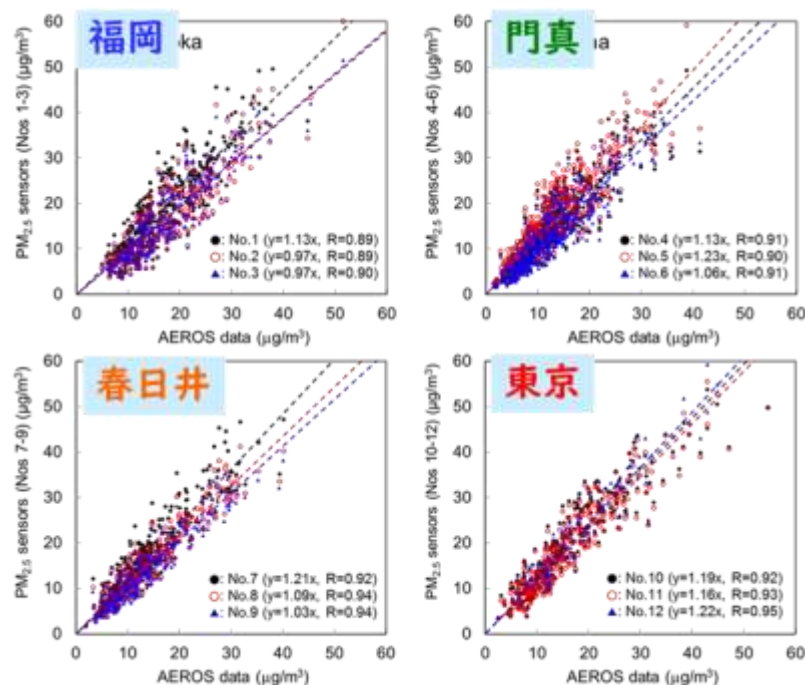


[Nakayama *et al.* AST(2018)]

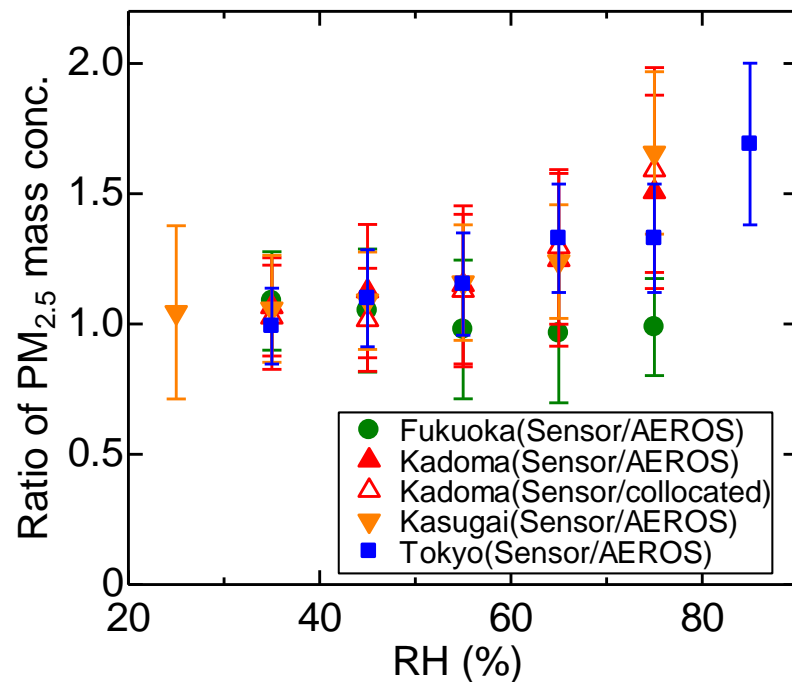
メンテナンスなしでも、約2年間にわたり、概ね一致した濃度変動



# 常時監視局(AEROS)データとの比較



[Nakayama, Matsumi *et al.* AST(2018)  
を一部改変]



[Nakayama, Matsumi *et al.* AST(2018)]

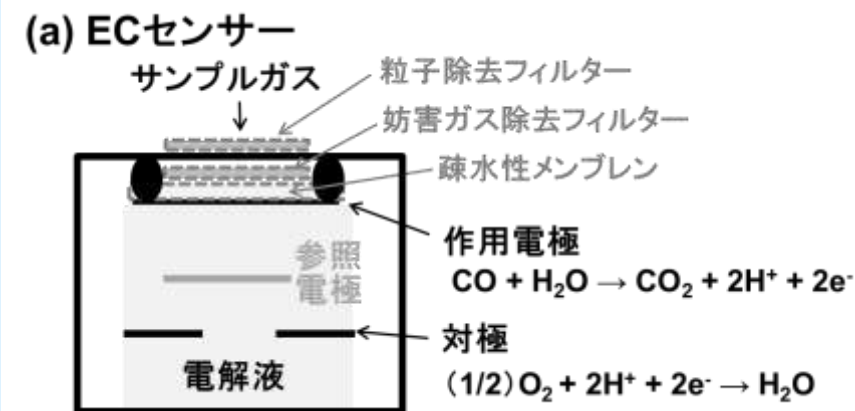
9つのセンサともに標準装置と  
よい一致( $R>0.89$ , 24h平均)

相対湿度が高い環境下では、  
粒子中の水分の影響により、  
過大評価傾向

# 実大気計測に主に使用されるガスセンサ

## 電気化学センサ

CO, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>x</sub> など

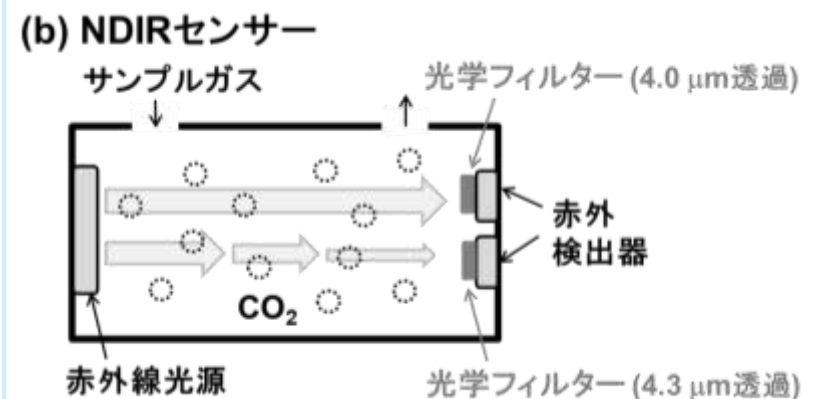


[中山・松見, ぶんせき (2022)]

- 酸化還元反応により電流が生じることを利用して、対象ガスを検出

## 非分散型赤外吸収(NDIR)センサ

主に CO<sub>2</sub>



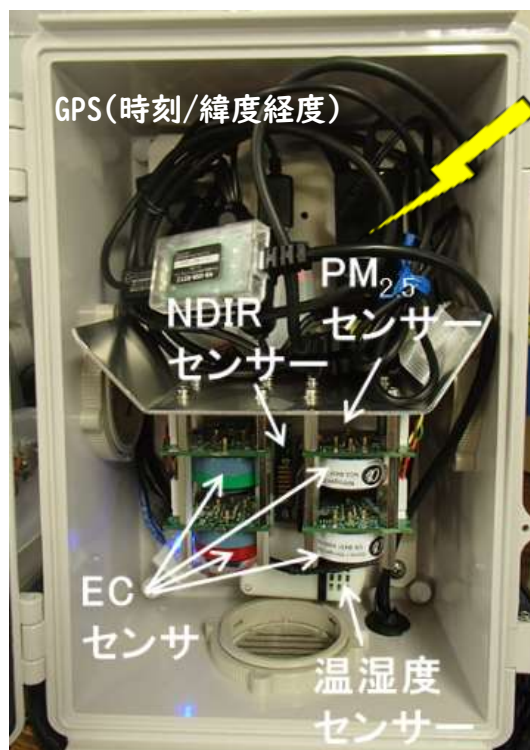
[中山・松見, ぶんせき (2022)]

- 波長4.3 μm付近の赤外吸収を利用

「温度」, 「湿度」, 「干渉物質の濃度」, 「使用状況 (劣化/粉塵/干渉ガス除去フィルターの飽和)」などが性能に影響を及ぼしうる

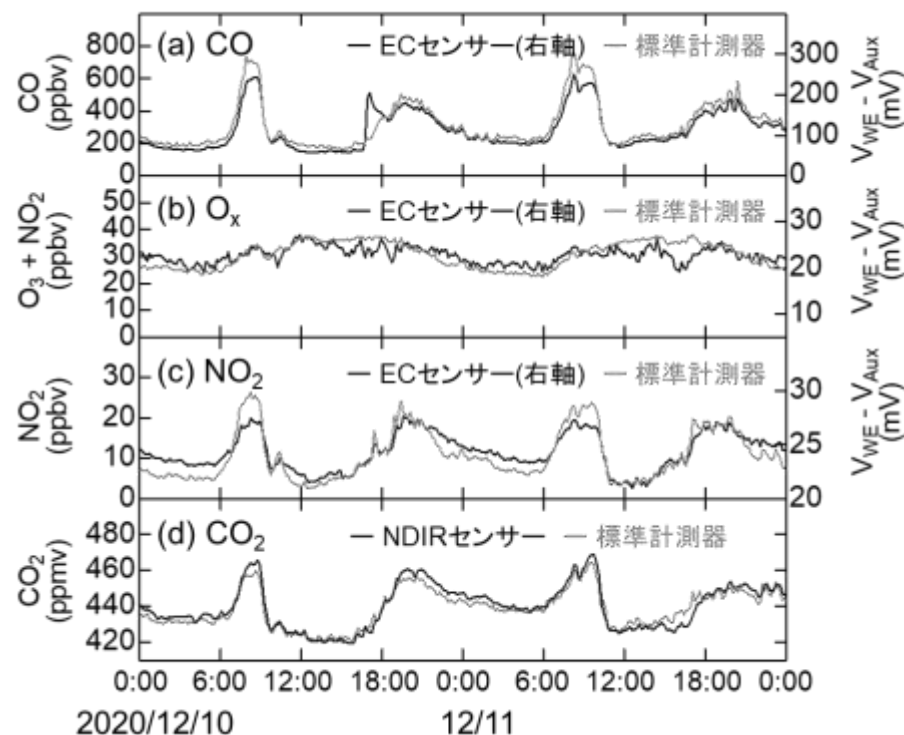
# PM<sub>2.5</sub>および微量気体の小型計測器 (CUPI-G)

PM<sub>2.5</sub>および微量気体  
(CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>x</sub>(O<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>))  
の計測システム



携帯回線  
を利用し、  
クラウドへ  
データ転送  
も可能

## 長崎大学での 標準計測器との比較



[中山・松見, ぶんせき (2022)  
を一部改変]

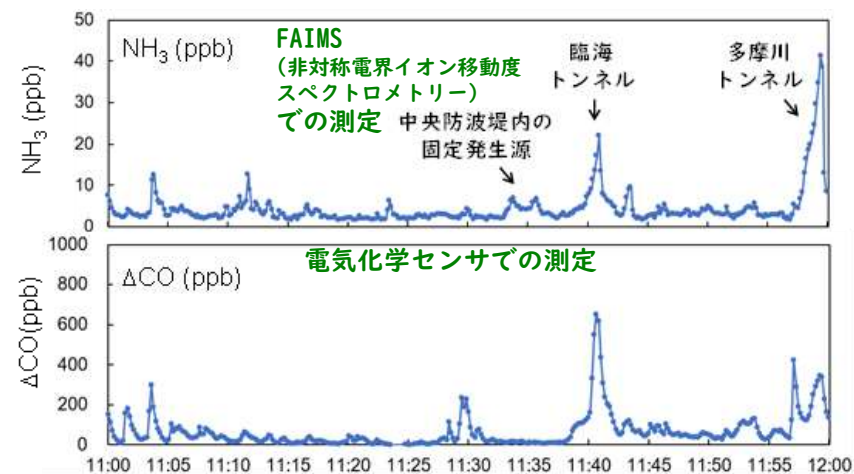
[中山・松見, ぶんせき (2022)]

# PM<sub>2.5</sub>および微量ガスのモバイル計測

## 長崎大学周辺でのPM<sub>2.5</sub>測定

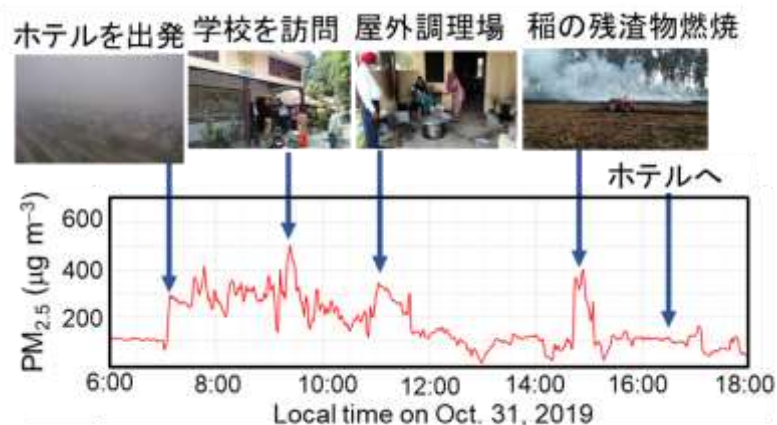


## 東京湾岸での車載移動測定



[中山ほか、第64回大気環境学会年会要旨集、316 (2025)  
を一部改変]

## インド・パンジャブ州でのPM<sub>2.5</sub>測定



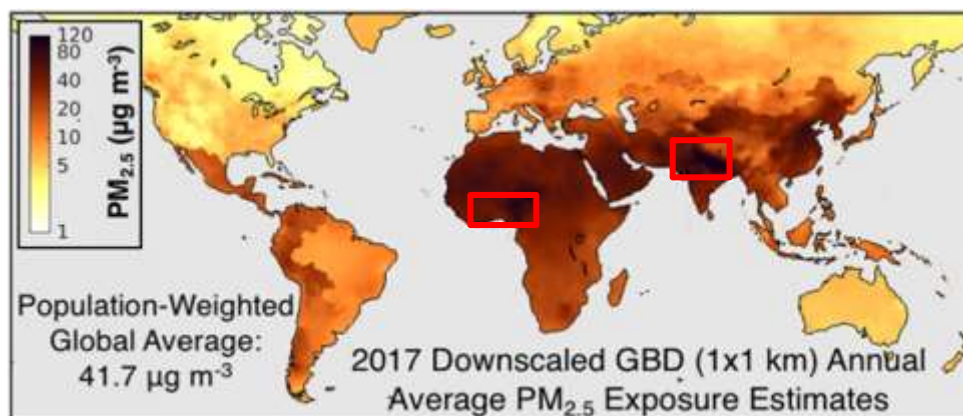
[中山・松見、ぶんせき(2022)]

「ローカルな発生源の検出」  
「個人曝露量の把握」  
「疫学研究」などに有用



# PM<sub>2.5</sub>の推定曝露濃度と観測点の現状

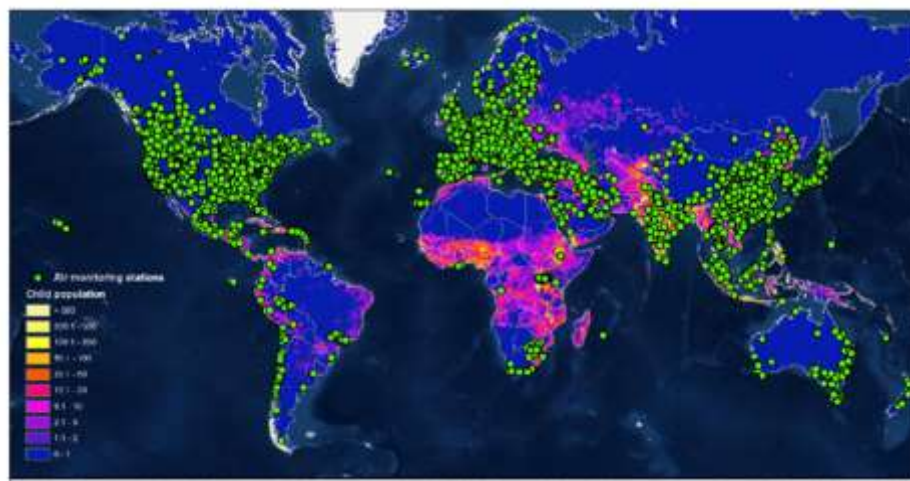
## <推定平均曝露濃度>



特にインド北部や  
西アフリカ諸国の  
PM<sub>2.5</sub>濃度が高いと推定

[McDuffie et al. (2021)  
を一部改変]

## <リアルタイム大気測定局>



しかし、  
途上国では連続観測  
を実施している測定局  
は少ない

[UNICEF 2019]

# インド北部における観測研究

## 総合地球環境学研究所のAakashプロジェクト

インド北部における農業残渣物燃焼由来のPM<sub>2.5</sub>の動態、健康影響、社会影響の解明と解決策の提案や住民の意識変革を目指した研究

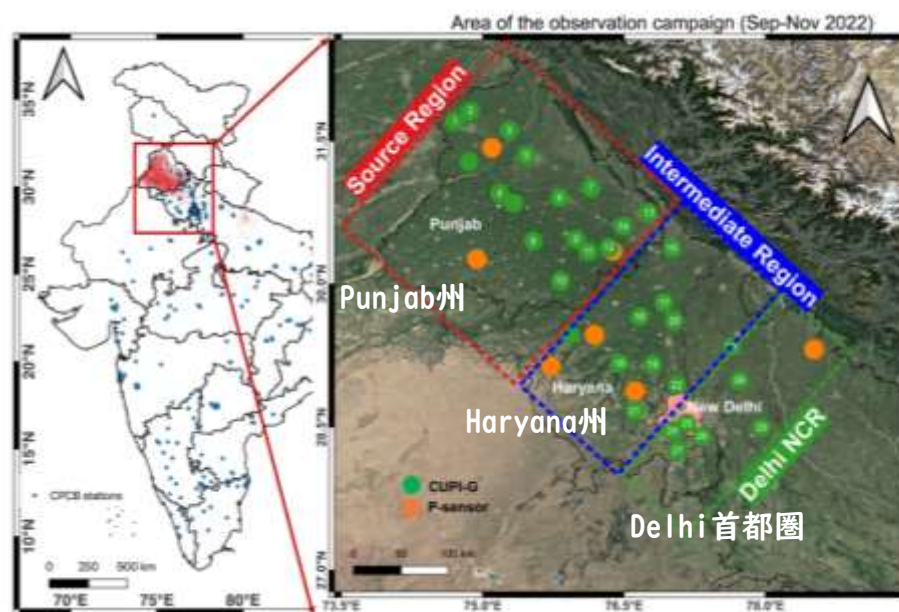
LCSを用いたPM<sub>2.5</sub>および微量ガスのネットワーク観測(30地点程度, 2022~2025年)



Photo by S. Hayashida  
(地球研WEBサイト)



[Singh et al., RIHN Newsletter (2022)]

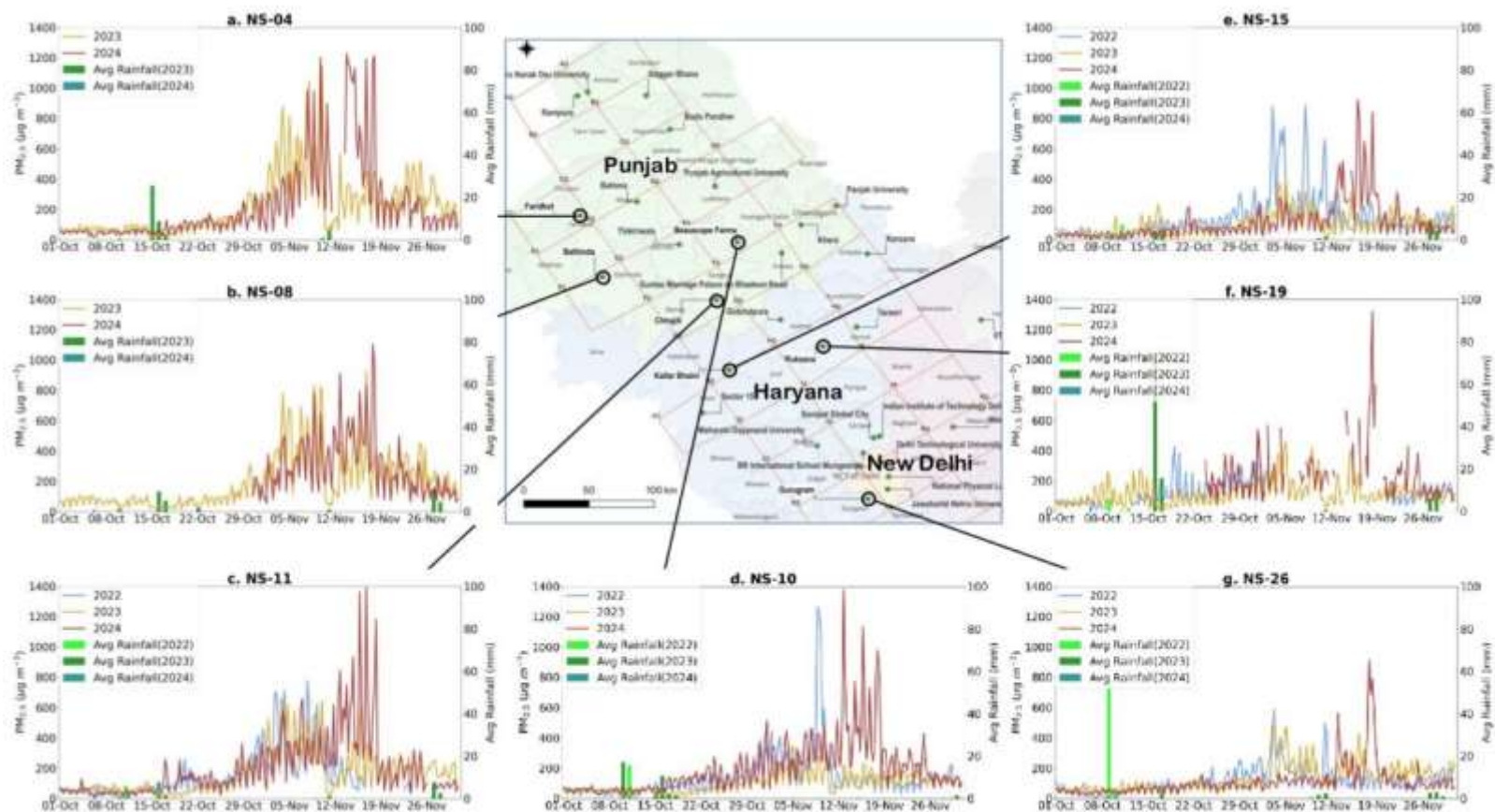


[Singh et al. Sci. Rep. (2023)を  
一部改変]



Photo by P. Patra  
(地球研WEBサイト)

# 2022~2024年の10~11月のPM<sub>2.5</sub>濃度変動

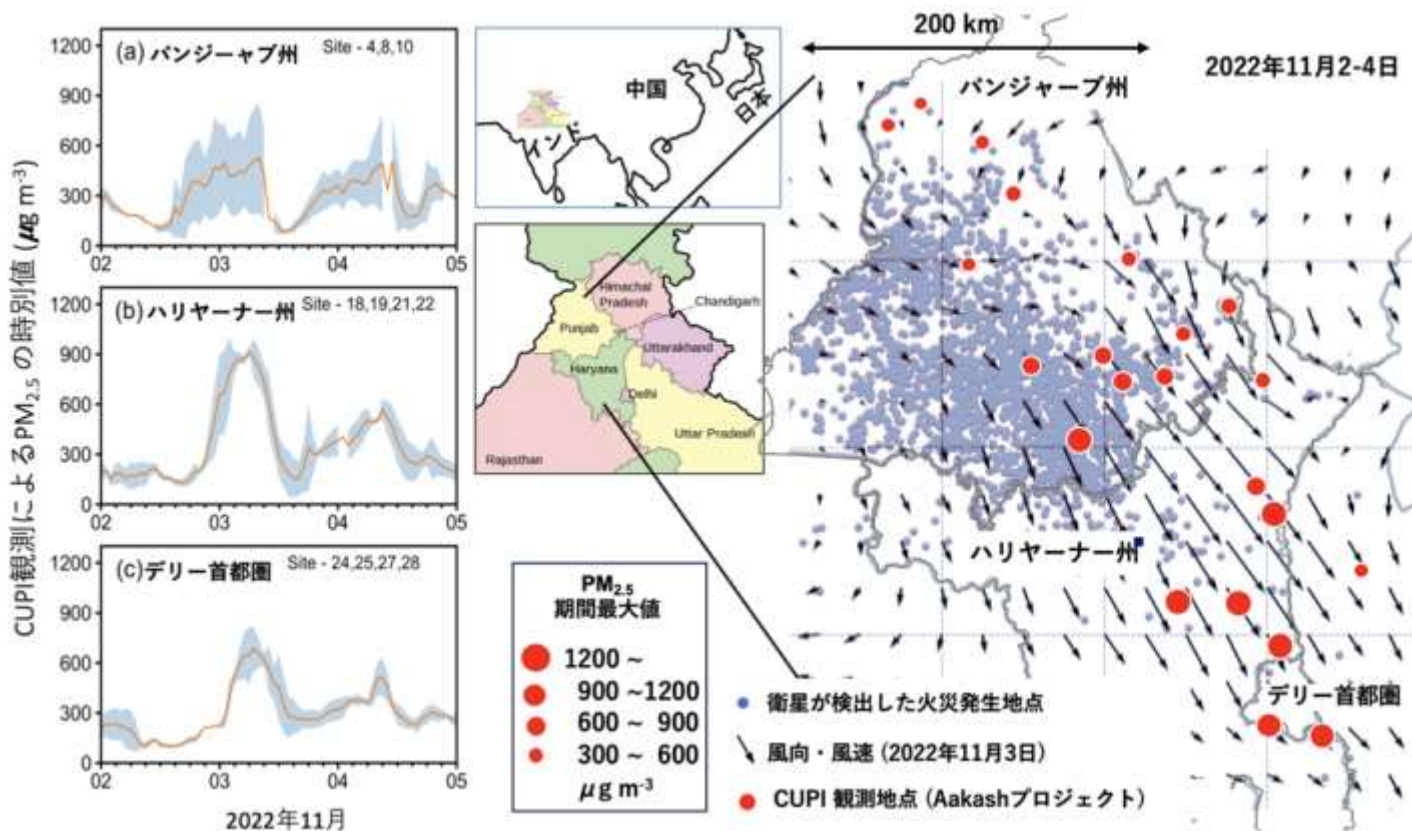


[Mangaraj et al. *npj Clim. Atmos.* (2025)]

- ・11月上旬にPunjab州などで1000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるPM<sub>2.5</sub>が観測
- ・2024年においてもPM<sub>2.5</sub>濃度は依然として高い



## 農業残渣物燃焼由来のPM<sub>2.5</sub>のデリー首都圏への流入



[RIHNほか、プレスリリース(2023),  
Singh et al. Sci. Rep. (2023)]

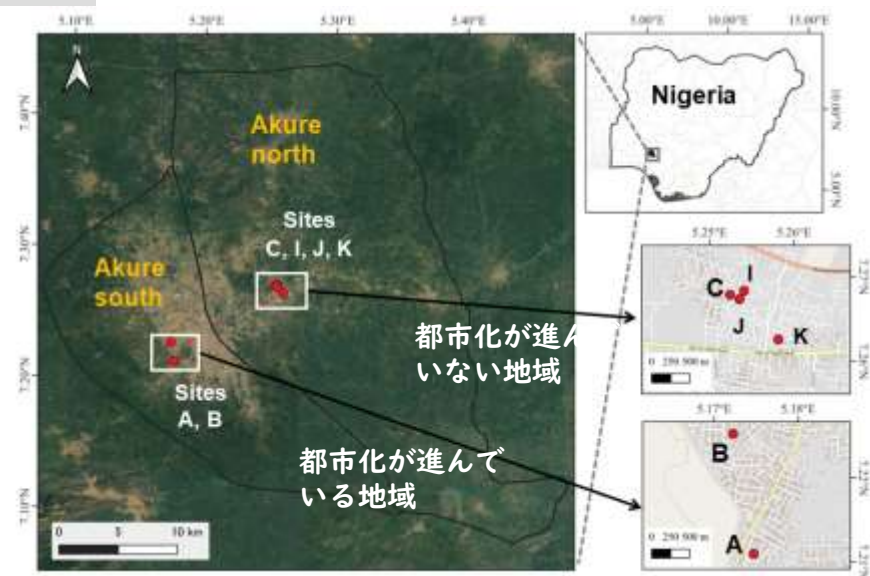
- 多地点連続観測により、PM<sub>2.5</sub>の発生や輸送に関する情報が得られる
- モデル計算との比較により、排出量に関する情報が得られる



# ナイジェリアの地方都市アクレでの観測研究

科研費・国際B(代表：中山)「ナイジェリアおよびガーナにおける大気汚染の動態および影響の解明」の一環

## 6軒の屋外/調理場/リビングでの連続観測



[Saetae et al. *Atmosphere* (2024)]

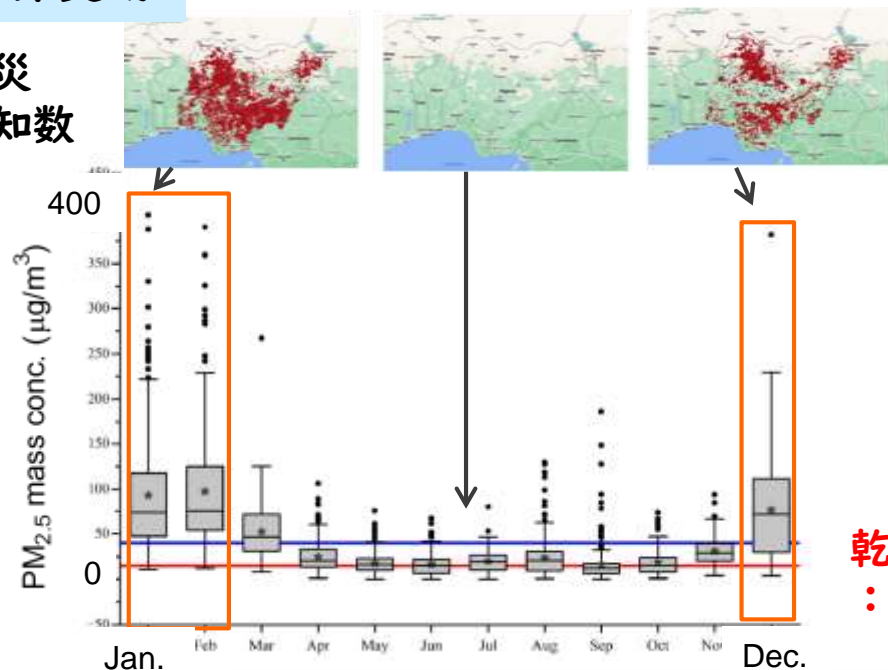


[Saetae et al. *Atmosphere* (2025)]

# 屋外のPM<sub>2.5</sub>濃度の変動

## 季節変動

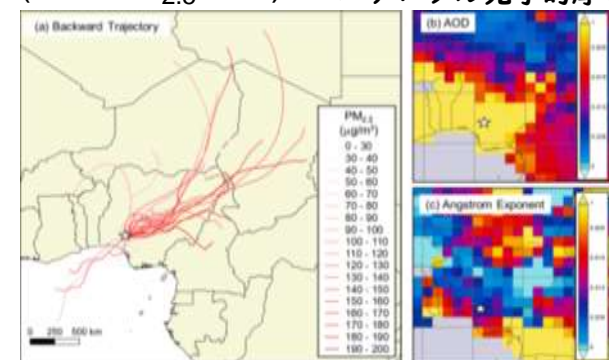
火災  
検知数



乾季

後方流跡線解析  
(色はPM<sub>2.5</sub>濃度)

エアロゾル光学的厚さ

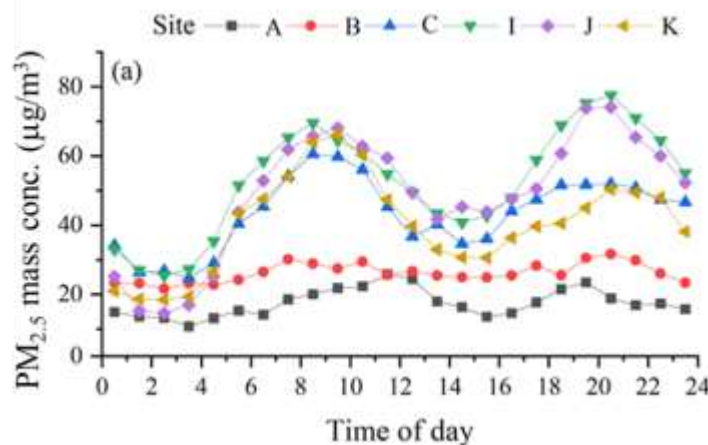


オングストローム指数

[Abulude et al. *Discov. Atmos.* (2024)  
を一部改変]

乾季に高濃度  
：焼き畑農業などによるバイオマス燃焼、  
サハラからの砂塵飛来など

## 日内変動

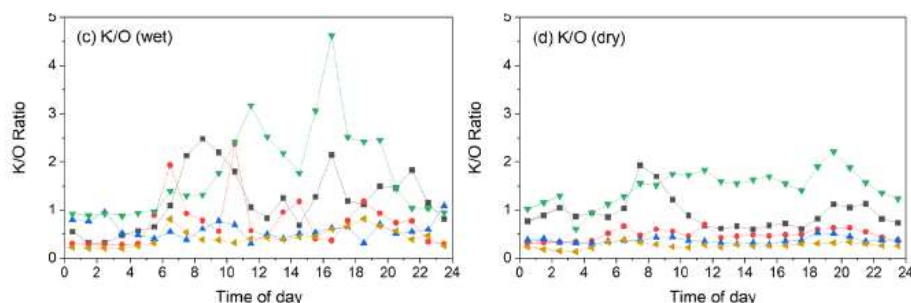


都市化が進んでいない地区(C, I, J, K)  
では、朝・夕にローカルな発生源が  
寄与(道路ダストの飛散や調理、廃物  
燃焼などが考えられる)

[Saetae et al. *Atmosphere* (2024)  
を一部改変]

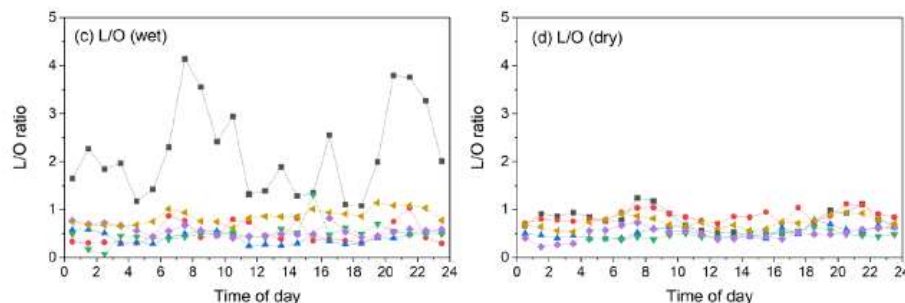
# 屋内のPM<sub>2.5</sub>濃度の変動と曝露リスク

## 調理場/屋外のPM<sub>2.5</sub>濃度比



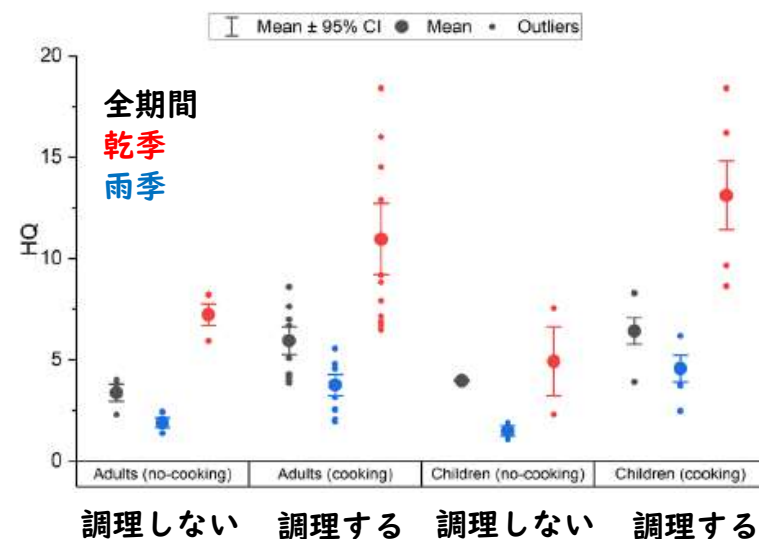
- ・ 調理（固形燃料の使用）によるPM<sub>2.5</sub>放出
- ・ サイト間の違いが大きい

## リビング/屋外のPM<sub>2.5</sub>濃度比



- ・ 屋外や調理場からのPM<sub>2.5</sub>の流入が主に寄与
- ・ サイト間の違いが小さい

## 観測を実施した家庭の住民 (32名)のPM<sub>2.5</sub>曝露リスク



料理を行っている住民の方が、  
リスクが高い

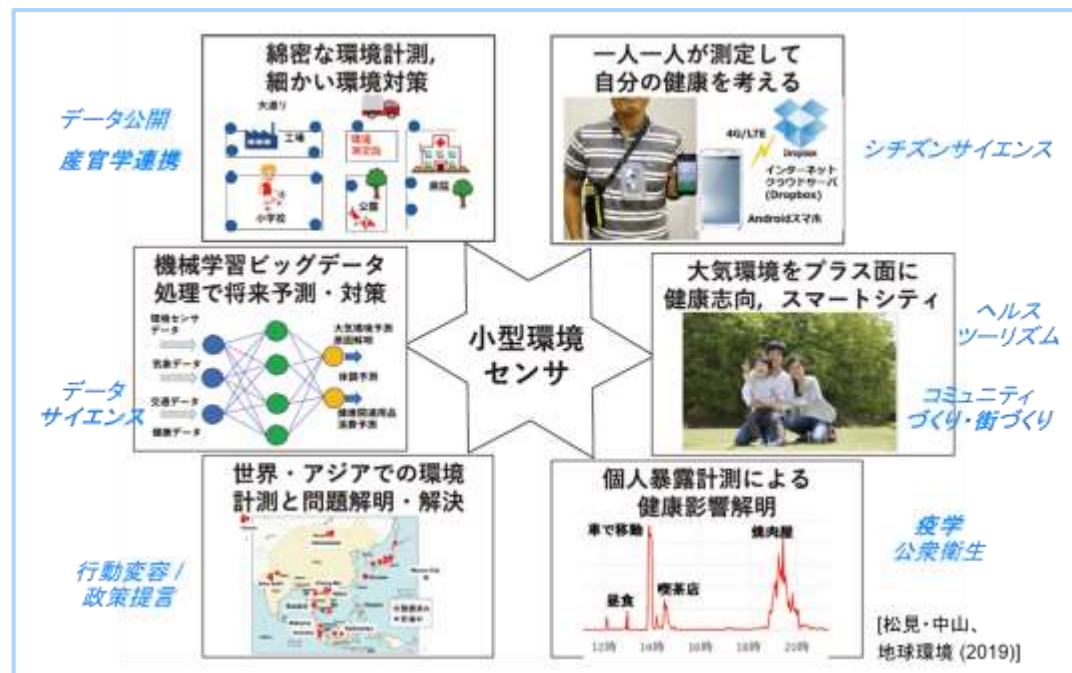
[Saetae et al. *Atmosphere* (2025)  
を一部改変]

# まとめ

## LCSによる大気環境測定

**多地点観測・モバイル測定・途上国での活用・市民参加型計測など**  
 → 環境分野における新しいサイエンスの展開に加えて、  
 疫学などの他分野や市民生活への貢献が期待されている

各センサの原理と利点・課題を理解して、校正・性能評価・補正を適切に行い、必要な精度や確度を確保した上で活用することが重要



ご質問などがございましたら、  
 お気軽にメール頂ければ幸いです

t-nakayama(アット)nagasaki-u.ac.jp