

# 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  
—データで切り拓く環境研究の未来—



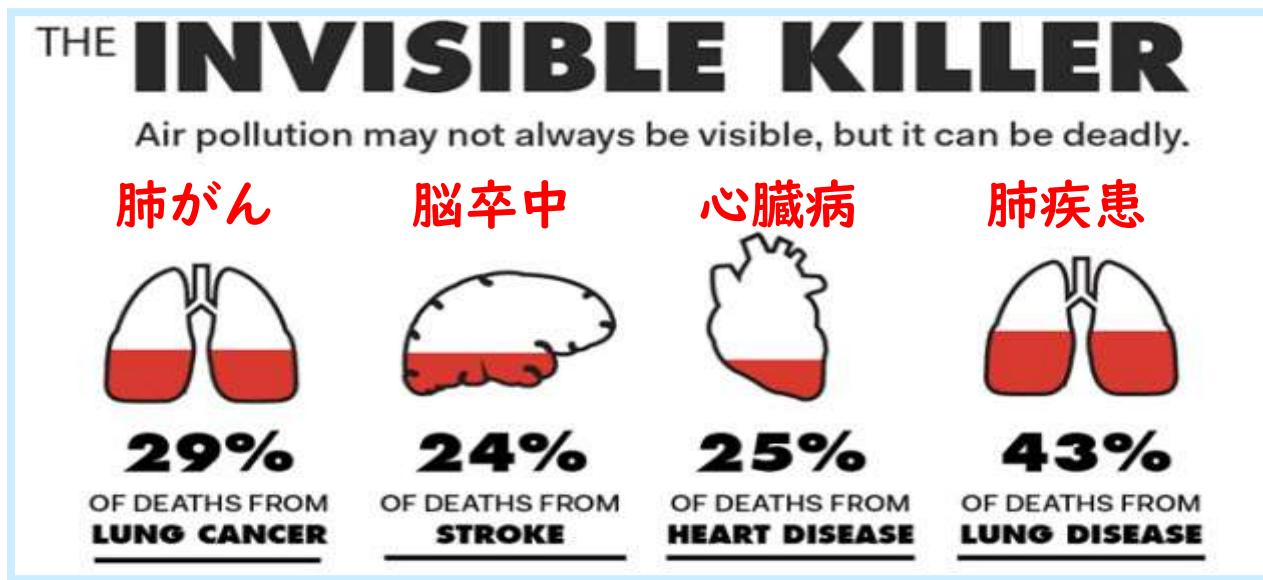
長崎大学 環境科学部/大学院総合生産科学研究科

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



年間の早期死者数：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

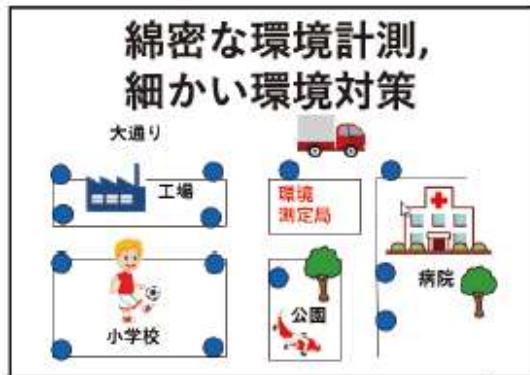
- ・様々な環境下における大気汚染物質の動態把握と影響評価が必要
- ・しかし、手動での秤量や大型の自動測定器は、「過酷な環境」、「多地点観測」、「モバイル計測」には向かない

# 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

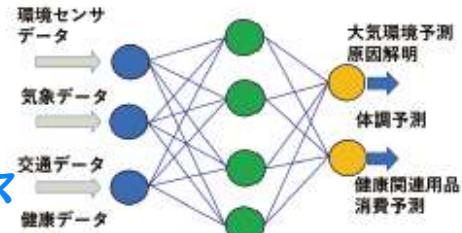
データ  
サイエンス

行動変容 /  
政策提言



シチズンサイエンス

機械学習ビッグデータ  
処理で将来予測・対策



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



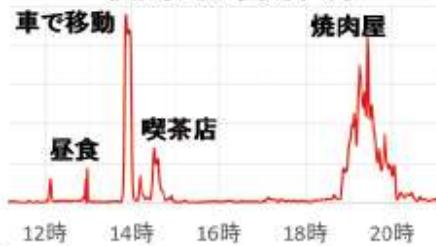
ヘルス  
ツーリズム

コミュニティ  
・街づくり

世界・アジアでの環境  
計測と問題解明・解決



個人暴露計測による  
健康影響解明

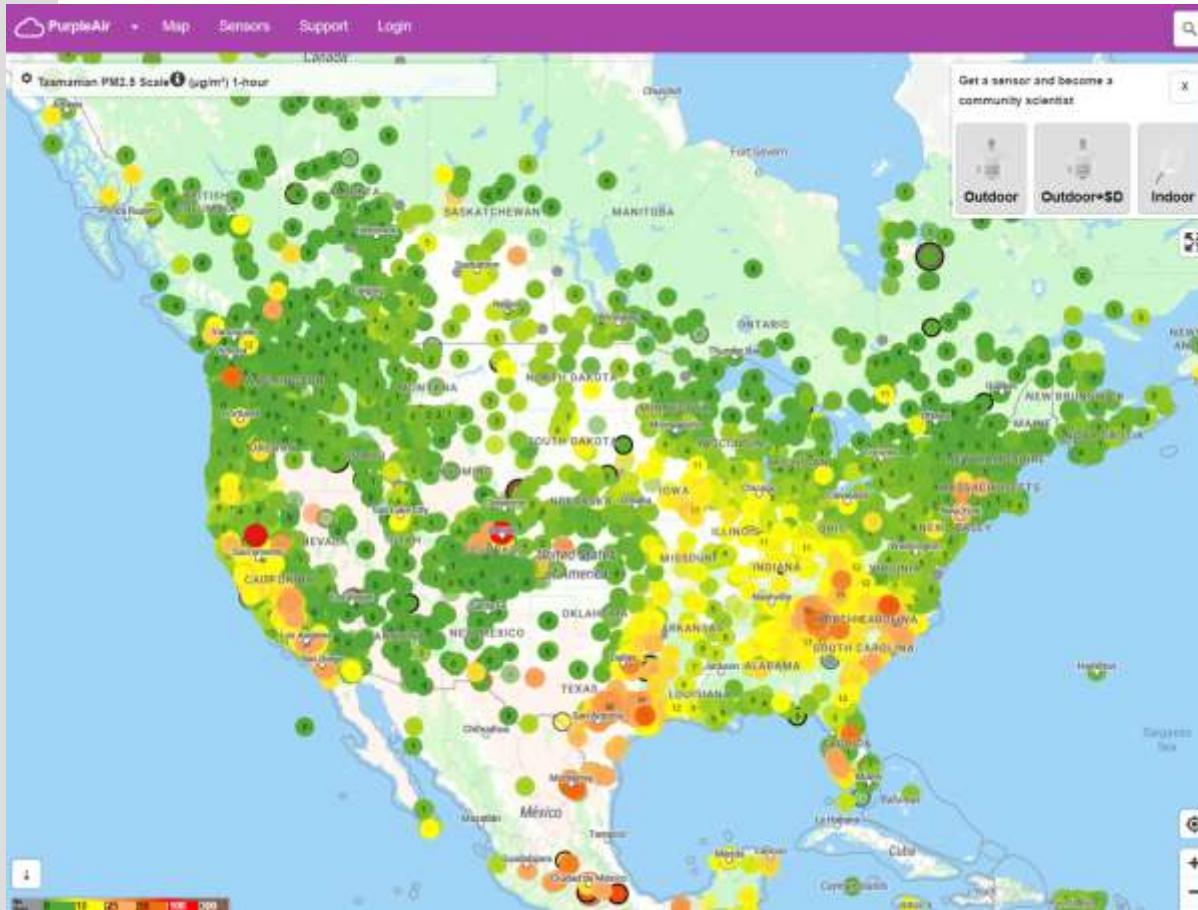


疫学  
公衆衛生

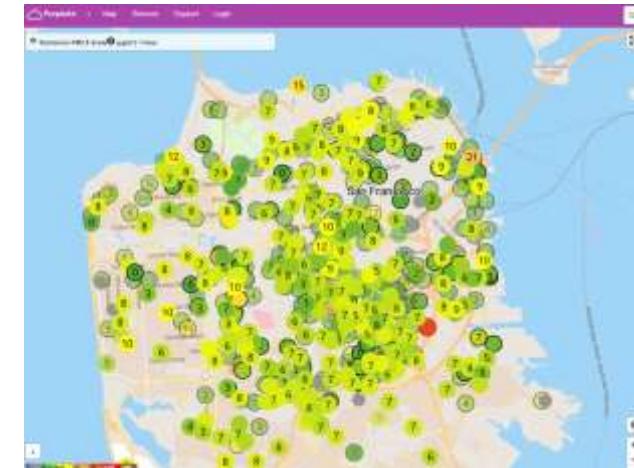
[松見・中山、  
地球環境 (2019)  
を一部改変]

# 市民参加型LCSネットワークの例

## PurpleAir Network ( $\text{PM}_{2.5}$ )



San Francisco



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

← 10 km →

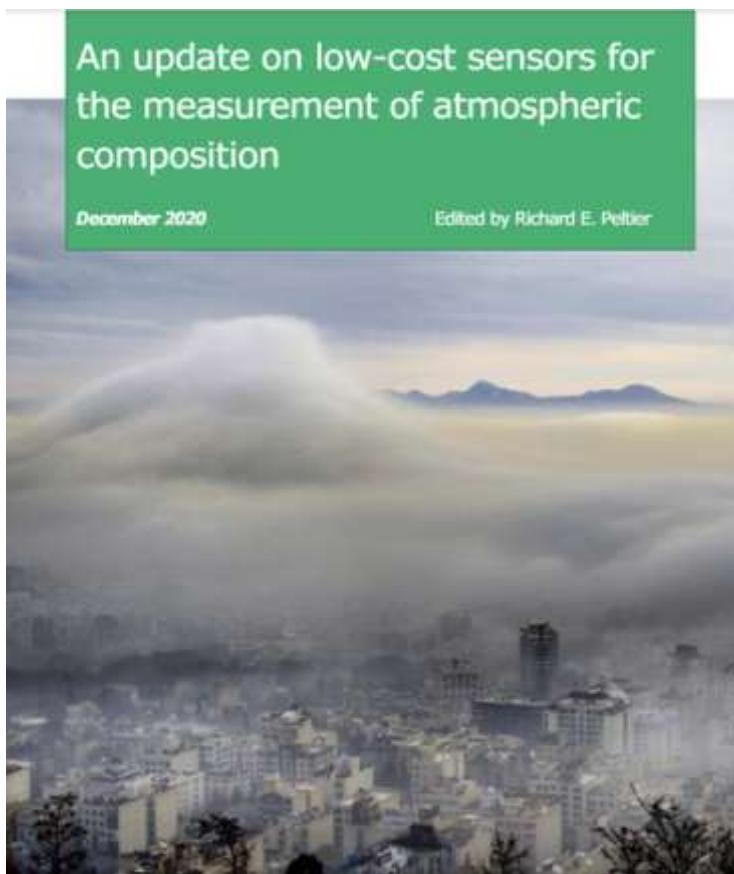
# 国際的な取り組み

## 世界気象機関(WMO)の報告書 (2018, 2021)

An update on low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition

December 2020

Edited by Richard E. Peltier



## 地球大気化学国際共同研究計画 (IGAC)のグループ

<https://igac.net/>

Allin-Wayra: Small sensors for atmospheric science

REGISTER NOW for the Community Scoping Workshop

We will host a Community Scoping Workshop on March 26, 2024 (8:30-11:00 UTC or 14:30-17:00 UTC) where we would love your input. Participants will provide your input on what Allin-Wayra should focus in the coming years and remark with colleagues and working with us to improve its small sensors. The workshop will be carried out fully to facilitate participation in different time zones.

Register here: <https://www.eventbrite.com/e/allin-wayra> Please register for March 16.

What is Allin-Wayra?

Allin-Wayra, which can be interpreted as "good air" or "levels of change" in Quechua (Peruvians or "peoples language") a pre-colonial South American native tongue, is the new IGAC-Activity on small sensors.

Motivation (Why do we want to do it?)

After consulting with small sensor users in the atmospheric science community, it has become clear that there are many researchers and research groups using small sensors. We would like to connect the dots with some of the current activities on small sensors and more deeply engage researchers in atmospheric science.

## 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

EANET Training on Air Quality Monitoring Systems Using Low-Cost Sensors

Hybrid format: In-person in Hanoi, Vietnam  
Online on Zoom

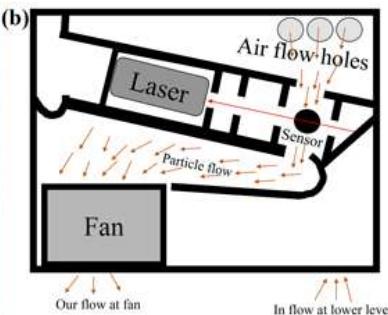
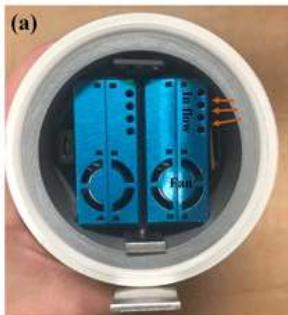
6, 7 September 2023 | 13:30-17:00 (Vietnam Time: UTC +7)

# PMセンサー

## 光学式センサ：粒子からの散乱光を検出

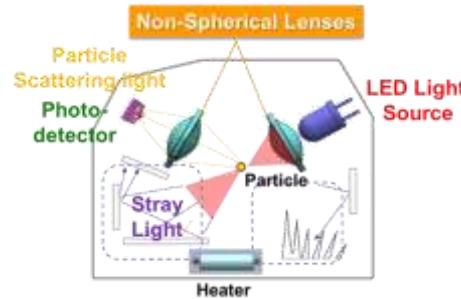
- 1) ネフェロメータ方式：多数の粒子からの散乱光をまとめて測定
- 2) OPC方式：個々の粒子の散乱光を測定  
→粒径分布が変化する場合、OPC方式が有利

PMS5003 (Plantower) in PurpleAir



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

Our (Panasonic-Nagoya U.) sensor



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

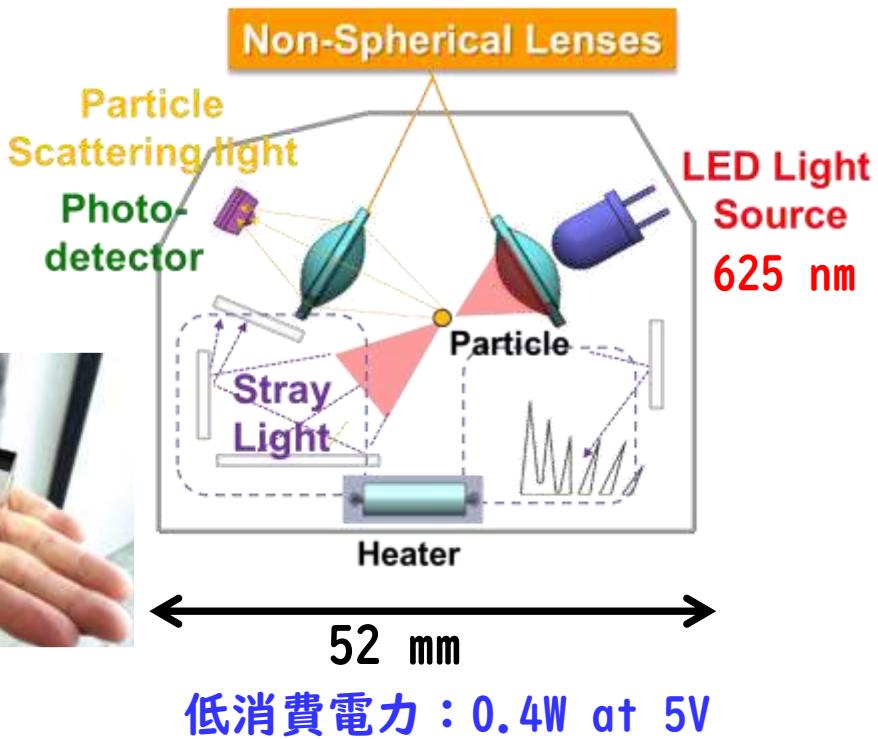
センサによって、

「光源」，「幾何構造（散乱角度）」，「流量，流路形状」

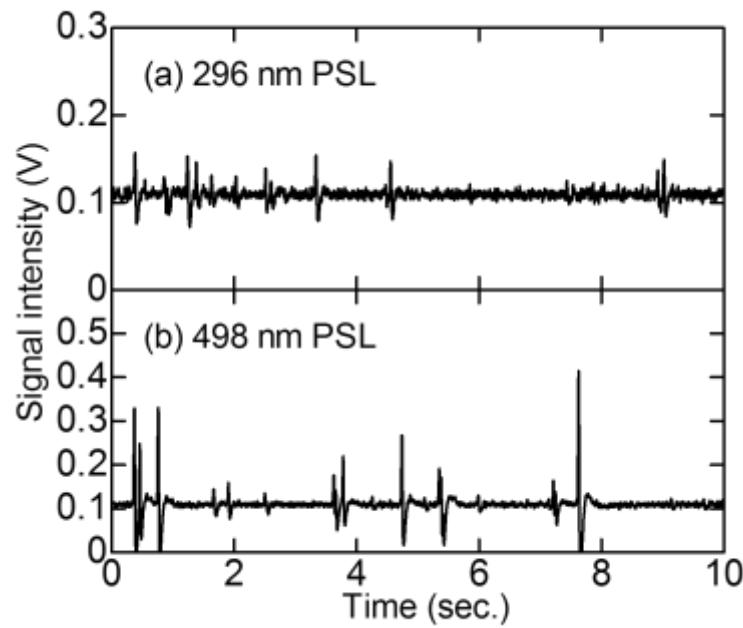
「散乱信号から重量濃度を導出するアルゴリズム」などが異なる

# 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

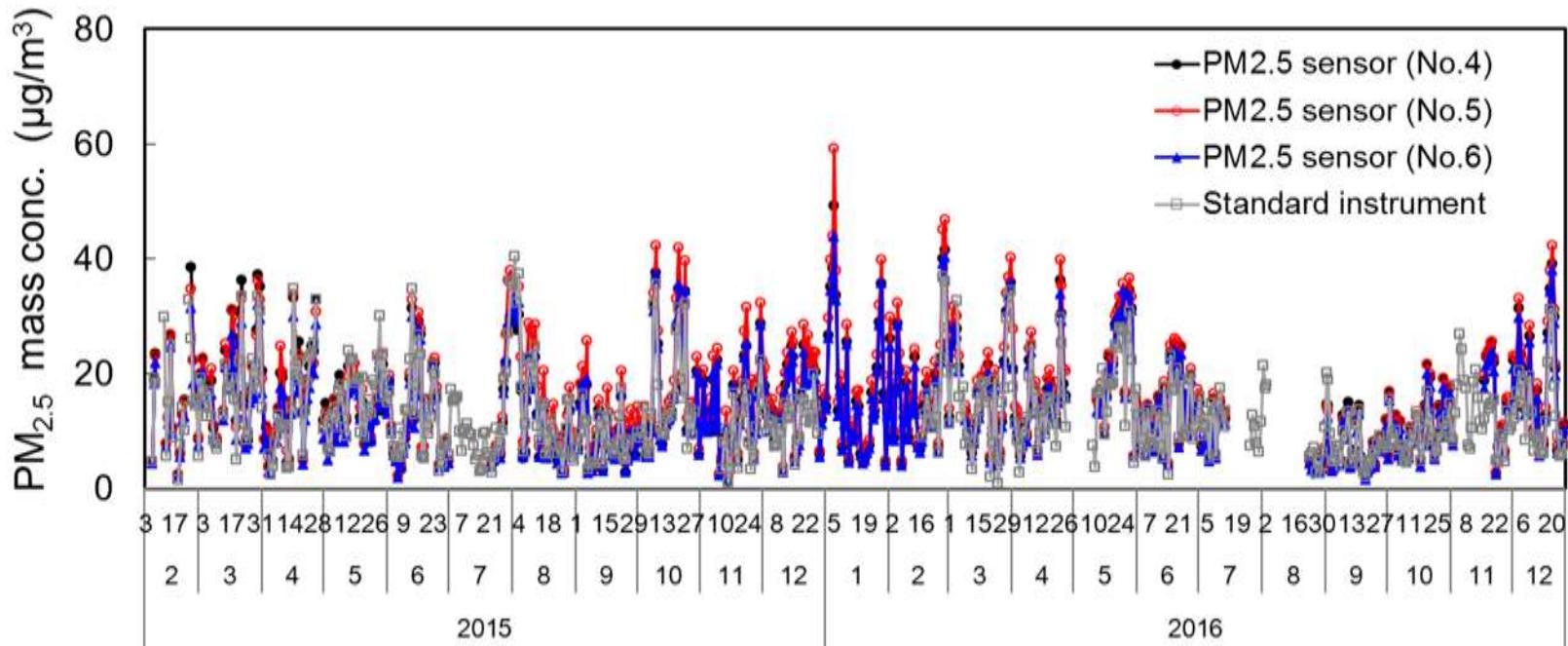


[Nakayama, Matsumi et al. AST(2018)]

- 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

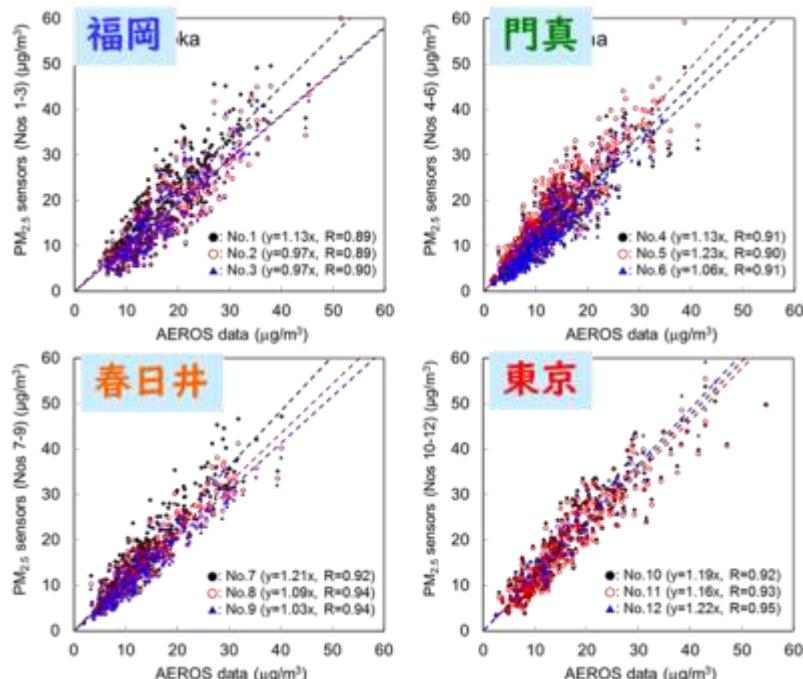
## I 日平均値@門真(大阪府)



[Nakayama et al. AST(2018)]

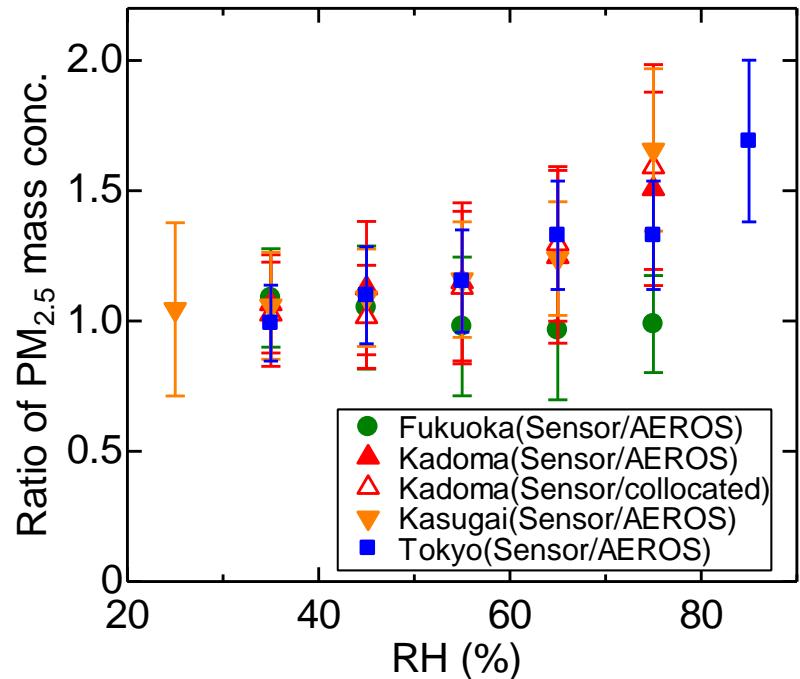
メンテナンスなしでも、約2年間にわたり、概ね一致した濃度変動

# 常時監視局(AEROS)データとの比較



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

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



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

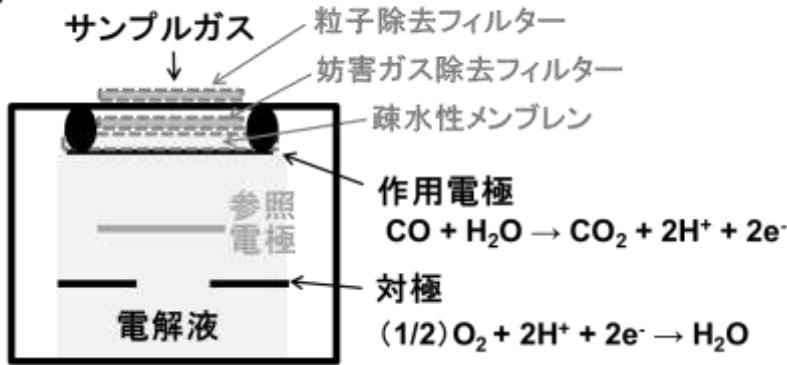
相対湿度が高い環境下では、  
粒子中の水分の影響により、  
過大評価傾向

# 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

### (a) ECセンサー

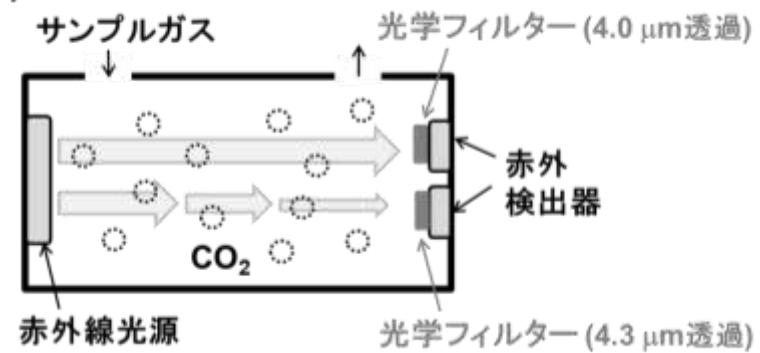


[中山・松見, ぶんせき (2022)]

## 非分散型赤外吸収(NDIR)センサ

主に CO<sub>2</sub>

### (b) NDIRセンサー



[中山・松見, ぶんせき (2022)]

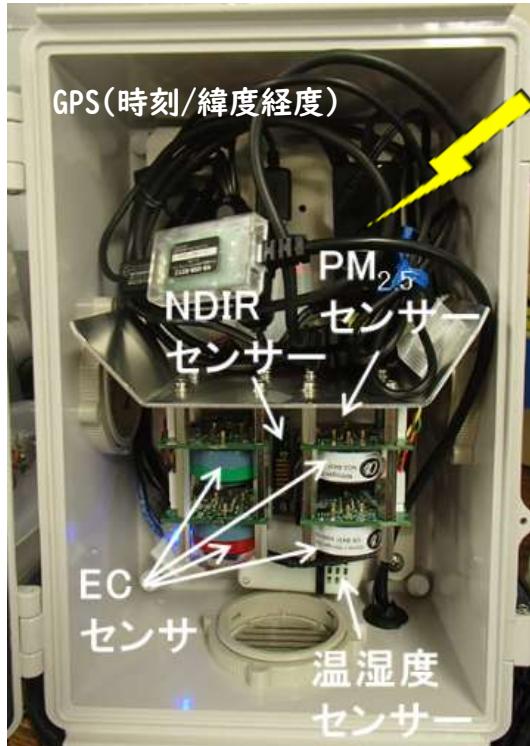
- 酸化還元反応により電流が生じることを利用して、対象ガスを検出

- 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

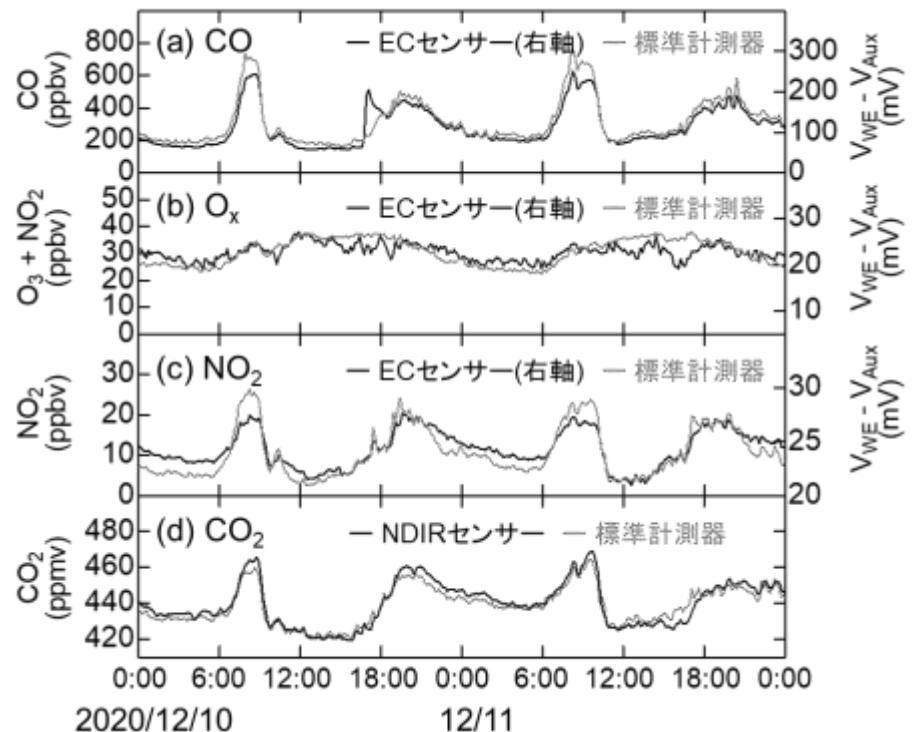
# PM<sub>2.5</sub>および微量気体の小型計測器 (CUPI-G)

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



[中山・松見, ぶんせき (2022)  
を一部改変]

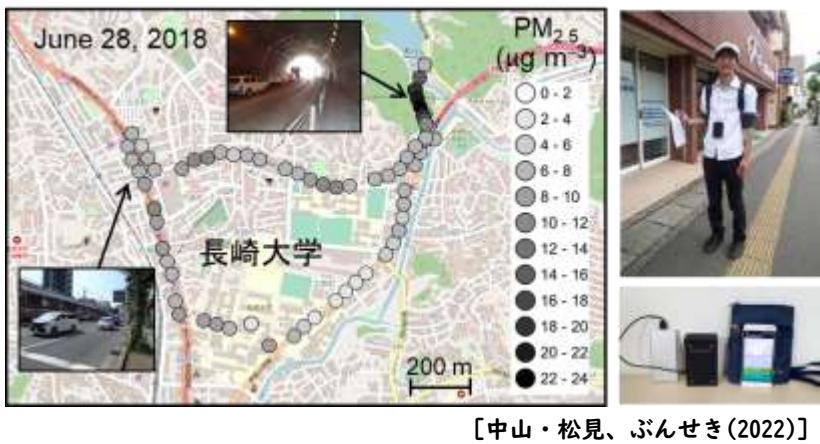
## 長崎大学での 標準計測器との比較



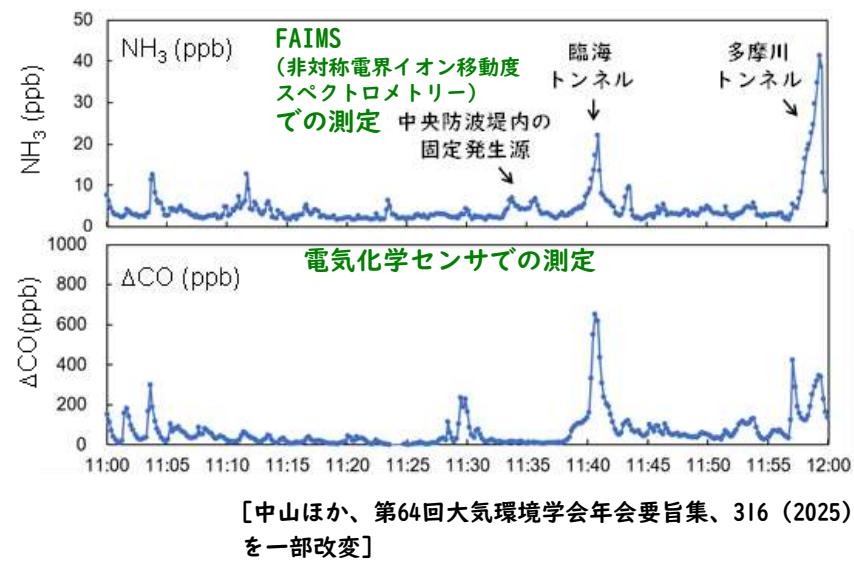
[中山・松見, ぶんせき (2022)]

# PM<sub>2.5</sub>および微量ガスのモバイル計測

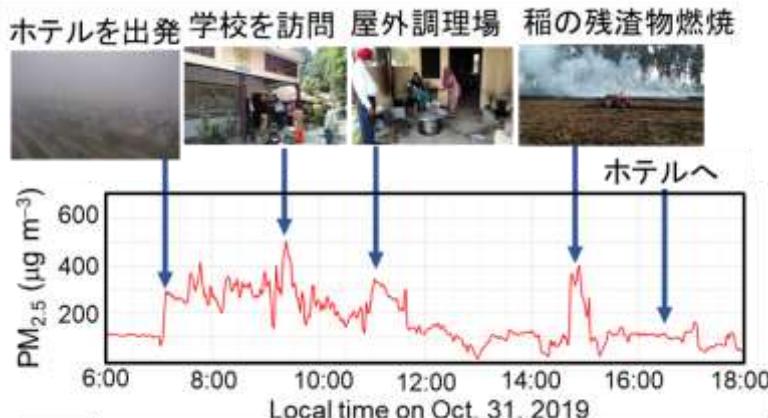
## 長崎大学周辺でのPM<sub>2.5</sub>測定



## 東京湾岸での車載移動測定



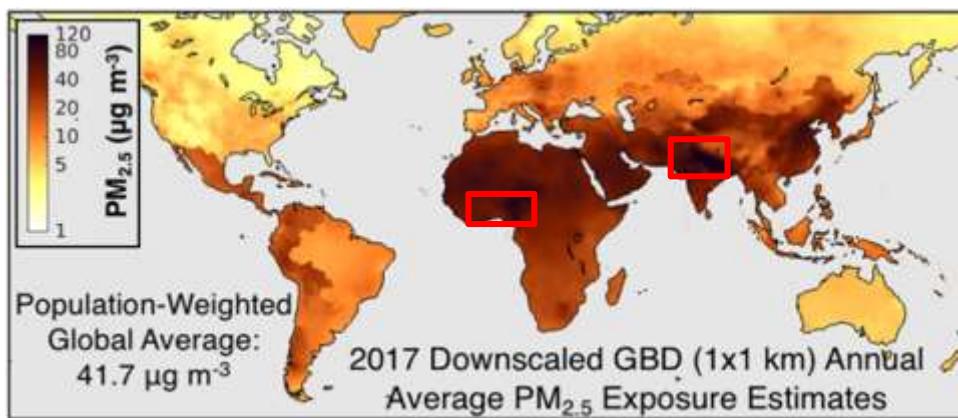
## インド・パンジャブ州でのPM<sub>2.5</sub>測定



「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

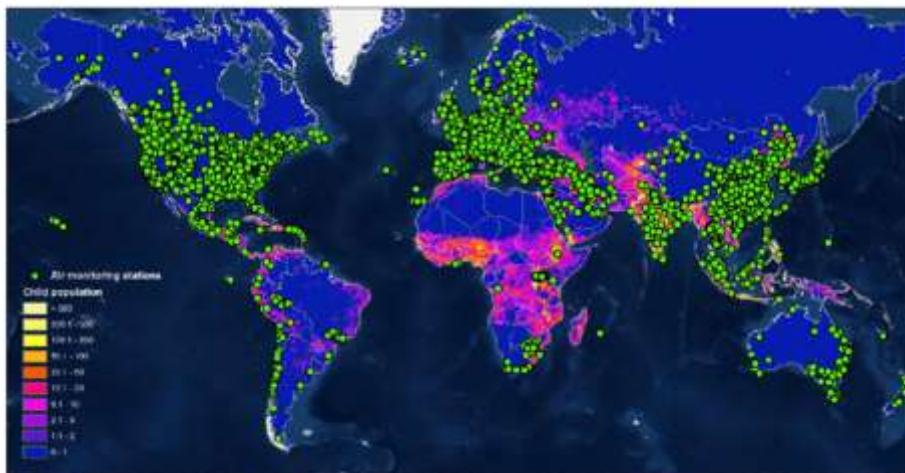
## 〈推定平均曝露濃度〉



特にインド北部や  
西アフリカ諸国の  
 $PM_{2.5}$ 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

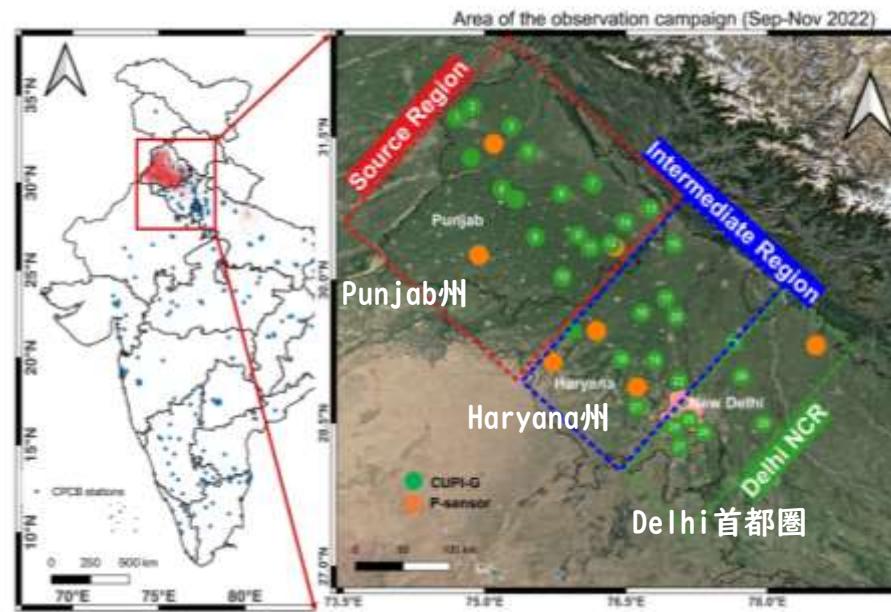
LCSを用いたPM<sub>2.5</sub>および微量ガスのネットワーク観測(30地点程度, 2022~2025年)



Photo by S. Hayashida  
(地球研WEBサイト)



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

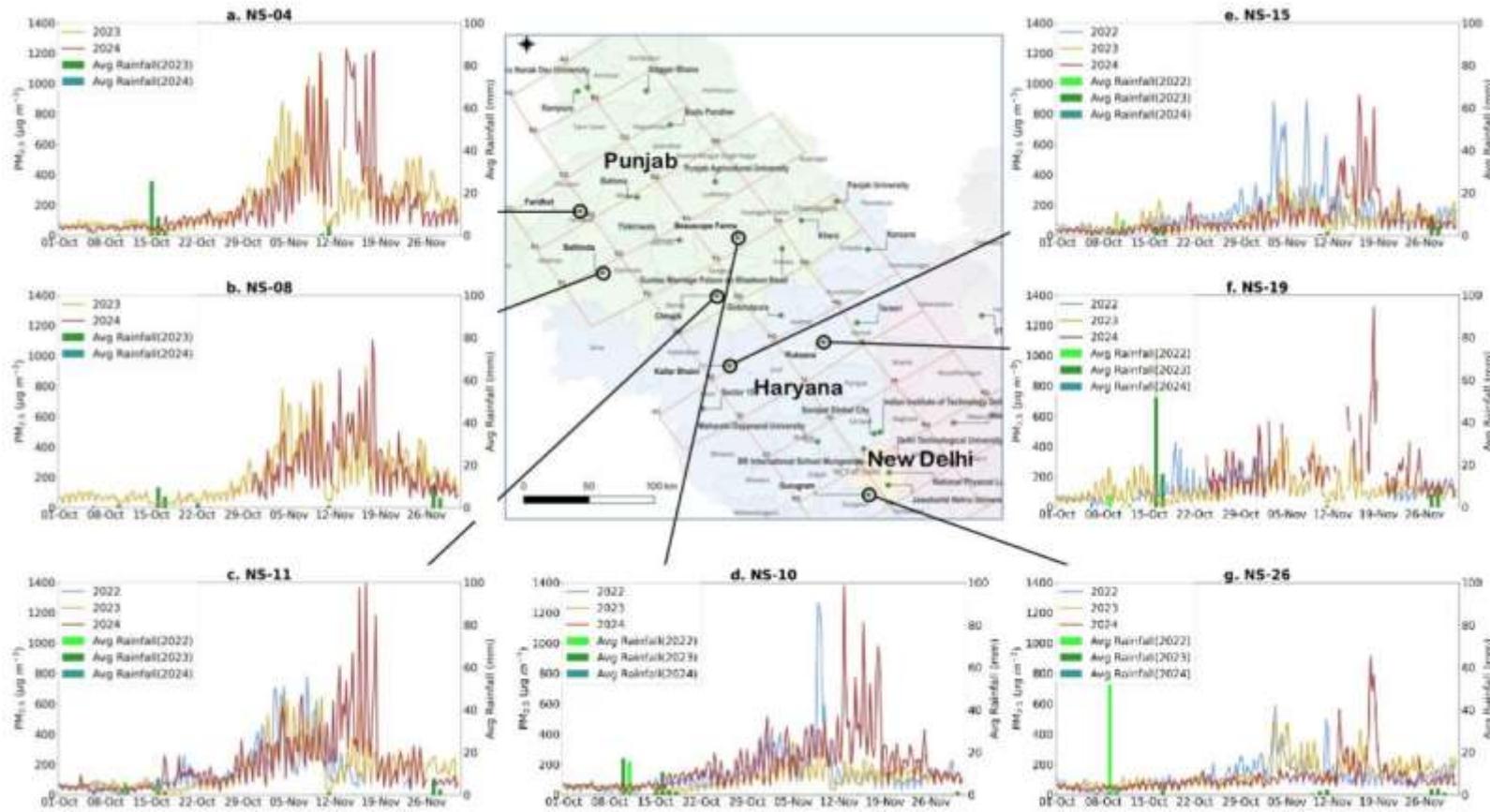


[Singh et al. Sci. Rep. (2023) を一部改変]



Photo by P. Patra  
(地球研WEBサイト)

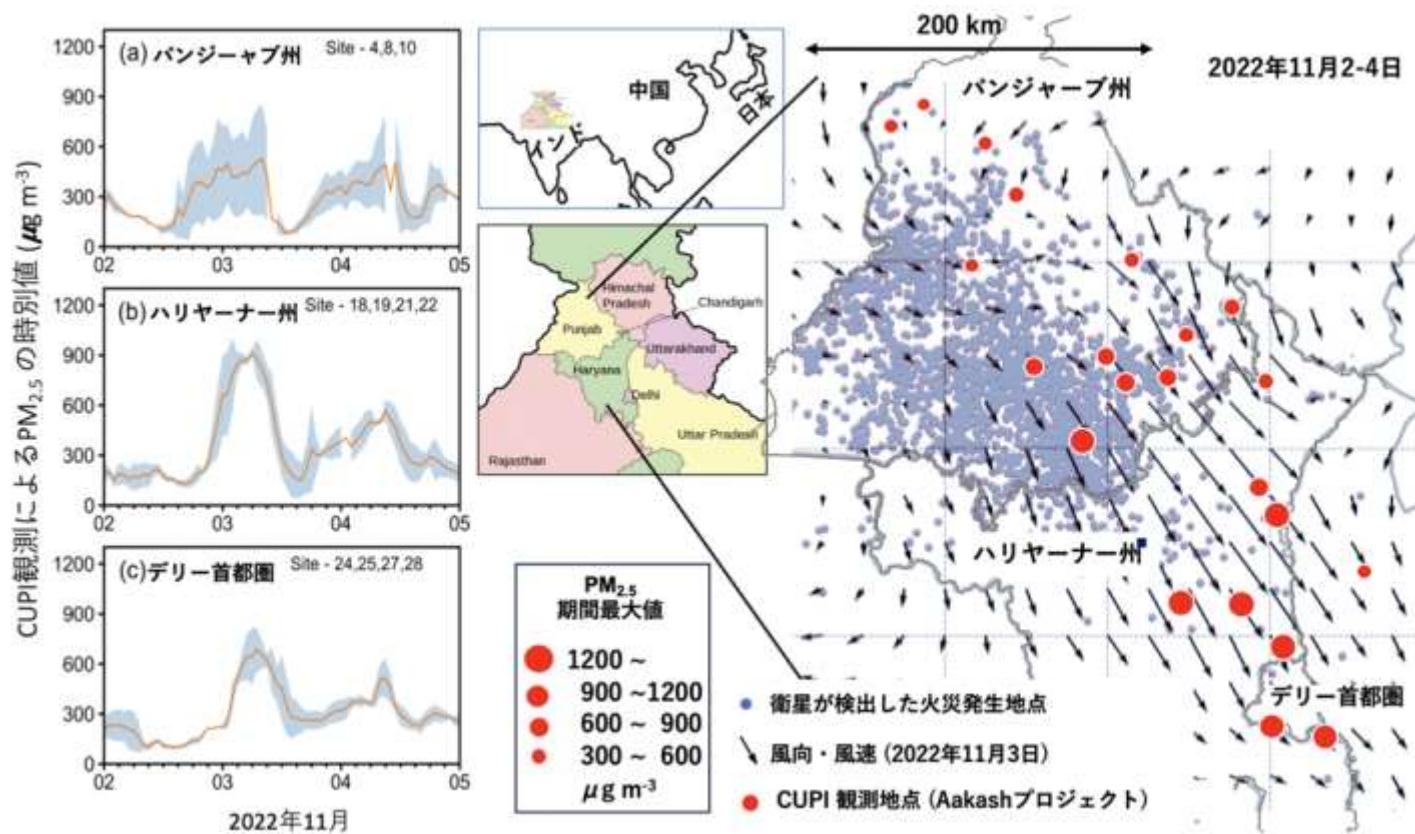
# 2022~2024年の10~11月のPM<sub>2.5</sub>濃度変動



[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



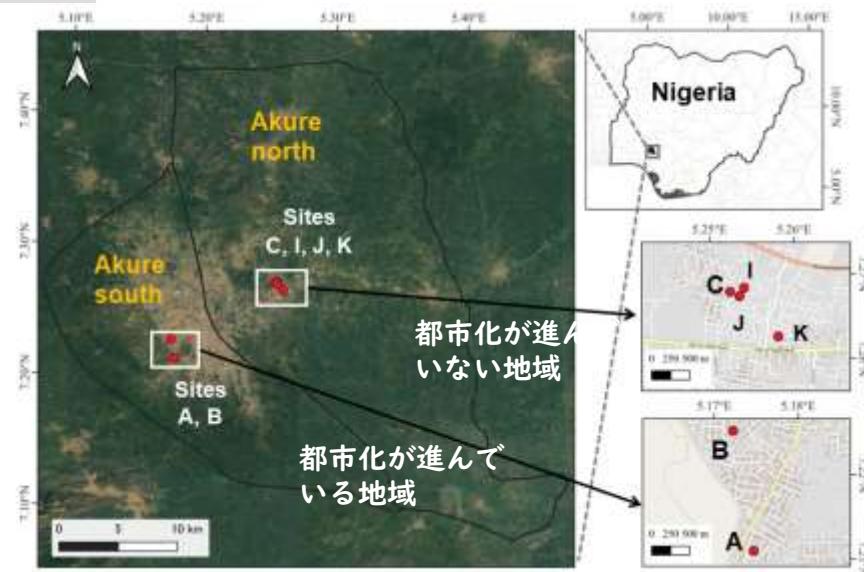
[RIHNほか、プレスリリース(2023),  
Singh et al. Sci. Rep. (2023)]

- ・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)]

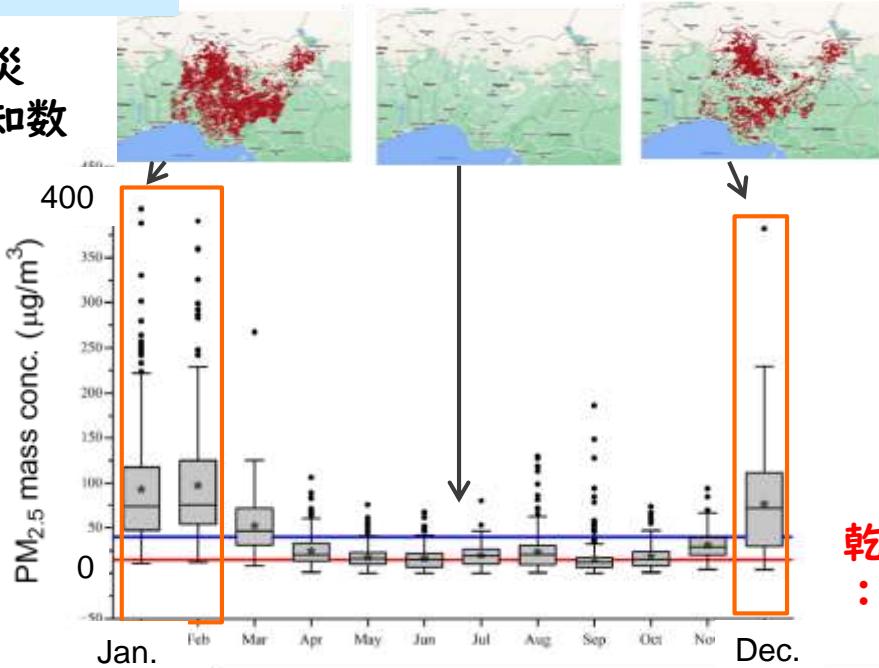


[Saetae et al. *Atmosphere* (2025)]

# 屋外のPM<sub>2.5</sub>濃度の変動

## 季節変動

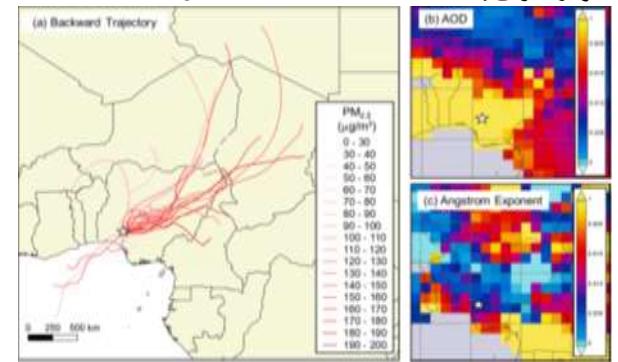
火災  
検知数



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

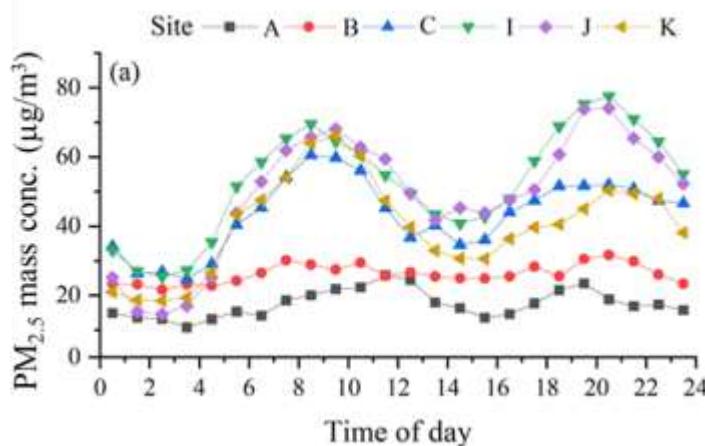


オングストローム指数

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

乾季に高濃度  
: 焚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

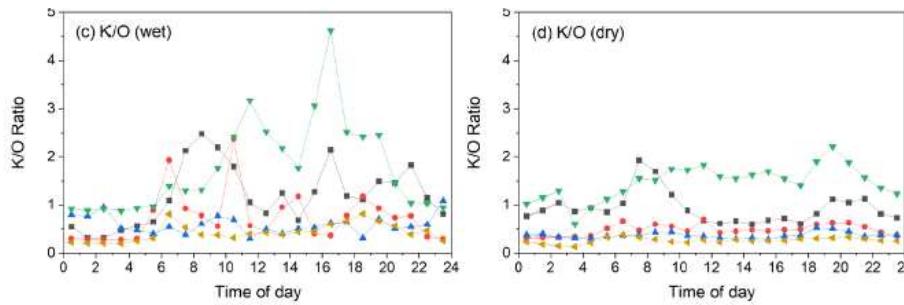


都市化が進んでいない地区(C, I, J, K)  
では、朝・夕にローカルな発生源が  
寄与(道路ダストの飛散や調理、廃物  
燃焼などが考えられる)

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

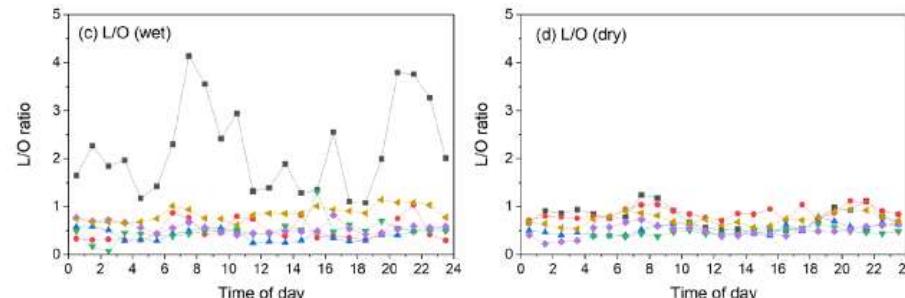
# 屋内のPM<sub>2.5</sub>濃度の変動と曝露リスク

## 調理場/屋外のPM<sub>2.5</sub>濃度比



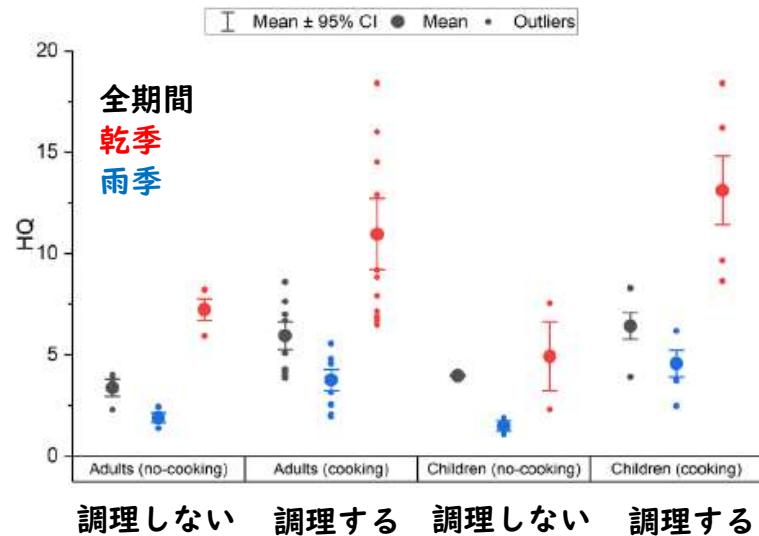
- ・調理（固体燃料の使用）によるPM<sub>2.5</sub>放出
- ・サイト間の違いが大きい

## 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

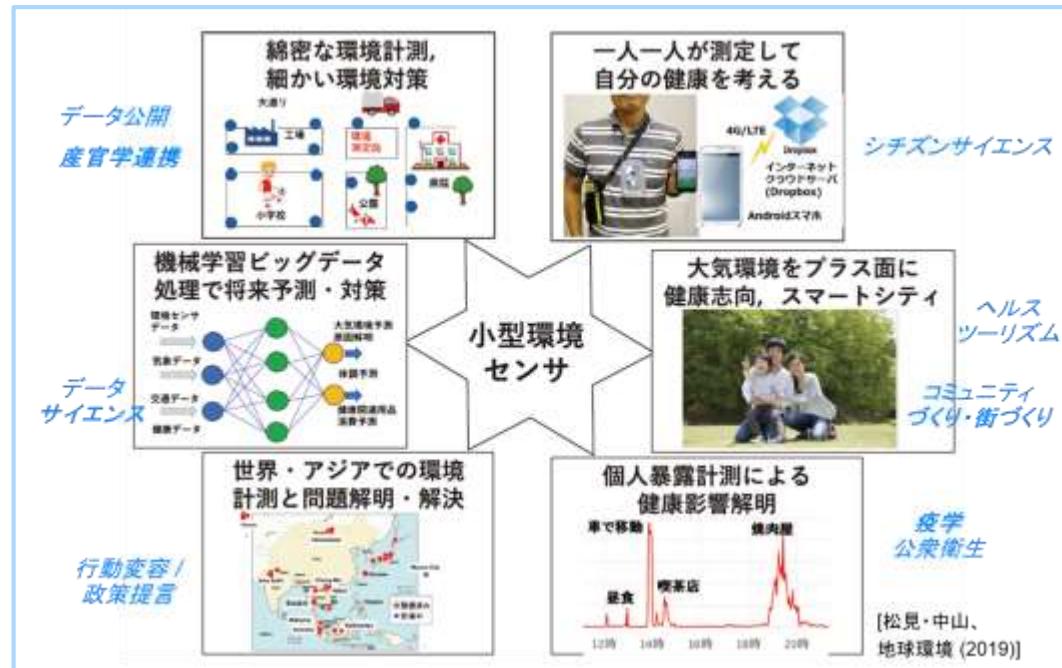
[Saetae et al. *Atmosphere* (2025)  
を一部改変]

# 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