

令和3～5年度 環境研究総合推進費

課題番号：5-2103

体系的番号：JPMEERF20215003

# 『大気中マイクロプラスチックの実態解明 と健康影響評価』

【重点課題⑯】

大気・水・土壌等の環境管理・改善のための対策技術の高度化及び  
評価・解明に関する研究

【行政要請研究テーマ(行政ニーズ)】

(5-8)大気中に存在するマイクロプラスチックの呼吸器系への曝露  
による人健康影響に係る研究

研究代表者：大河内 博(早稲田大学)

サブテーマ1：大河内博(早稲田大学)

サブテーマ2：梶野瑞王(気象研究所)

サブテーマ3：石原康宏(広島大学)



# 研究開発目的

## 大気中マイクロプラスチック(AMPs)

### (1) 迅速分析法確立と実態解明

空気動力学径分布, 個数濃度, 素材, 添加物・吸着物

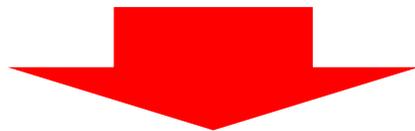
### (2) 環境動態モデルの構築

領域収支(発生・輸送・沈着), 気道沈着率, 雲形成能

### (3) 呼吸器系健康影響の解明

細胞試験, 動物試験

世界に先駆けて, 産官学連携基盤を構築



行政課題への貢献: 国内発生源対策, 地球規模汚染防止,  
健康リスク低減

# 研究目標（申請書抜粋）

全体目標	産学連携で AMPs 分析法を確立し、国内外における大気圏動態を野外観測と数値計算の両面から明らかにし、起源推定を行う。さらに、AMPs の健康影響リスクとして呼吸器系に焦点を当て、炎症惹起作用および気管支喘息に対する影響を毒性学的見地から評価する。3 年間で国内学会 50 回、国際学会 20 回、査読付き論文 10 報をアウトプットし、ホームページで情報公開する。
サブテーマ 1	大気中マイクロプラスチックの分析法確立と実態解明
実施機関	早稲田大学、徳島大学、東洋大学、大阪公立大学
目標	1 試料あたり 2 日以内の AMPs 迅速前処理法、 $\mu$ FTIR による 24 時間以内の全面積 AMPs 自動計測法を確立する。国内 12 箇所（都市：札幌、新宿、名古屋、大阪、広島、徳島、北九州、森林：福島、生田、富士山麓、遠隔：利尻、能登）で大気濃度と大気沈着の観測ネットワークを構築する。富士山頂、太平洋上、北極、南極、東南アジアの AMPs を分析して地球規模汚染の実態を解明する。AMPs 添加物・吸着物の同定を行う。

# 研究目標（申請書抜粋）

サブテーマ 2	大気中マイクロプラスチックの環境動態モデリング
実施機関	気象研究所
目標	まず発生源が明らかになっている自動車タイヤ摩耗粉塵と繊維状マイクロプラスチックの領域収支を評価する。そして、サブテーマ 1 の観測成果に基づいて、各種 AMPs の素過程モデルを NHM-Chem に実装し、大気濃度観測を用いてそれらの発生インベントリを構築する。NHM-Chem により各種 AMPs の領域収支（発生、輸送、沈着量）を明らかにする。さらに AMPs の形状・材質が大気動態や雲・降水変化に及ぼす影響評価を行い、領域収支のさらなる高精度化を図る。

サブテーマ 3	大気中マイクロプラスチックの呼吸器影響の解明
実施機関	広島大学
目標	モデルプラスチック微粒子と劣化プラスチック微粒子を肺上皮細胞、マクロファージに曝露し、マイクロプラスチックの上皮バリア、免疫に及ぼす影響を明らかにする。モデルプラスチック微粒子と実プラスチック微粒子をマウスに曝露し、呼吸器影響を調べる。呼吸器に炎症が生じ、或いは気道抵抗が上昇した場合、微粒子の用量依存性を調べて無毒性量を決定する。

# 研究計画（申請書抜粋）

課 題	令和3年		令和4年		令和5年	
	前期	後期	前期	後期	前期	後期
<b>サブ1：分析法確立と実態解明</b>	前処理法・定量法確立	分析 (μFTIR)	添加物・吸着物分析	ANPs分析検討		
1.1 標準分析法の確立	準備・調整	6箇所開始	12箇所開始			
1.2 国内観測網の構築・実態解明	準備・調整	観測	分析			
1.3 地球規模汚染の実態解明						
1.4 分級装置開発	打ち合わせ	試作機製作	装置完成・実粒子捕集			
<b>サブ2：環境動態モデル</b>						
2.1 大気輸送の第一推定		モデル改良		再現実験	結果の解析	
2.2 AMPsの寄与推定		モデル改良		再現実験	結果の解析	
2.3 氷晶核・降水相互作用インパクト		モデル改良		再現実験	結果の解析	
2.4 AMPs肺沈着モデル		モデル改良		再現実験	結果の解析	
<b>サブ3：健康影響評価</b>						
3.1 実験用粒子調整	モデル粒子調整					
3.2 細胞試験		モデル粒子		実粒子		
3.3 動物試験		モデル粒子		実粒子		

総合評価・総括

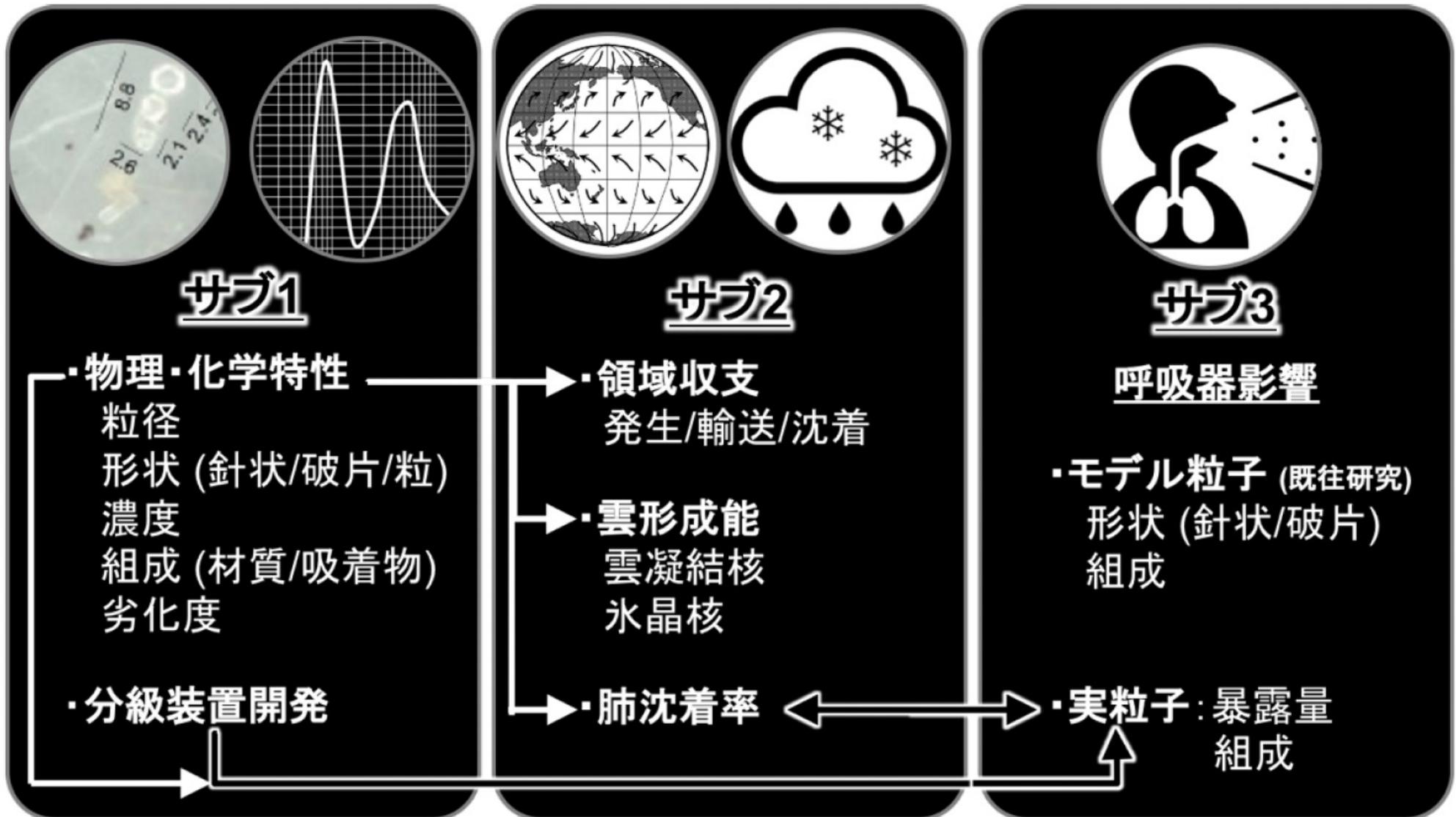
## サブテーマ2

- ・ 令和3年度：自動車タイヤ摩耗粉塵，繊維状MPsによる領域収支
- ・ 令和4年度：国内観測に基づいて発生源インベントリ構築，AMPs領域収支の高度化
- ・ 令和5年度：数値モデルによる長距離輸送評価，雲核形成，肺沈着モデル改良

## サブテーマ3

- ・ 令和3年度：PS粒子，自動車タイヤ摩耗粉塵，繊維状MPsによる細胞試験
- ・ 令和4年度：マウスを用いたモデルAMPsの喘息改悪評価，無毒性量の算出
- ・ 令和5年度：実大気粒子による細胞試験，動物試験により呼吸器影響評価

# サブテーマ間の連携



# 研究成果の発表状況

## 1. 査読付論文

目標：10報

実績：26報

## 2. 学会発表

目標：国内学会50回、国際学会20回

実績：国内学会90回、国際学会21回

## 3. 国民との対話実績

実績：17回

## 4. マスコミなどへの報道・発表

実績：193回

## 5. 受賞など

実績：9回



# 環境マイクロ&ナノプラスチック

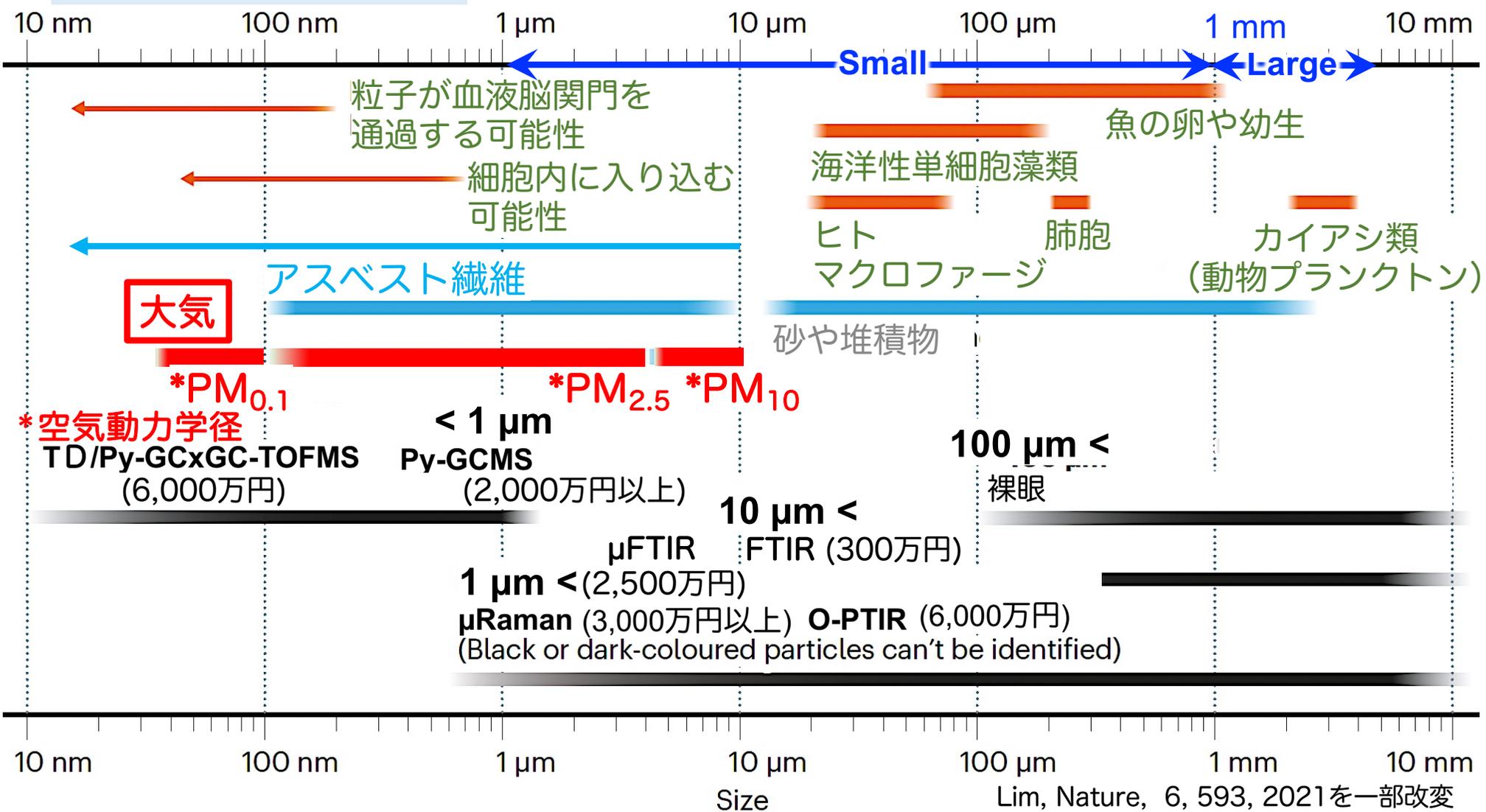
## Nanoplastics (NPs)

## Microplastics (MPs)

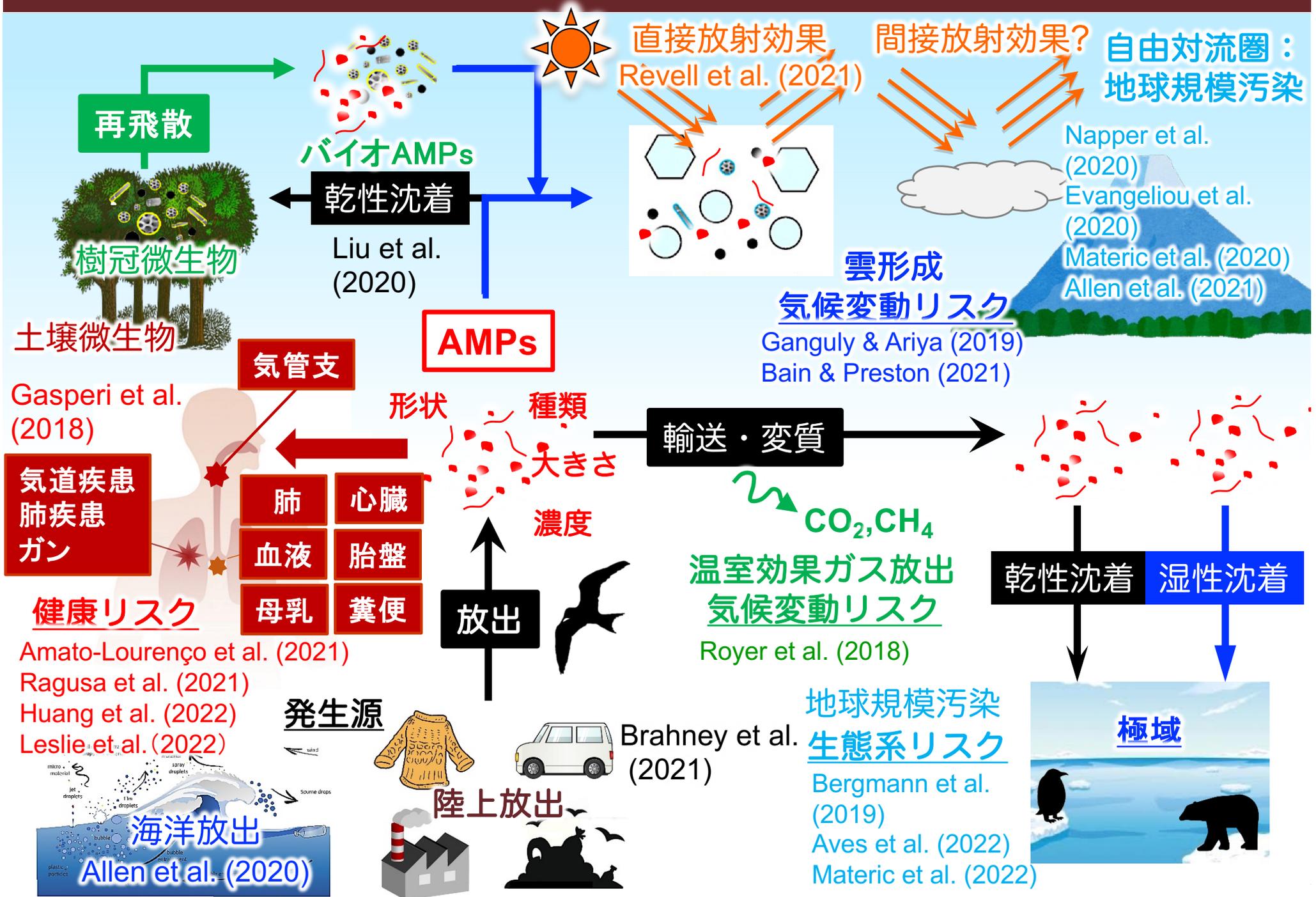
5 mmの意味：海洋生物の消化管における物理的な閉塞以外の影響を考慮

ニューストーンネットのメッシュ径

海洋



# 大気中マイクロプラスチックの環境・健康リスク





# AMPs : 大気エアロゾル中濃度



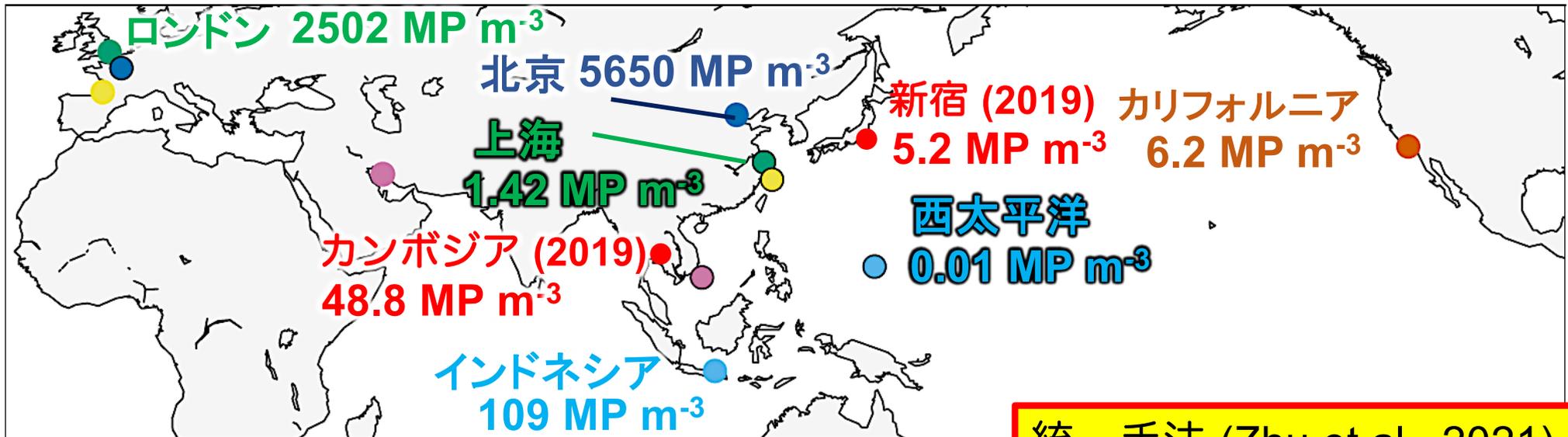
Waseda University

Okochi Lab.



濃度範囲 : 0.01 – 5650 MP m<sup>-3</sup>

Revell et al., *Nature* 598, 462, 2021



Location	Concentration (MP m <sup>-3</sup> )	Analytical method
● Beijing, China <sup>13</sup>	5,650	SEM-EDX
● London, United Kingdom <sup>12</sup>	2,502	Raman spectral imaging
● Surabaya, Indonesia <sup>20</sup>	109	FTIR
● Bushehr Port, Iran (dusty days) <sup>1</sup>	10.3	μRaman
● French Atlantic Coast (offshore wind) <sup>3</sup>	9.6	μRaman
● Southern California <sup>9</sup>	6.2	μRaman and μFTIR
● French Atlantic Coast (onshore wind) <sup>3</sup>	2.9	μRaman
● Bushehr Port, Iran (normal days) <sup>1</sup>	2.1	μRaman
● Shanghai, China <sup>14</sup>	1.42	μFTIR
● Paris, France <sup>8</sup>	0.9	μFTIR
● East China Sea <sup>15</sup>	0.13	μFTIR
● South China Sea and West Pacific Ocean <sup>17</sup>	0.11	μFTIR
● West Pacific Ocean <sup>15</sup>	0.01	μFTIR

統一手法 (Zhu et al., 2021)

中国北部(北京, 天津)

: 358 MP m<sup>-3</sup>

中国南部(南京, 上海, 杭州)

: 230 MP m<sup>-3</sup>

✓ 手法が不統一

✓ 6桁も異なる

✓ 空気動力学径 不明

# サブ1：明らかにになったこと

- AMPs分析手法を確立：**μFTIR ATR Imaging, Py-GCMS**
  - 標準マニュアル策定，**専門家チェック**による誤判別防止
  - ブランク低減，スクリーニング手法改良による**PET検出率向上**
  - 同定：**劣化度**を考慮した**AMPs専用ライブラリー構築**
  - 個数濃度：**定量精度向上**（全面積の数% → **約20%**）低濃度:100%
  - 実粒径の**計測精度向上**，**形状判別**の客観化 回収率は課題
- 国内外で大気環境観測網を構築：**実態解明**
  - 材質：32種同定 **PP, PE, PE/PP, PET**が主成分 地域差：大
  - 実粒径：**20~30 μm**が中心（最小径：**2.5 μm**） 地域差：無
  - 形状：**破片状**が主 地域差：無
  - 空気動力学径分布：健康リスクの高い**PM<sub>2.5</sub>**に存在
  - 熱帯（カンボジア/ベトナム/インドネシア）：**微小粒子**で高濃度
  - **自由対流圏**（PM<sub>2.5</sub>/積雪/雲）から初検出（成果3）
  - 北極圏エアロゾルから初検出
  - **鳥肺**から初検出（成果1） • **森林樹冠**がAMPs捕捉（成果6）
  - 起源：**海洋MPs**（海水・波の花）影響大. 夏：台風，冬：北西季節風

# サブ1：研究達成状況と環境政策への貢献

## 【サブテーマ1】大気中マイクロプラスチックの分析法確立と実態解明

### 達成状況：2. 目標を上回る成果をあげた

#### ○計画の達成状況

- ✓ 分析法確立と観測網構築：計画以上 12箇所 → 14箇所（父島）
- ✓ 北極、外洋、東南アジア：計画以上
- ✓ 海水（駿河湾、太平洋、波の花）：100  $\mu\text{m}$ 以下MPs計測、計画以上
- ✓ 質量濃度、添加物・吸着物分析：計画以上
- ✓ ナノおよびマイクロプラスチックを合成：中間報告以降

#### ○環境政策への貢献

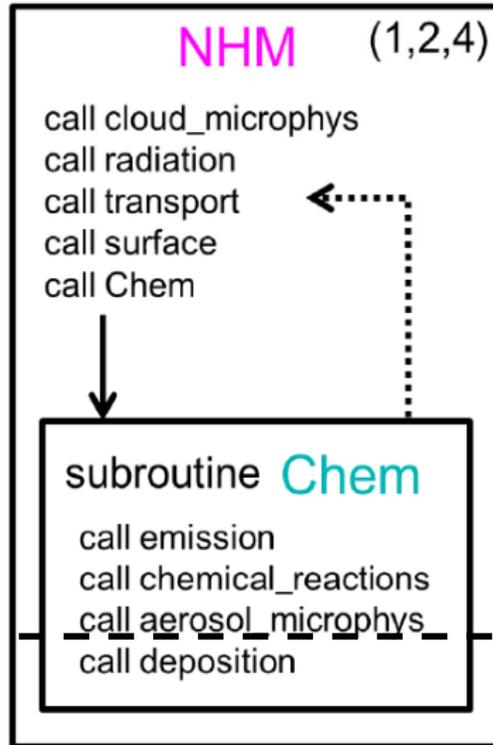
- ✓ 様々な採取法について知見集積 → 地環研へ還元
- ✓  $\mu\text{FTIR-ATR}$ イメージング法：様々な環境試料に対して、未解明であった100  $\mu\text{m}$ 以下のMPs計測に利用可能
- ✓ 森林樹冠によるAMPs捕捉 → 街路樹、公園林、工場林に捕捉能が高い樹種選定。ex 早成桐：GHG削減 & MPs削減

## 大気中マイクロプラスチックの環境動態モデリング

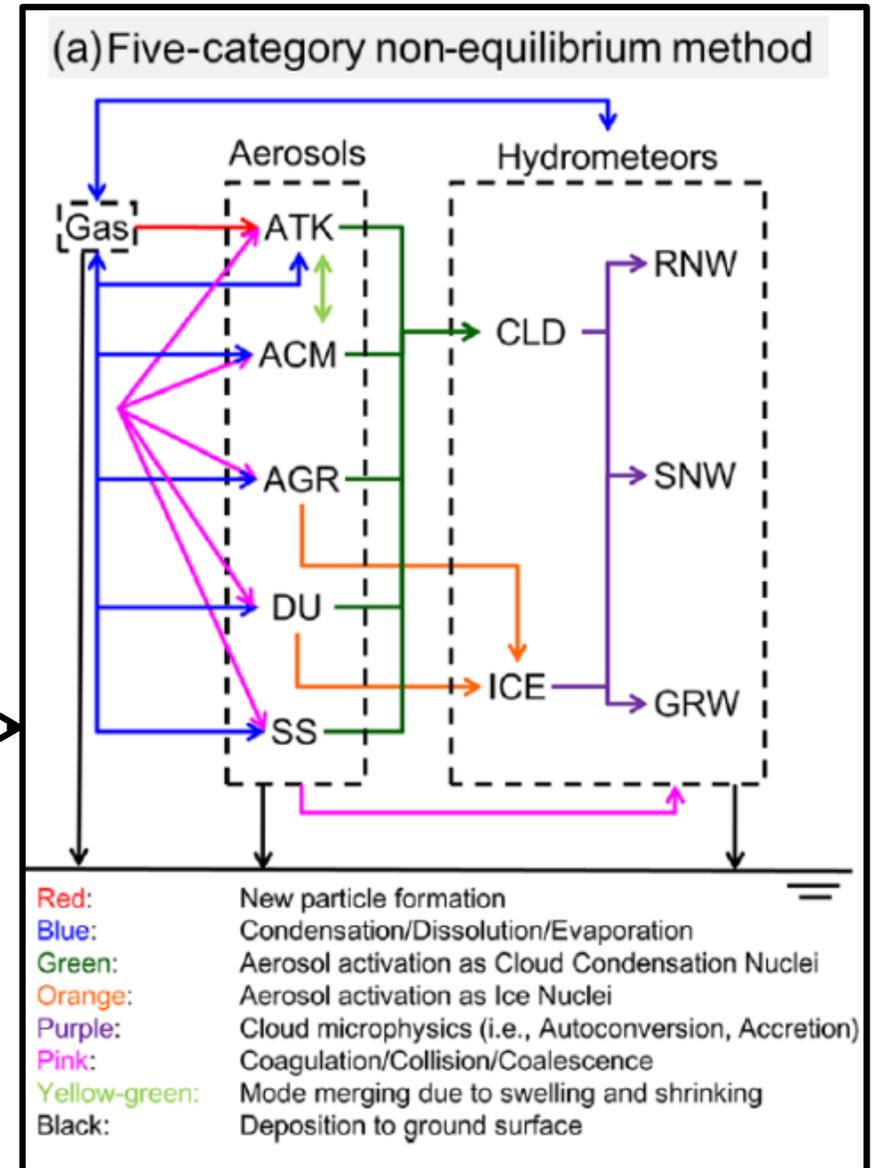
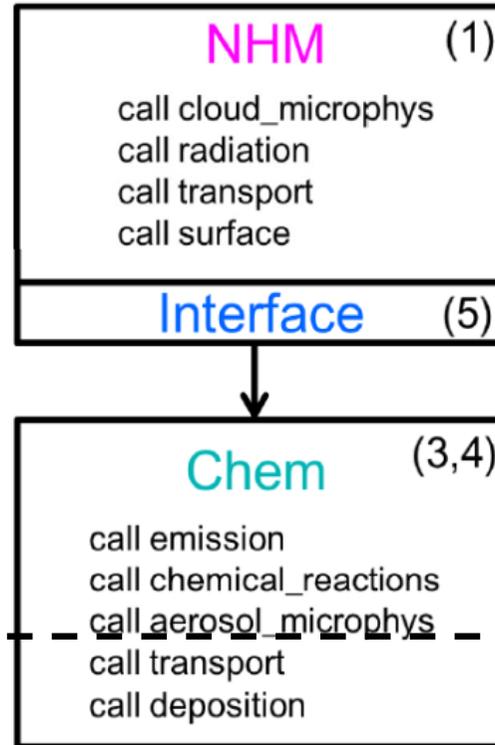
- ✓ 富士山頂観測を用いたAMPsの発生メカニズム  
(サブ1)
- ✓ タイヤ摩耗片とその炎症誘導能のモデリング  
(サブ3)
- ✓ PETの太陽放射による大気劣化のモデリング  
(サブ3)
- ✓ 日本各地の濃度観測値を用いた発生量推定  
(サブ1)
- ✓ 世界各国の観測値を用いた北半球の発生量推定

# サブ2：気象庁領域気象化学モデル NHM-Chem

(a) Online coupled NHM-Chem



(b) Offline coupled NHM-Chem



- オンライン結合（気象フィードバックを考慮）  
もしくはオフライン結合（マルチ気象モデル解析）
- ナノ粒子から粗大粒子の微物理過程（新粒子生成、凝縮、凝集成長、乾性・湿性除去）を陽に考慮
- 毒性研究にも活用可（PAH、放射性核種、AMPs）

# サブ2：NHM-Chem AMPsスキームと計算例

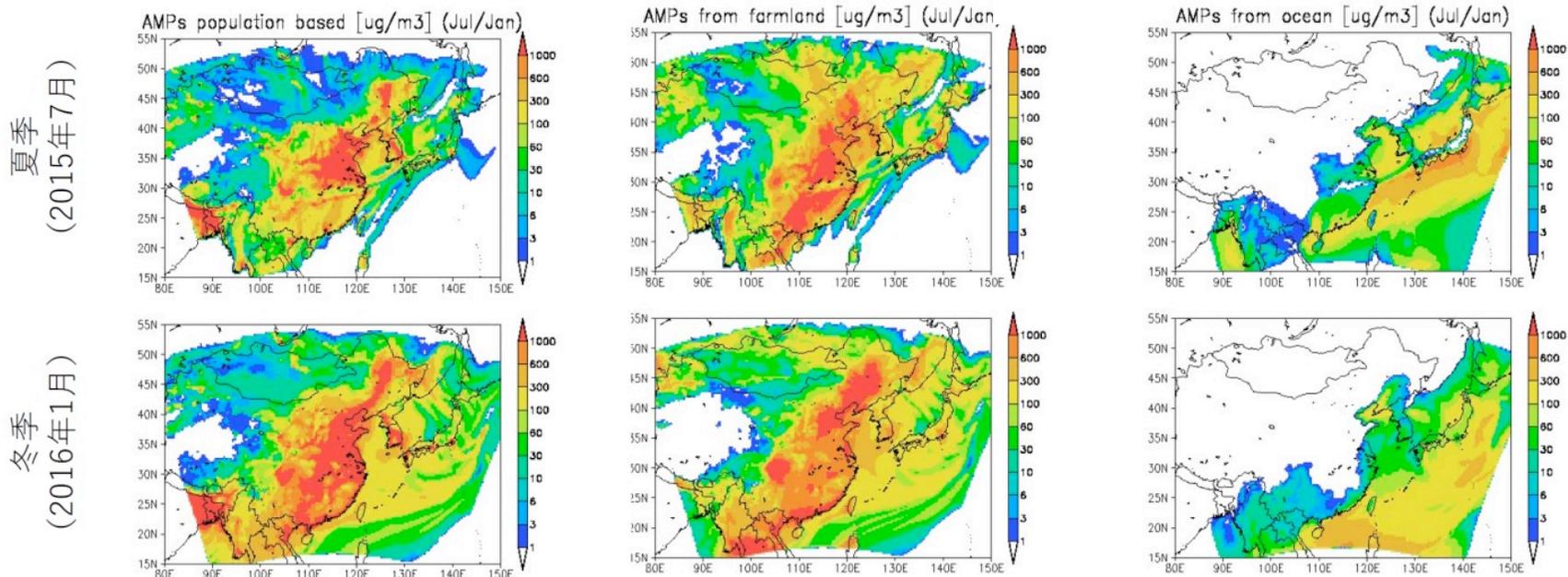
	Physical properties		Mass concentrations						
			Origins			Chemistry			
Submicron mode ( $\sim 0.1 \mu\text{m}$ )	$M_0$	$M_2$	Fp	Ff	Fo	PE	PP	PS	PET
Supermicron mode ( $\sim 1 \mu\text{m}$ )	$M_0$	$M_2$	Fp	Ff	Fo	PE	PP	PS	PET
Giant mode ( $\sim 10 \mu\text{m}$ )	$M_0$	$M_2$	Fp	Ff	Fo	PE	PP	PS	PET

- 対数正規分布仮定 ( $N, D_g, \sigma_g$ を $M_0 (=N), M_2 (\propto S), M_3 (\propto V)$ )で規定。
- Fp, Ff, Foは発生源 (p: population, f: farmland, o: ocean) → CDV解析による領域収支評価に利用。
- PE, PP, PS, PETは、未実装。インベントリが構築されてから利用予定 (香港大学と共同研究実施中)。

人口ベース  
( $D=0.1 \mu\text{m}$ 、単分散)

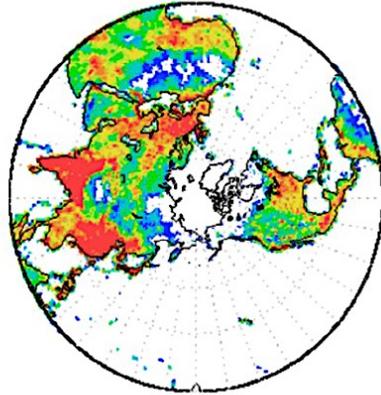
農地起源  
( $D=0.1 \mu\text{m}$ 、単分散)

海洋起源  
( $D=0.1 \mu\text{m}$ 、単分散)



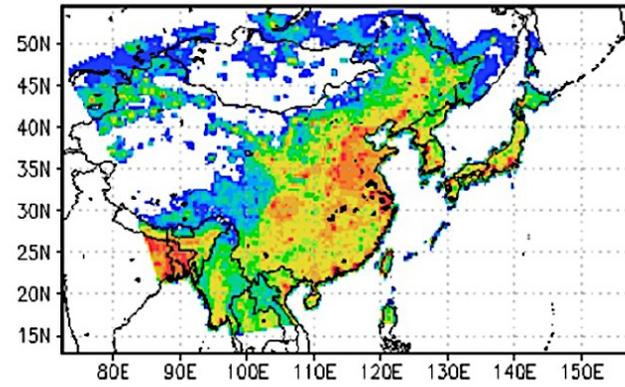
# サブ2：モデル領域設定

Domain 1: N.H. 120 km



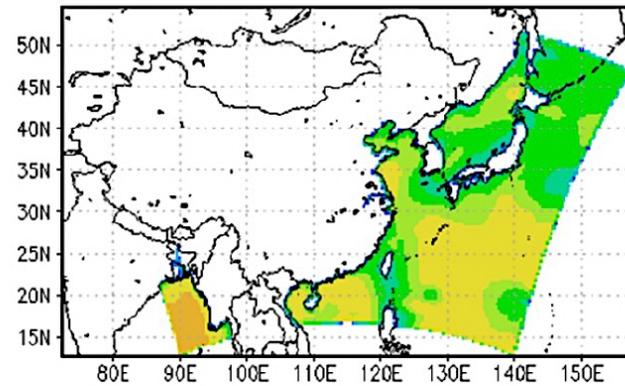
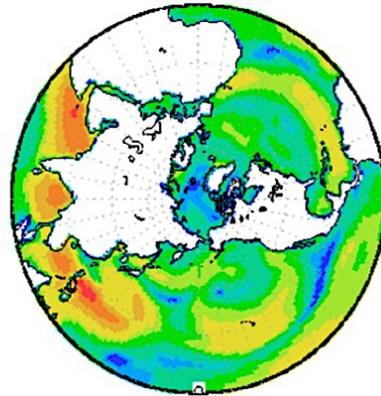
Population base

Domain 2: N.E.Asia 30 km



Arbitrary unit

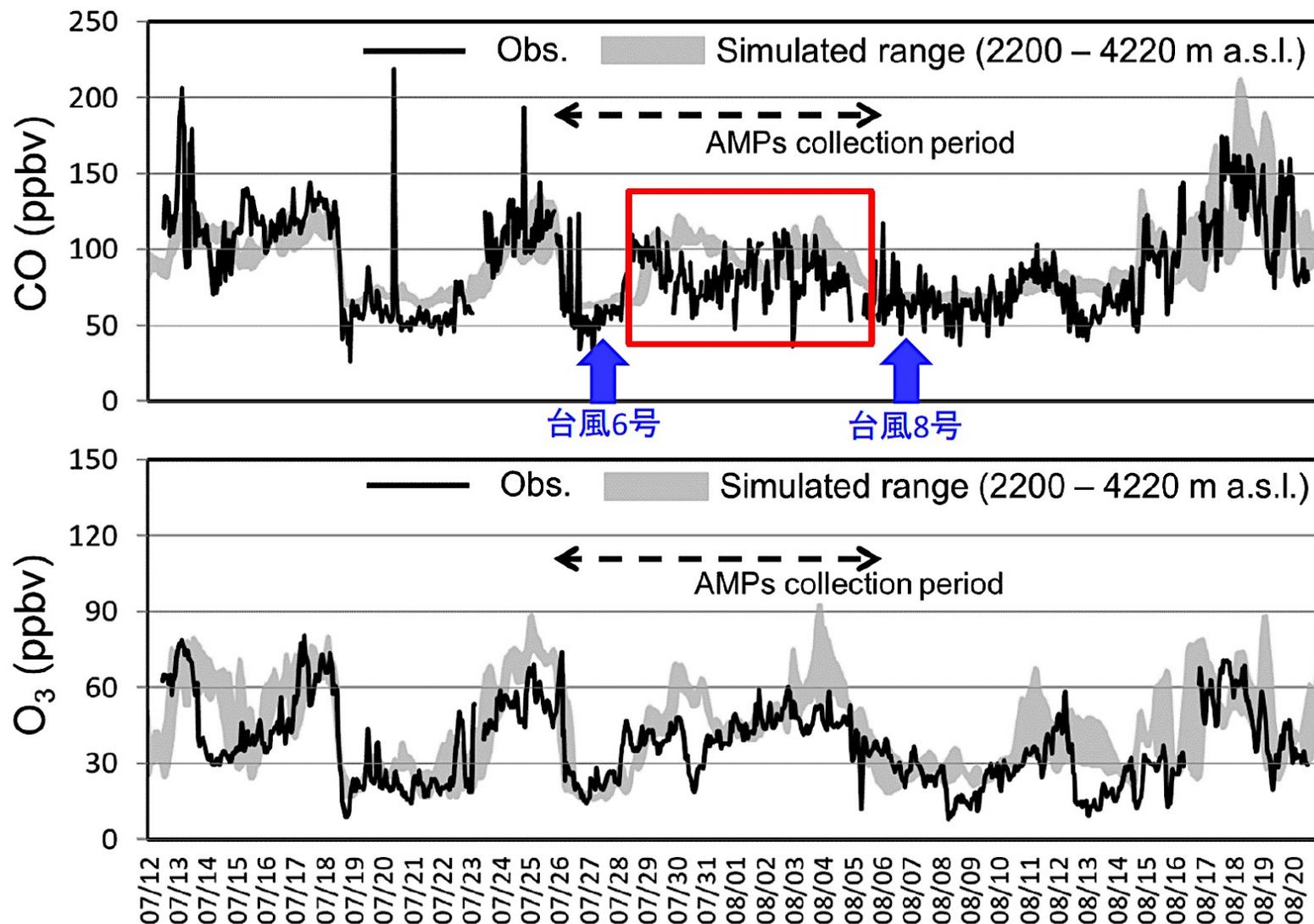
Ocean origin



Arbitrary unit

- 気象庁領域気象化学モデル NHM-Chem(Kajino et al., JMSJ, 2019; Kajino et al., GMD, 2021)
- Domain 1:  $\Delta x = 120$  kmで北半球をカバーして半球輸送を考慮。側面・上部境界は気象場は気象庁再解析JRA55、微量成分は気象研地球システムモデルMRI-ESM2から、AMPsはゼロ濃度。微量成分のエミッションはMACCity, GFED4, MEGAN2など。
- Domain 2:  $\Delta x = 30$  kmで北東アジア域をカバーして総観規模擾乱による輸送を考慮。側面・上部境界は気象場はJRA55、化学成分はDomain 1の結果。エミッションはREASv3, GFED4, MEGAN2など。

# 富士山：富士山頂を代表する高さ探索



- 富士山水平位置におけるモデル標高は668 mのため、実際の富士山頂を代表するモデル高さは、モデル地上ではなく上層。
- 富士山頂において観測されたCOとO<sub>3</sub>で、富士山頂を代表するモデル高さを探索。
- COとO<sub>3</sub>の観測との比較において、相関係数およびバイアスが最も良くなるのは、Domain2において10層目から15層目の範囲内(2200-4200 m a.s.l.)
- →AMPsの発生源推定の不確実性として考慮

# 富士山：発生量の推計

- 富士山観測値 ( $4.91 \text{ \#/m-air}^3$ )が海洋由来だとすると。
  - ◆ 日本近海の表層水中濃度 ( $1\text{-}100 \text{ \#/m-water}^3$ ;  $>300 \mu\text{m}$ ; 磯辺, 2020)とMonahan et al. (1986)の海塩粒子発生スキーム(間接生成プロセス)を利用
  - ◆  $10^{-8}$ から $10^{-9} \text{ \#/m-air}^3$ となり、**8-9桁過小評価**する。 直接生成で説明可能
  - ◆ 実際、海水では $100 \text{ \#/34 kg}$ 塩、大気は $5 \text{ \#/}0.5 \mu\text{g}$ 塩なので9桁程度の違い。 ←  $10^{-61} \text{ \#/m-air}^3$
  - ◆ (1) 海洋由来のAMPsは富士山頂にはほとんど寄与しない。
  - ◆ (2) 海洋由来のAMPsの発生機構が、海塩粒子の発生機構と大きく異なる。
  - ◆ (3) 未計数の小さなMPsが存在する。→4桁多いとしても4-5桁足りない。

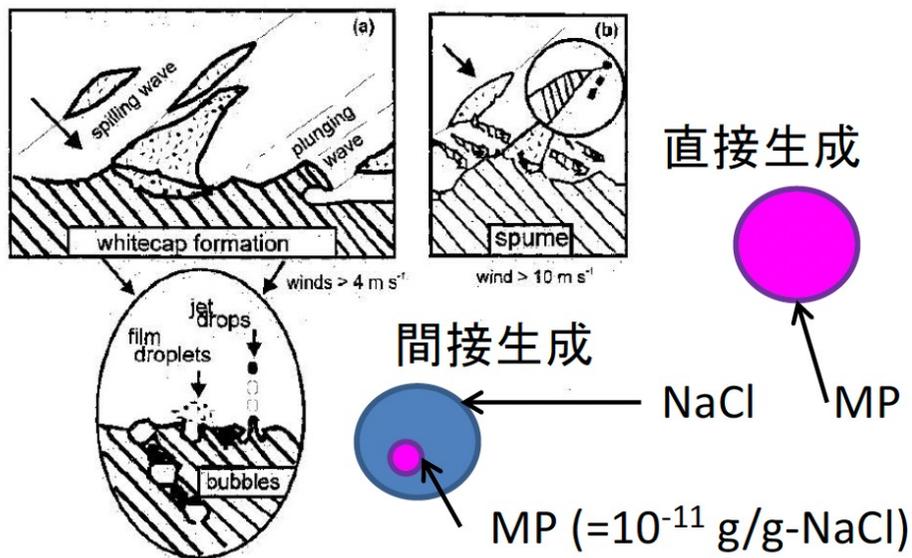


Figure 1. Mechanisms for sea-salt aerosol generations (adapted from Monahan et al. [1986]). Two mechanisms are presented (a) indirect production by bubbles and (b) direct production by spumes.

直接生成

間接生成

MP  
NaCl  
MP (=10<sup>-11</sup> g/g-NaCl)

Gong et al. (1997)

The density function  $dF/dr$  (particles  $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ), which expresses the rate of sea-salt droplet generation per unit area of sea surface, per increment of droplet radius, is given (1) for indirect mechanism (through bubbles):

$$\frac{dF_0}{dr} = 1.373 U_{10}^{3.41} r^{-3} (1 + 0.057 r^{1.05}) \times 10^{1.19e^{-B^2}} \quad (5a)$$

where  $B = (0.380 - \log r)/0.650$  and (2) for direct mechanism (through spume):

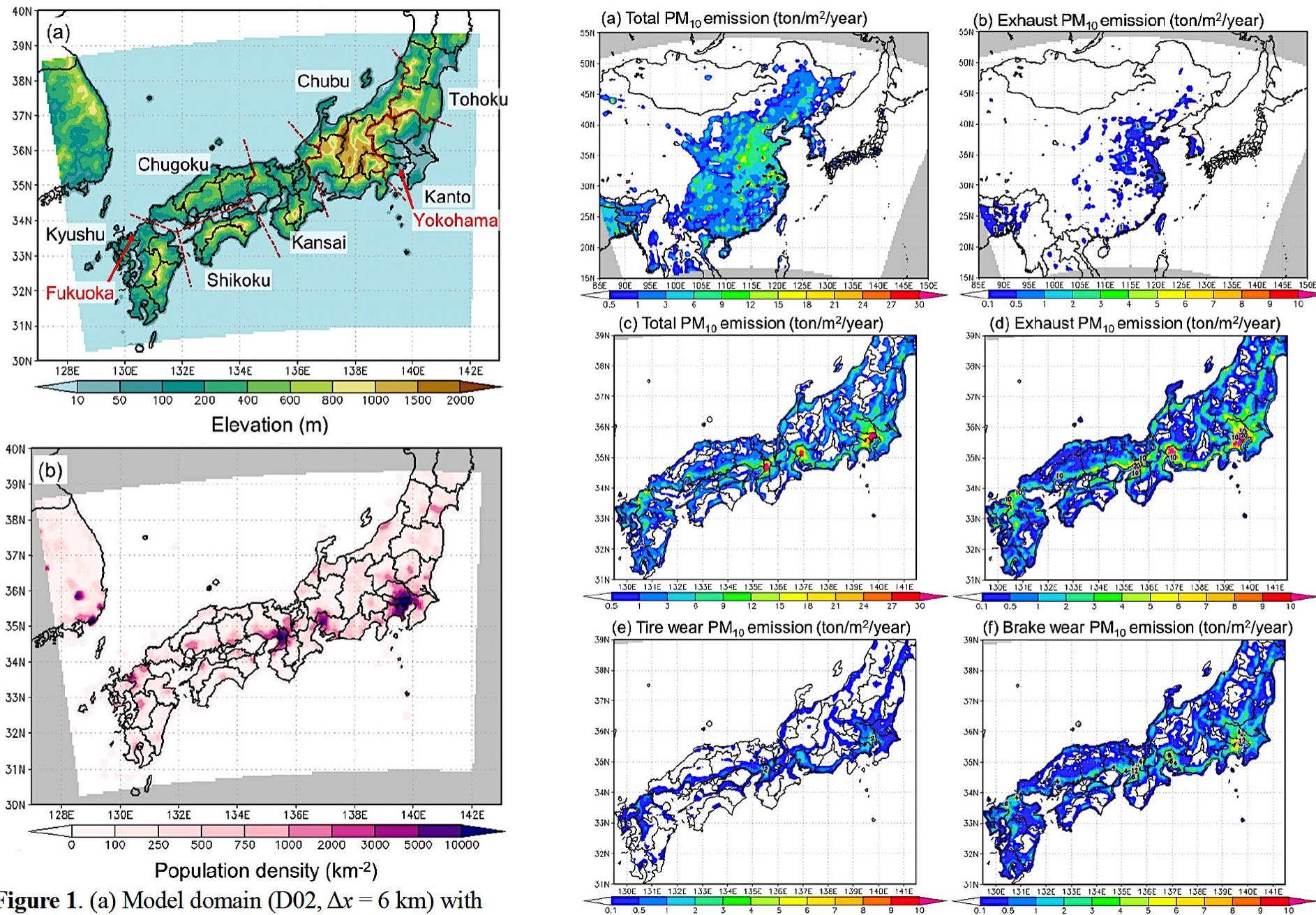
$$\frac{dF_1}{dr} = \begin{cases} 0 & r < 10 \mu\text{m} \\ 8.60 \times 10^{-6} e^{2.08 U_{10} r^{-2}} & 10 \mu\text{m} \leq r \leq 75 \mu\text{m} \\ 4.83 \times 10^{-2} e^{2.08 U_{10} r^{-4}} & 75 \mu\text{m} \leq r \leq 100 \mu\text{m} \\ 8.60 \times 10^6 e^{2.08 U_{10} r^{-8}} & r \geq 100 \mu\text{m} \end{cases} \quad (5b)$$

$u_{10}$ の3.41乗

$u_{10}$ 乗

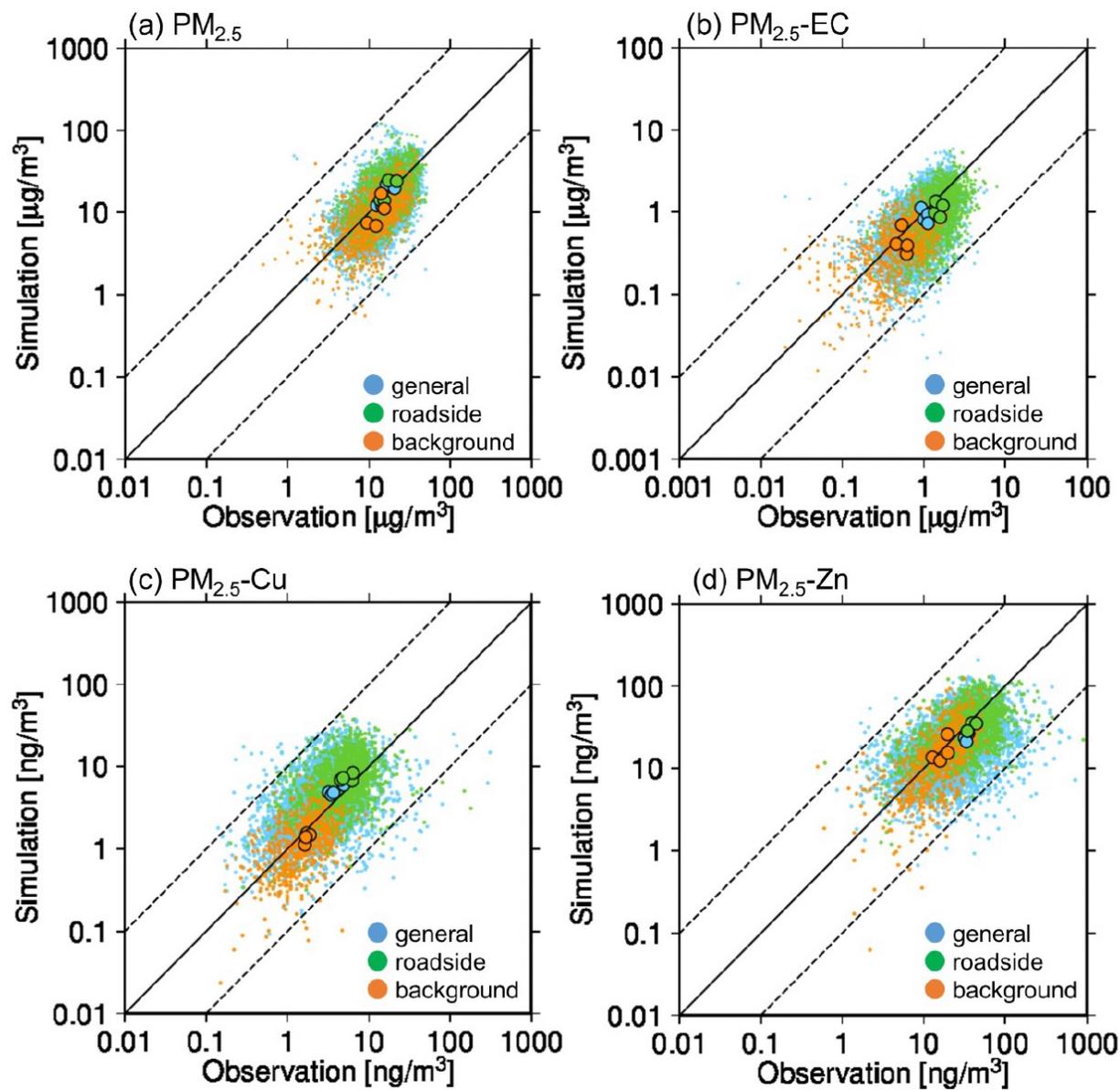
20 m/sで間接より9桁大きくなる。

# タイヤ磨耗片：モデル領域とPM排出量



**Figure 1.** (a) Model domain (D02,  $\Delta x = 6$  km) with terrestrial elevations (m) and region (black) and city (red) names in Japan. (b) Population density over D02.

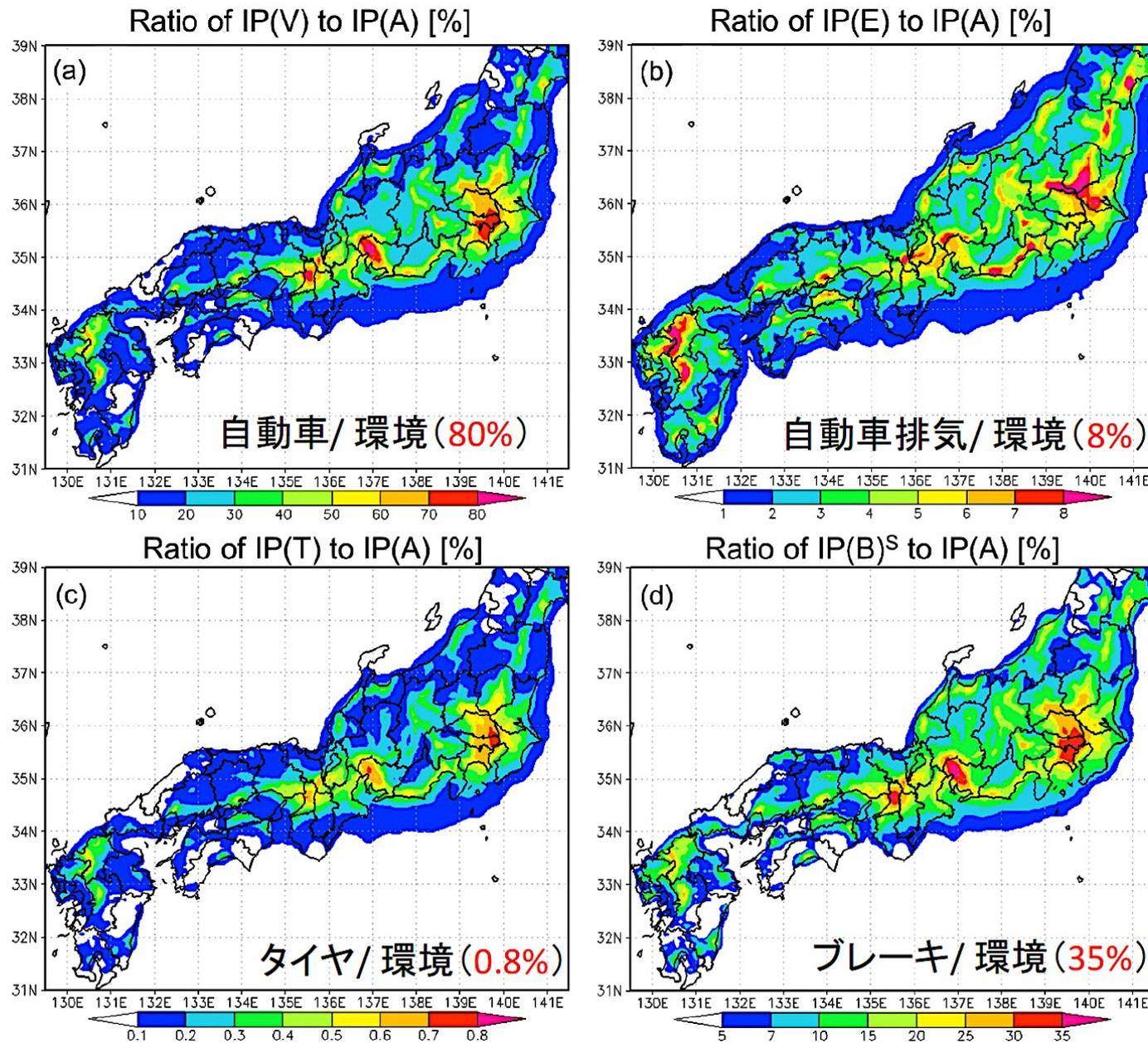
# タイヤ磨耗片：モデルの評価



- (1) PM<sub>2.5</sub>の沿道局と一般局でパフォーマンスの違いが無い → 環境粒子と自動車粒子でモデルのパフォーマンスに大きな差が無い。IP(A) v.s. IP(V)
- (2) 沿道局のPM<sub>2.5</sub>-EC: 自動車由来のプライマリエミッション。IP (E)
- (3) 沿道局のPM<sub>2.5</sub>-Cu: ブレーキ粉塵 IP(B)
- (4) 沿道局のPM<sub>2.5</sub>-Zn: タイヤ磨耗片 IP(T)

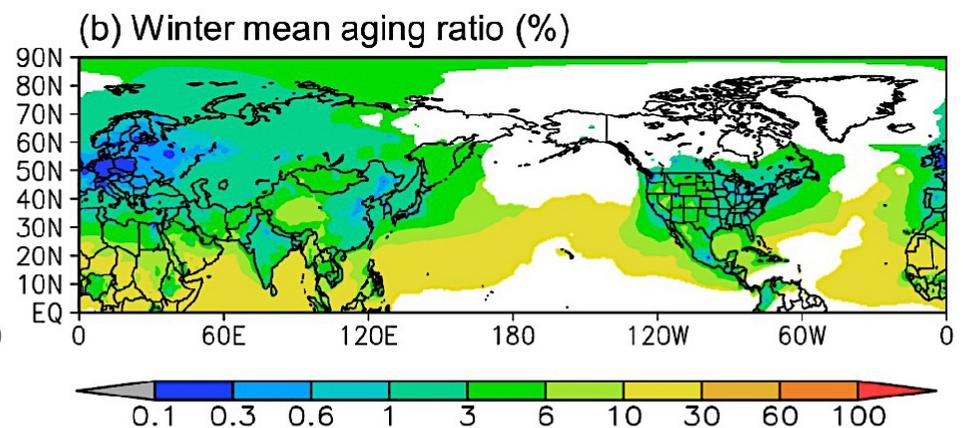
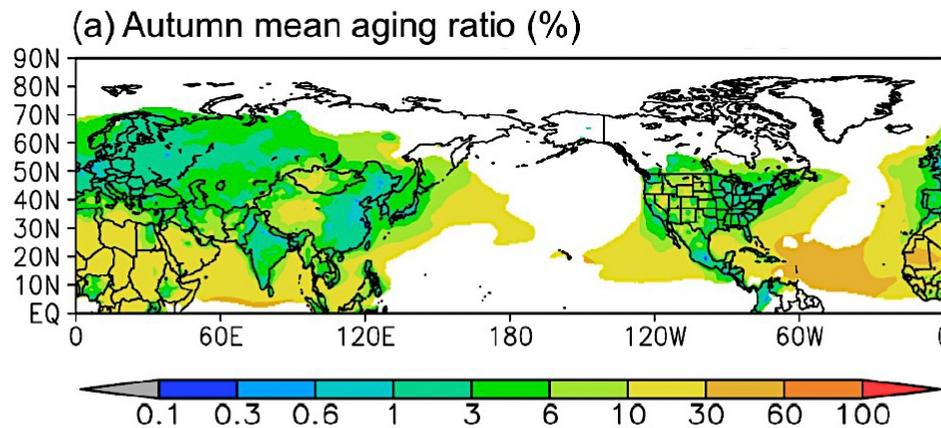
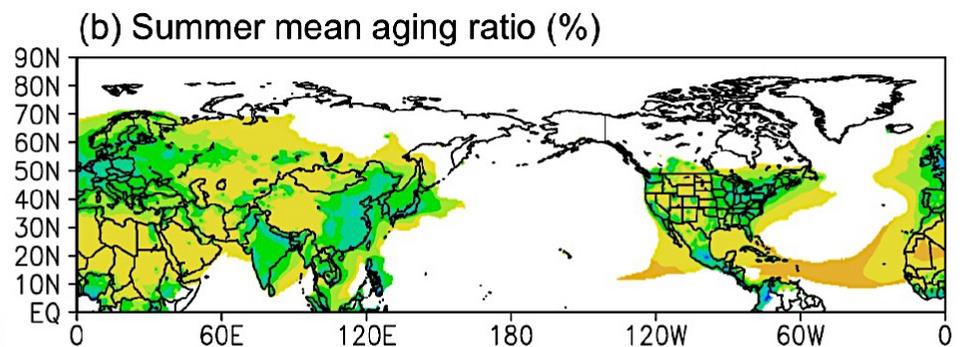
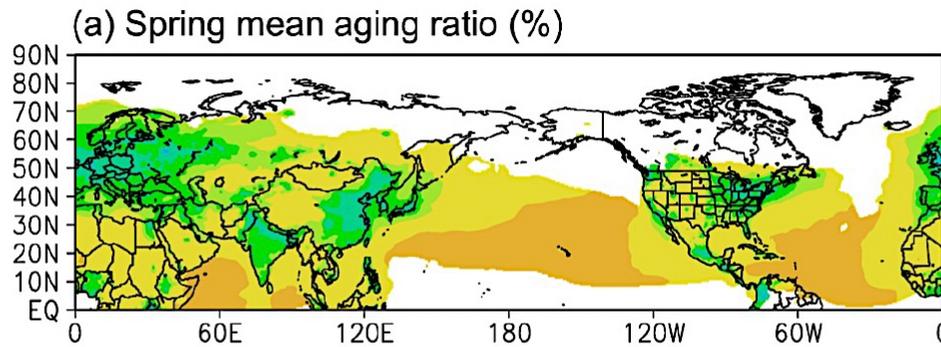
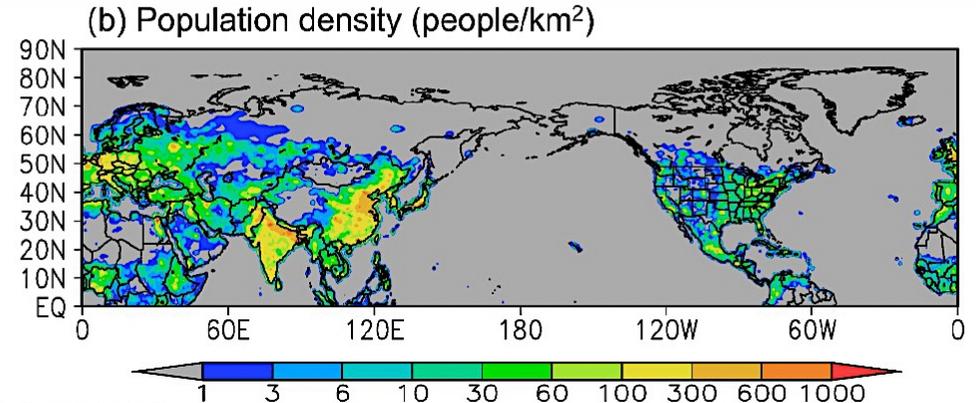
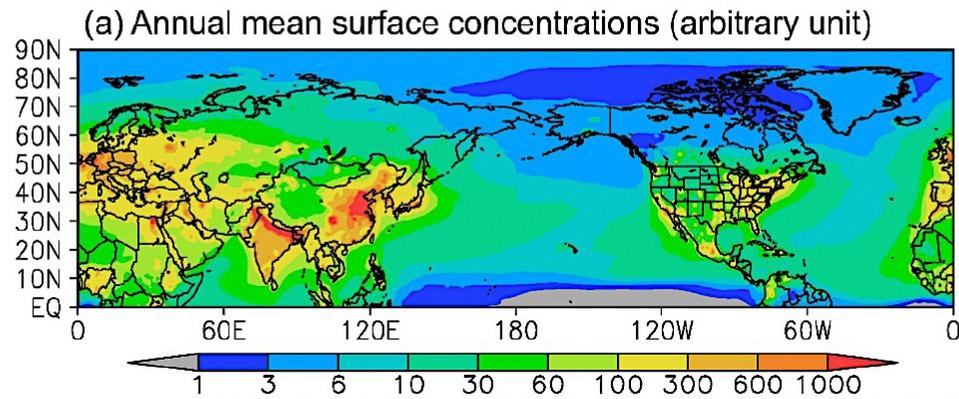
**Figure 3.** Scatter diagrams between simulated (a) PM<sub>2.5</sub>, (b) PM<sub>2.5</sub>-EC, (c) PM<sub>2.5</sub>-Cu, and (d) PM<sub>2.5</sub>-Zn, and those observed at (blue) 163 general, (green) 47 roadside, and (orange) 21 background monitoring sites of MOEJ in Japan. The small dots indicate daily values, and the large circles indicate seasonal (two weeks mean) values. The solid line indicates the 1:1 line, and the two dashed lines indicate the boundaries of the factor of 10.

# タイヤ磨耗片：結果例



**Figure A1.** Same as Figs. 7 and 9 but for (a) IP(V) to IP(A), (b) IP(E) to IP(A), (c) IP(T) to IP(A), and (d) IP(B)<sup>S</sup> to IP(A) ratios. (A: all; V: vehicle total; E: exhaust; T: tire; B: brake.) Note that these are only reference values because IP(B)<sup>S</sup> cannot be directly compared with other IP values.

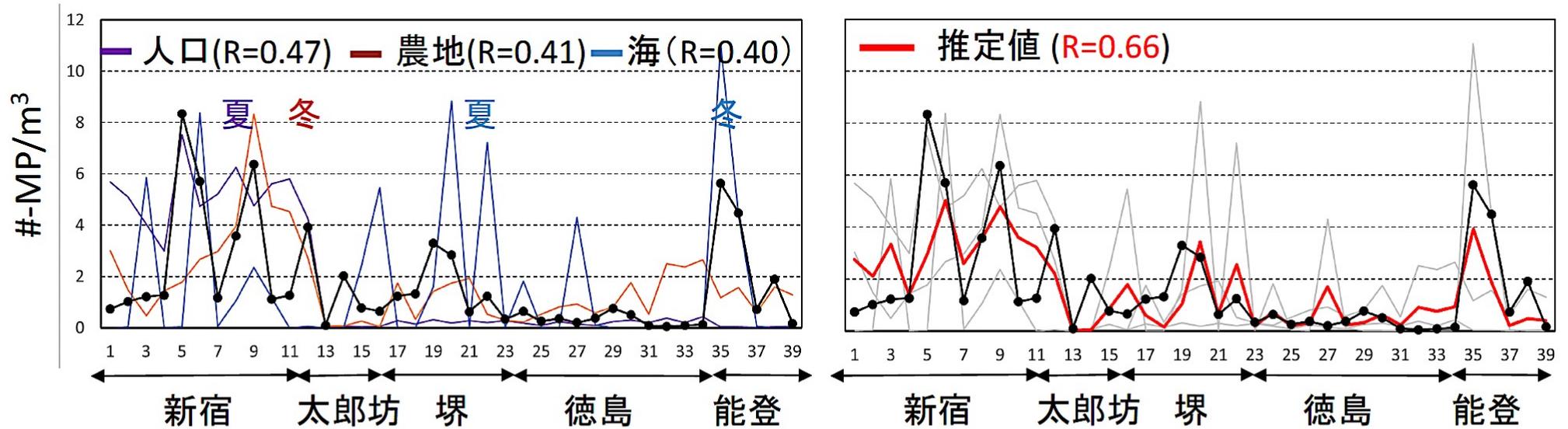
# 太陽光劣化：劣化PETの単位質量あたりの炎症誘導はPM2.5と同等？



- 劣化実験に用いた模擬太陽光の照射量 ( $\text{W/m}^2 \text{ h}$ ) の逆数を劣化率とした数値実験
- Aging ratio = 50%: 全てのPETが50%程度の劣化度合いか、全PETの50%が100%劣化しているか。

# 全国濃度観測による排出量推計

- サブ1の新宿・太郎坊・堺・徳島・能登の2021年夏から2022年春までの4季節39データ(全粒径)
- 人口起源と良い相関: 太郎坊(R=0.92)、海起源と良い相関: 能登(R=0.91)
- 海は間接効果より直接効果の方がやや良い相関(全データでR=0.32→0.40、能登でR=0.83→0.91)。
- 人口・農地・海がほぼ同程度に影響していると仮定した計算のため(それぞれの結果を観測結果で正規化してから上下限0.1-10で最適化)、相関は上がった(R~0.4-0.5 → 0.66)が**信頼性は不明**。ボトムアップ計算(先験情報)の信頼度に大きく依存する。[→今回の結果はあくまでアルゴリズムの動作確認。](#)

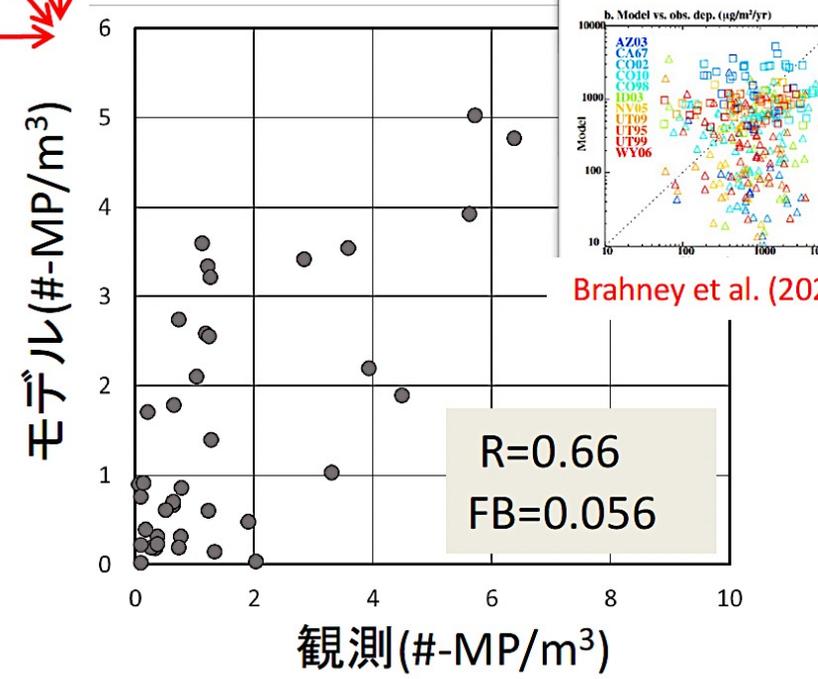
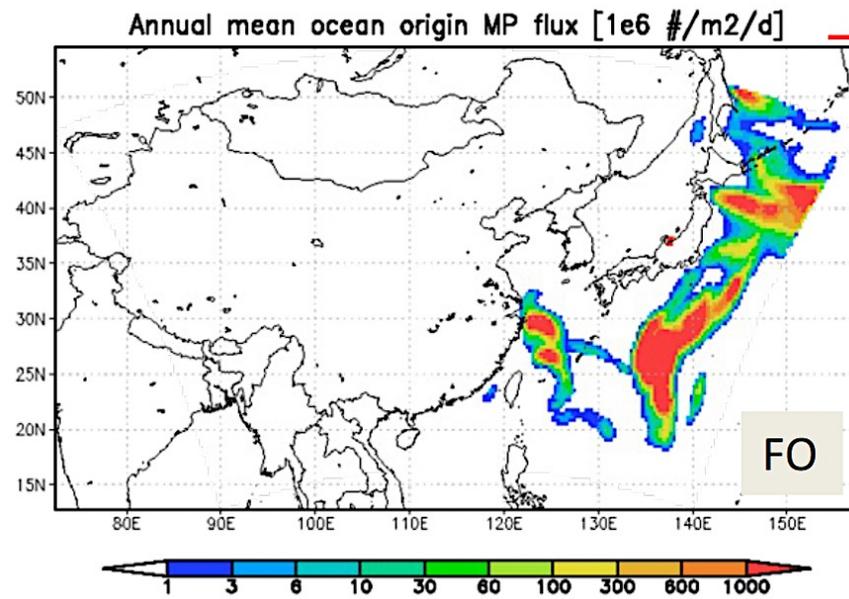
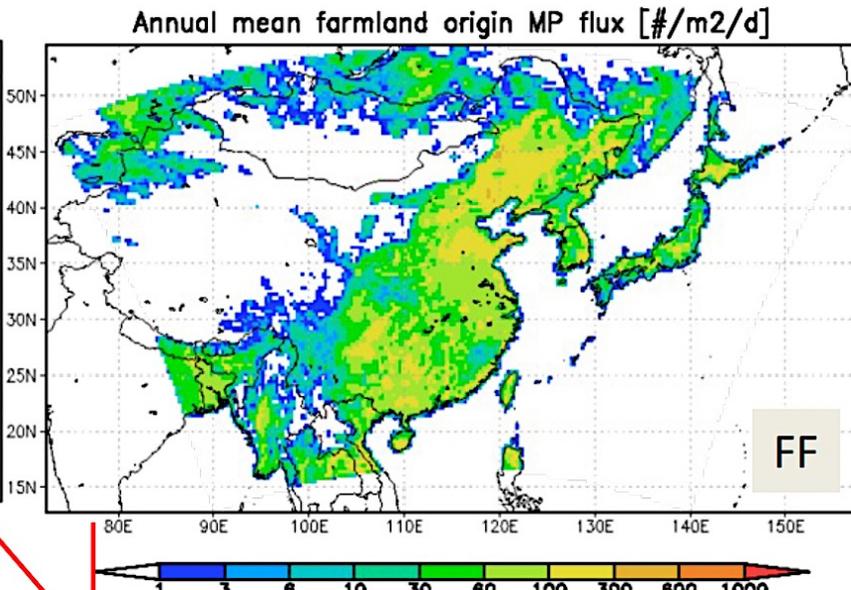
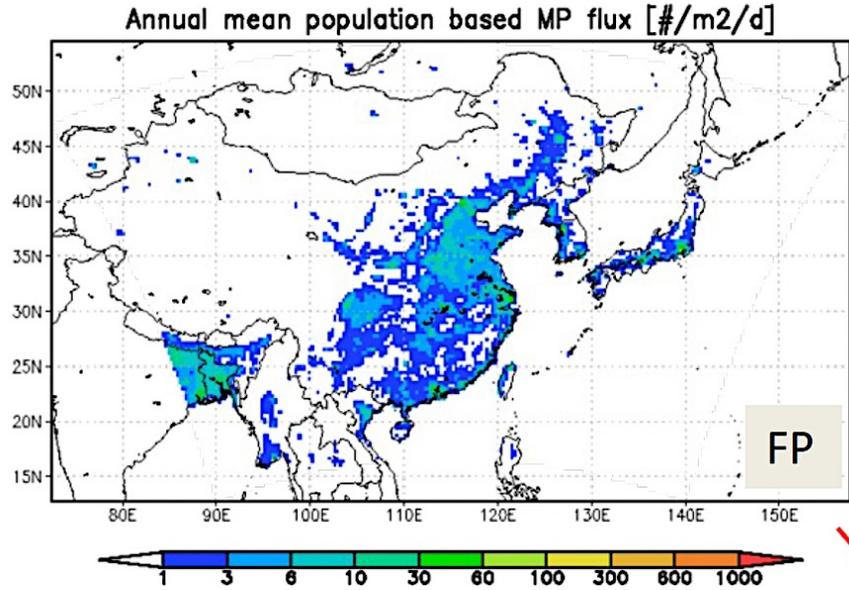


$$f = \sum_N \frac{(o_N - (s_{0,N} + \sum_M x_M (s_{M,N} - s_{0,N})))^2}{\sigma_0^2} + \sum_M \frac{x_M^2}{(u_M - l_M)^2}$$

O: 観測値、N: 観測の数、 $\sigma_0$ : 観測の標準偏差、 $S_0$ : 基準実験、 $S_M$ : タグ付き計算結果、M: タグの数、タグ: 発生量の発生源・時空間変動の増減実験 → 発生源情報の詳細化

L-BFGS-B: 係数xの上下限(u, l)と関数fとその傾きfを与えて収束解を得る非線形問題向けソルバー (Byrd et al., 1994; Zhu et al., 1997)

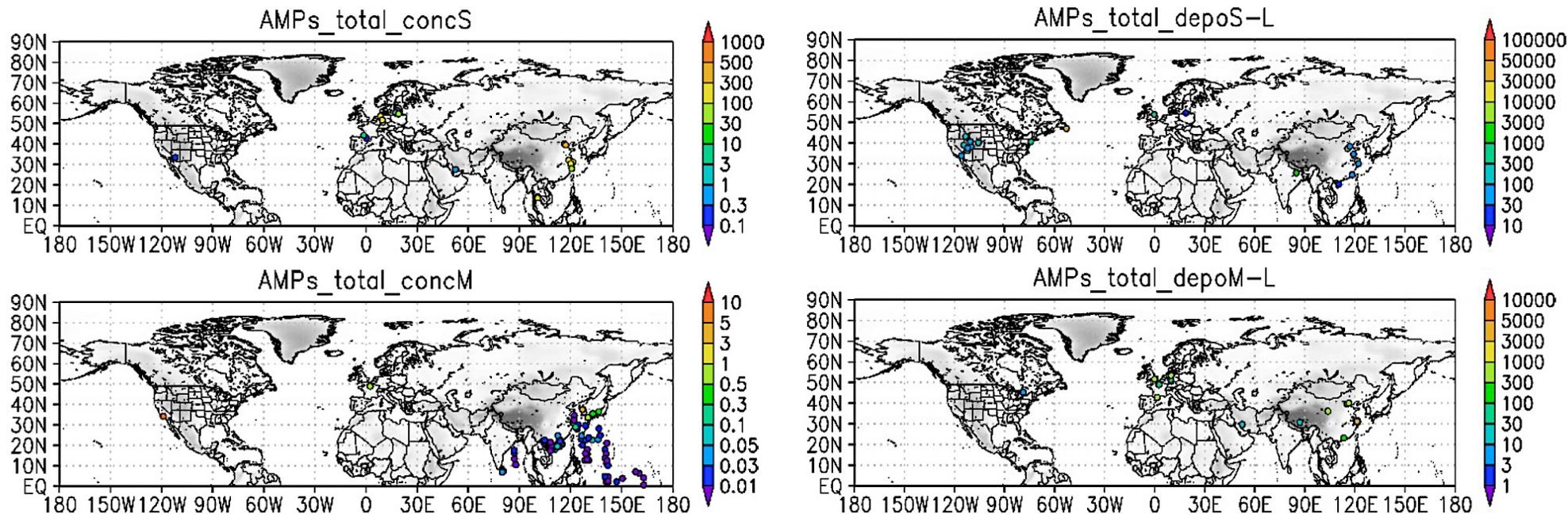
# 国内濃度：推定フラックス vs 大気濃度



- 左記のFP, FF, FO(direct) の3種類のエミッションフラックスを、与えると39の観測値との相関係数0.66で定量的(fract. bias=5.6%)に説明できる。
- 今回は全粒径の結果を用いたが、粒径別・組成別の推定も可能。
- それぞれのエミッションが同程度に存在している(互いに0.1-10倍の範囲)ことを仮定した結果であるため信頼性がわからないため、今後先験情報の精緻化が必須である。
- 今後は高解像度の実験結果を利用し、また独立データ(降水量データなど)を用いて検証する必要がある。
- (砂浜・・・)

Brahney et al. (2021)

# 世界各国の観測データ

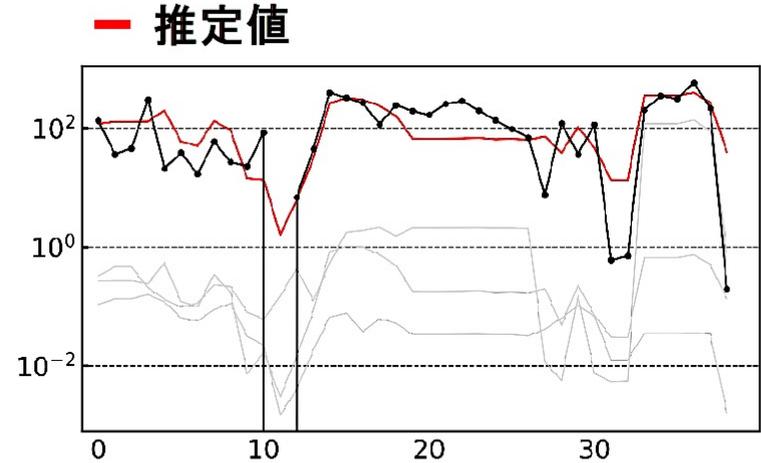
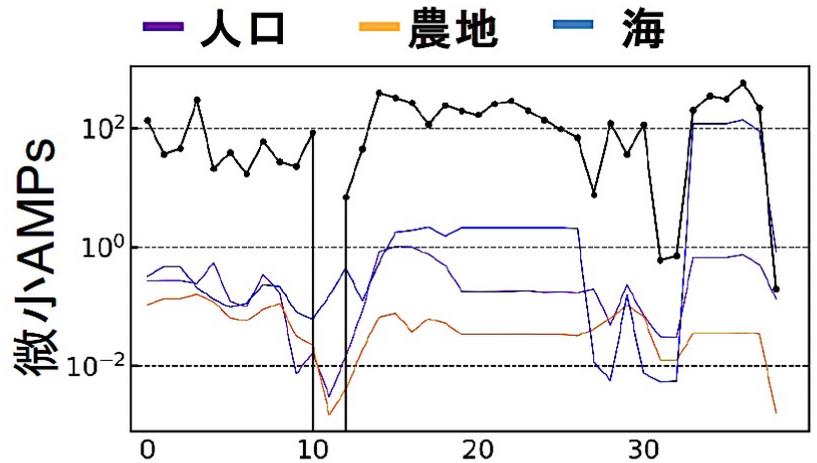


左:濃度(#/m<sup>3</sup>)、右:降下量(#/m<sup>2</sup>/d)、上:微小(<~10 μm)、下:粗大サイズ(>~10 μm)

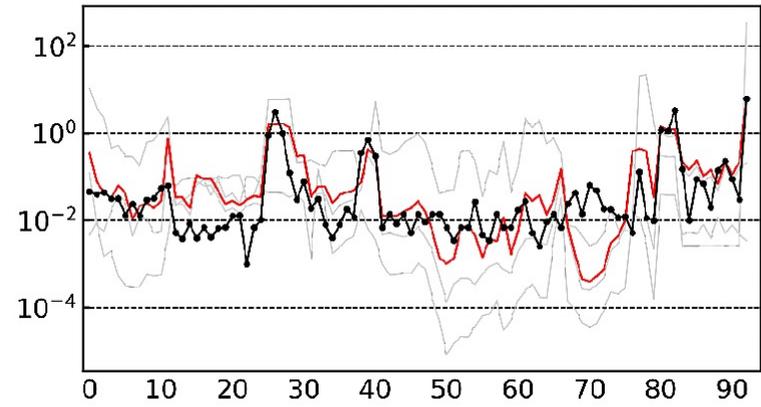
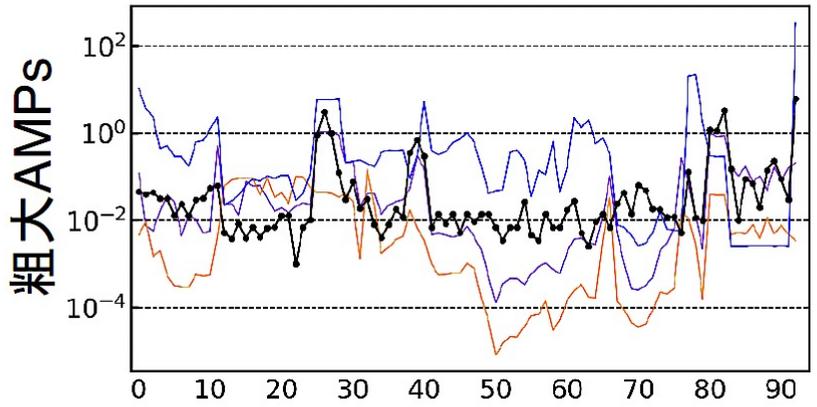
2017年から2022年までの過去5年間の大気濃度と降下量の過去データ(大気濃度170データ、降下量100データ)を収集し、粒径別(約10 μmを境にして)に分類。北半球モデルの結果と観測を用いて発生源推定。用いた手法は同じくL-BFGS-B、ただし、係数の上下限は設けない(係数が収束する( $x \rightarrow 1$ )まで推定を繰り返す)。

$$f = \sum_N \frac{(O_N - (S_{0,N} + \sum_M x_M (S_{M,N} - S_{0,N})))^2}{\sigma_O^2} + \sum_M \frac{x_M^2}{(u_M - l_M)^2}$$

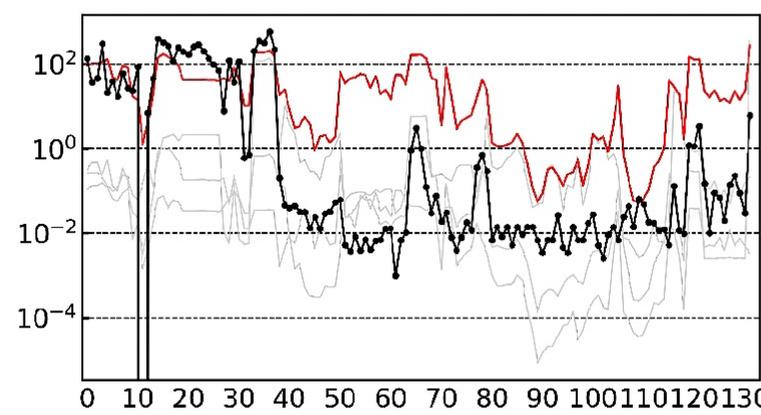
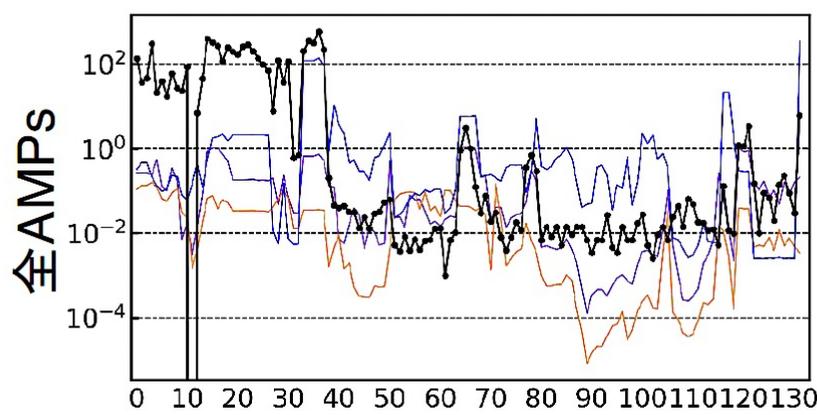
# 世界データ：地上濃度観測を用いた推定



直接過程; 間接過程  
—  $R=0.72$ ;  $R=0.67$

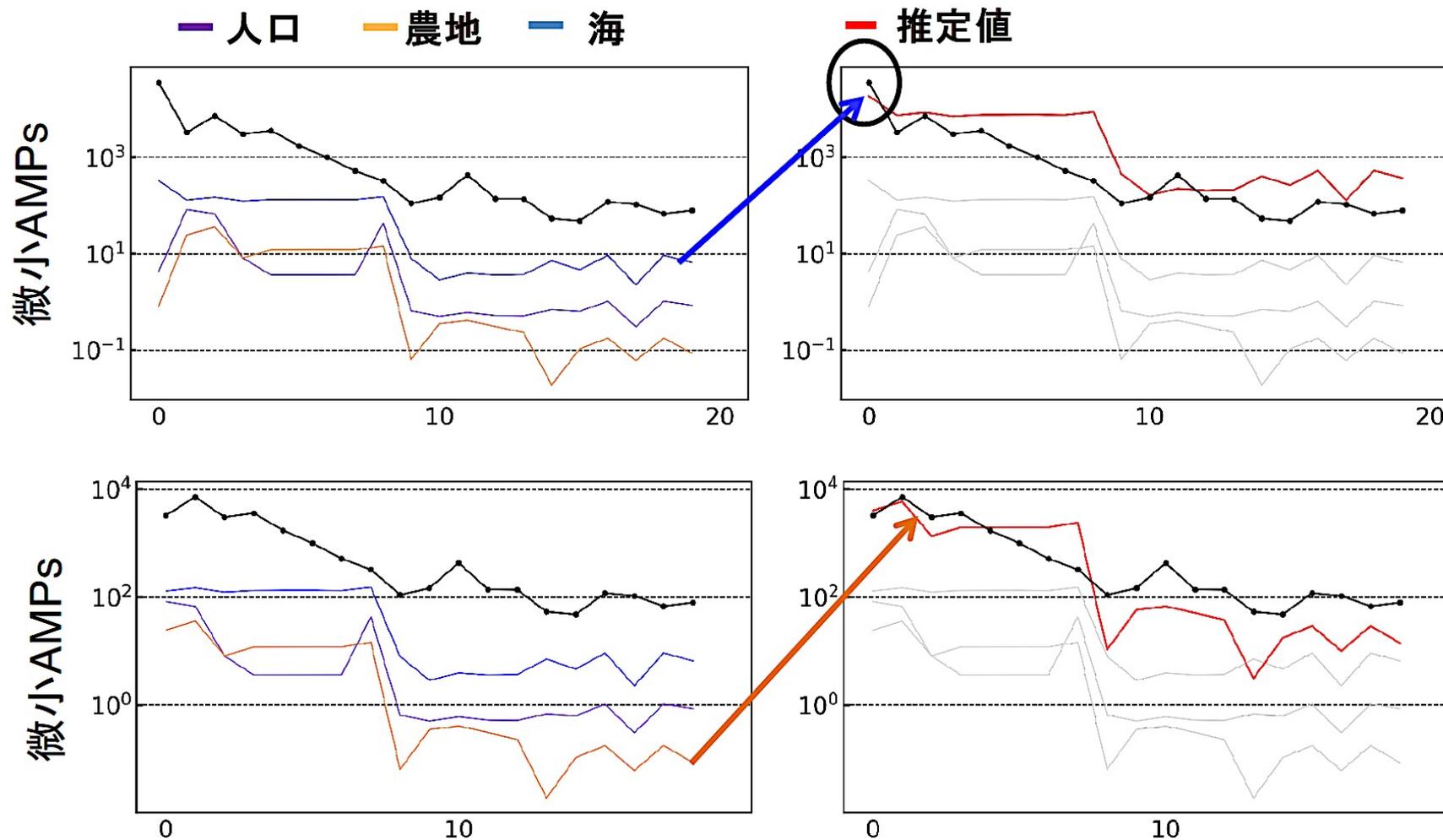


—  $R=0.91$ ;  $R=0.51$   
直接過程を仮定した方が概ねスコアが良い。



—  $R=0.57$ ;  $R=0.51$   
推定の前にサイズは分別すべき。分級観測の重要性を示唆。

# 世界データ：降水量観測を用いた推定



- 推定結果はあまり良くない。微小AMPsの降水量はカナダの1データが他に比べてものすごく大きい(ハリケーン襲来)。それを含めると、全てを海塩粒子で説明しようとし、含めなければ土壌粒子で説明しようとする。

## 大気中マイクロプラスチックの環境動態モデリング

- ✓ 富士山頂観測を用いたAMPsの発生メカニズム  
(サブ1)
- ✓ タイヤ摩耗片とその炎症誘導能のモデリング  
(サブ3)
- ✓ PETの太陽放射による大気劣化のモデリング  
(サブ3)
- ✓ 日本各地の濃度観測値を用いた発生量推定  
(サブ1)
- ✓ 世界各国の観測値を用いた北半球の発生量推定

達成状況：2. 目標を上回る成果をあげた

「大気中マイクロプラスチックの実態解明と健康影響」  
サブテーマ3: 大気中マイクロプラスチックの呼吸器影響の解明

# 太陽光劣化マイクロプラスチックの 呼吸器リスクの解明

広島大学 大学院統合生命科学研究科

○石原 康宏, 岩本 洋子



広島大学



# 繊維状 PET の作製と人工太陽光劣化



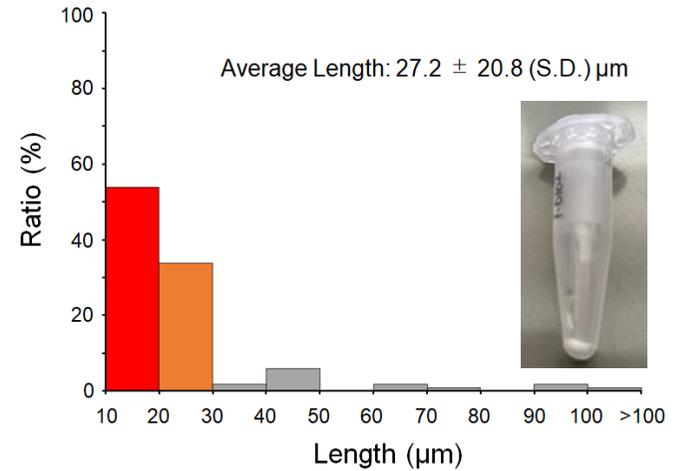
OCT Compound  
を用いて包埋  
凍結 (-20°C)

レギュラーポリエステル綿  
PET 100%, Φ 14 μm  
(ユニチカ株式会社より提供)

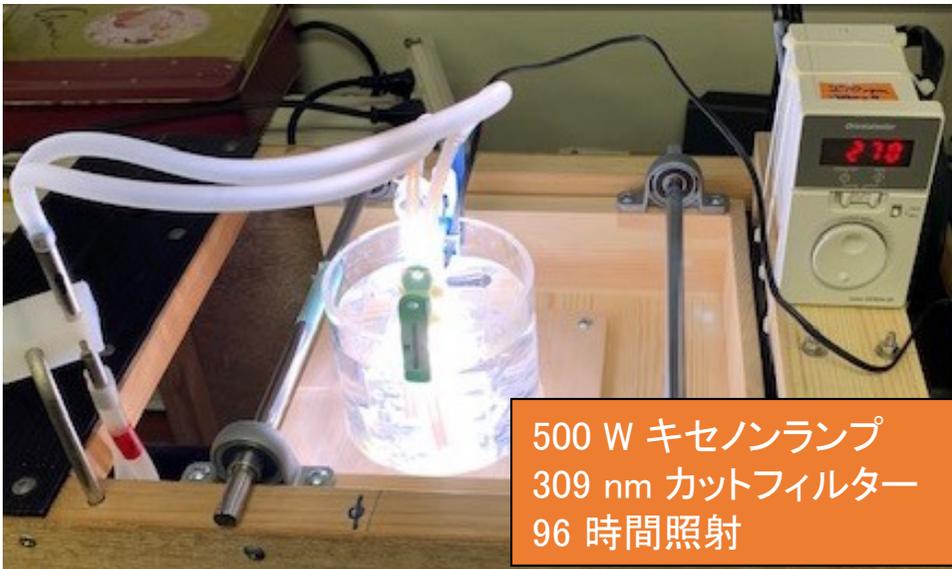


クリオスタットで  
10 μm に切断

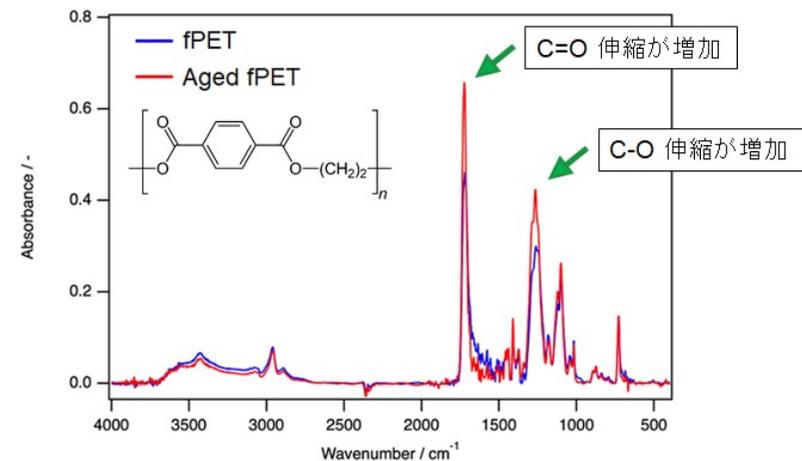
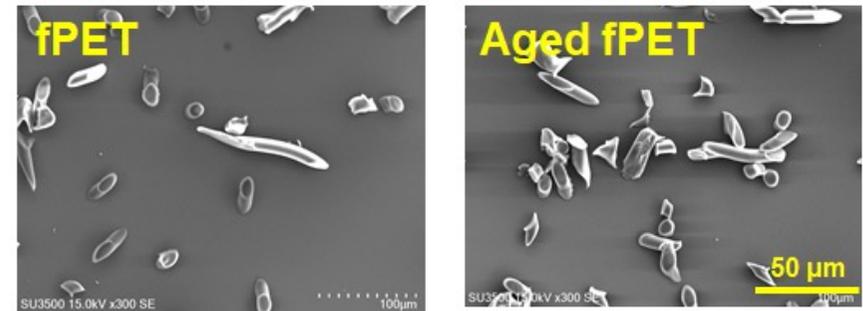
切片を蒸留水に懸濁  
40 μm メッシュを通す  
30,000 x g, 10 min  
デシケーターで乾燥



## 人工太陽光の照射



晴天・正午の太陽光の4.7倍の強度  
強度の日中変動を考慮した光強度係数: 0.32  
→ 96 時間の照射は、59.6 日の曝露に相当



# 繊維状 PET 曝露の気道抵抗への影響

雄性 ICR マウス (8 週齢)

PET を 0.5 % Pluronic F68 に 10 mg/mL の濃度で懸濁し、  
10  $\mu$ L を経鼻投与 (7 日間)

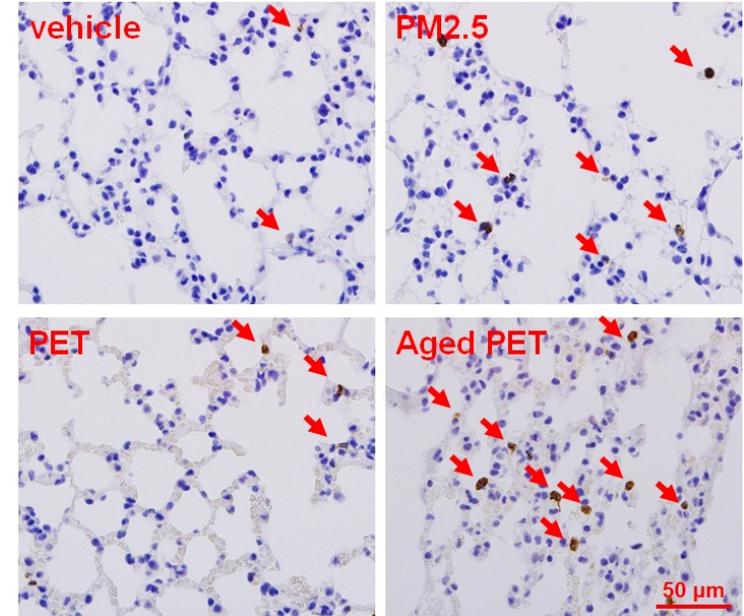
(100  $\mu$ g/mouse/day for 7 days)

Montelukast (3 mg/kg/day p.o. for 7 days)

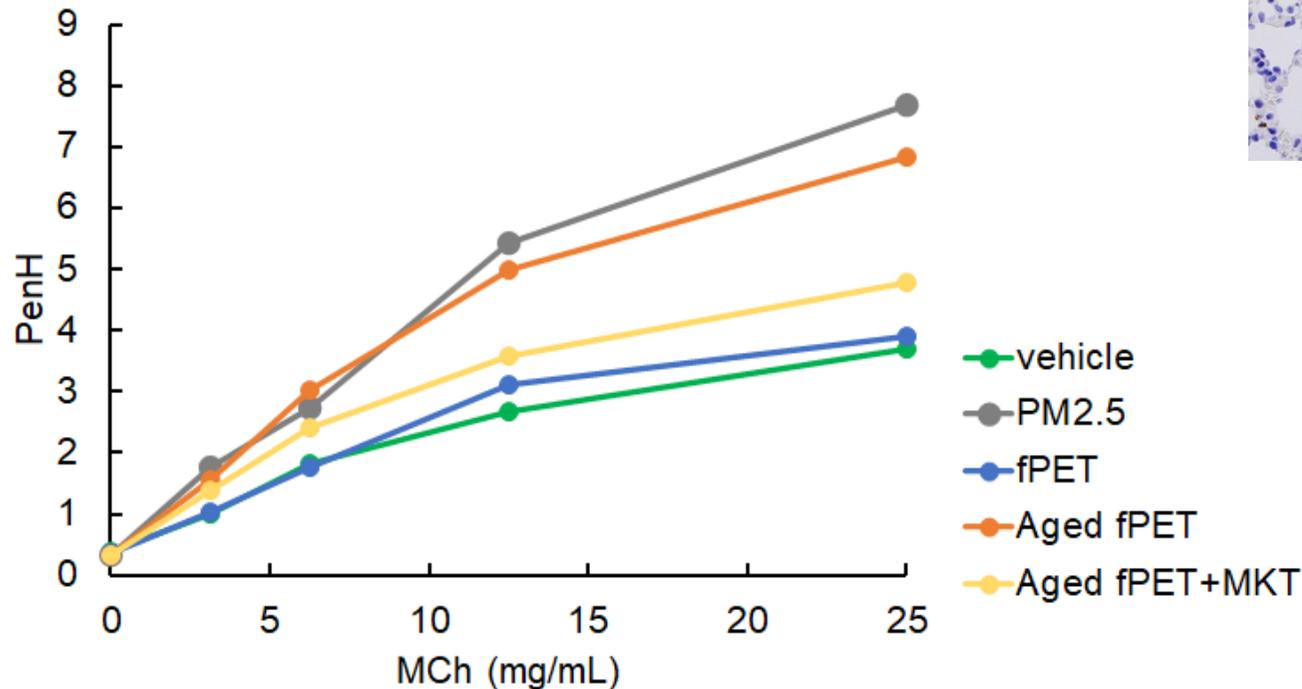


投与 7 日後に Whole Body Plethysmography にて PenH を測定  
メタコリンをネブライズし、PenH のメタコリン濃度依存性を評価  
肺を摘出し、免疫染色および RNA 抽出

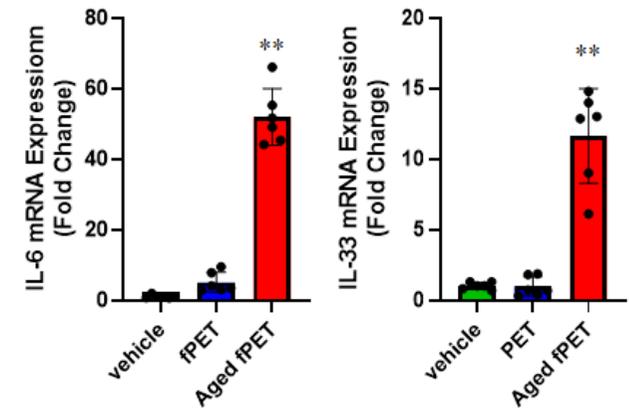
## MPO (好中球) 染色



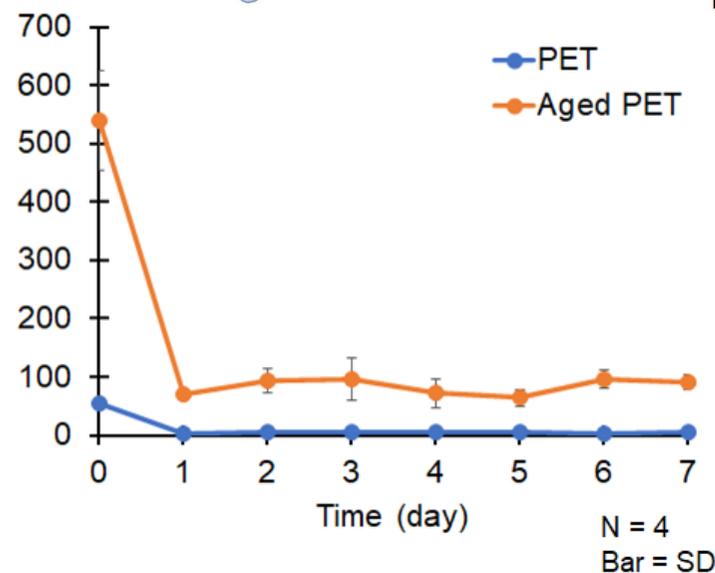
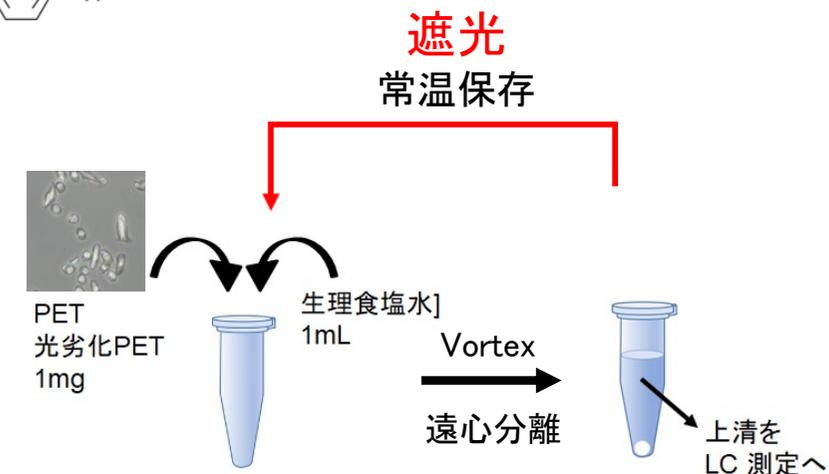
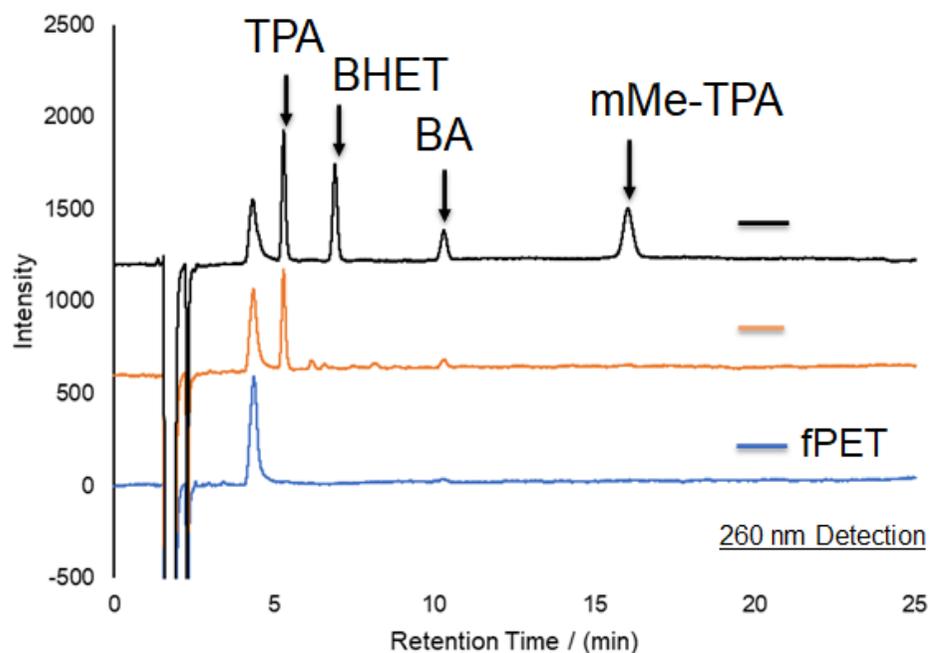
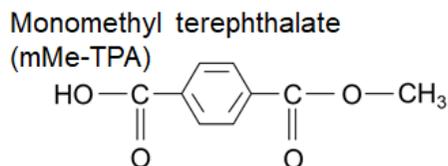
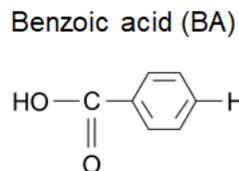
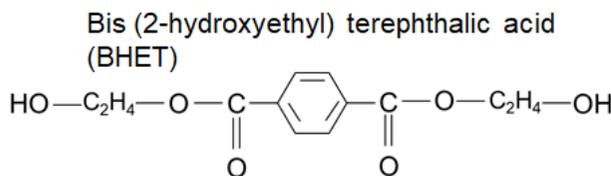
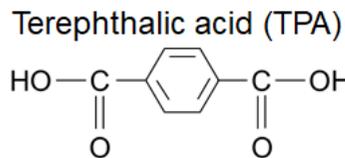
## PenH (気道過敏性)



## 炎症マーカー



# 太陽光劣化によるテレフタル酸 (TPA) の溶出



**PET は、一度太陽光で劣化すると、暗所においても TPA を放出し続ける**

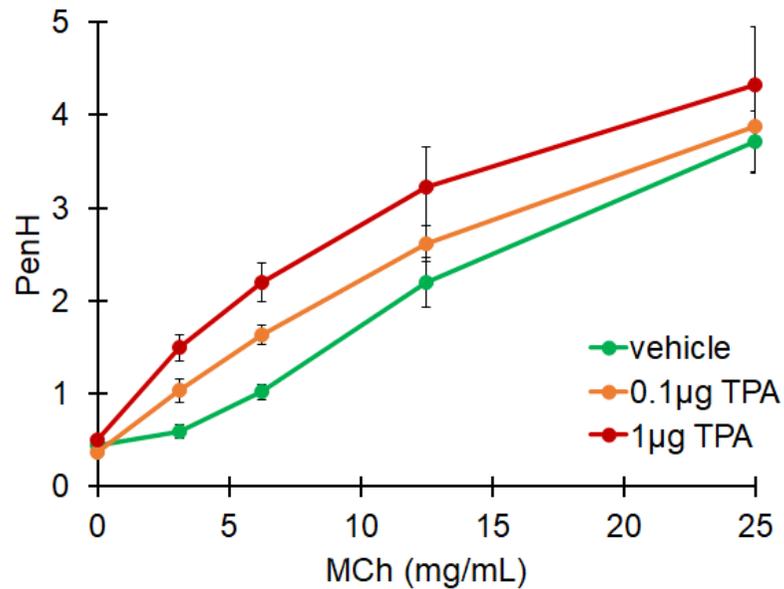
# テレフタル酸吸入曝露の呼吸器影響

雄性 ICR マウス (8 週齢)

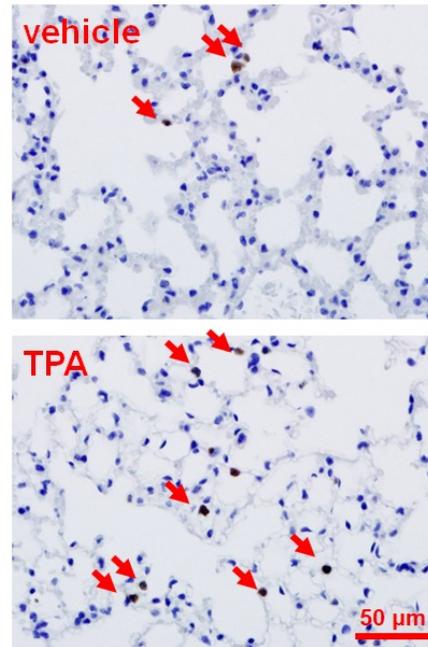
0.1 or 1  $\mu\text{g}/\text{mouse}/\text{day}$  for 7 days



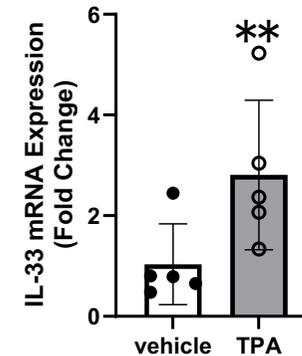
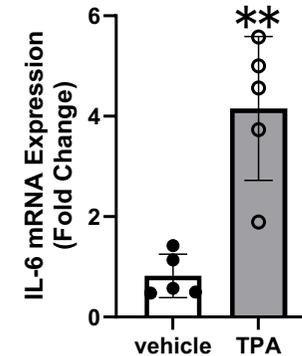
PenH (気道過敏性)



MPO (好中球) 染色

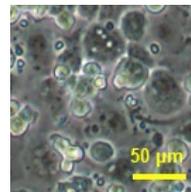


炎症マーカー

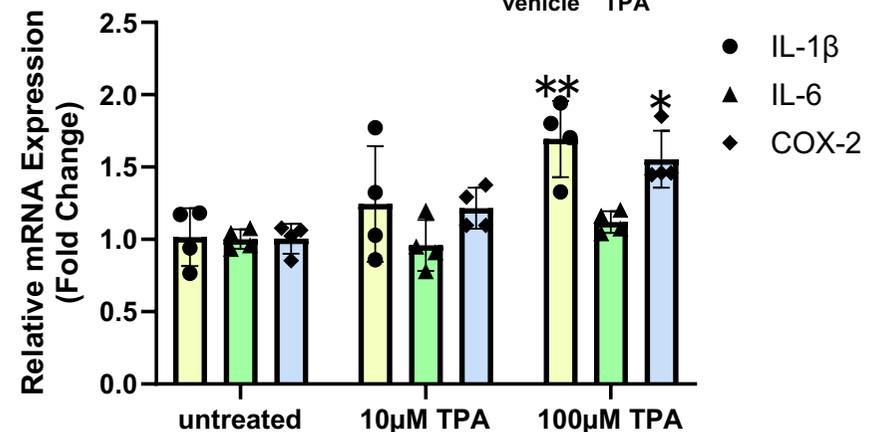


U937: ヒト単芽球様細胞株

4 nM Phorbol 12-Myristate 13-Acetate (PMA) 処置により、マクロファージ様分化を誘導



PMA 処置後 96 時間培養した後、PM に曝露して 6 時間培養



PM2.5 と同様なら、

プラスチックが環境中へ



微細化  
劣化

マイクロプラスチック

環境化学物質付着  
(ベクター効果)



小さいものは肺の奥へ

呼吸器影響

しかし、本研究結果より、

・ 劣化プラスチックは**化学物質排出源**

→ 肺の中で長く化学物質を放出する！

1. 毒性は、プラスチックの種類に依存する
2. 肺胞に入ってしまったら、サイズが大きいほど毒性が強い  
(大きいものも肺に侵入する)
3. 肺胞の中で、局所濃度は高くなる
4. 呼吸器毒性は持続する、或いは遅発性である

→ ただし、「毒性は曝露量依存的」である点は共通

## サブテーマ3: 達成状況と自己評価

- 繊維状PET、PP、PS、タイヤ磨耗塵 (Road dust)
  - ✓ 培養細胞を用いた評価達成
  - ✓ 正常マウスを用いた評価達成
- 実大気AMPsによる暴露実験は手つかず: サブ1課題
- 当初計画に加えて、太陽光劣化MPsを用いた実験遂行

### 自己評価

全体的に当初計画通り進行。実大気AMPsによる実験はできていないが、**太陽光劣化MPsの呼吸器毒性を世界ではじめて明らかにする**など、AMPsの呼吸器毒性評価については計画以上の成果をあげていると評価する。

達成状況: 2. 目標を上回る成果をあげた

# 全体：自己評価

- 研究計画はほぼ遂行できており、計画していなかった社会的関心が高い問題にも精力的に取り組んだ。
- 分析法開発、劣化度評価で企業と共同研究をすすめ、実態解明では地方環境研の協力を得て、試料合成では国立環境研と共同研究を行い、AMΦプロジェクトとして産官学連携を推進することができた。
- 国内外の学会発表を数多く行い、論文投稿も着実にを行い、学術的に十分な成果を挙げている。
- 取材、依頼講演、依頼原稿執筆を精力的に行い、AMΦプロジェクトで得られた大気中マイクロプラスチックに関する知見を社会還元することができた。
- サブ1で計画していた乾式分級装置開発が実現せず、サブ3の研究計画を変更せざるをえなかった。

## 1. 目標を大きく上回る成果をあげた

# 環境政策への貢献

## 1. 迅速分析法の確立と実態に関する知見集積

既往研究では手法は不統一であり、大気中濃度はバラツキが大きい。本研究では、統一手法を用いて国内外で観測を行い、環境基準制定を制定する際に根拠となる基礎情報（個数および質量濃度、大気沈着量、実粒径、空気動力学径分布、ポリマー組成、形状、添加剤・吸着剤濃度）を提供する。開発した手法は100  $\mu\text{m}$ 以下の水圏MPsに適用可能。森林樹冠によるAMPs捕捉量は膨大であることから、街路樹・公園林・工場林を活用したAMPs低減可能。

## 2. 信頼性の高い動態モデルの開発

既往研究モデルでは、エアロゾル沈着スキームは不確実性が高い。本研究では、北半球～アジア領域ではあるが、大気降下量、大気濃度、空気動力学径分布の観測値を活用し、信頼性の高い収支を見積もる。信頼性の高い発生源情報を提供することで環境行政に貢献する。

## 3. 健康影響に関する知見集積

光劣化PETは非劣化PETと比較して、強い呼吸器系障害作用を示した。光劣化PSはエピジェネティックな作用、光劣化PPはマクロファージ活性化作用を示した。光劣化MPsは暗所でも分解し続けることから、呼吸器に取り込まれた場合、化学物質放出源となる可能性がある。新たな視点での毒性評価、リスク評価の必要性を提示した。

# 付 録

～研究成果のエビデンス～

# サブ1：AMPs分析法開発と実態解明

## サンプリング

- 採取地点
- 採取項目
- 採取期間
- 空気動力学径
- 積算流量

## 前処理

- 有機物除去
- 密度分離

- μFTIR
- μRaman
- O-PTIR
- Py-GCMS
- Py-GCxGC-TOFMS

## キャラクタリゼーション

- ① 材質
- ② 形状：粒状，破片，繊維
- ③ 大きさ（フェレ径）

## 実態解明

- 個数濃度，質量濃度
- 空気動力学径分布
- 実粒径分布
- 大気沈着量
- 起源解析

## 気象および大気汚染データ

- 天候
- 気温・湿度
- 降雨量
- 風向・風速
- 後方流跡線
- PM<sub>2.5</sub>
- O<sub>x</sub>
- NO<sub>x</sub>
- SO<sub>2</sub>
- その他

早大：標準分析法確立と実態解明  
徳島大：AMPs迅速分法確立  
大公大：東南アジア観測，劣化機構  
東洋大：森林観測，MNPs合成

# AMΦプロジェクト：採取方法

PM<sub>2.5</sub>

PM<sub>2.5</sub> Cyclone  
High volume air  
sampler



480

L/min High Volume  
air sampler

PM<sub>2.5</sub> Cyclone

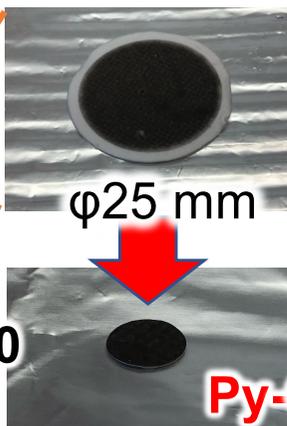


PM<sub>2.5</sub> (PM<sub>4</sub>, PM<sub>10</sub>)



20 - 30  
L/min

NW-354



φ25 mm

φ5 mm

Py-GCMS

Size-segregated

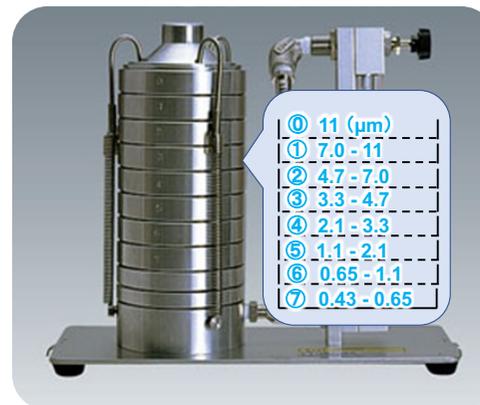


Multi Nozzle  
Cascade Impact  
Sampler

20 L/min

10 μm < (PM<sub>10<</sub>)  
2.5 - 10 μm (PM<sub>2.5-10</sub>)  
< 2.5 μm (PM<sub>2.5</sub>)

28.3 L/min



Andersen Sampler

⑦	0.43 - 0.65
⑥	0.65 - 1.1
⑤	1.1 - 2.1
④	2.1 - 3.3
③	3.3 - 4.7
②	4.7 - 7.0
①	7.0 - 11
⑧	11 (μm)

TOTAL

20 L/min



NILU filter holder

# サブ1：前処理&同定法：改良



試料採取

**有機物除去**  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(過酸化水素)で生物の遺骸や有機物を除去  
(2日~7日)



**密度分離**

5.3 M NaI (1.8 g/m<sup>3</sup>)で、比重差を利用して、鉍物粒子から分離



静置 ×

遠心分離 ○

ろ過 (アルミナフィルター)

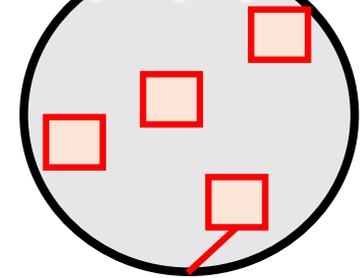
可視画像の撮影・IR測定

μFTIR ATR イメージング



PerkinElmer Japan, Spectrum3 + Spotlight400

Sample spot point



Measurement point (selected at random)

Wavenumber resolution	8 cm <sup>-1</sup>
Number of scan	1 time
Speed of scan	2.2 cm/sec
Wavenumber Range	4000 – 680 cm <sup>-1</sup>
Pixel size	1.56 μm
Sample size	<b>750 × 750 μm</b> 4 sights
<b>Measurement area</b>	<b>17.9 % (100%)</b>

- 視野面積：400 μm/辺 → 750 μm/辺
- ろ過面積縮小：16 mm → 4mm → 1mm
- 計測時間短縮：7時間/視野 → 40分/視野

# マイクロプラスチックの分類

## 五大汎用プラスチック

ポリエチレン  
(PE)

ポリプロピレン  
(PP)

ポリスチレン  
(PS)

ポリエチレン  
テレフタレート  
(PET)

ポリ塩化ビニル  
(PVC)

## ポリオレフィン

エチレン・プロピレン  
共重合体  
(PE/PP)

## 生分解性

ポリビニルアルコール  
(PVA)  
ポリヒドロキシ酪酸  
(PHB)

## アクリル樹脂

ポリメタクリル酸メチル  
(PMMA)      ポリメタクリル酸エチル  
(PEMA)

スチレン・ブチル  
メタクリレート  
共重合体  
(SBMA)

エチレンエチル  
アクリレート  
(EEA)

SMA, PHEMA, PMA, PAR

## その他(熱可塑性)

エチレン酢酸ビニル  
共重合体  
(EVA)

ポリカーボネート  
(PC)

ポリアクリロニトリル  
(PAN)

アクリロニトリル  
ブタジエン  
スチレン  
共重合体  
(ABS)

アクリロニトリル  
スチレン  
共重合体  
(AS)

ポリアミド(PA)

ポリ酢酸ビニル  
(PVA<sub>C</sub>)

アルキド樹脂  
(ALK)

ナイロン66    ナイロン6  
(N66)        (N6)

## その他(熱硬化性)

ポリウレタン(PUR)

エポキシ樹脂(EP)

ポリジアリルフタレート  
(PDAP)

## シリコン樹脂

シリコン樹脂(SI)

## ポリアイミド

ポリアイミド(PI)

## ゴム

アクリロニトリルゴム  
(NBR)

スチレンブタジエンゴム  
(SBR)

ブタジエンゴム(BR)

熱可塑性プラスチック

熱硬化性プラスチック

# 同定・計測：推計精度向上

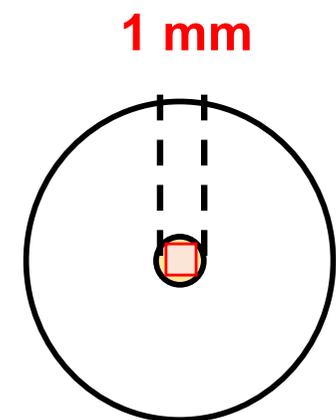
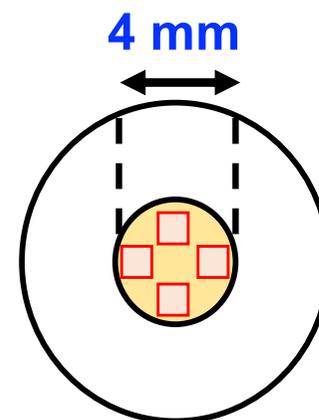
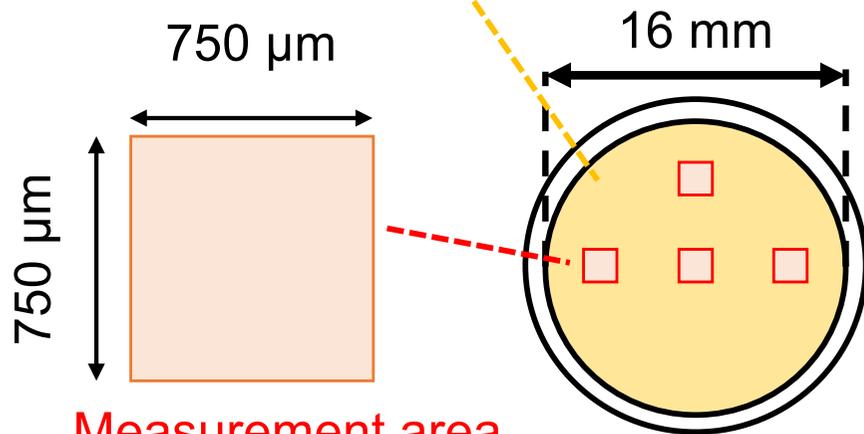


Filtrate area

$\phi 16\text{mm}$   
(KGS - 25)

$\phi 4\text{mm}$   
(KGS - 04)

$\phi 1\text{mm}$   
(Custom order)



# 定量精度の向上：ノイズ減少処理

## ➤ 主成分分析(PCA)法

多変量統計解析により基本因子とノイズ因子に分け、ノイズ因子を除去



欠点：信号変動がノイズ程度であると、ノイズとして除去される

➡ AMPsは**信号強度が弱い**ため誤判別を引き起こす可能性

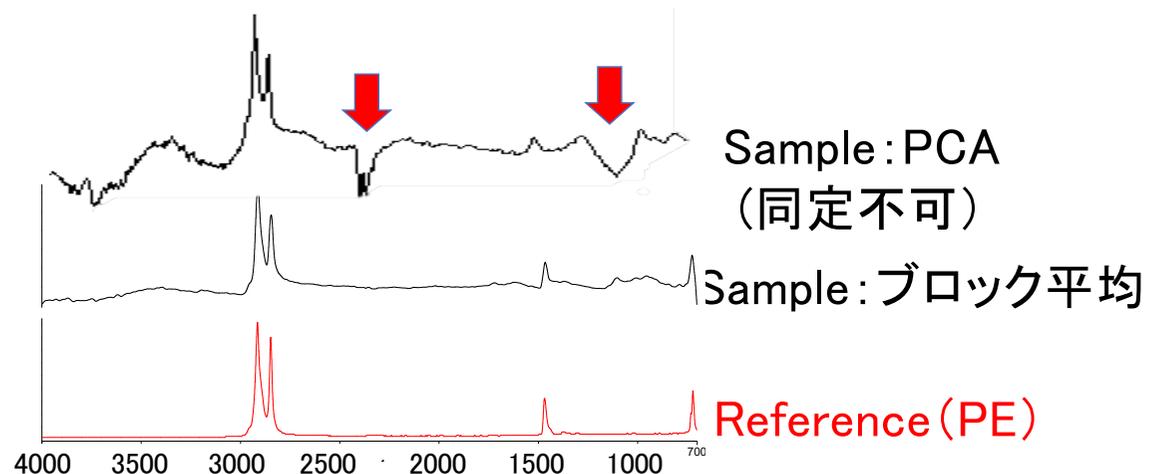
## ➤ スムージング(平滑化): 単純移動平均法, Savitzky-Golay法

スペクトルのノイズ成分を除去してSN比を改善

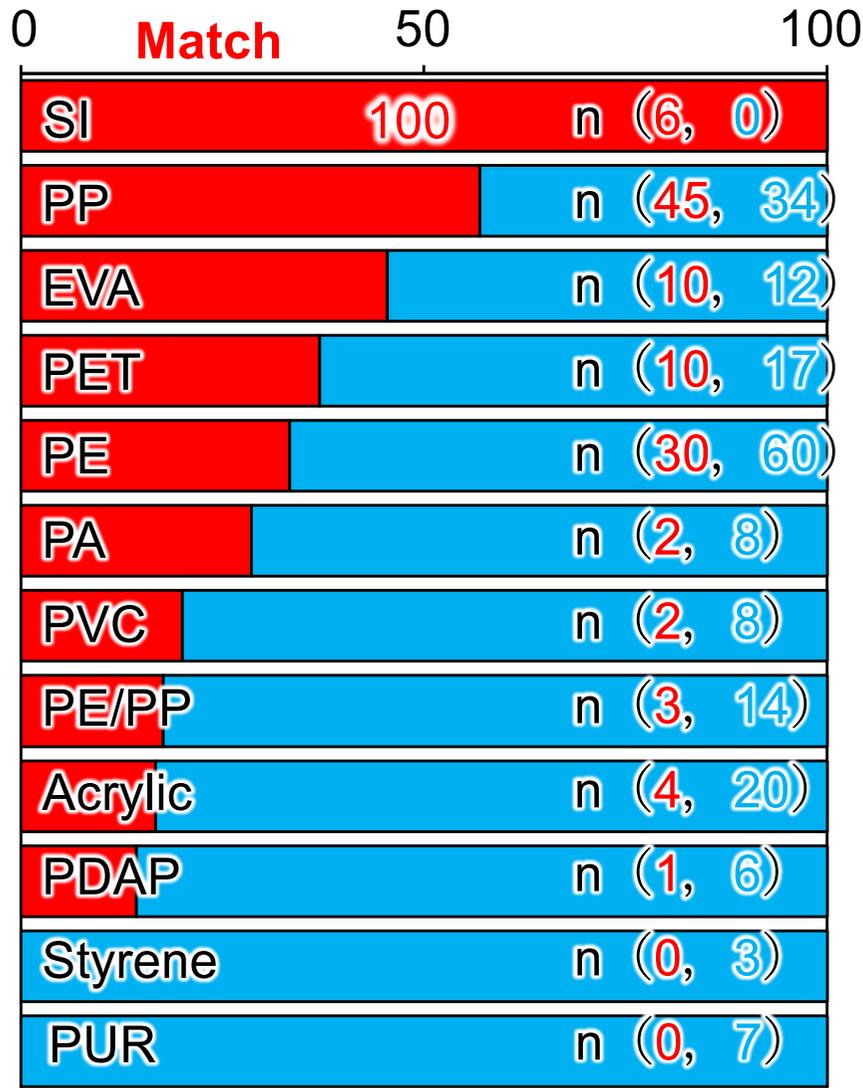


## ➤ アルゴリズム

- **ブロック平均法**: コンボリューション幅によりスペクトルが歪む
- **Savitzky-Golay法**



# 定量精度の向上：ノイズ減少処理

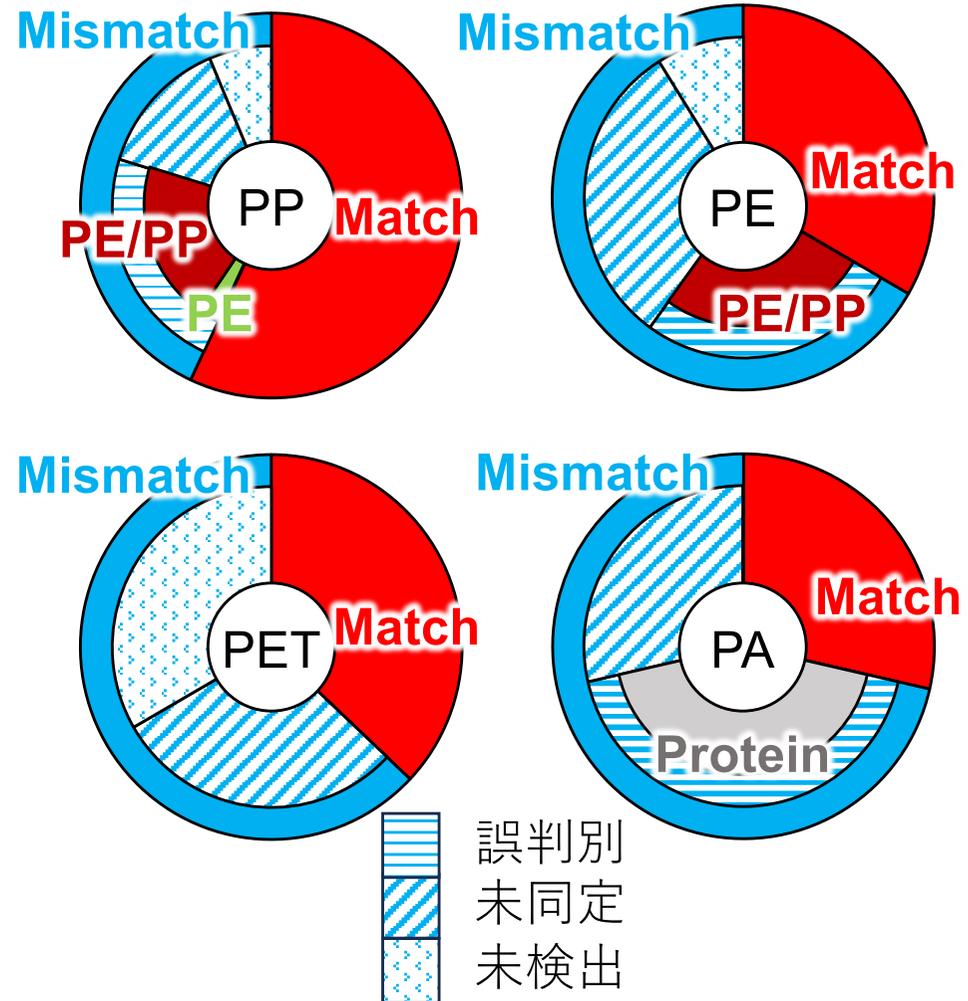


Mismatch

PA : Poly amide

Styrene : PS · AS

Acrylic : PMMA · PEMA · SBMA · EEA



エアロゾル：北海道（2022, n=8），徳島（2022, n=8），広島（2022, n=4）

PCAにより64%が誤判別

サブテーマ1  
～実態解明：国内陸域～  
サブテーマ2へデータ提供

全国マップと季節変化

# 国内観測網の構築

AMΦプロジェクト

## 共通の採取法・前処理法・分析法

札幌（北海道）



福島（福島）



・国内13地点で採取

都市：7地点

郊外：4地点

遠隔：2地点



新宿（東京）



18階屋上/道路沿道

徳島（徳島）



堺（大阪）



父島：2023秋から観測開始，来年：熊本，那覇

# AMPs : 長期モニタリング



## 粒径別エアロゾル

MCI (Multi nozzles Cascade Impact)  
サンプラー



10  $\mu\text{m}$  < ( $\text{PM}_{10}$ )  
2.5 - 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5-10}$ )  
< 2.5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ )



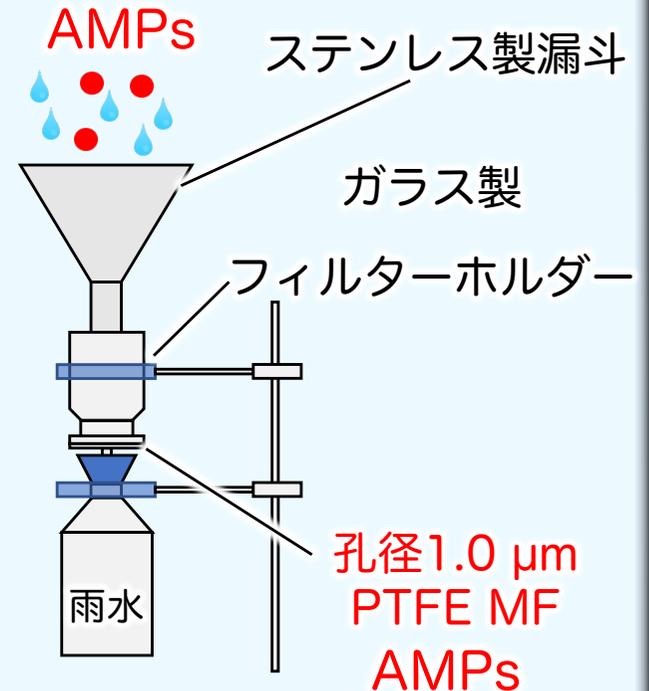
LVポンプ  
(20 L/min)



1・2段目 3段目  
PTFEバインダー  
ガラス繊維フィルター

## フォールアウト

ろ過式雨水採取装置

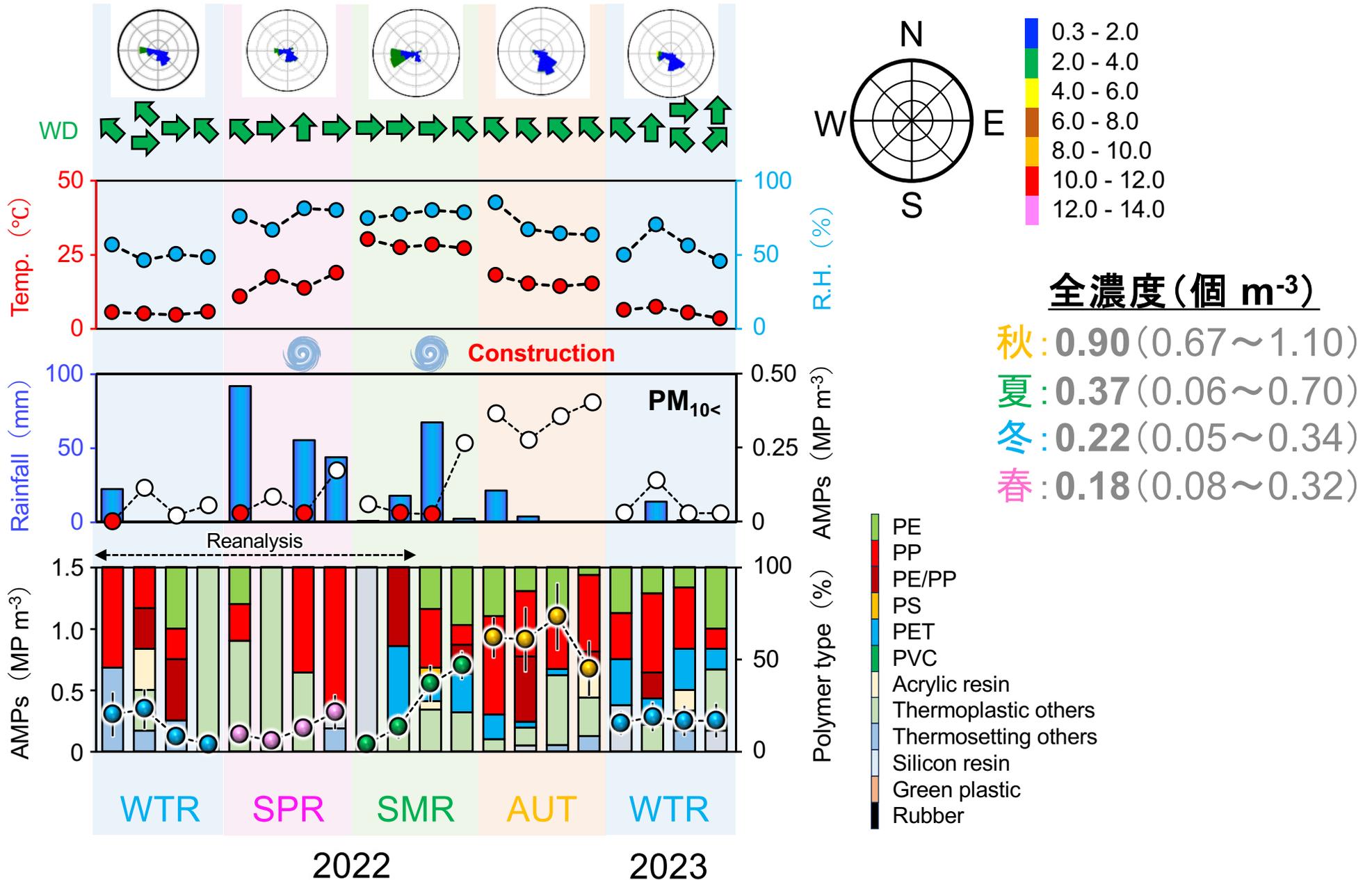


➤ 採取時にAMPsをろ過分離

↓  
前処理時間の短縮

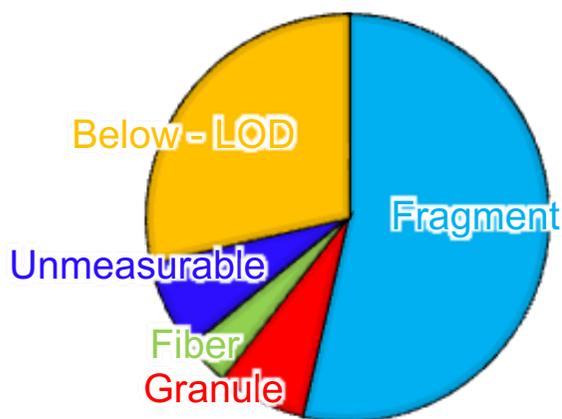
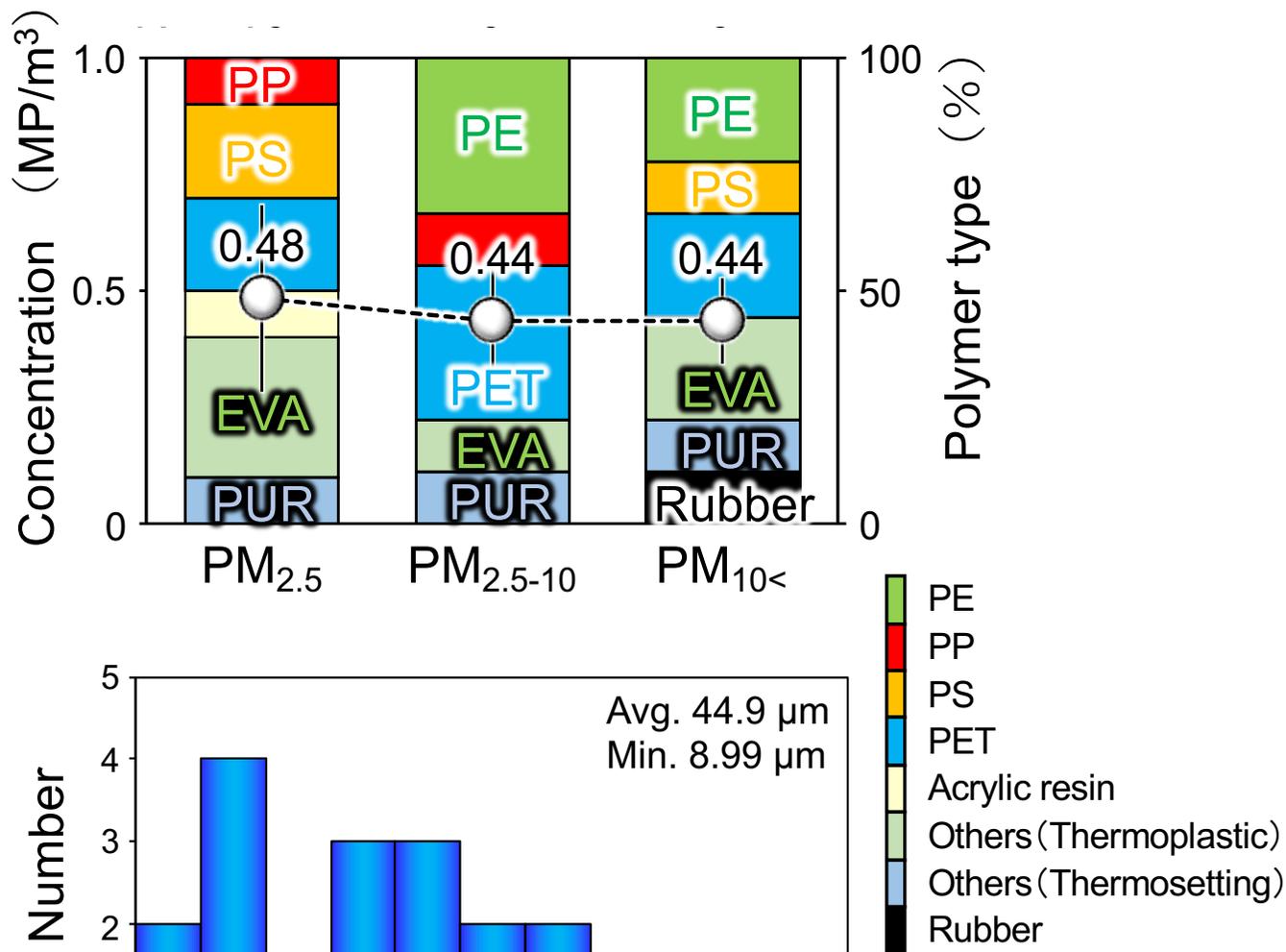
採取の簡便化

# 新宿：都市大気AMPsの季節変化

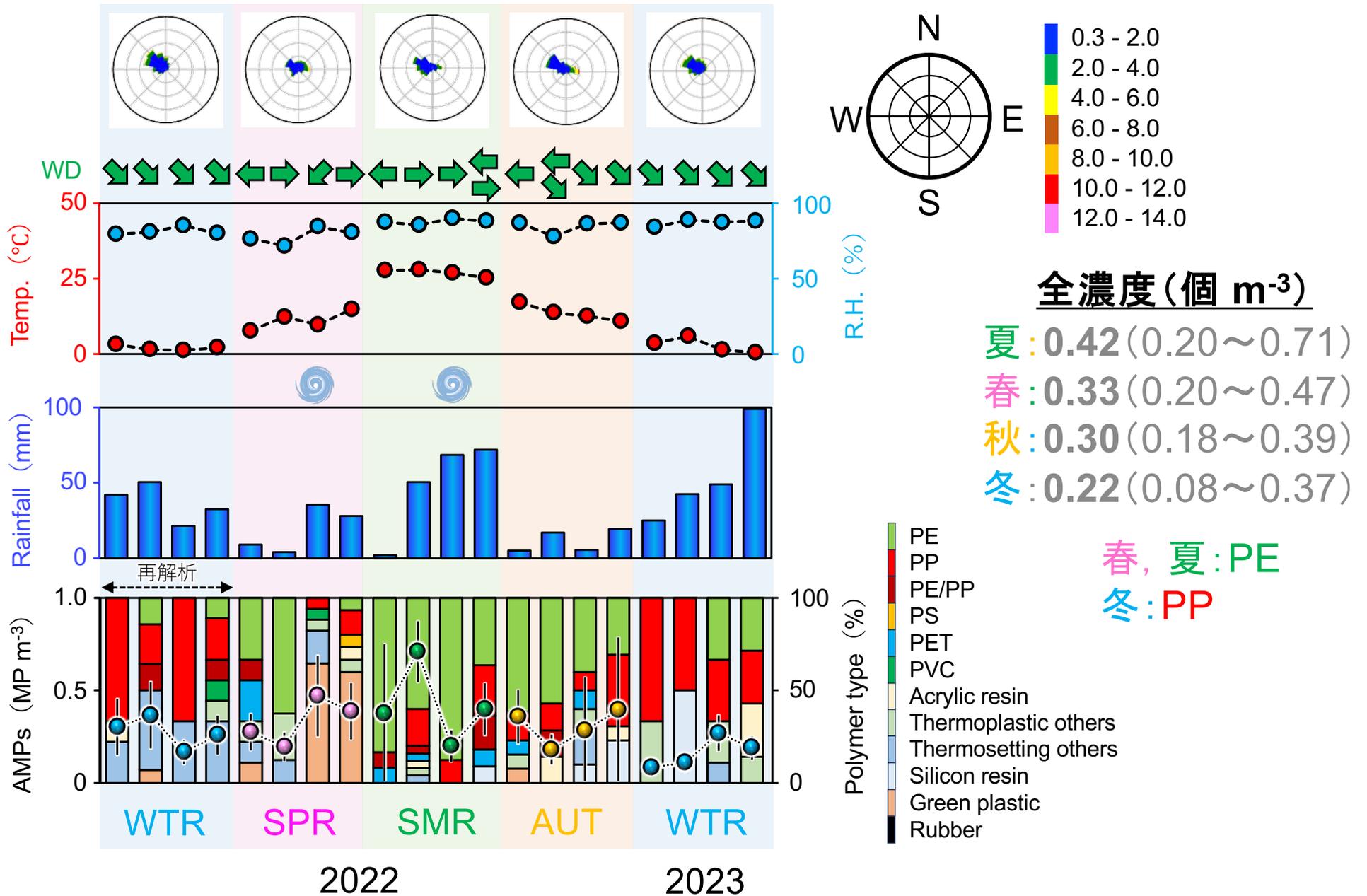


# 都市大気：道路沿道 (μFTIR)

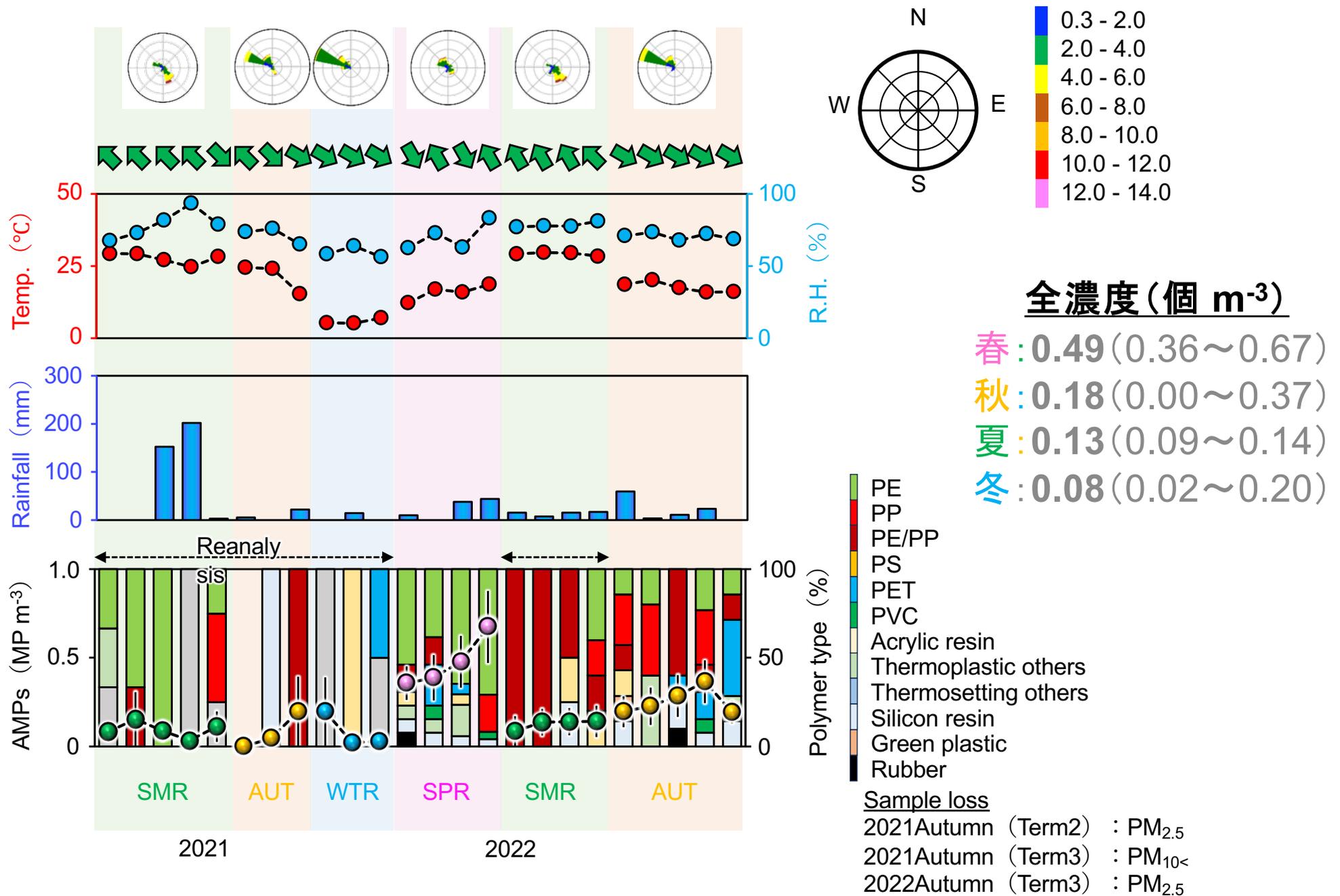
2022年5月9日～5月13日 西早稲田キャンパス明治通り沿い



# 珠洲：遠隔大気AMPsの季節変化



# 徳島：都市大気AMPsの季節変化

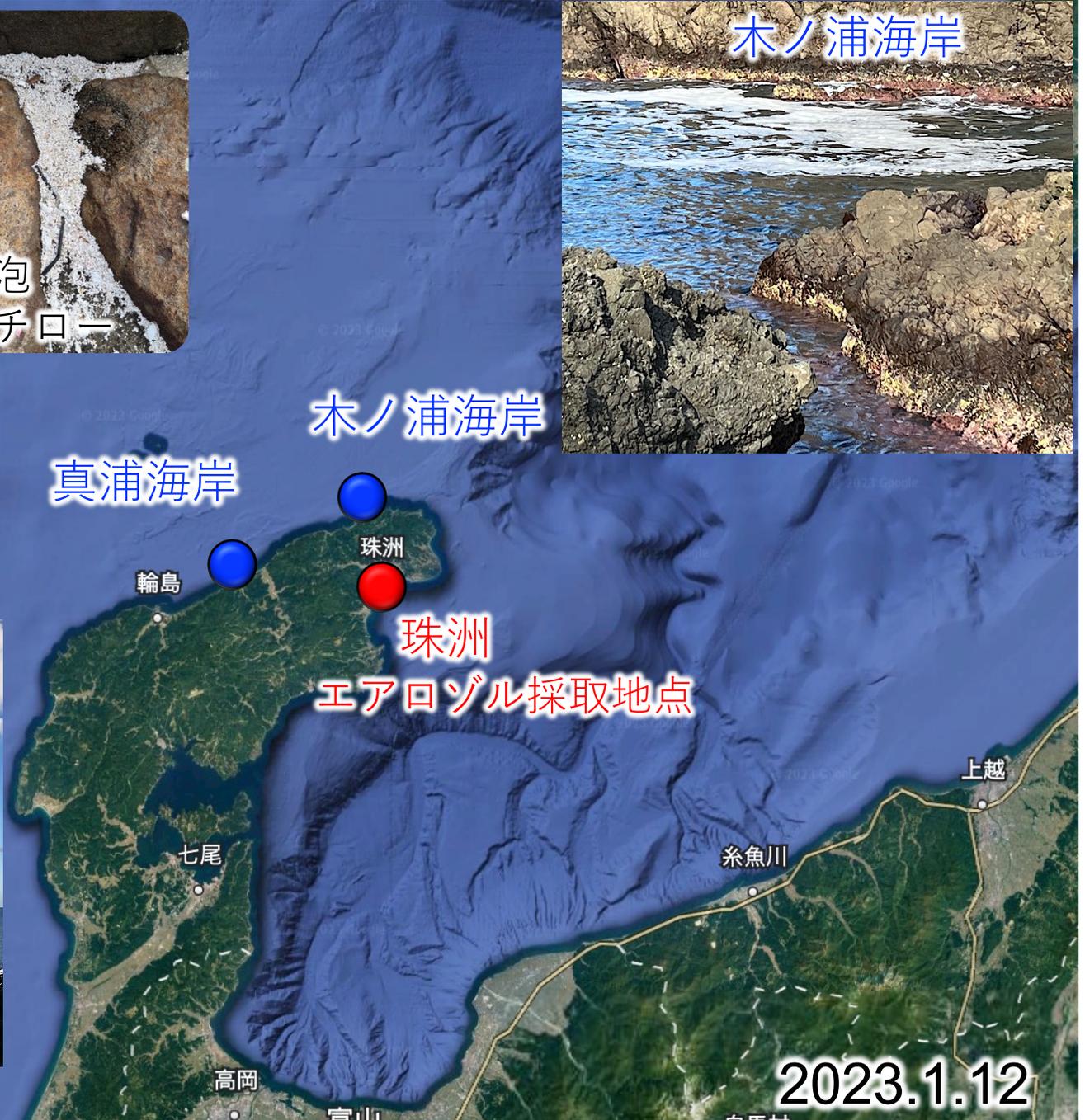


# 遠隔サイト：能登半島

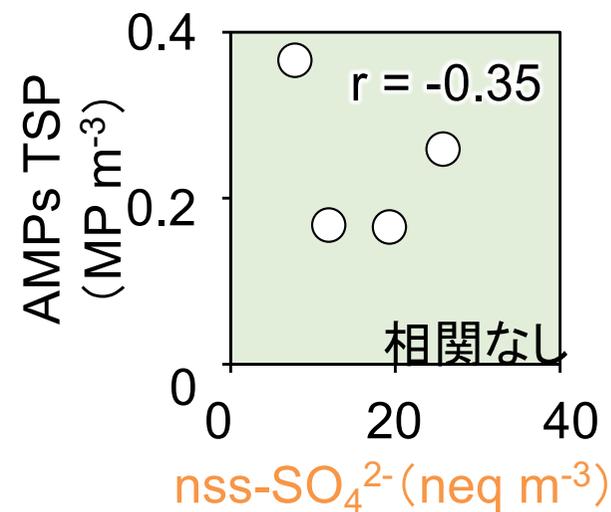
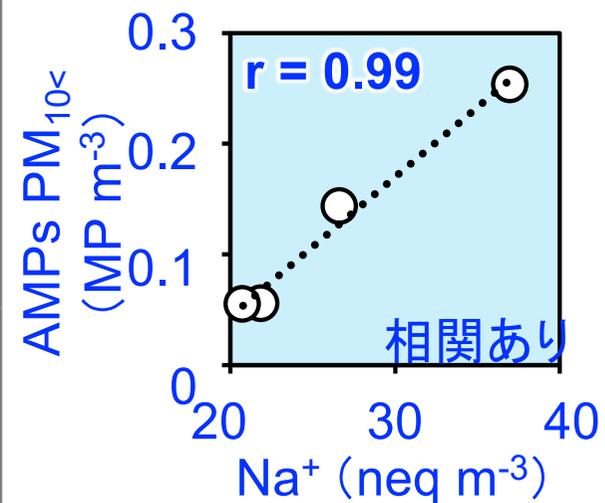
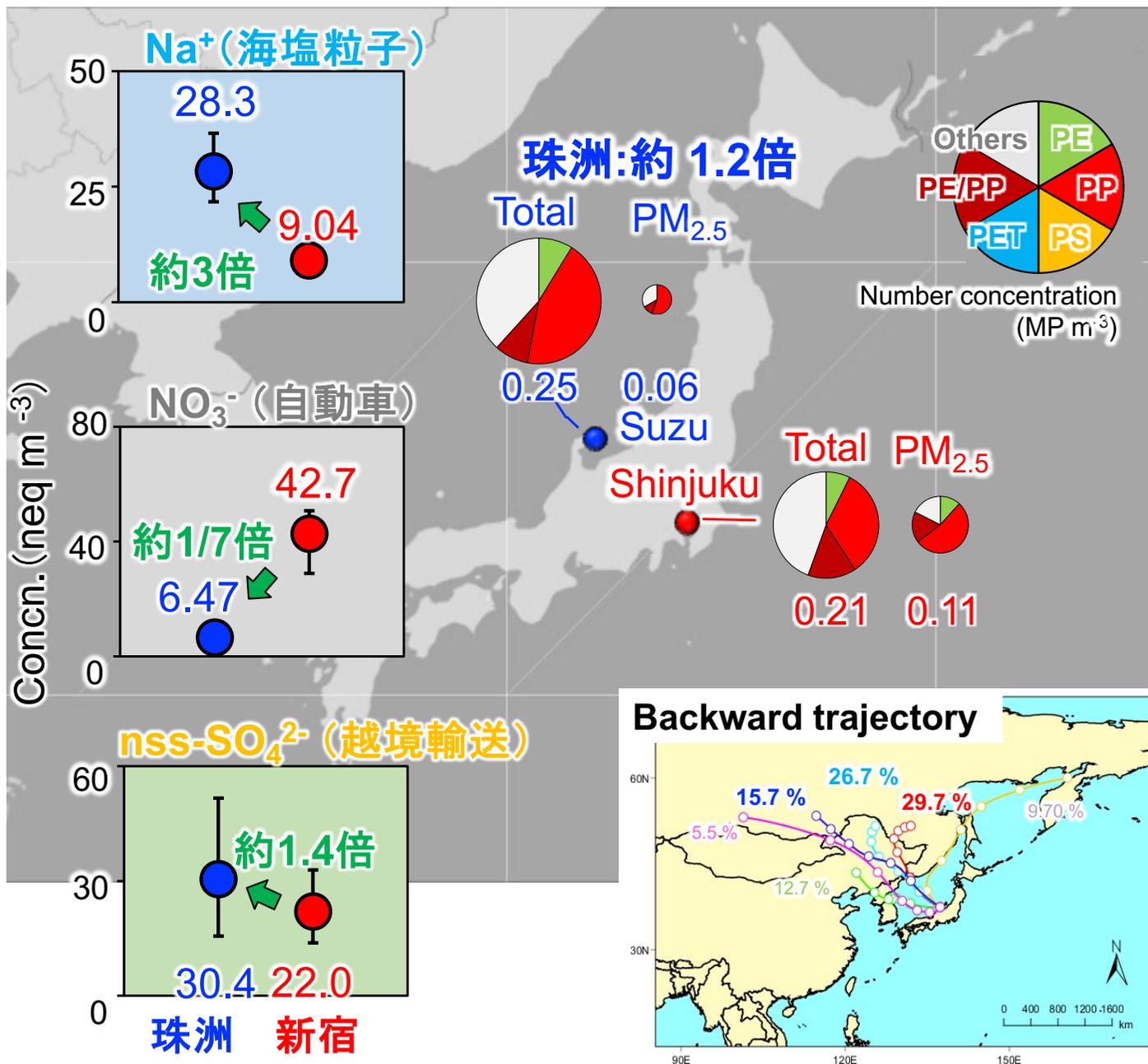


真浦海岸

木ノ浦海岸



# 地域比較(冬)：新宿 vs 珠洲



Na<sup>+</sup>との高い正の相関  
→ 海洋由来を示唆

# 波の花：数ミクロンMPs & NPs

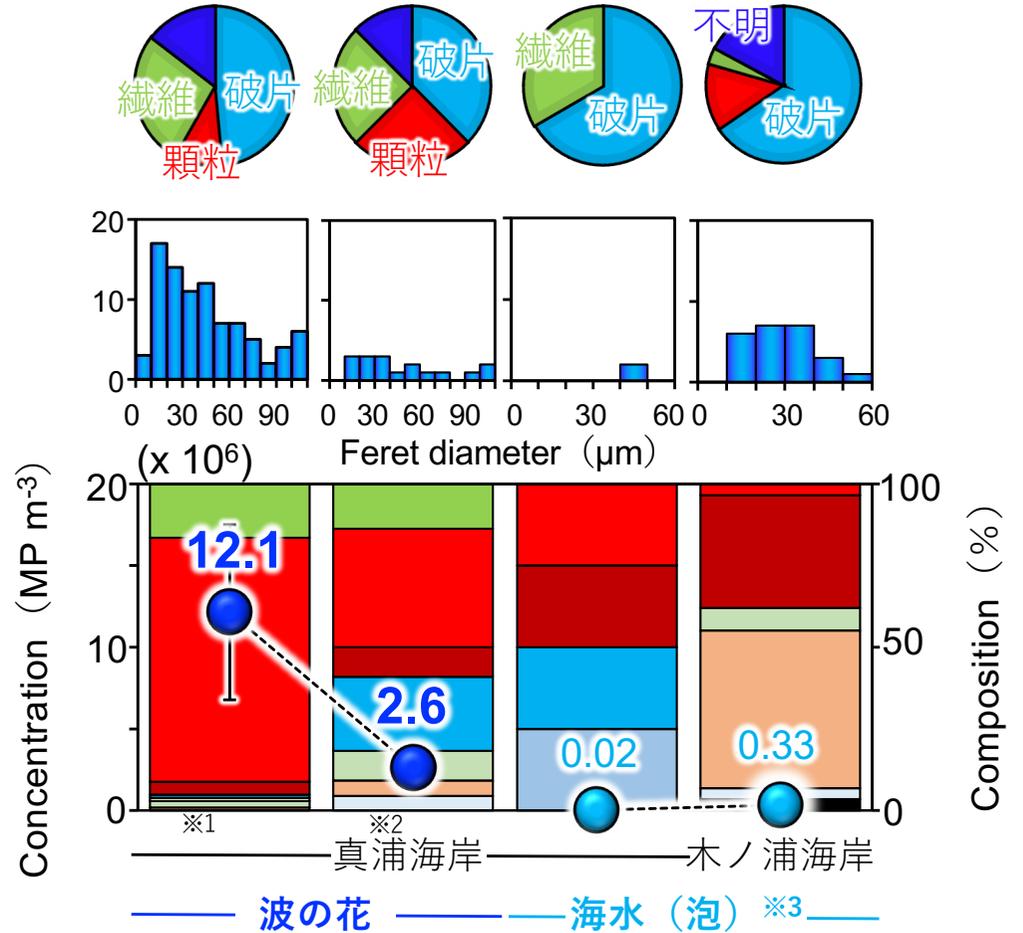
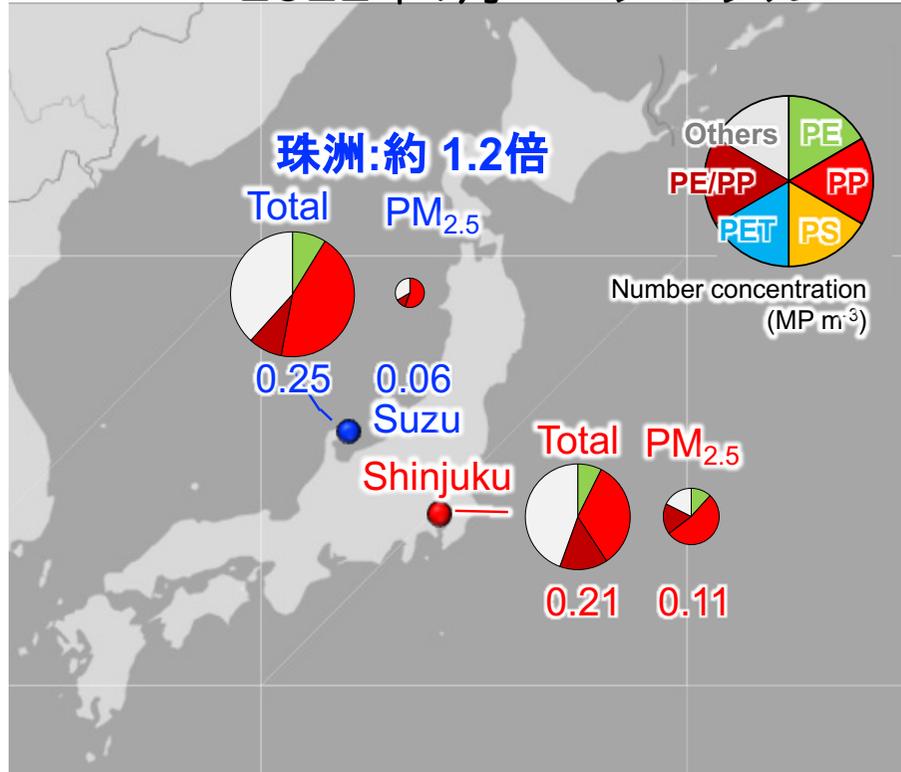


波の花：有機物を多く含む海水が攪拌されて作られた泡。強い風に吹かれて内陸へ運ばれることもある。  
俗称：カプチーノコースト(Wikipedia)

“波の花”とともに  
海洋数ミクロンMPs&NPsが大気へ飛散か？  
→サブ3・岩本先生：12月末に波の花採取済み  
→サブ1・大河内：1月12日に海水の泡採取

# 波の花にMPsが濃縮

2022年1月 エアロゾル



- PE
- PP
- PE/PP
- PET
- GP
- Silicon resin
- Rubber
- Alkyd resin
- Thermoplastic others
- Thermosetting others

※1: Dec.22, 2022  
 ※2: Dec.24, 2022  
 ※3: Jan.12, 2023

## Thermoplastic others

ポリアクリロニトリル, エチレンビニル酢酸, ポリカーボネート

## Thermosetting others

エポキシ樹脂

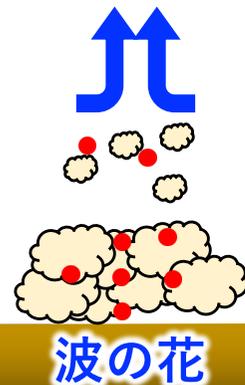
## 仮説

波の花が大気飛散?

## MPs濃度

表層 > 亜表層

(荒川, ERCAシンポジウム)



MPsが濃縮?

約130 - 600倍

サブテーマ1：地球規模汚染の実態解明

# 富士山頂で自由対流圏大気AMPs観測



# 大気汚染に国境は関係ない



Okochi Lab.

地球規模汚染

バックグラウンド汚染



速く、遠くへ

自由対流圏

大気境界層  
(0 - 2.5 km)

排出

低気圧  
に伴う  
上昇気流

高気圧  
に伴う  
下降気流

局地的  
排出



越境汚染

風上 発生源  
大陸

海 洋

風下 受容域  
大陸

# 富士山頂：PM<sub>2.5</sub>からAMPs検出

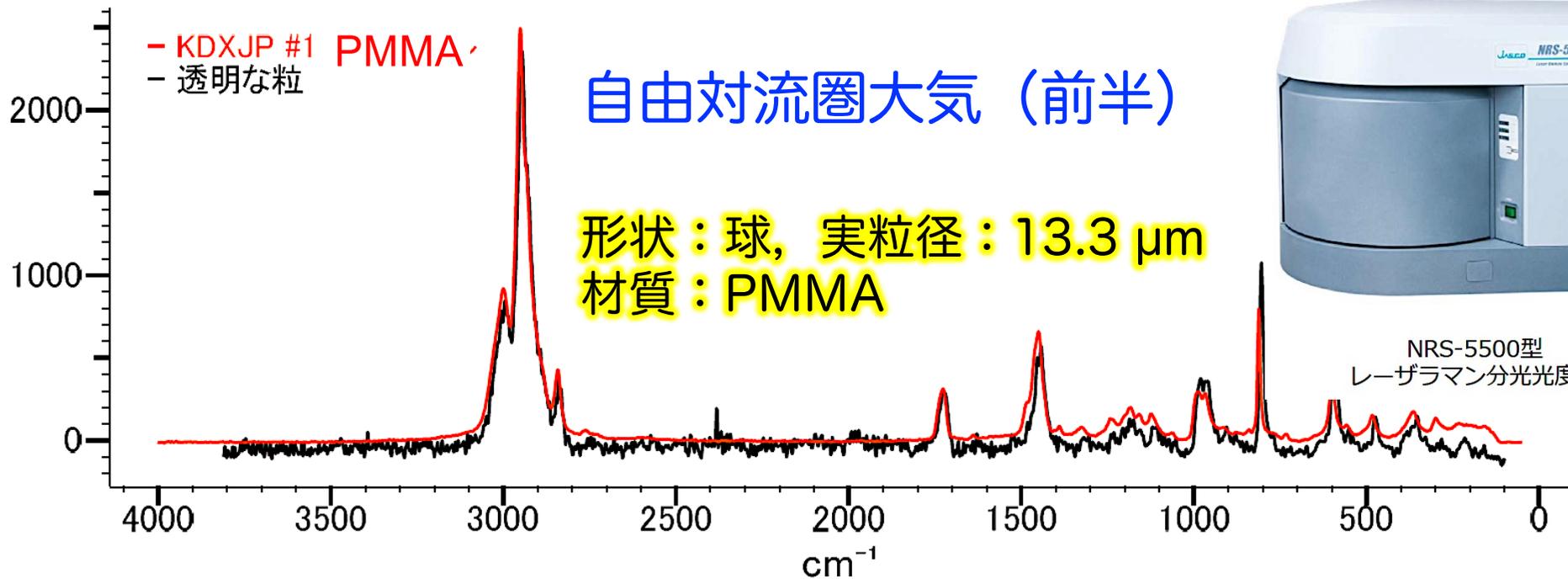


粒子にピントを合わせた画像



2021年夏

背景にピントを合わせた画像

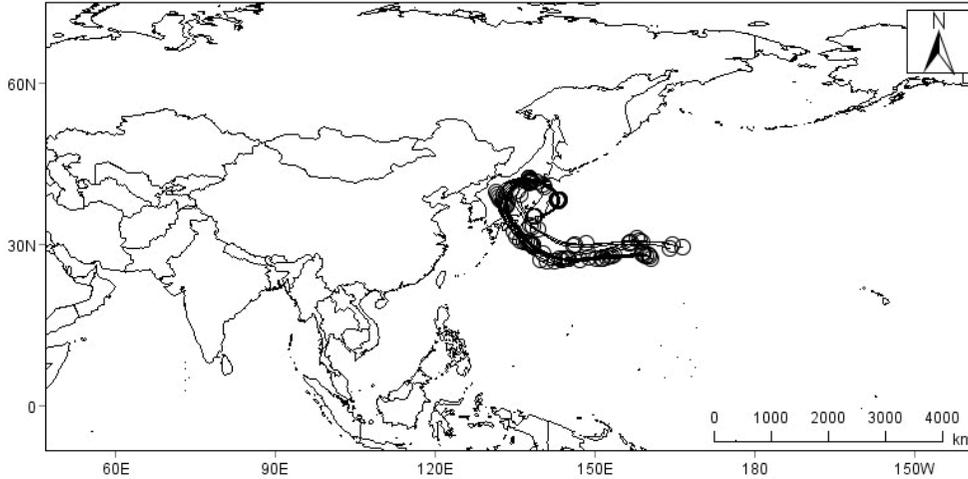


# 富士山頂へ流入する空気塊 2021



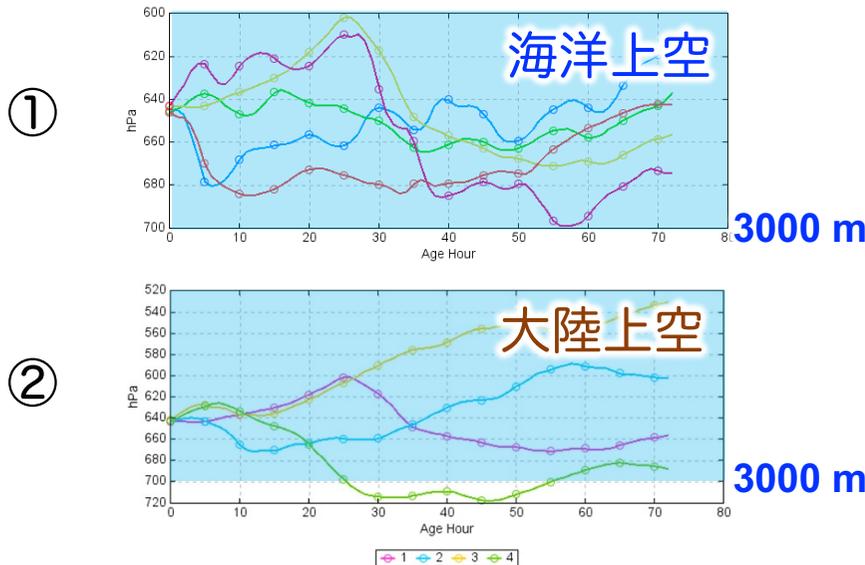
## 水平方向の空気塊解析

21/7/20 1800\_7/21 0600

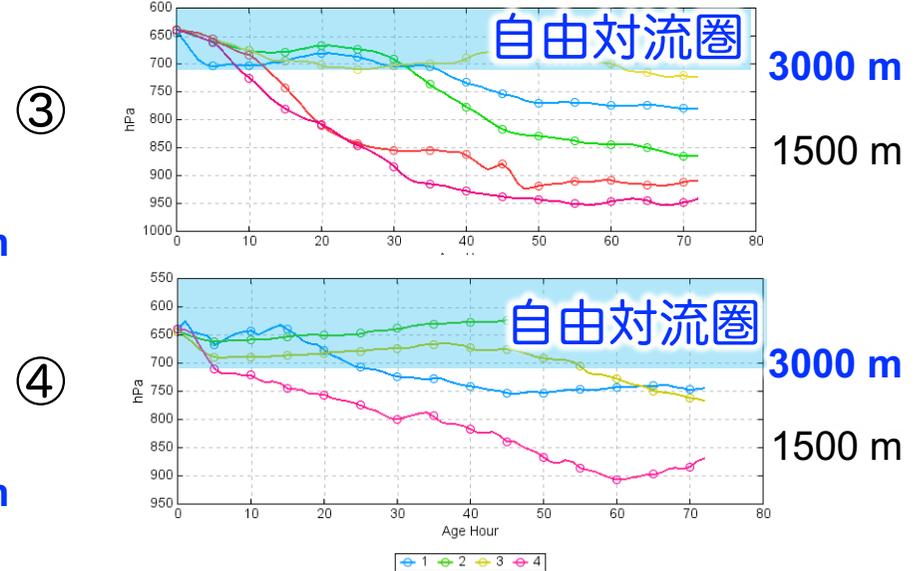


- ✓ 採取期間の前半
  - ①太平洋上空(7/20-23)
  - ②大陸上空 (7/24-26)
- ✓ 採取期間の後半
  - ③東南アジア(8/2)
  - ④東南アジア(8/6-9)

### 採取期間の前半：自由対流圏内



### 採取期間の後半：大気境界層輸送



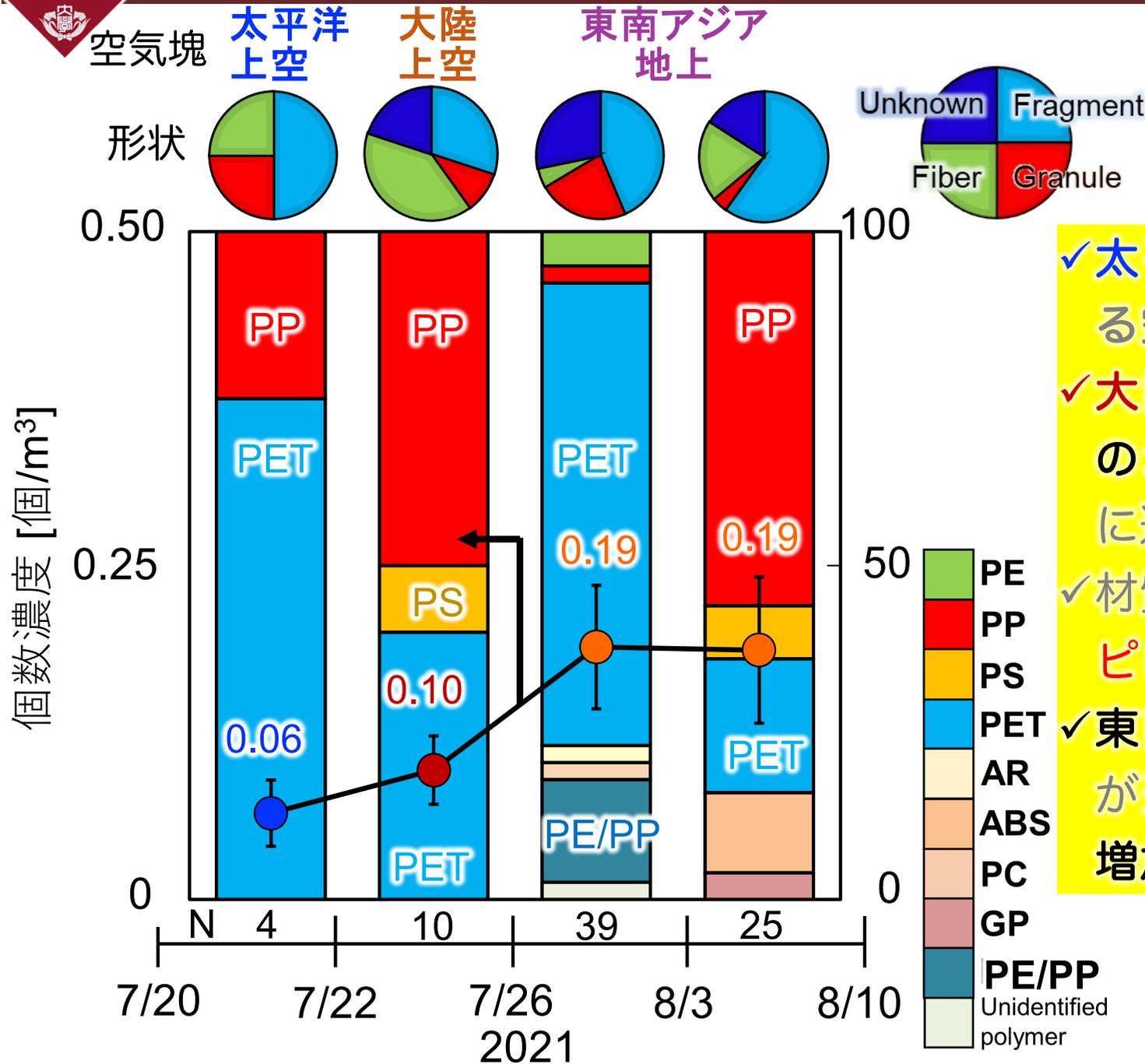
日本近海の太平洋上の自由対流圏大気

東南アジア・南太平洋からの地上大気

# 富士山頂：PM<sub>2.5</sub>AMPsの特徴

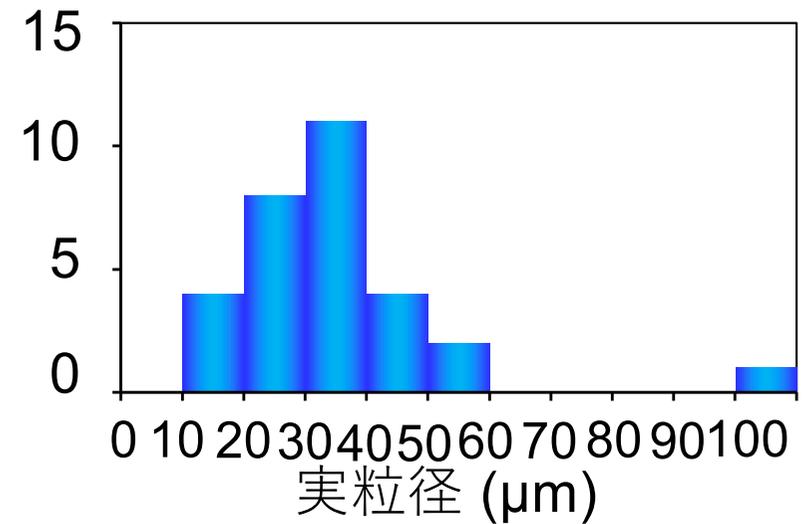
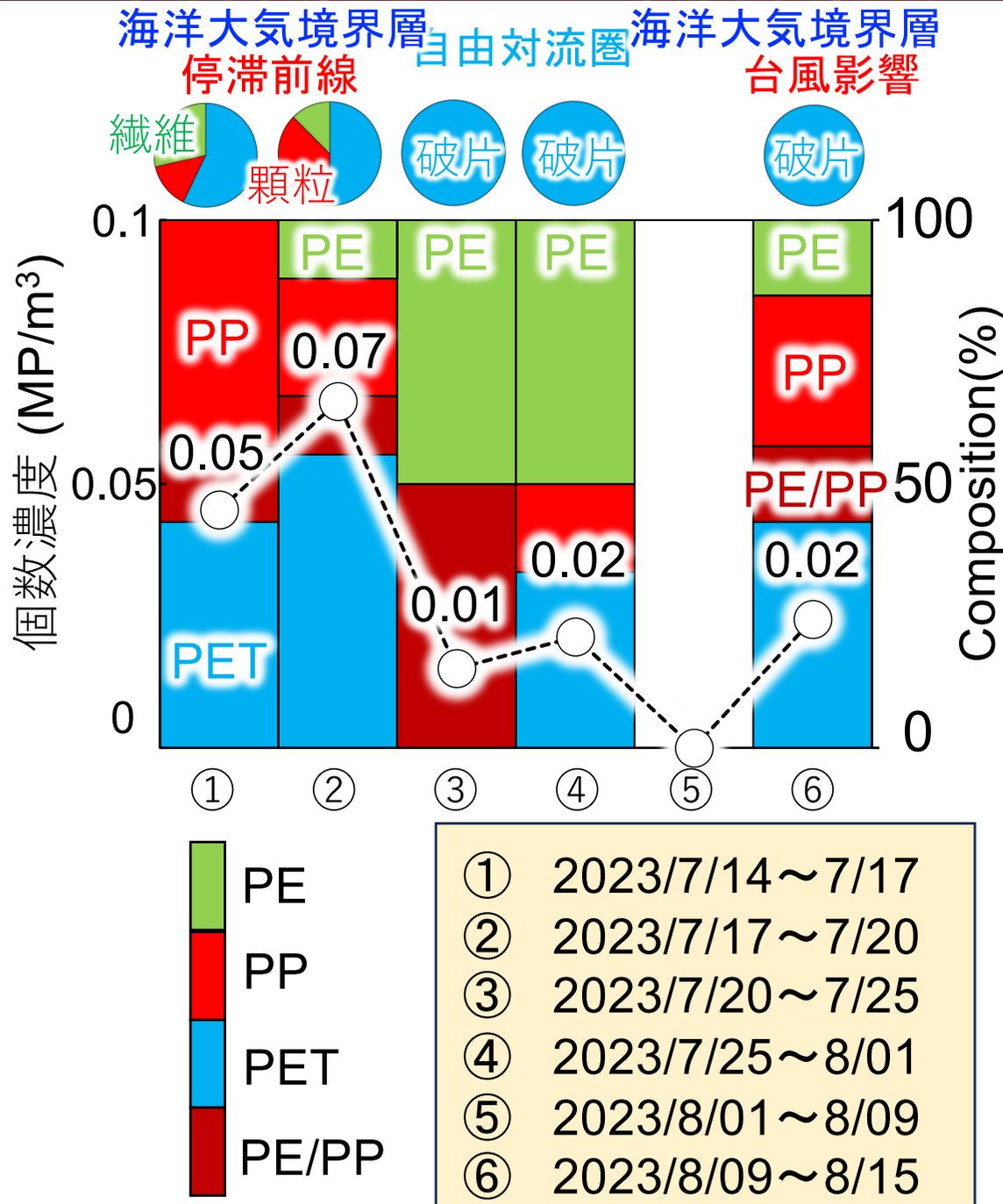


2021年夏



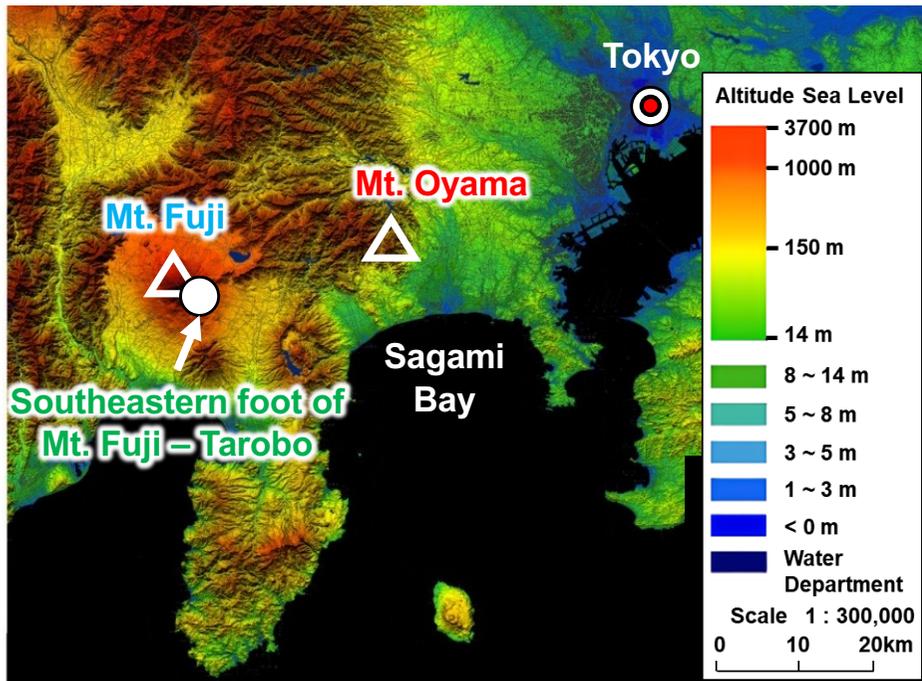
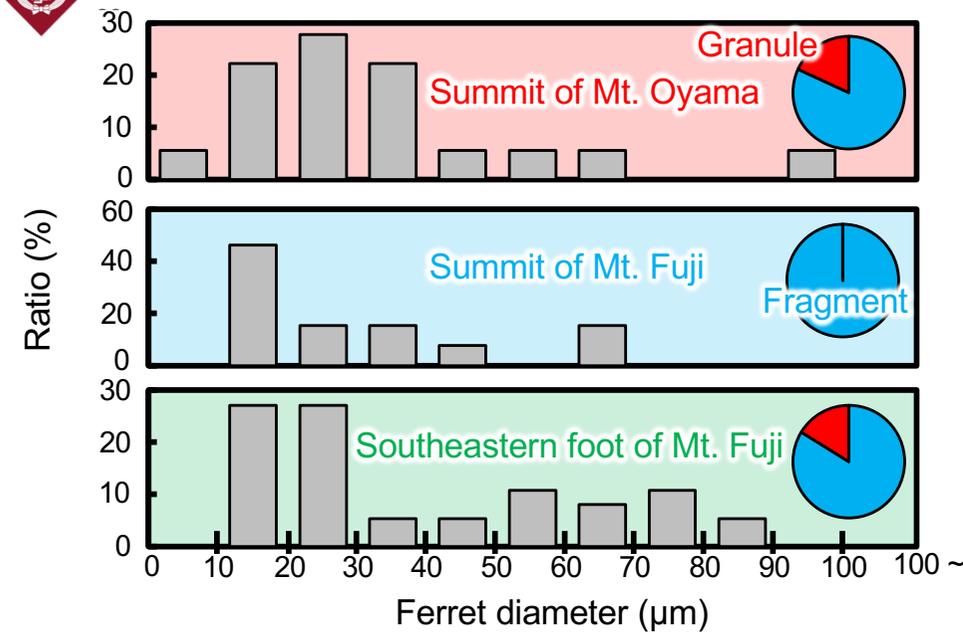
- ✓太平洋上空から運ばれる空気は綺麗
- ✓大陸上空と東南アジアの地上空気が富士山頂に運ばれると高濃度
- ✓材質はペットとポリプロピレンが主
- ✓東南アジアの地上空気が運ばれてくると種類増加

# PM<sub>2.5</sub>：大気中マイクロプラスチック

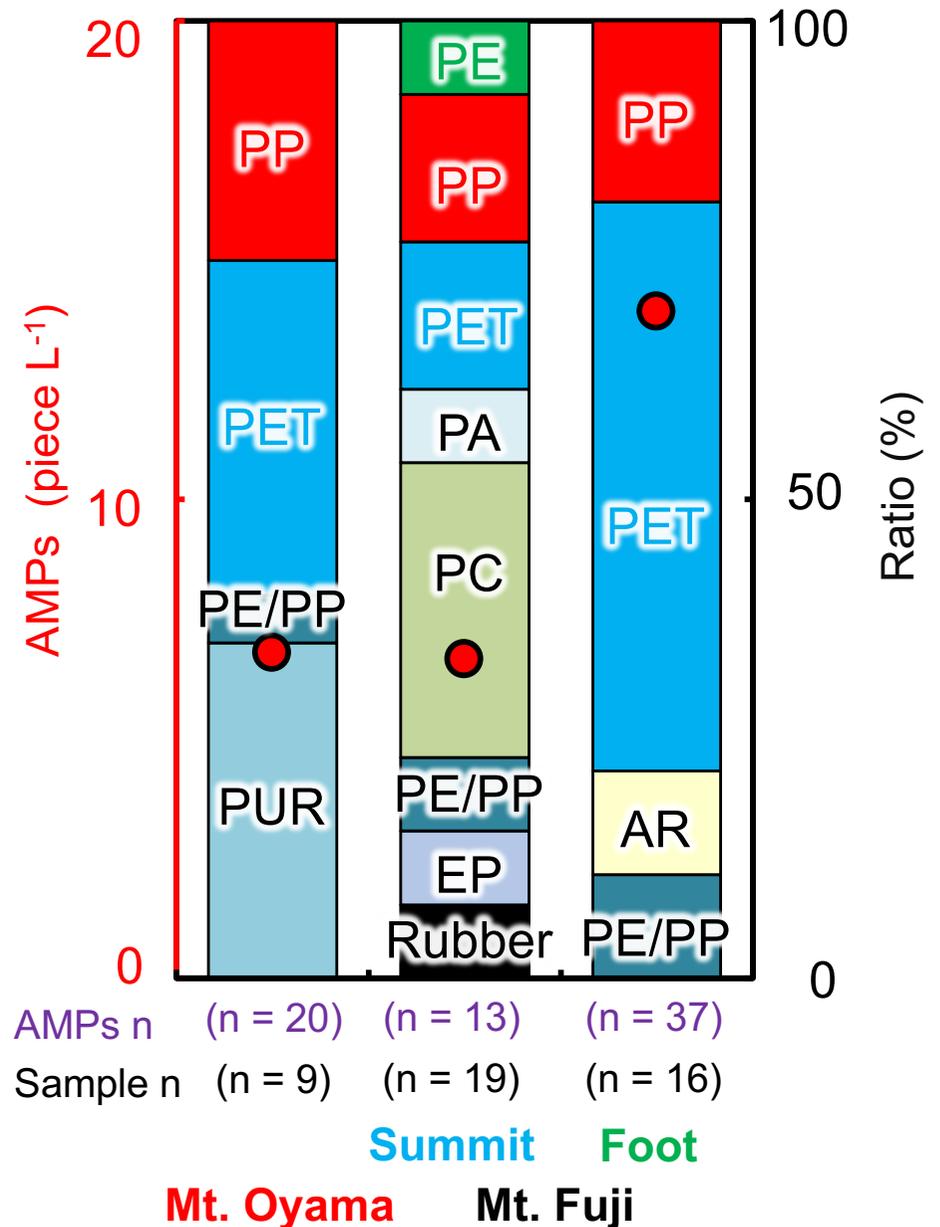


- 個数濃度  
 2021年：0.06～0.19 MP/m<sup>3</sup>  
 2022年：0.01～0.06 MP/m<sup>3</sup>  
**2023年：0.01～0.07 MP/m<sup>3</sup>**
- ポリマー材質  
 PE, PP, PET, PE/PP
- 実粒径分布  
 40 μm未満：74.2 %
- 形状  
 破片が多い

# 雲水：富士山 vs. 丹沢大山



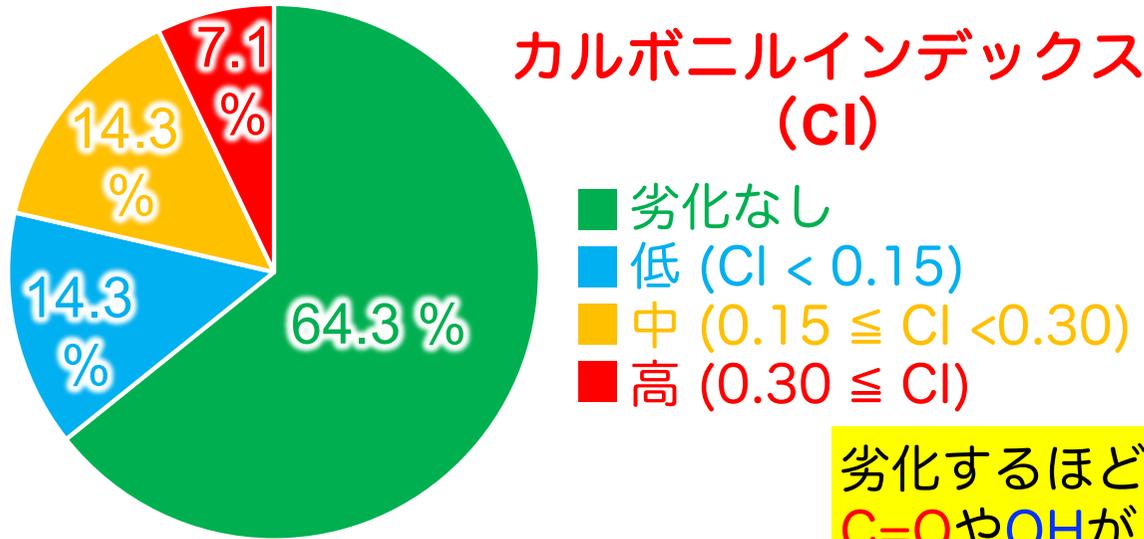
2021 - 2022年



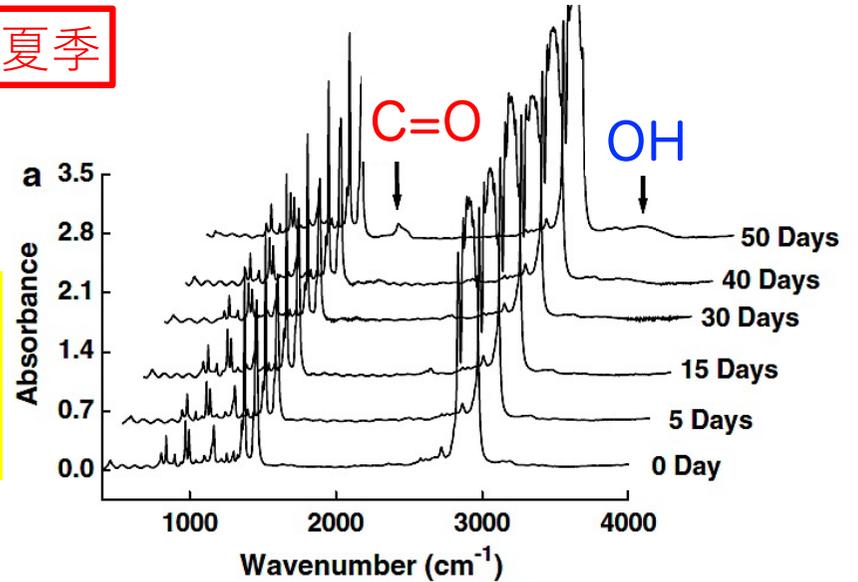
# 雲水：ポリプロピレンの劣化度

Rajakumar et al., J Polym Environ (2009) 17:191–202  
DOI 10.1007/s10924-009-0138-7

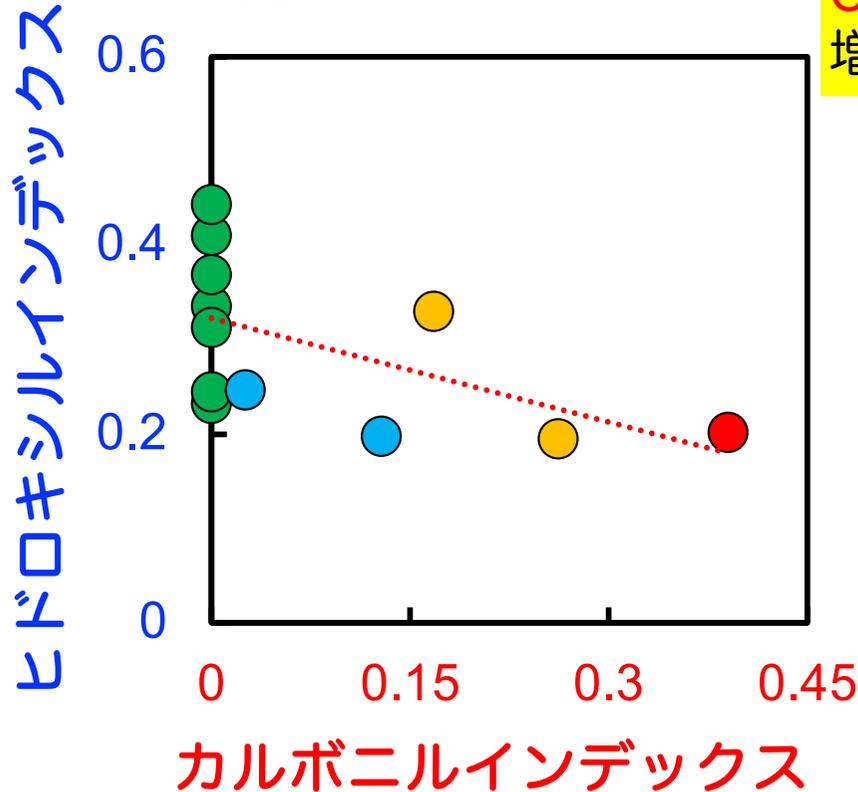
## PPフィルムの屋外暴露実験



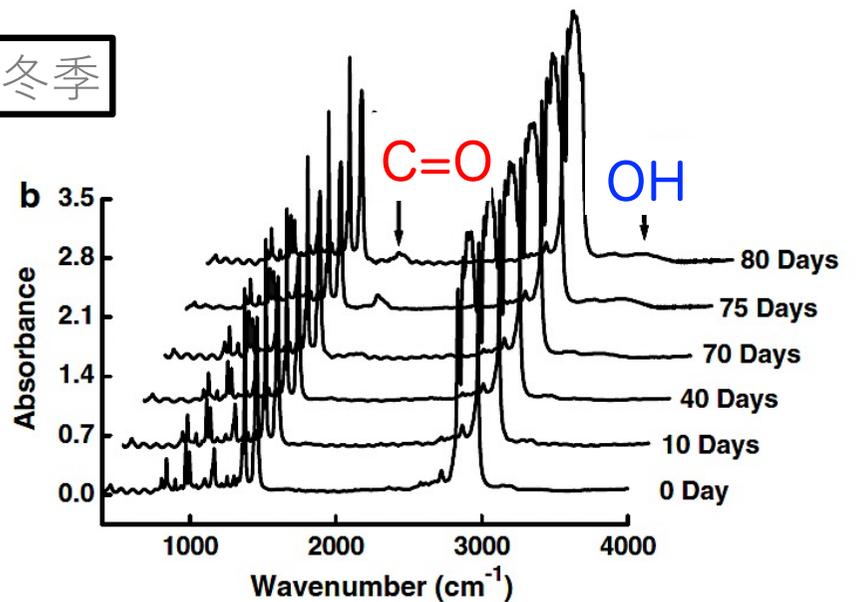
夏季



劣化するほど  
C=OやOHが  
増加



冬季



# “2023年にはじめて起きたこと20選”に選出



Researchers found evidence this year of airborne microplastics in the clouds above Mount Fuji in Japan. Ko Sasaki for The New York Times

## The New York Times

TURNING POINTS

### 20 Things That Happened for the First Time in 2023

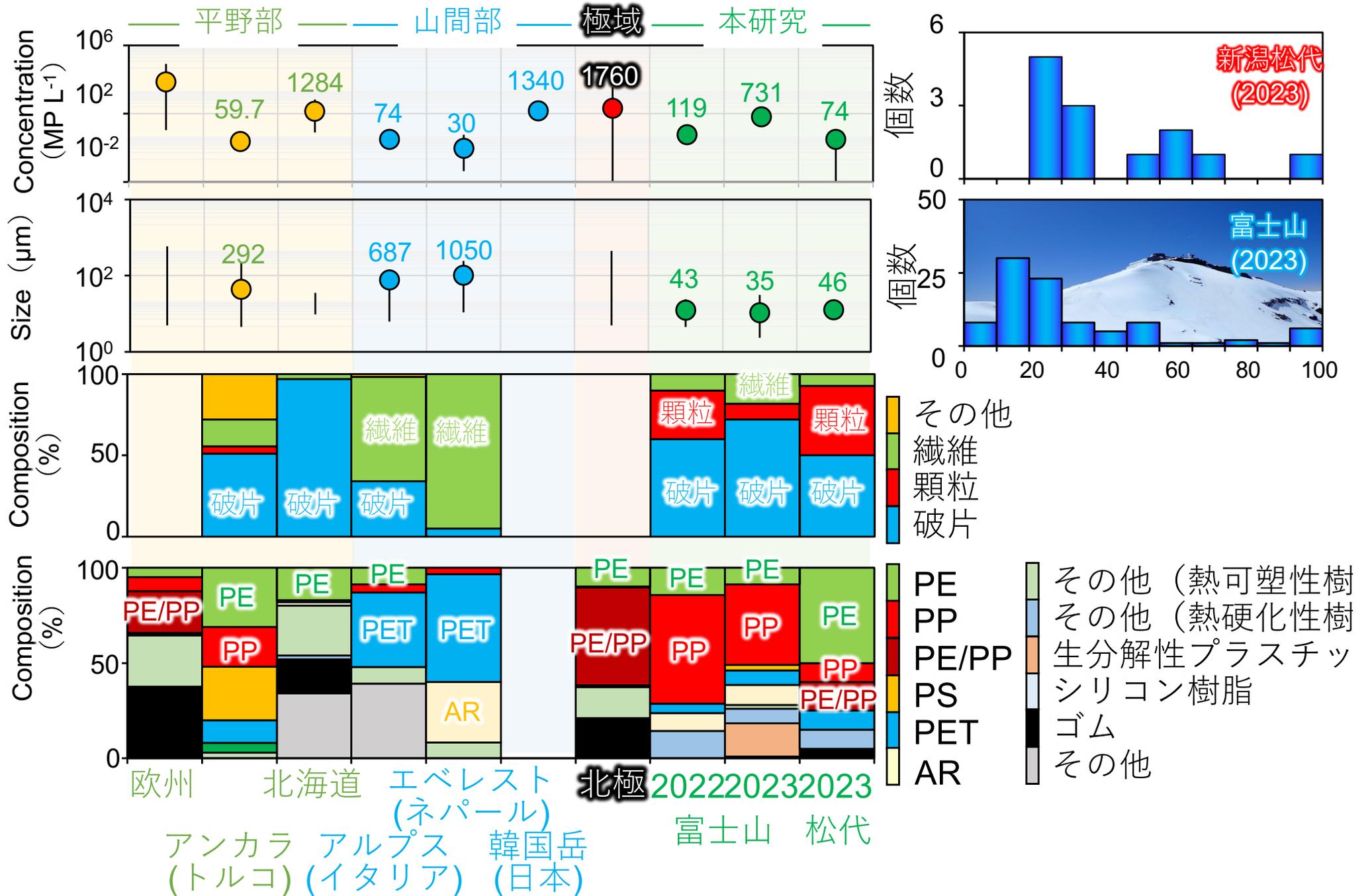
A series of surprising and serious events and trends that were unprecedented until now.

#### 15. Microplastics are found in the clouds.

Researchers in Japan have found evidence that microplastics are in the clouds, according to a paper published in August in the journal *Environmental Chemistry Letters*, raising questions about possible climate effects. **Scientists from Waseda University in Tokyo found airborne microplastics in clouds above Mount Fuji** that they believe came mainly from the ocean.

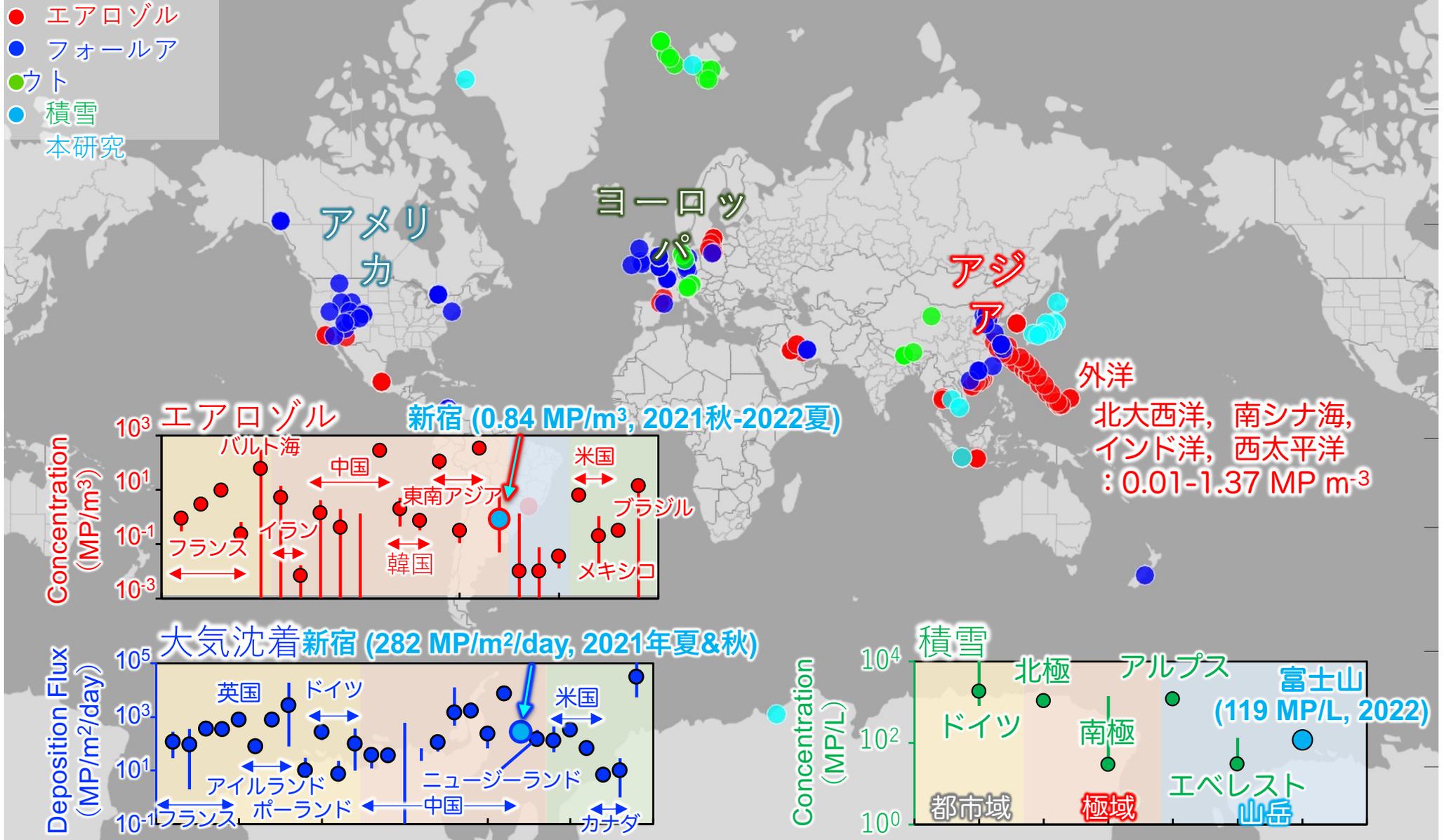
# 積雪：地域比較

最小径50 μm未満



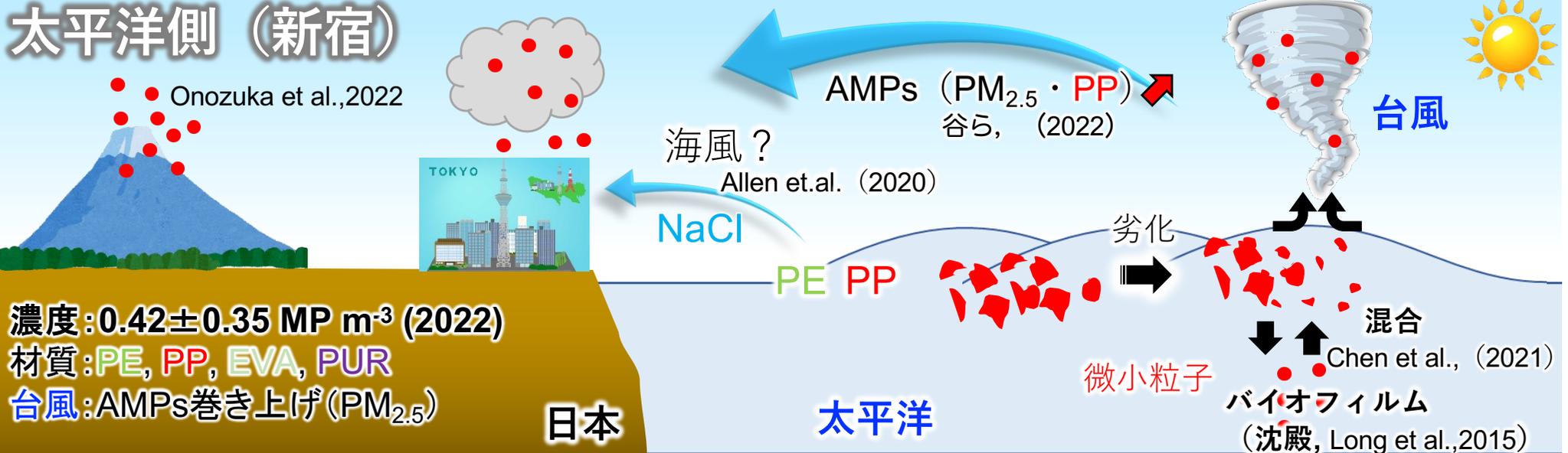
# まとめ：エアロゾル・大気沈着・積雪

- エアロゾル
- フォールアウト
- ウト
- 積雪
- 本研究

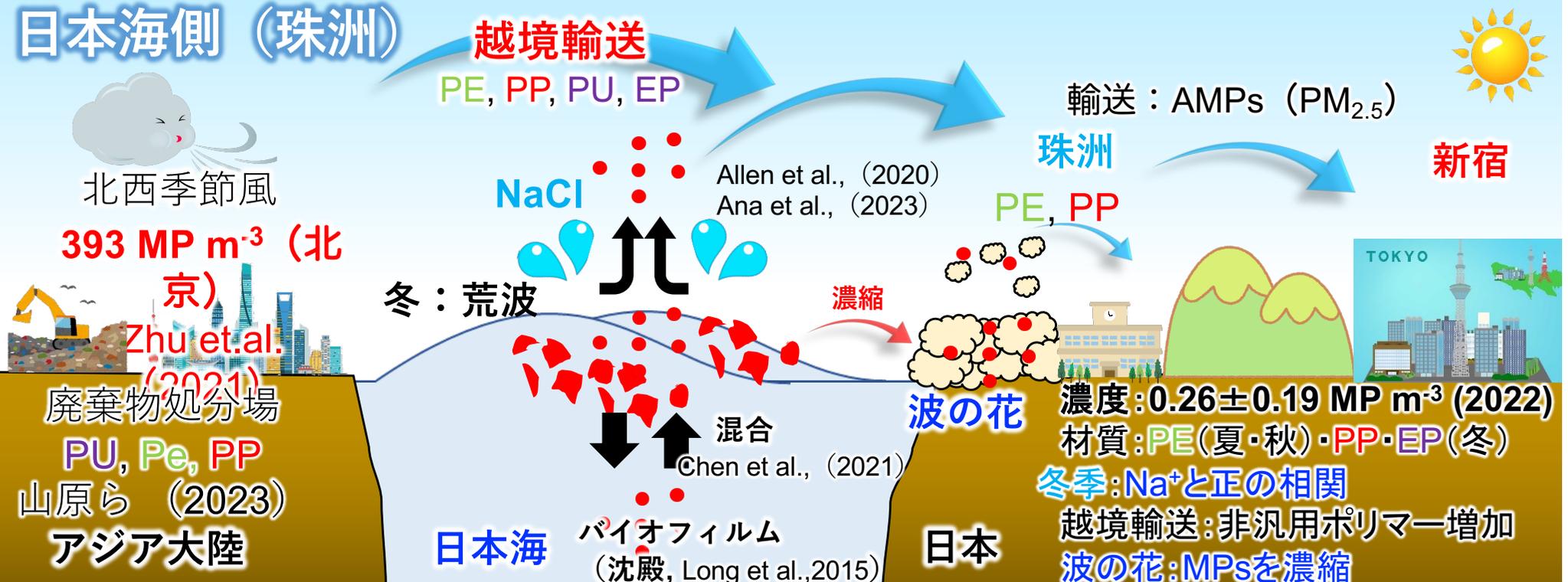


# まとめ：海洋-大気-陸域相互作用

## 太平洋側（新宿）



## 日本海側（珠洲）



サブテーマ1  
～Py-GCMSによる  
AMPs迅速分析法の開発～

# Py-GCMSによるAMPs迅速分析



## Py-GC/MS

- **Multi-shot Pyrolyzer: EGA/PY-3030D (Frontier Lab.)**

Carrier gas: He, 0.0825 MPa, 1.5 mL/min, Split ratio: 1/10

- **GC/MS: 8890GC/5977MSD (Agilent)**

Pyrolysis interface temp.: 300°C, GC inlet temp.: 300°C, GC/MS interface temp.: 250°C

GC oven: 40°C for 2min - 20°C/min - 320°C for 5 min

GC column: Ultra ALLOY® capillary column, UA+-5, 30 m, 0.25 mm i.d., film thickness 0.25 µm (Frontier Lab)

MS scan range: 29 - 500 u, MS scan rate: 1562 u/s

- **F-Search System, F-Search MPs 2.0 (Frontier Lab.)**

## ダブルショット法

1<sup>st</sup> ショット: 熱脱離 (100°C - 30°C/min - 250°C for 3 min) : AMPsへの吸着物 (PAHsなど)

2<sup>nd</sup> ショット: 瞬間熱分解 (600°C) : AMPs (ポリマー)

# Py-GCMSによるAMPs迅速分析

$n = 3$

Sampling period	PM size	PP / ng m <sup>-3</sup>	PS / ng m <sup>-3</sup>	SBR / ng m <sup>-3</sup>
2022/06/02 - 2022/06/16	PM <sub>&gt;10</sub>	< LOD	0.09 ± 0.02	2.3 ± 0.4
	PM <sub>2.5-10</sub>	0.36 ± 0.07	0.11 ± 0.00	1.4 ± 0.2
	PM <sub>2.5</sub>	< LOD	< LOD	< LOD
2022/07/15 - 2022/07/27	PM <sub>&gt;10</sub>	< LOD	0.25 ± 0.08	6.3 ± 0.7
	PM <sub>2.5-10</sub>	0.83 ± 0.16	0.44 ± 0.05	< LOD
	PM <sub>2.5</sub>	3.5 ± 0.5	0.76 ± 0.37	< LOD



→ 論文化

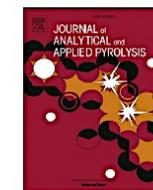
Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 171 (2023) 105946



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Journal of Analytical and Applied Pyrolysis

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jaap](https://www.elsevier.com/locate/jaap)



Direct analysis of airborne microplastics collected on quartz filters by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry

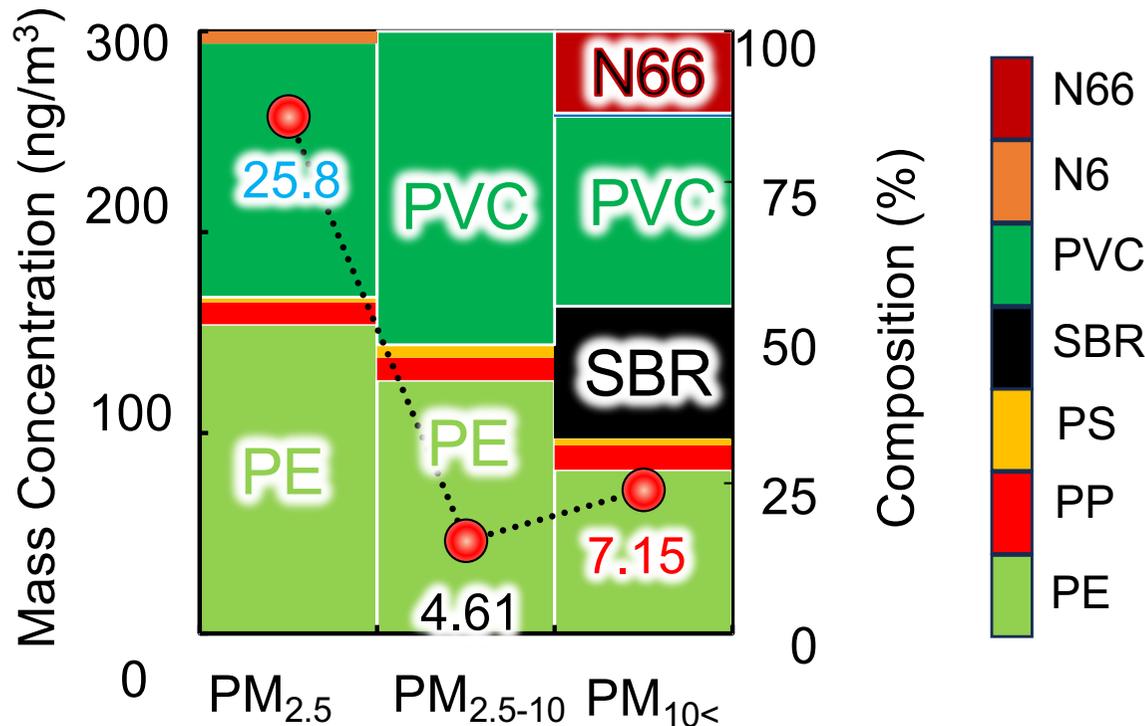
Hitoshi Mizuguchi<sup>a,\*</sup>, Hiroto Takeda<sup>a</sup>, Kyosuke Kinoshita<sup>b</sup>, Masaki Takeuchi<sup>b,\*</sup>, Toshio Takayanagi<sup>a</sup>, Norio Teramae<sup>c,d</sup>, William Pipkin<sup>e,\*</sup>, Kazuko Matsui<sup>d</sup>, Atsushi Watanabe<sup>d,e</sup>, Chuichi Watanabe<sup>d</sup>

# 都市大気：道路沿道大気 (明治通り)



2023年12月  
Py-GCMS

- PM<sub>10<</sub> :  
PE, PVC, SBR, N66
- PM<sub>2.5-10</sub> :  
PE, PVC
- PM<sub>2.5</sub> :  
PE, PVC



✓ SBR :  
自動車タイヤ磨耗塵

✓ PVC :  
道路標示用塗料

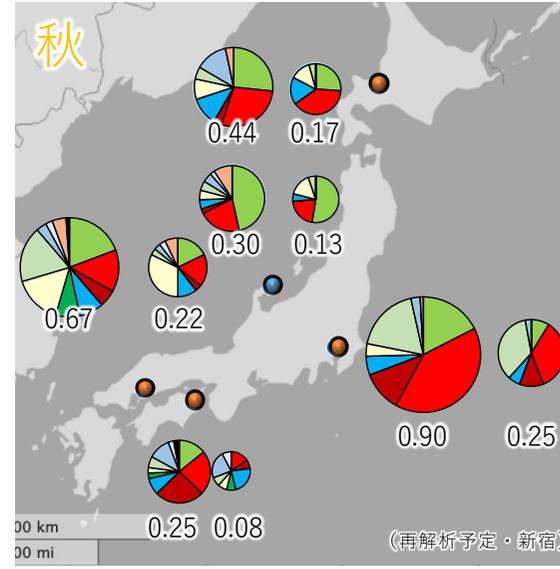
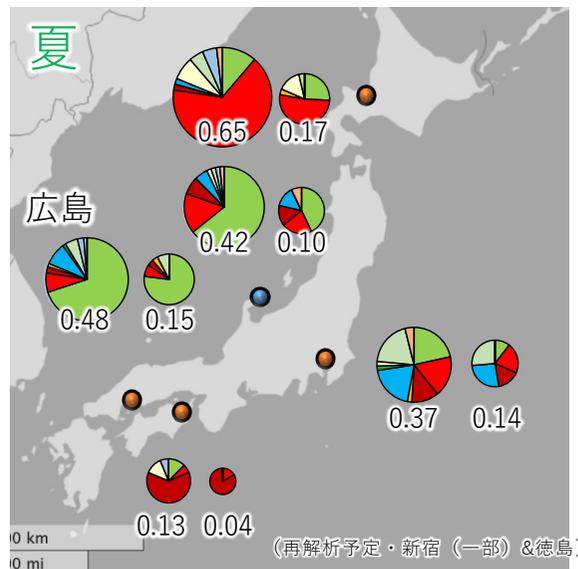
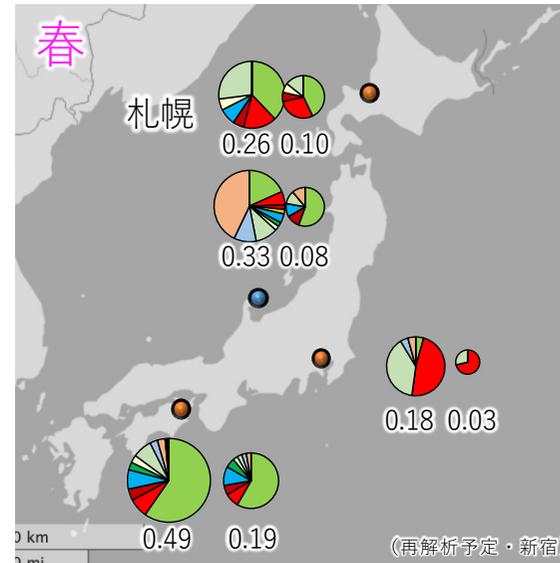
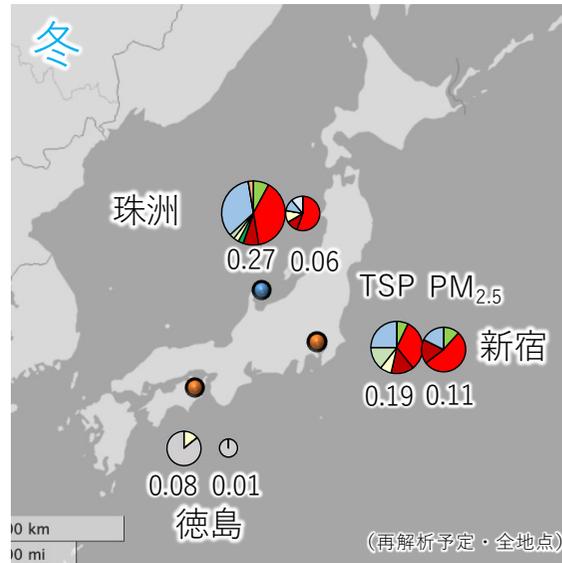
## サブテーマ1

～実態解明：国内&東南アジア～

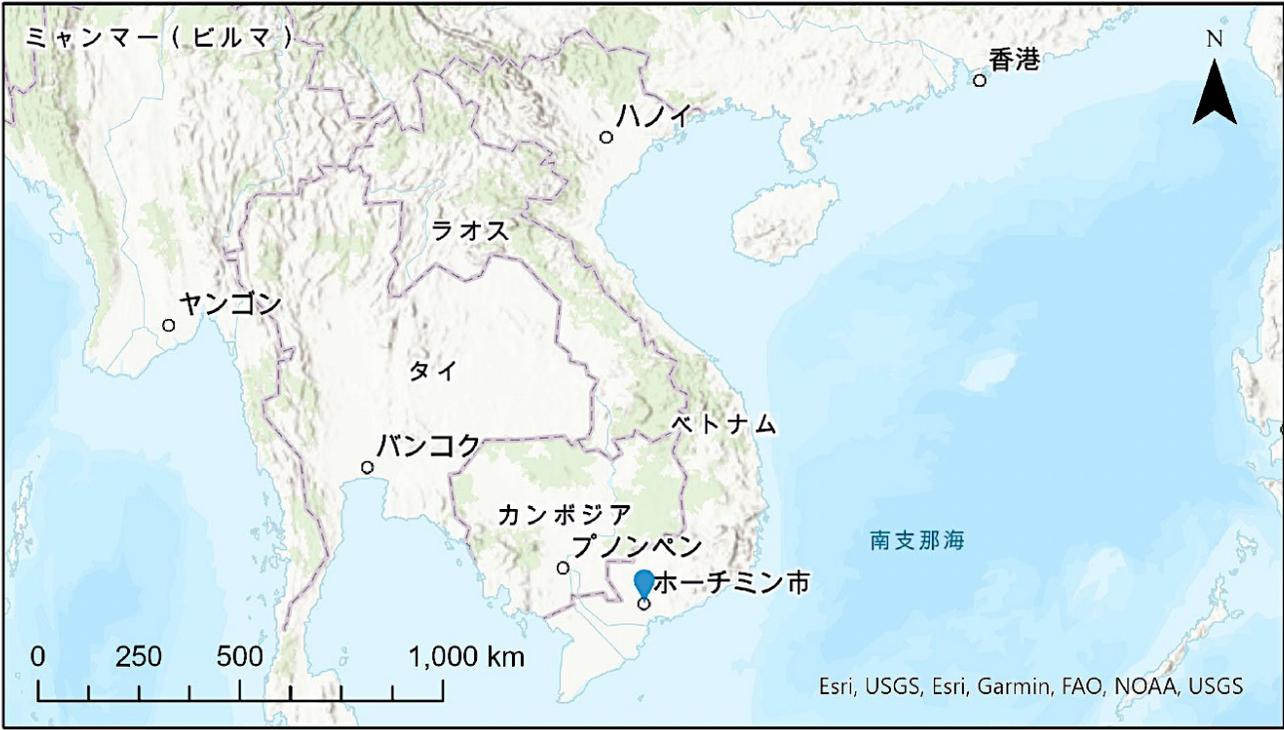
サブテーマ2へデータ提供

# AMPs濃度全国マップ

2022年



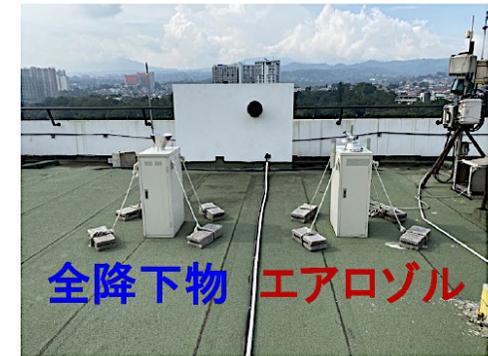
# 試料捕集場所及び方法 (ベトナム)



ホーチミンにおける試料捕集地点 (10° 45' 45.1" N, 経度: 106° 40' 56.8" E)

- ◆ 場所: ホーチミン (ベトナム国家大学ホーチミン市校)
- ◆ 方法: 全降下物パッシブサンプラー  
MCIサンプラー (20 L min<sup>-1</sup>) → **PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5-10</sub>, PM<sub><10</sub>** → 報告内容
- ◆ 期間: 2023年5月からエアロゾル試料捕集を実施 (全降下物は2022年8月に開始)

# 試料捕集場所及び方法 (バンドン)



バンドンにおける試料捕集地点 (6° 53' 17.1" S, 経度: 107° 36' 36.4" E)

◆ 場所: バンドン (バンドン工科大学)

◆ 方法: 全降下物パッシブサンプラー

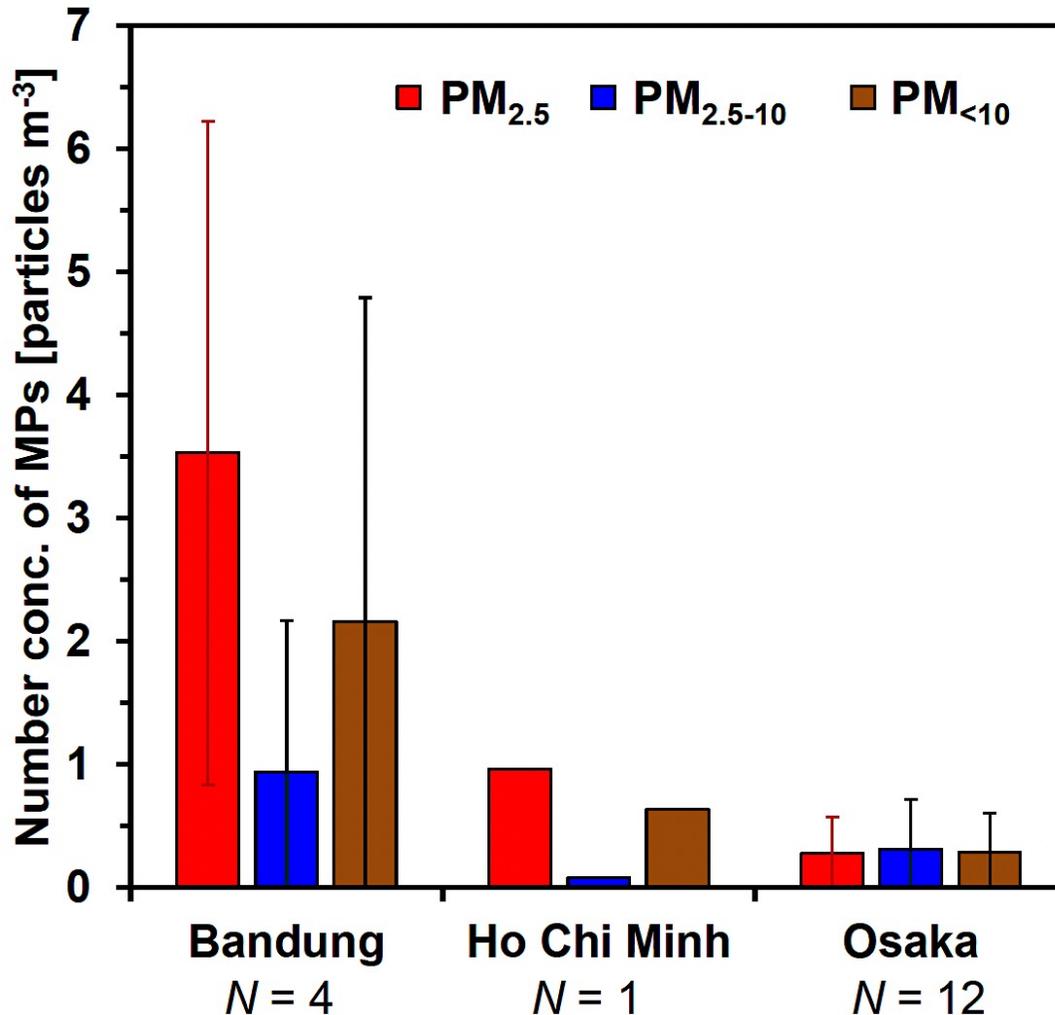
MCIサンプラー (20 L min<sup>-1</sup>) → PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>2.5-10</sub>, PM<sub><10</sub> → 報告内容

◆ 期間: 2022年12月～2023年12月に、各月2回の試料捕集を実施

# MPs個数濃度 (エアロゾル, 東南アジア vs. 大阪)



大阪公立大学  
Osaka Metropolitan University



## 【注意】

- ✓ Osakaの“PET”データは除外
- ✓ Osakaの冬の2試料 (OA220112と17) は除外

## 【MPs個数濃度 (※試料OA220112と17を除く)】

### ➤ 各地点のトータル個数濃度

Bandung:  $6.63 \pm 5.75$  particles  $m^{-3}$

Ho Chi Minh: 1.68 particles  $m^{-3}$  ( $N = 1$ )

Osaka:  $0.87 \pm 0.85$  particles  $m^{-3}$

👉 データ蓄積 & 妥当性の検討

本観測における粒径別MPs個数濃度の比較  
(エラーバーは標準偏差値)

# サブテーマ1

～マイクロおよびナノプラスチック合成～

サブテーマ3への試料提供

## (2) モデル粒子の合成

### モデル粒子の合成に関する先行研究 (Tanaka et al. (2021))

表1. 海洋で主要と考えられる5大汎用樹脂のナノプラスチック粒子合成の設定条件

	樹脂溶液			析出溶媒		
	濃度 [mg /mL]	溶媒	添加量 [mL]	添加量 [mL]	溶媒	温度 [°C]
LDPE	2	キシレン	4	100	DMSO	110
HDPE	2	キシレン	4	100	DMSO	115
PP	2	キシレン	3.5	100	DMSO	110
PVC	4	シクロ ヘキサノン	3	100	水/エタノール (3.5 : 6.5)	41
PS	1.5	トルエン	1.5	100	水/エタノール (3 : 7)	50

LDPE: low-density polyethylene; HDPE: high-density polyethylene; PP: polypropylene; PVC: polyvinyl chloride; PS: polystyrene; DMSO: dimethyl sulfoxide

- 樹脂溶液：樹脂が溶解する性質を持つ。
- 析出溶媒：樹脂溶媒に溶け、樹脂は溶解しない性質がある。
- 設定温度：高温であれば反応しやすいが、各溶液の沸点を超えない程度に設定。

# (2) モデル粒子の合成

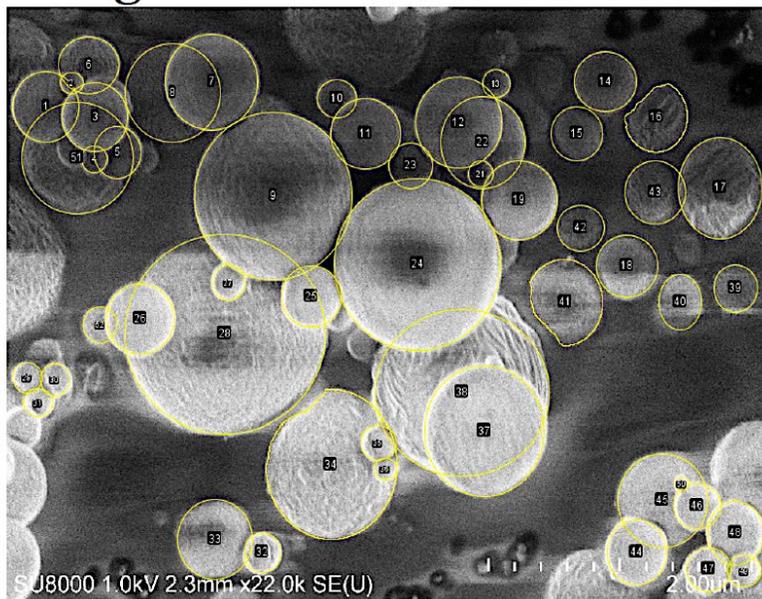
## PE製モデル粒子による合成条件による粒径分布の影響

ポリマー溶液濃度 (mg mL <sup>-1</sup> )	注入量* <sup>1</sup> (mL)	粒子数* <sup>2</sup> (粒径分布)
1	4.2	261
2	4.2	275
4	4.2	280

\*1 シートを溶解させたo-キシレンをDMSOへの分散量.

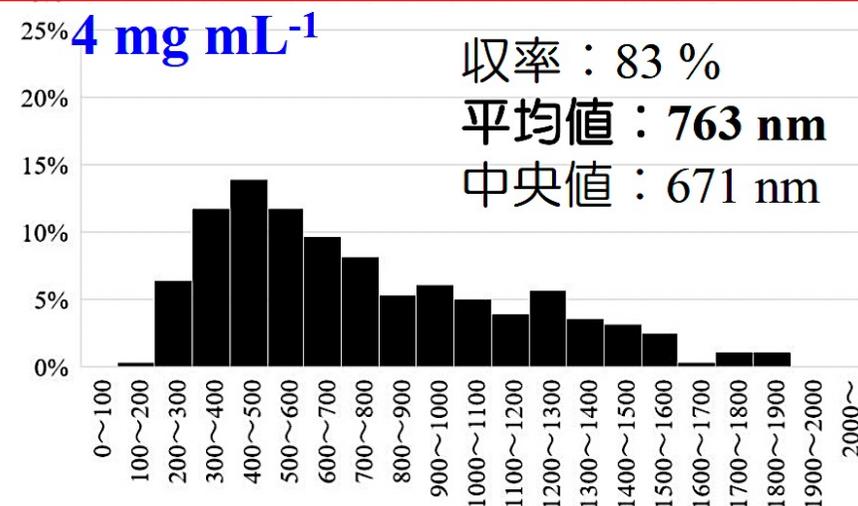
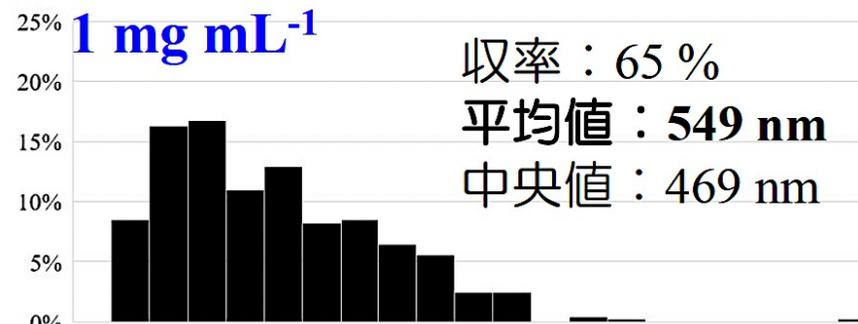
\*2 ImageJによる解析において使用した粒子数

### ImageJ\* による粒径分布解析



\*Schneider et al., Nat. Methods (2012)

\*収率：  
主に計測法  
などに問題



サブテーマ (3) へのモデル粒子の提供

サブテーマ1  
～陸域生態系への影響～

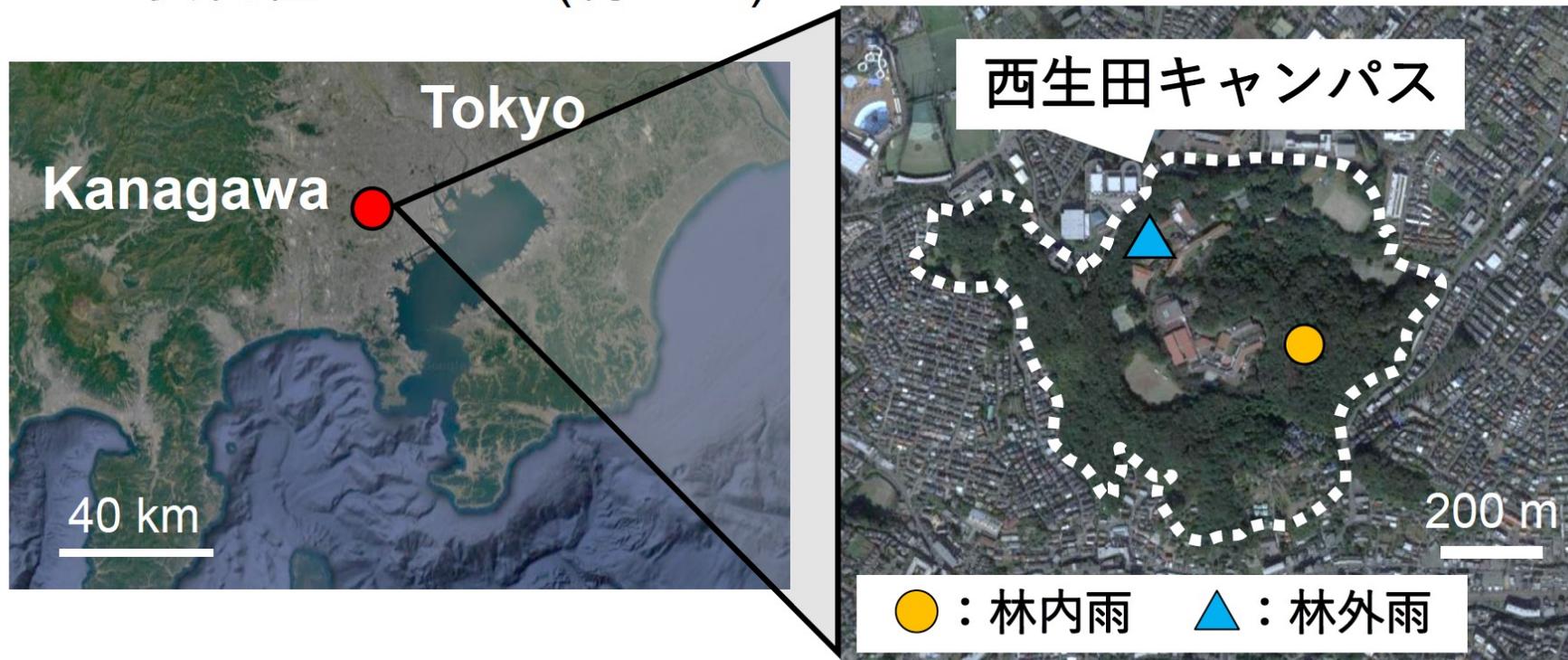
# 首都圏小規模森林



日本女子大学  
JAPAN WOMEN'S UNIVERSITY

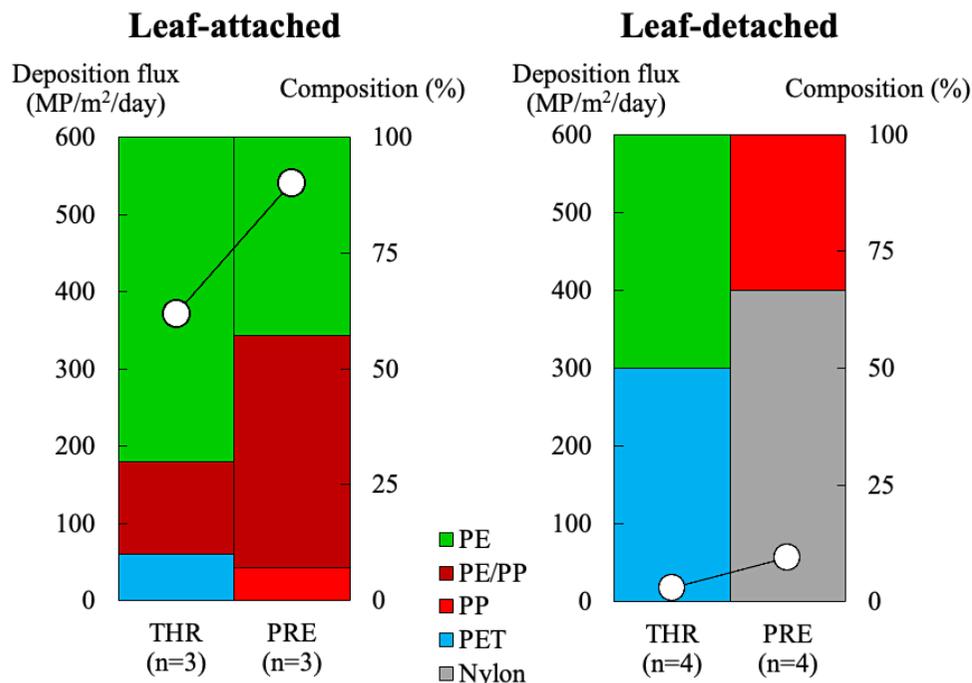
## 日本女子大学 西生田キャンパス

- 校地面積：293,800 m<sup>2</sup>：5割以上が森林
- 主要樹種：コナラ(約90%)



- 林内雨：森林中心部分のコナラ樹冠下
- ▲ 林外雨：森林樹冠よりも高い位置にある校舎屋上

# AMPs大気沈着量：林外雨 vs. 林内雨



- 降水量：林内雨 < 林外雨
  - AMPs沈着量：
    - 林内雨 < 林外雨
    - 着葉期 > 落葉期
- 正味林内雨法  
で乾性沈着量  
推計不能！

cf. Previous studies\*  
 36 MP/m<sup>2</sup>/day (200 μm <) ~  
 771 MP/m<sup>2</sup>/day ( 20 μm <)

Forest canopy condition	Sampling period (Days)	Samples	Rainfall amount (mm)
Leaf-attached period	2021/10/28~ 2021/11/18 (21 d)	Precipitation	2.7
		Throughfall	1.0
	2021/11/18~ 2021/12/06 (18 d)	Precipitation	6.0
		Throughfall	2.8
Leaf-detached period	2021/12/06~ 2021/12/21 (15 d)	Precipitation	2.6
		Throughfall	1.4
	2021/12/21~ 2022/01/13 (23 d)	Precipitation	1.4
		Throughfall	0.8
	2022/01/13~ 2022/02/21 (39 d)	Precipitation	2.9
		Throughfall	1.7
2022/02/21~ 2022/03/30 (37 d)	Precipitation	2.5	
	Throughfall	1.0	
2022/03/30~ 2022/04/07 (8 d)	Precipitation	1.0	
	Throughfall	0.5	

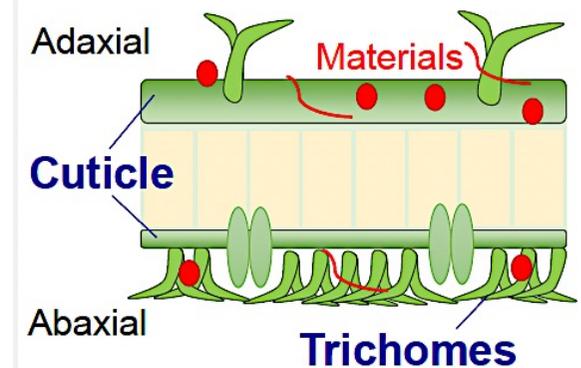
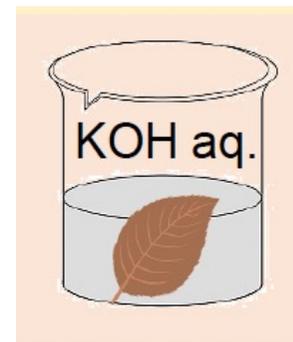
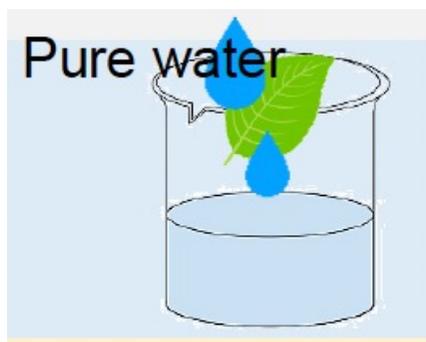
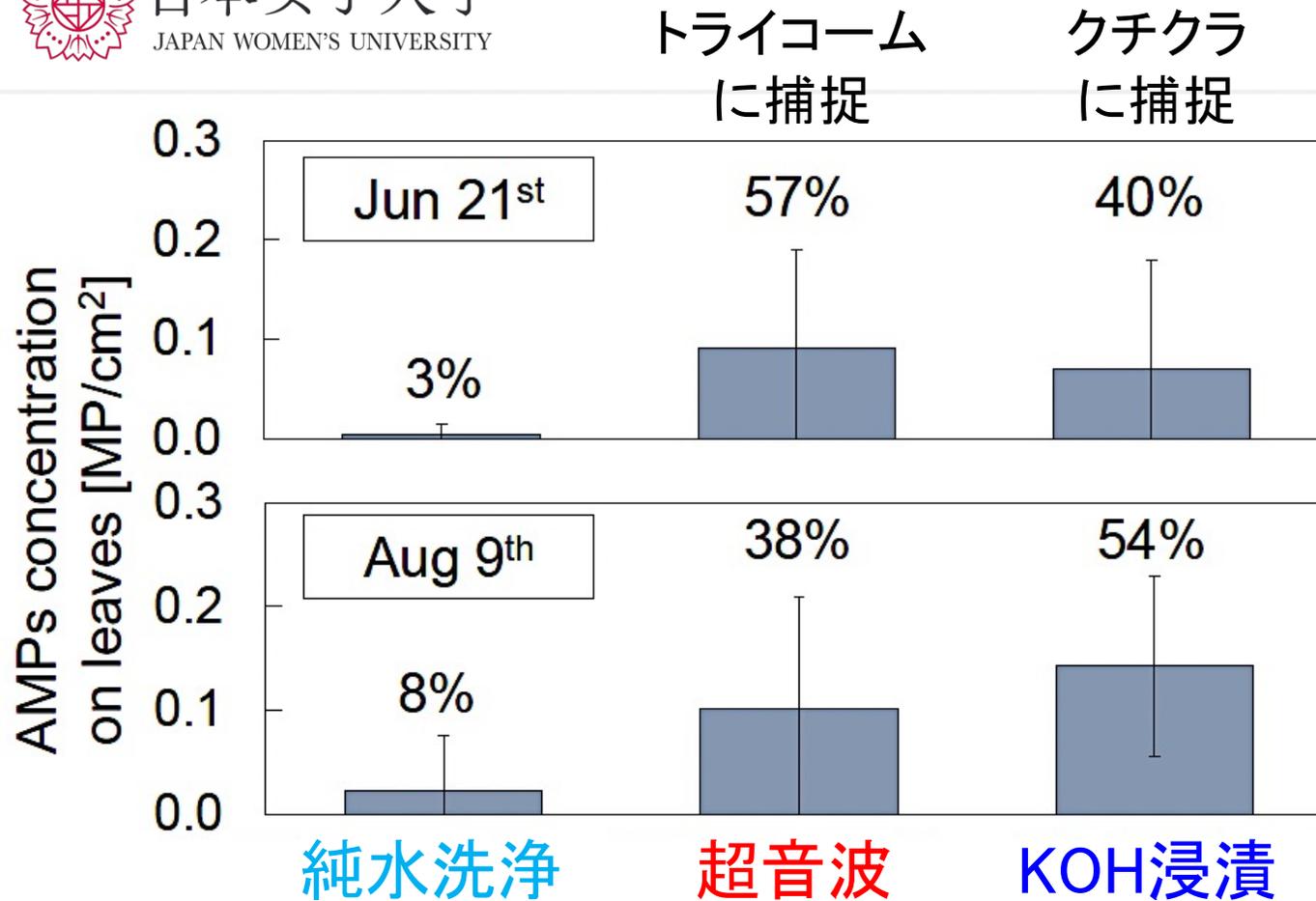
日本女子大学宮崎研究室・M2須永奈津

\*Dris et al. 2015, 2016; Cai et al. 2017; Allen et al. 2019; Klein et al. 2019; Wright et al. 2020; Kernchen et al. 2021; Klein et al. 2023

# 森林樹冠はマイクロプラスチックを捕捉



日本女子大学  
JAPAN WOMEN'S UNIVERSITY

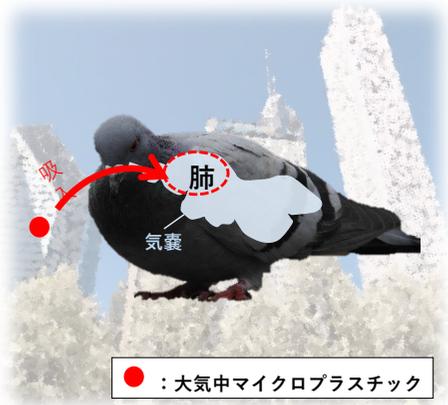


Leaf structure of *Quercus serrata* Murray

# 野鳥の肺からも検出！



日本獣医生命科学大学  
NIPPON VETERINARY AND LIFE SCIENCE UNIVERSITY

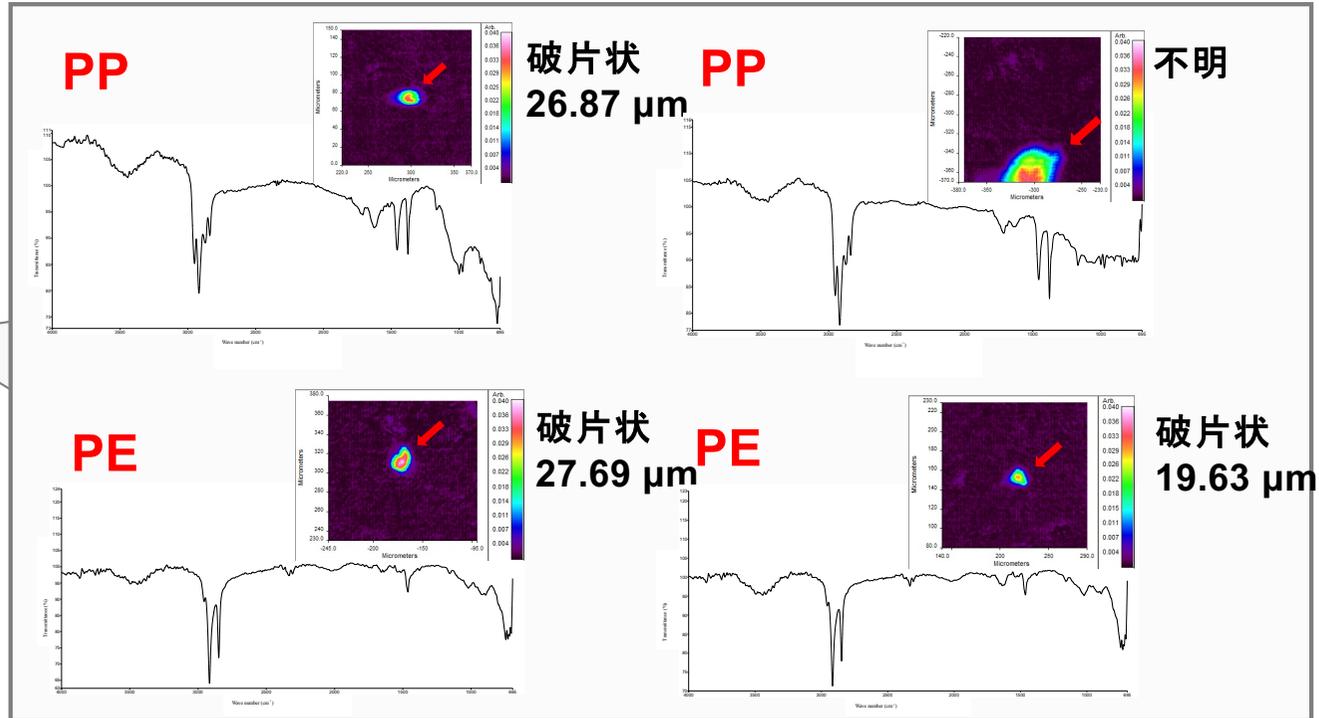


● : 大気中マイクロプラスチック

カワラバト  
(東京湾周辺で回収)

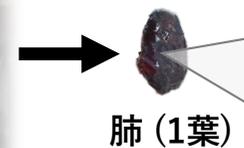


肺 (1葉)

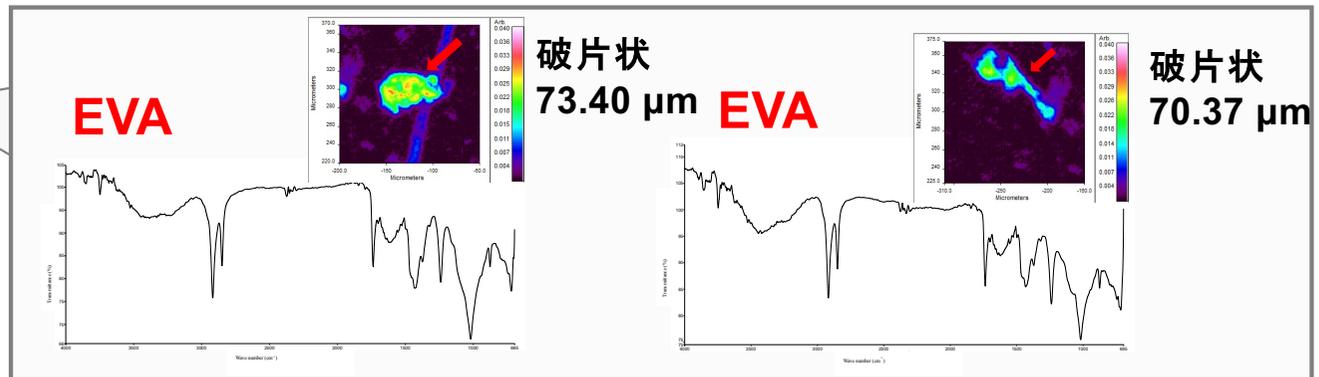


● : 大気中マイクロプラスチック

ツバメ  
(伊勢湾周辺で回収)



肺 (1葉)



# サブ1：今後の課題

- 発生源：これまで見過ごされてきた発生源の検討
  - 人工芝：ブレード，ゴム充填剤
  - 廃棄物・埋立地：特に東南アジア
  - プラスチック燃焼由来物質：テレフタル酸など
  - 農地：ビニールハウス，肥料・農薬由来マイクロカプセル
  - 海洋：MPs（数 $\mu\text{m}$ 未満）およびNPs 海洋-大気相互作用
- 健康および環境影響
  - タイヤゴム添加剤：6PPDQ
  - 吸着物：AMPs-有害化学物質相互作用  
POPs, 重金属, 放射性物質, 微生物
- 吸収源（シンク）
  - 森林樹冠による捕捉：森林-大気相互作用  
→ 樹木を用いたAMPs除去技術開発
  - 海洋