

2025年12月19日

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
@自動車会館

機械学習と環境データを用いた大気質予測： 手法と適用事例

荒木 真

大阪大学大学院工学研究科

本日の内容

1. 機械学習による大気質予測手法の概要

2. 機械学習による大気質予測の事例

- 過去30年間の日本全国PM_{2.5}濃度推計
- 関西地方のPM_{2.5}成分濃度および質量濃度の推計
- ベンゾ[a]ピレンの長期濃度推計

3. まとめ

大気質予測の必要性

- 大気質濃度は測定地点における点データであり、空間的に連続なデータとしては得られない。
- 測定地点以外の大気質は不明 → 予測が必要



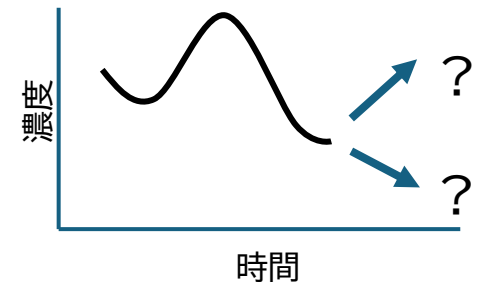
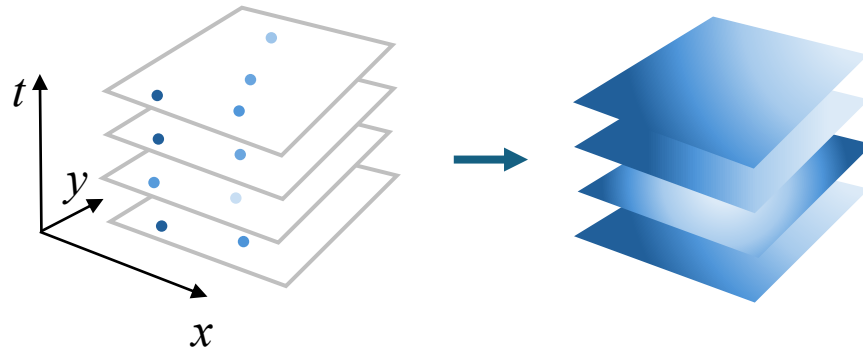
大気質予測モデル

□プロセス(物理)モデル

- 大気質の物理・化学プロセスを数式で計算し、大気中濃度の時空間変動を得る
- 観測値が不要(ただし、評価には必要)
- 計算負荷が高い
- 大気質モデル、化学輸送モデルと呼ばれるもの

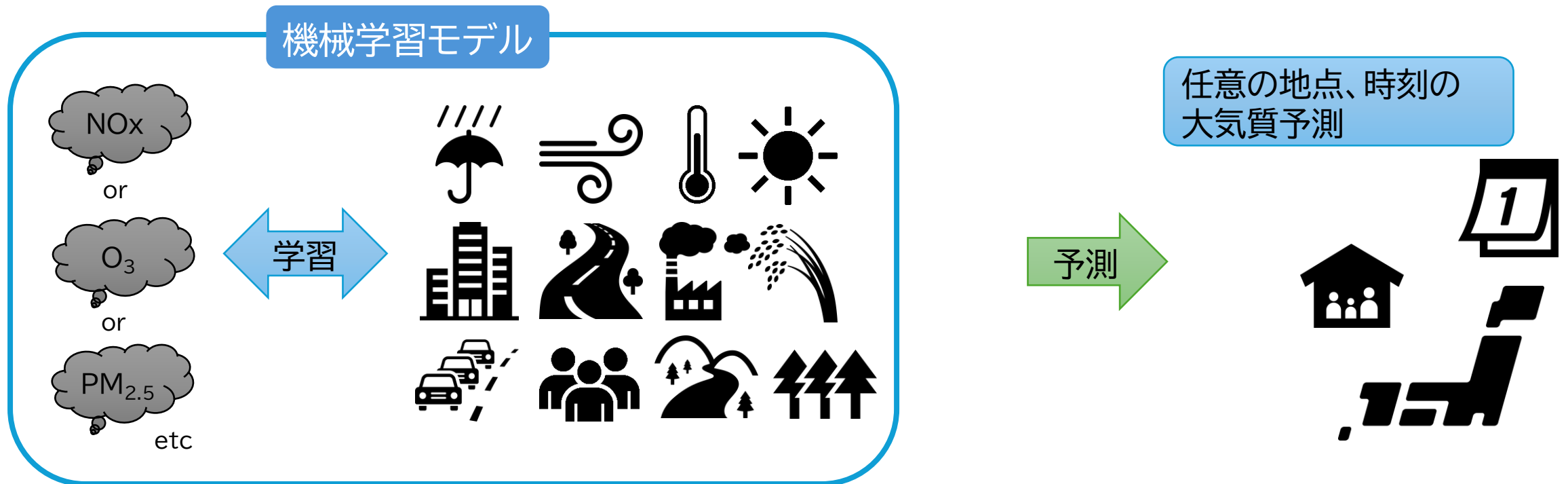
□機械学習(データ駆動型)モデル

- 大気質濃度の(時間・空間)変動をモデルが学習・予測する
- 観測値が必須
- 計算負荷は高くない → 長期、広域、高解像度の予測に有利
- 空間変動予測
- 時系列予測

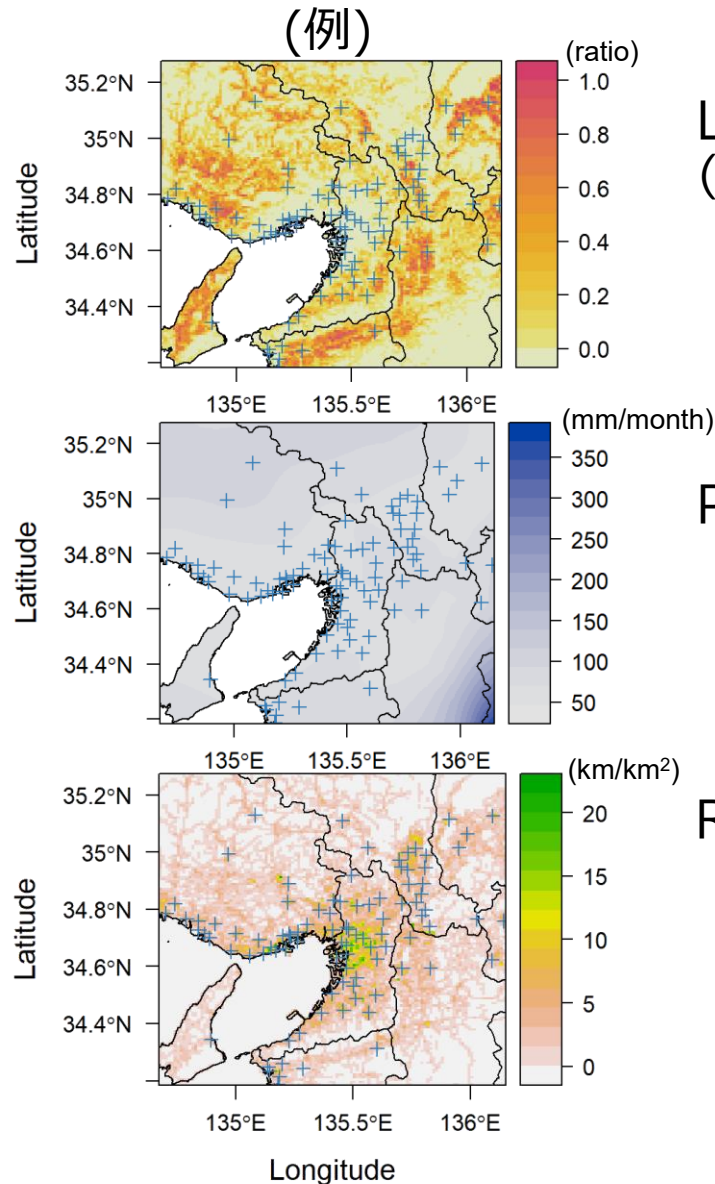


機械学習モデルによる大気質予測

- ある地点、ある時刻(日)における大気質と、対応する変数(下記に例)
- これらの(表面的な)関係を学習する
- 因果関係の解明には不向き



機械学習モデルによる大気質予測



Land use
(Agriculture)

Precipitation

Road length

観測地点
(図の+)

観測値

変数1

変数2

変数3

S_1 S_2 S_3 ...

$Y(s_1)$ $Y(s_2)$ $Y(s_3)$...

$X_1(s_1)$ $X_1(s_2)$ $X_1(s_3)$...

$X_2(s_1)$ $X_2(s_2)$ $X_2(s_3)$...

$X_3(s_1)$ $X_3(s_2)$ $X_3(s_3)$...

データセット作成

機械学習モデル(学習)

$$Y(s) = f(X_1, X_2, X_3, \dots)$$

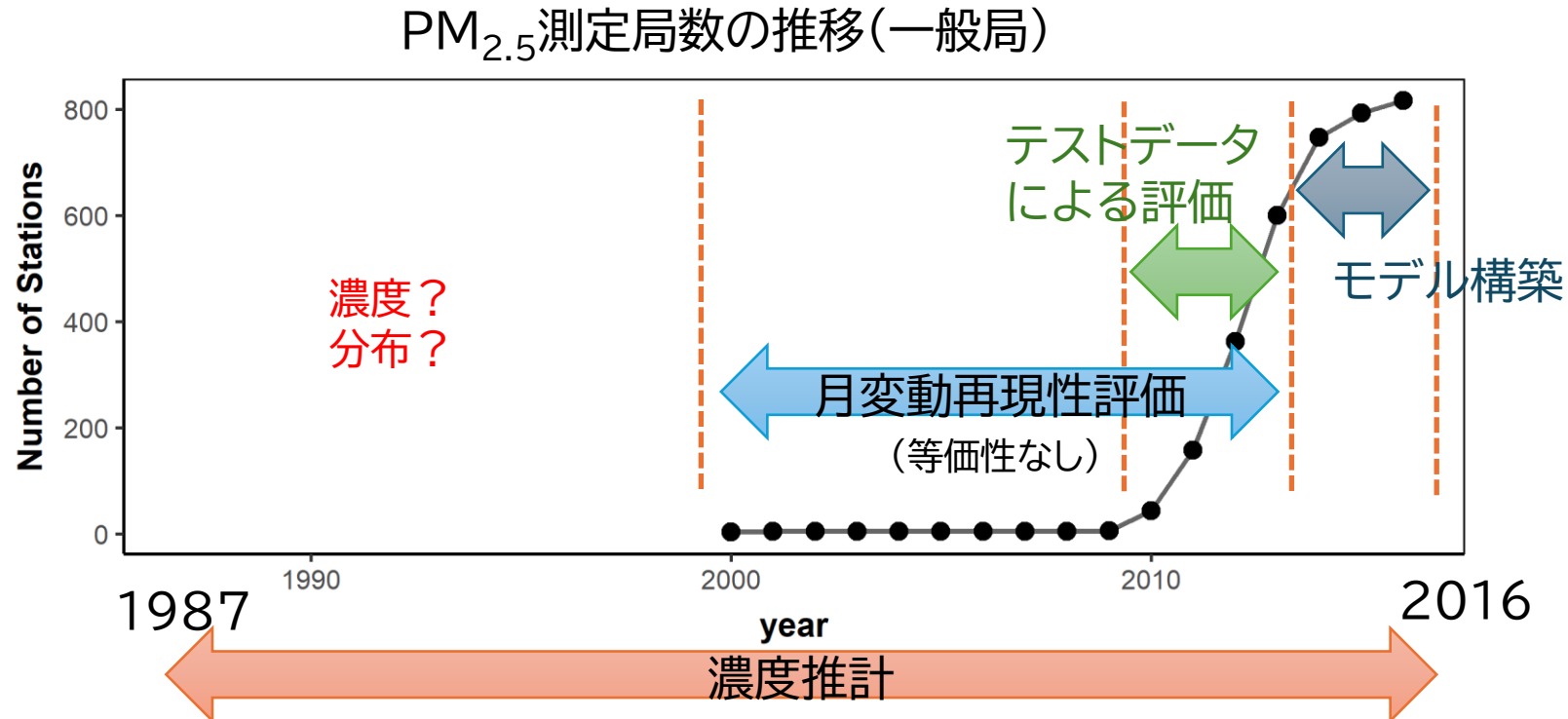
モデルの推計精度評価

得られたモデルを用いて、任意の地点、時刻 $s_{i,t}$ における値を予測

過去30年間の日本全国PM_{2.5}濃度推計

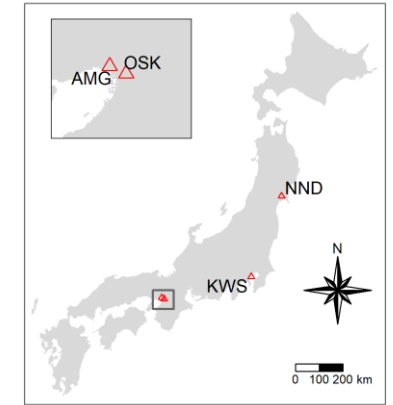
過去30年間の日本全国PM_{2.5}濃度推計

- 観測体制は2010年以降に整備(それ以前の状況はほぼ不明)
- 日本全国を対象に、PM_{2.5}濃度を月単位で1×1kmで推計
- 推計期間:1987 - 2016 年(30年)
- 時間的に外挿するため、詳細な精度評価を実施
- 単層ニューラルネットワーク + model averaging (50 models)

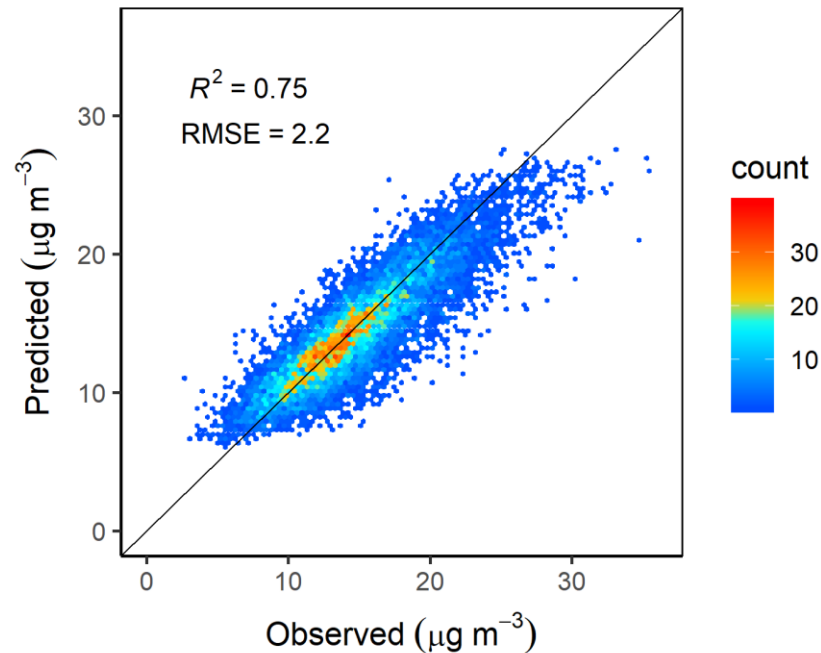


過去30年間の日本全国PM_{2.5}濃度推計： 精度評価

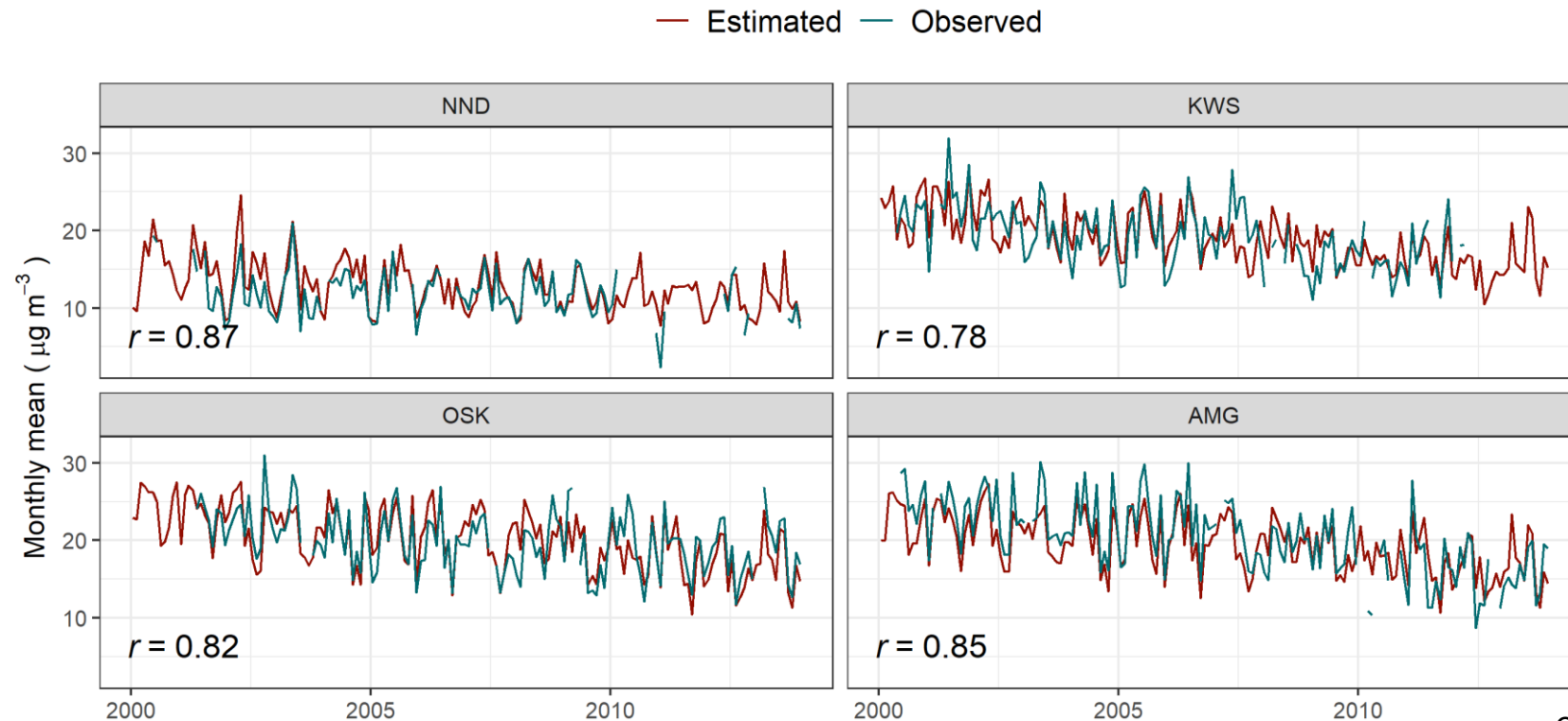
- テストデータ(2010-2013)で良好な精度を確認($R^2=0.75$)
- 外部データ(国設局、2000-2013)で良好な月変動再現性を確認



テストデータによる精度評価結果

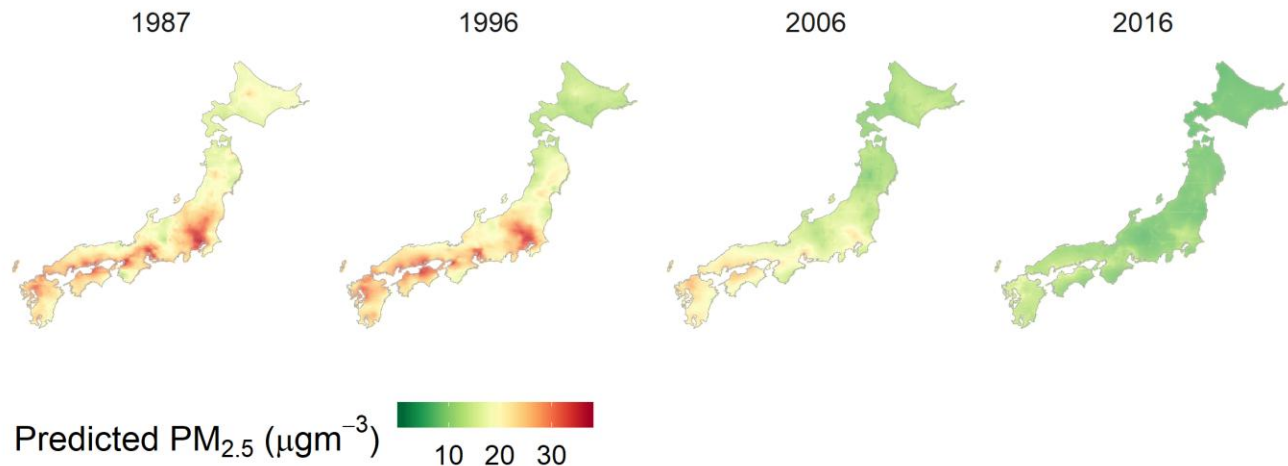


外部データによる月変動再現性評価結果

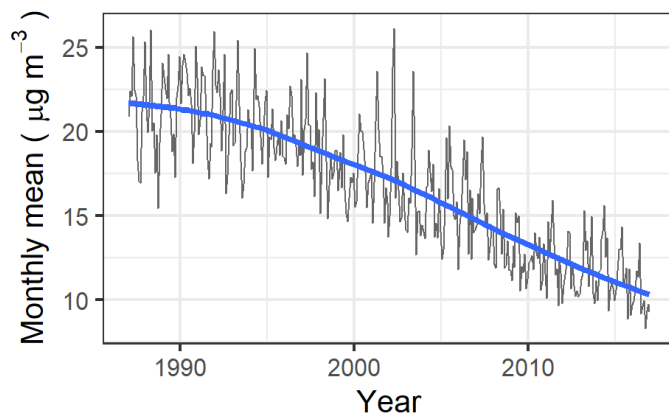


過去30年間の日本全国PM_{2.5}濃度推計: 結果と健康影響評価

空間分布(月平均→年平均)

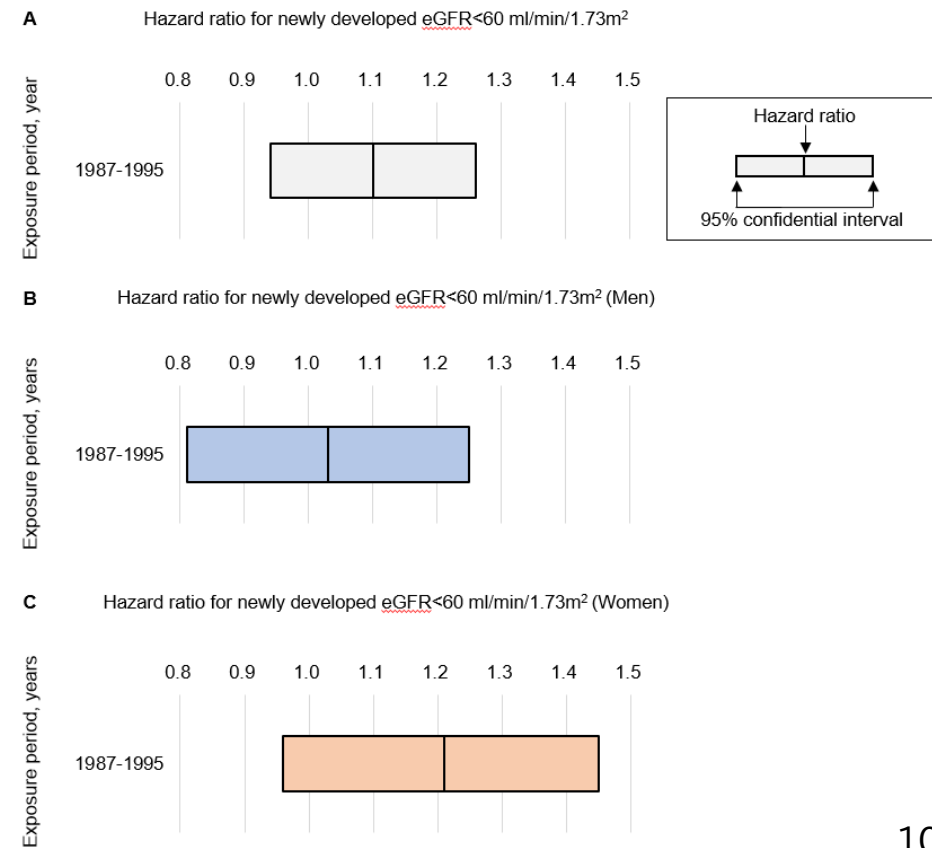


経年変化(月平均→域内平均)



- ・茨城県の市町村単位の健康診断個人データと紐づけ
- ・PM_{2.5}と慢性腎臓病との関連を評価
→ PM_{2.5}は有意な危険因子ではない

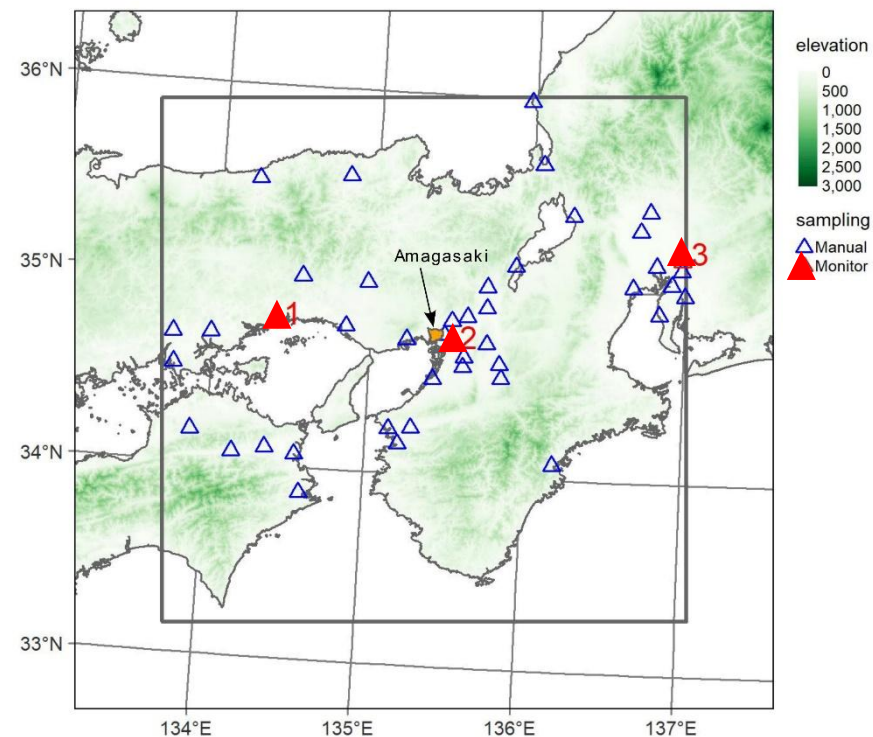
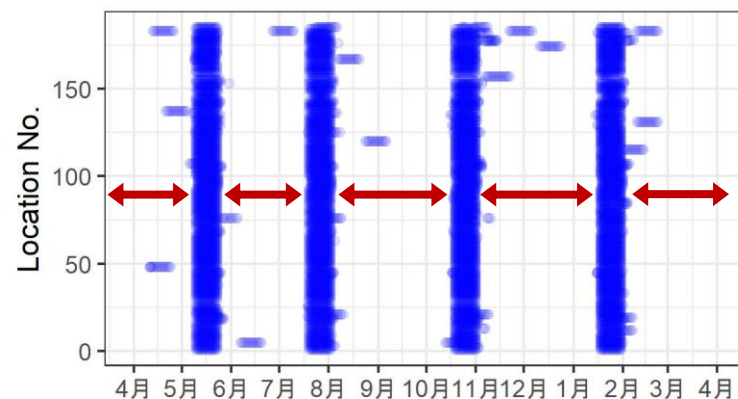
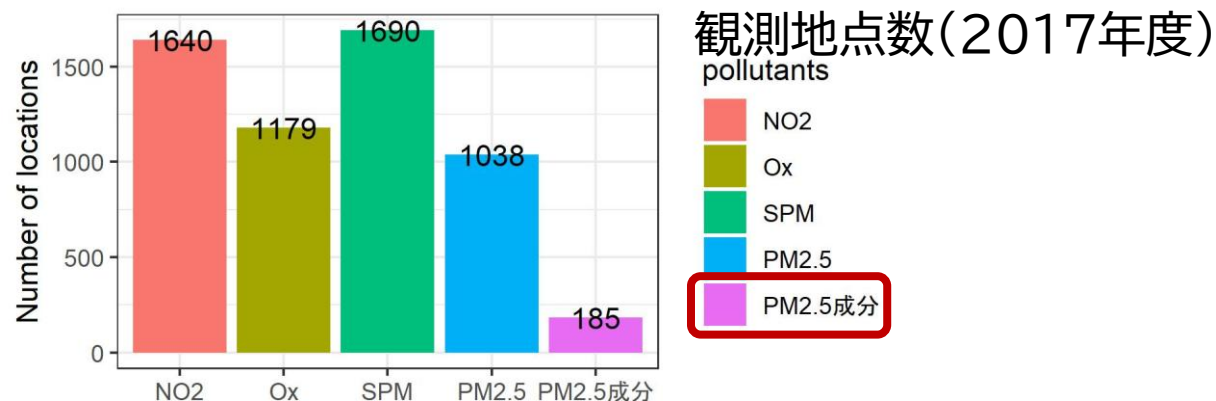
Nagai et al. JMA J. 2024.



関西地方のPM_{2.5}成分濃度および質量濃度の推計

関西地方のPM_{2.5}成分および質量濃度推計

- PM_{2.5}中の硫酸イオン (SO₄²⁻)、硝酸イオン (NO₃⁻)、アンモニウムイオン (NH₄⁺)、元素状炭素 (EC)、有機炭素 (OC) 成分濃度およびPM_{2.5}質量濃度を日単位、1km格子で推計(2010 - 2019年) → **健康影響評価**
- 成分観測データは空間・時間ともに限られる(**課題**)
- 日変動を表す説明変数が必須 → **機械学習モデルとプロセスモデルとの融合**(説明変数として導入)



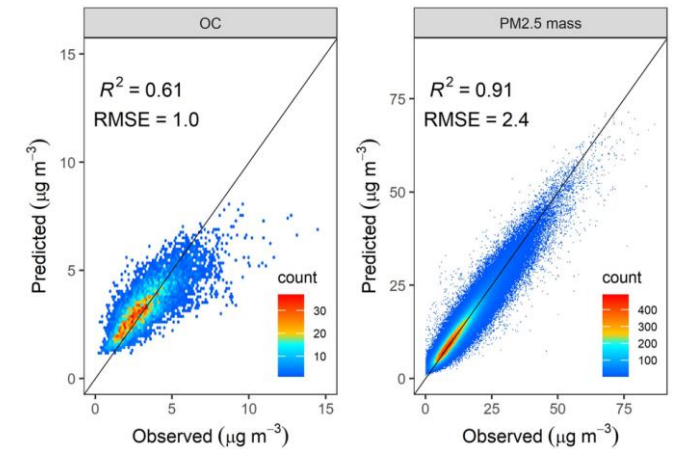
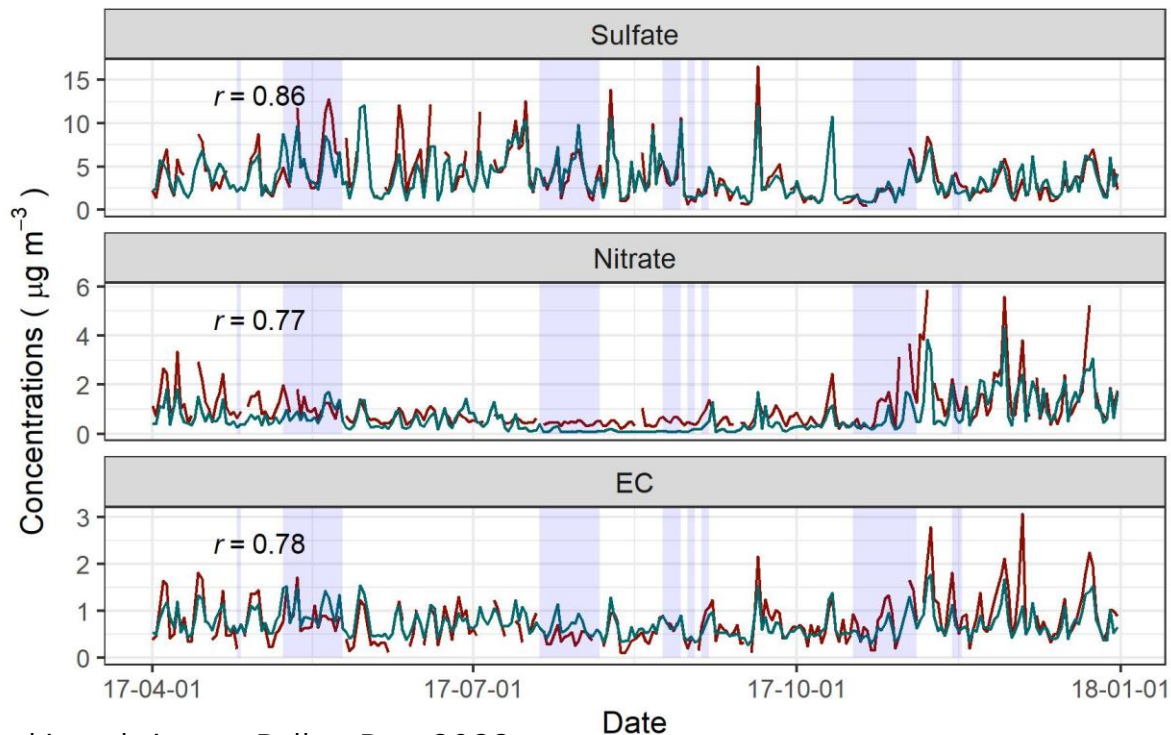
テストデータ(成分自動測定機) 1: 赤穂 2: 大阪 3: 名古屋

関西地方のPM_{2.5}成分および質量濃度推計:精度評価

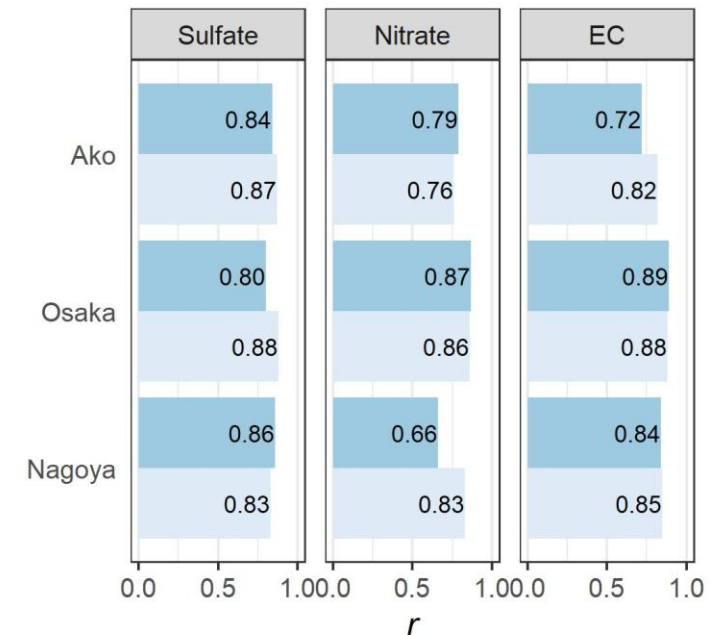
- ◆ 概ね良好な予測精度(右上図: $R^2=0.61 - 0.91$)
- ◆ 日変動を**良好に再現**することを確認(左図:成分自動測定器との比較)
- ◆ **観測データが得られない期間でも予測精度は低下しない**
(右下図:観測データの有無による時間変動再現性)

観測値(成分分析データ)が得られる期間

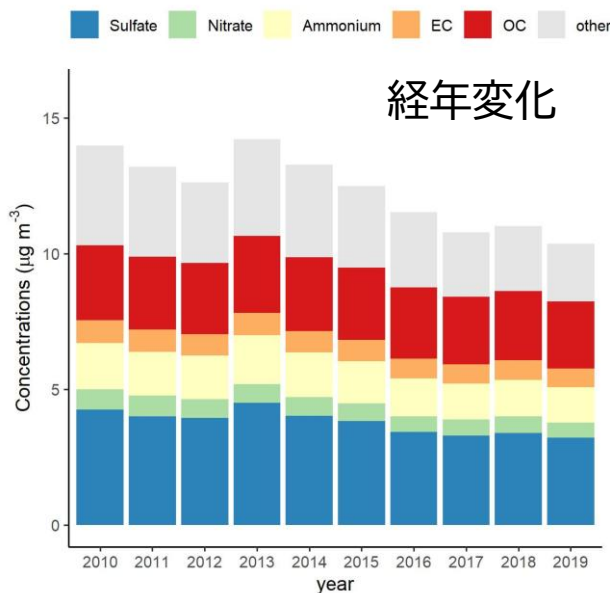
— Monitored — Predicted



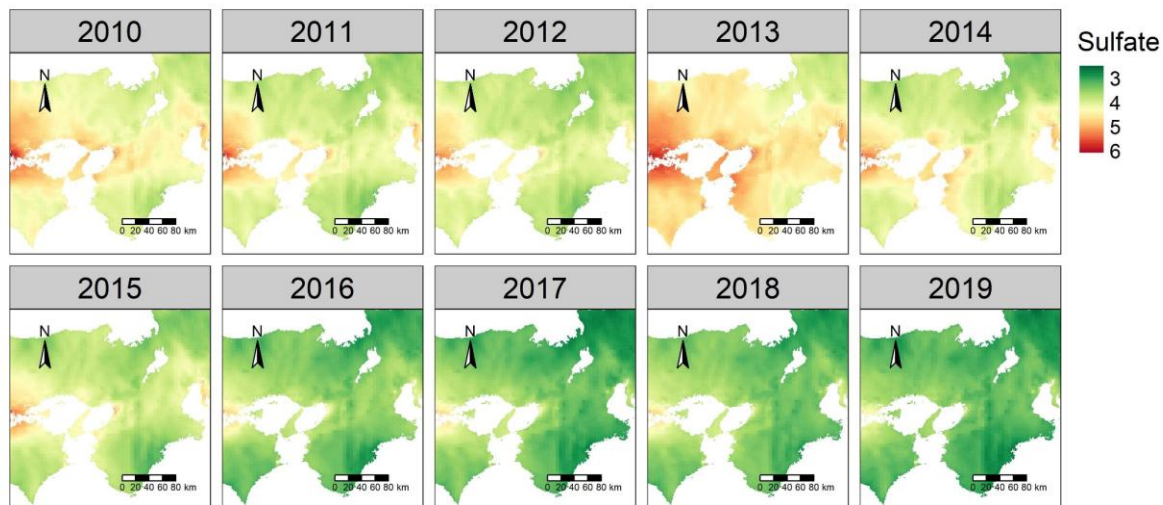
■ With model building data ■ No model building data



関西地方のPM_{2.5}成分および質量濃度推計：健康影響評価

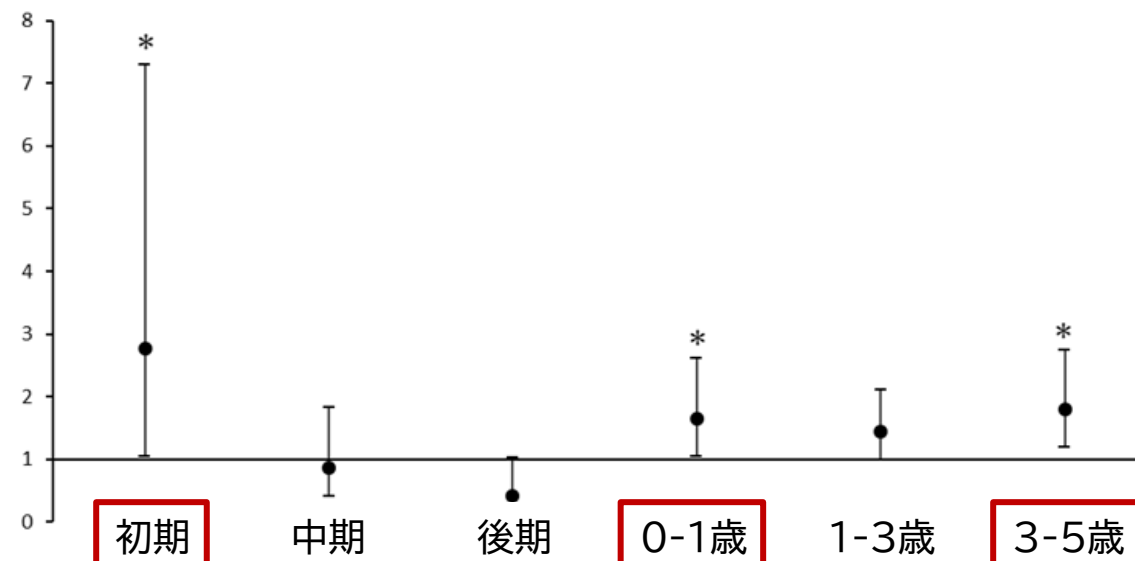


空間分布



- 対象者の住所情報から曝露濃度算定し健康影響評価
- 妊娠第1期及び出生後0-1年、3-5年の屋外PM_{2.5}へのばく露量推計値が高いことと**子どもの外向的な問題行動**の多さが関連(下図)
- 妊娠中および幼児期のNO₃⁻、EC、OCへの曝露は**喘息**と関連

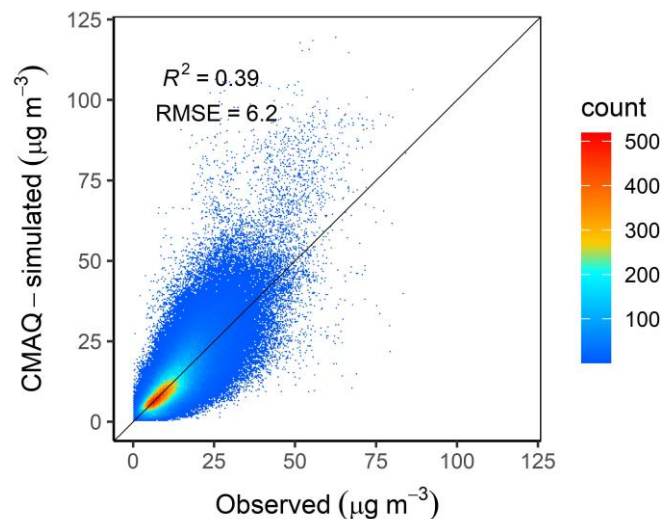
四分位範囲増加当たりのオッズ比



屋外PM_{2.5}ばく露量推計値と子どもが6歳時点での外向的な問題行動との関連

プロセスモデルから見た機械学習モデルの役割

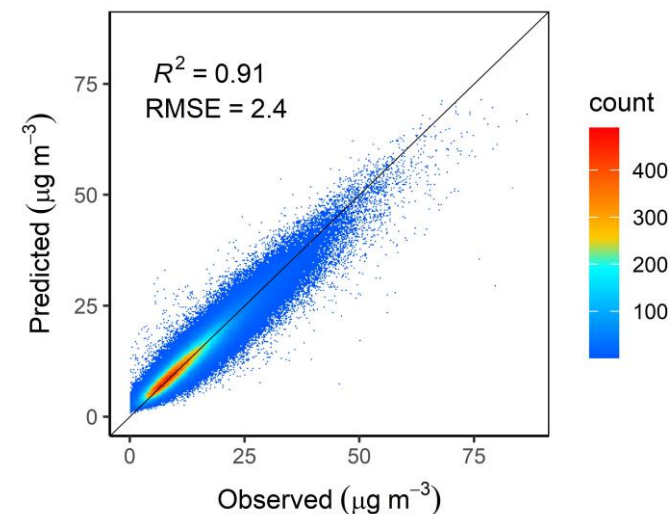
プロセスモデル(CMAQ)



bias correction

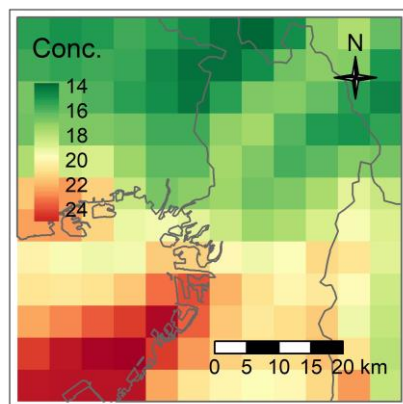


プロセスモデル + 機械学習モデル

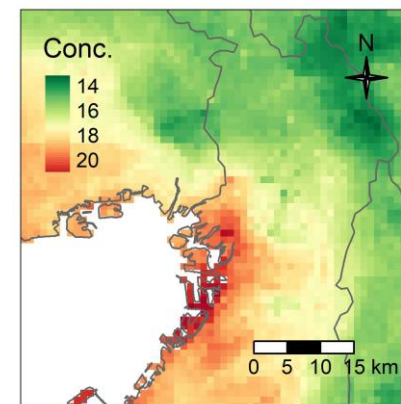


downscaling

空間解像度:
5 km \times 5 km



空間解像度:
1 km \times 1 km

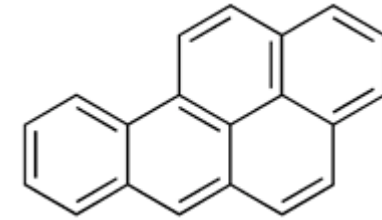



機械学習モデルが化学輸送モデルのバイアス補正とダウンスケーリングの役割を果たしているともいえる

ベンゾ[a]ピレンの長期濃度推計

ベンゾ[a]ピレンの長期濃度推計

- ベンゾ[a]ピレン(BaP)は5つのベンゼン環が結合した多環芳香族炭化水素(PAHs)
- 化石燃料やバイオマスの燃焼によって非意図的に大気中に排出
- ヒトに対して発がん性があるとされている
- 有害大気汚染物質のうち、優先取組物質



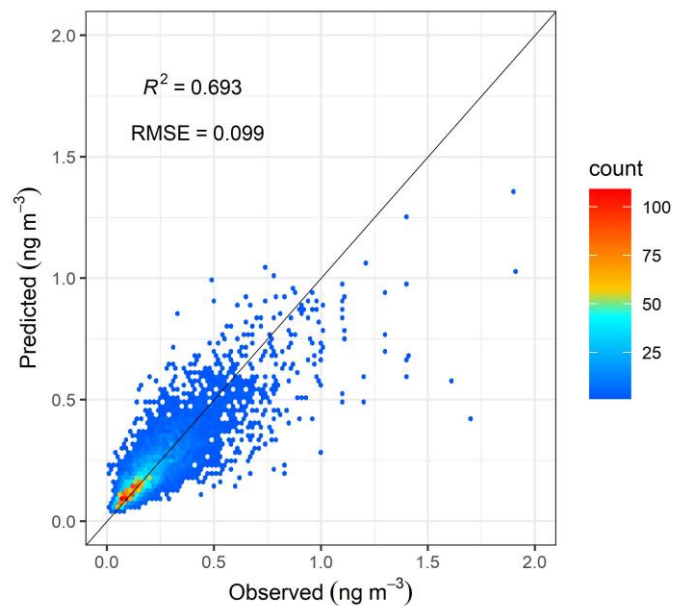
- 
- 健康影響は労働環境における曝露によって評価されているが、その濃度は一般環境中の濃度よりも数桁高い
 - 一般環境の濃度レベルでの健康影響評価には、長期間のBaP空間変動の推計が必要
 - 大気常時監視として全国の自治体において測定



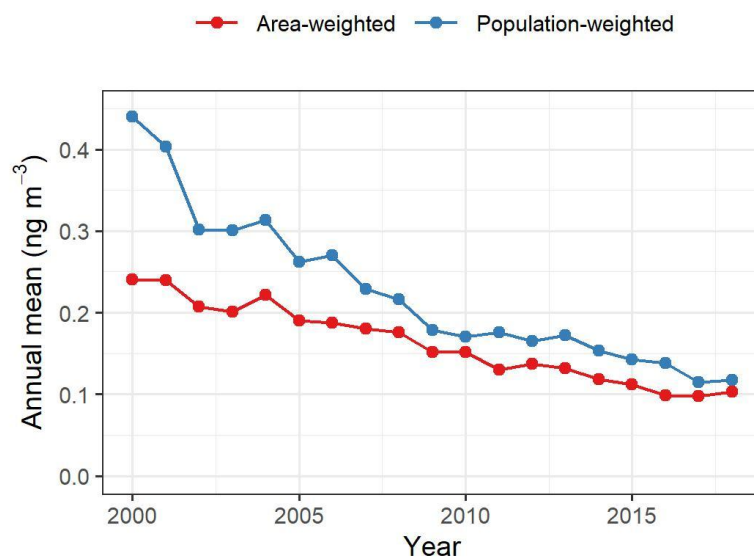
日本全国の2000 – 2018年のBaP濃度を年ごと、1 kmごとに機械学習モデルで推計、曝露濃度等の変動を得る

ベンゾ[a]ピレンの長期濃度推計:精度評価と予測結果

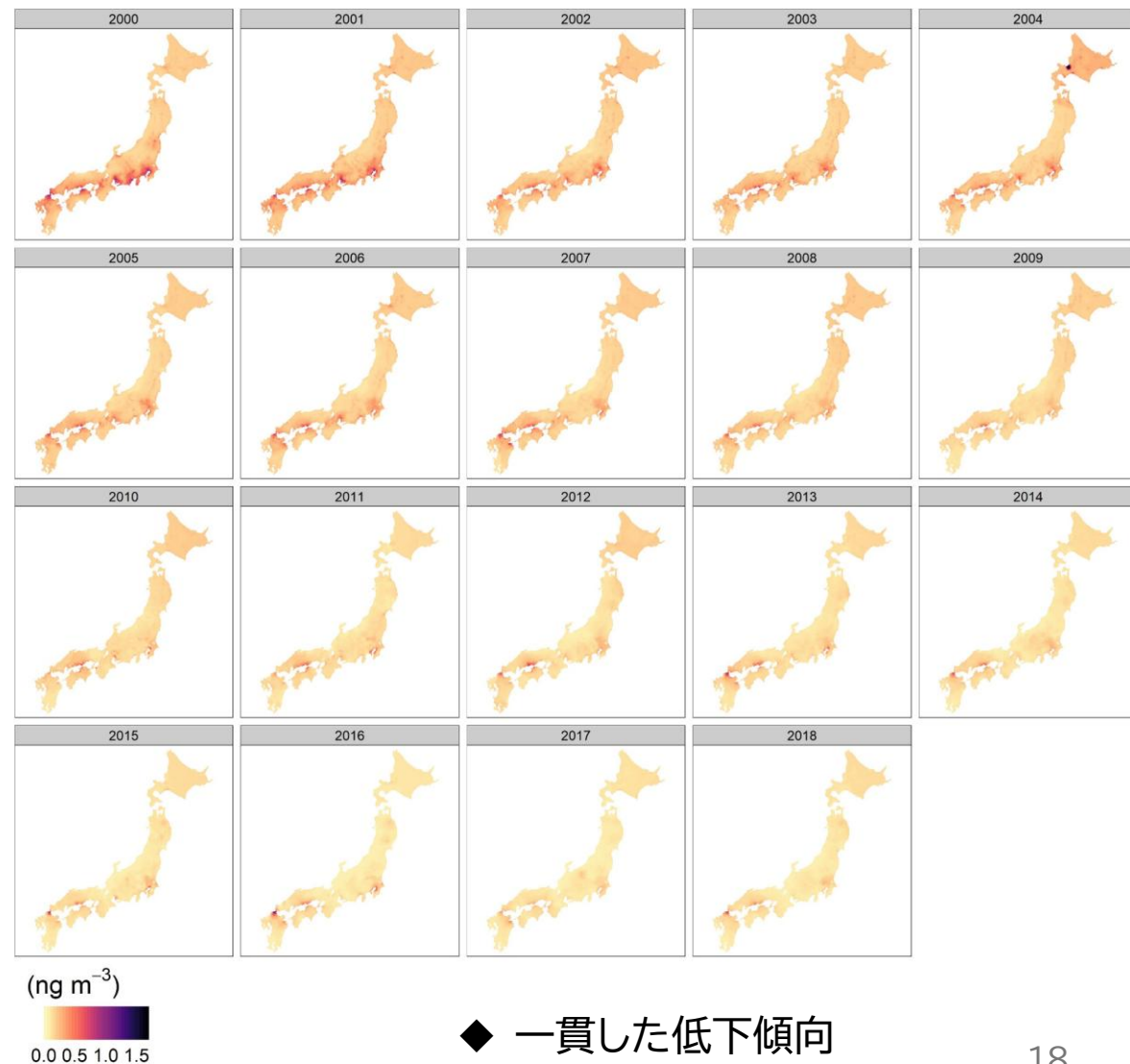
精度評価結果



BaP濃度の経年変化



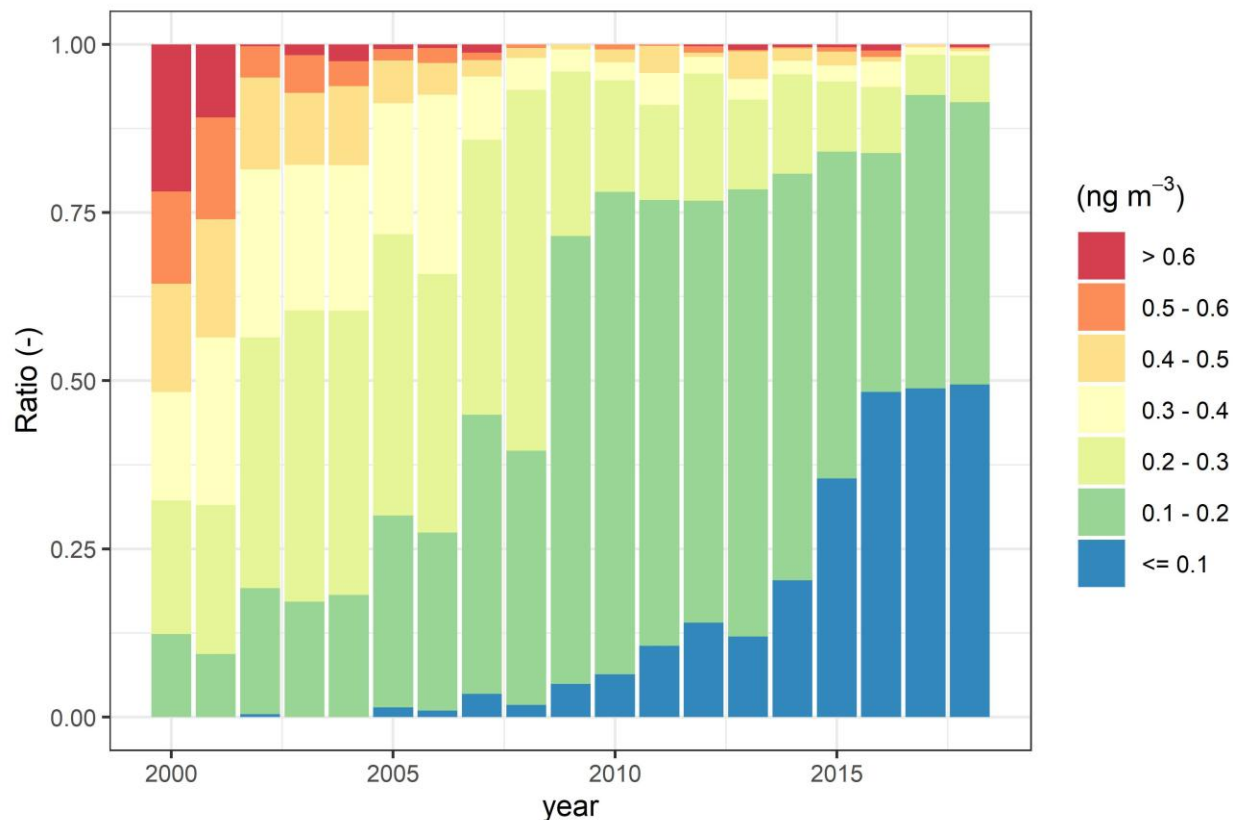
BaP濃度空間分布(2000 - 2018)



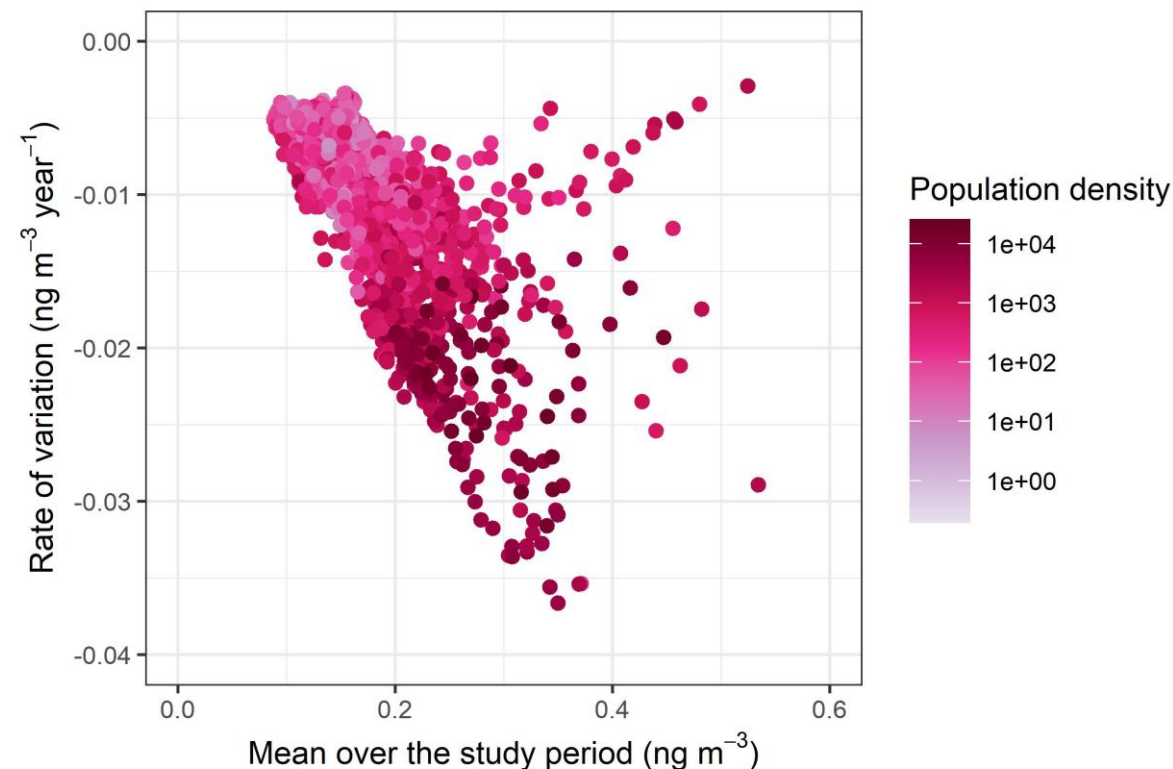
- ◆ 一貫した低下傾向
- ◆ 都市部で顕著に低下

ベンゾ[a]ピレンの長期濃度推計: 予測結果

BaP曝露濃度の経年変化



BaP平均濃度と濃度減少率の関係



- ◆ 一貫した低下傾向
- ◆ 都市部で顕著に低下
- ◆ 大気汚染対策の結果

まとめ

- 機械学習モデルによる大気質予測
 - 基本的なアプローチ
 - 使用する環境データ
- 適用事例の紹介
 - 観測開始前のPM2.5濃度の推計(月単位)
 - 時間的・空間的に観測データが疎なPM2.5成分濃度の推計(日単位)
 - BaPの長期濃度推計(年単位)
- この手法は、目的によって、様々な時間・空間スケールで適用可能
- 適切なデータの利用(とデータの質)が重要

ご清聴ありがとうございました

ご質問等は、下記までお願いします。
araki@ea.see.eng.osaka-u.ac.jp

本研究はJSPS 科研費JP18H03060、JP19K12370、JP21H03205、JP22H03757、
環境研究総合推進費JPMEERF20185002、JPMEERF20195055、
JPMEERF20215005、JPMEERF20225M03、および住友財団環境研究助成の助成を受けて実施されました。