

【5RF-2002】 【体系番号JPMEERF20205R02】
環境研究総合推進費（革新型研究開発（若手枠））（令和2～3年）

機械学習を用いた大気汚染予測システムへの ガイダンス手法の開発と予測精度向上

令和4年7月26日 事後評価ヒアリング

課題代表者 弓本 桂也（九州大学 応用力学研究所）

研究分担者 板橋 秀一（電力中央研究所）

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

④環境問題の解決に資する新たな技術シーズの開発・活用

行政ニーズ（5-9）PM2.5及びOxの総合的な削減シナリオ・技術の特定と対策コストの評価

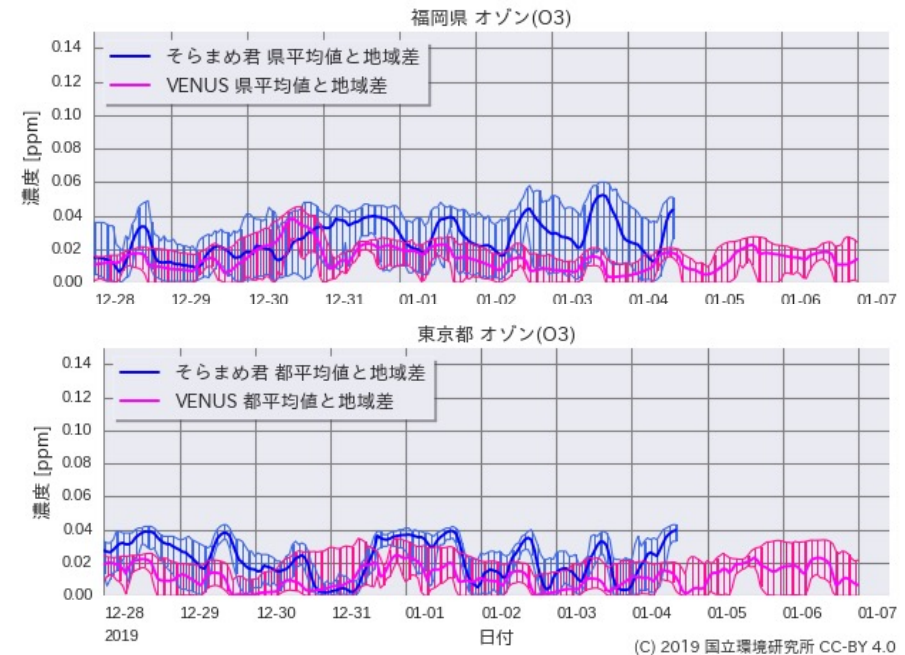
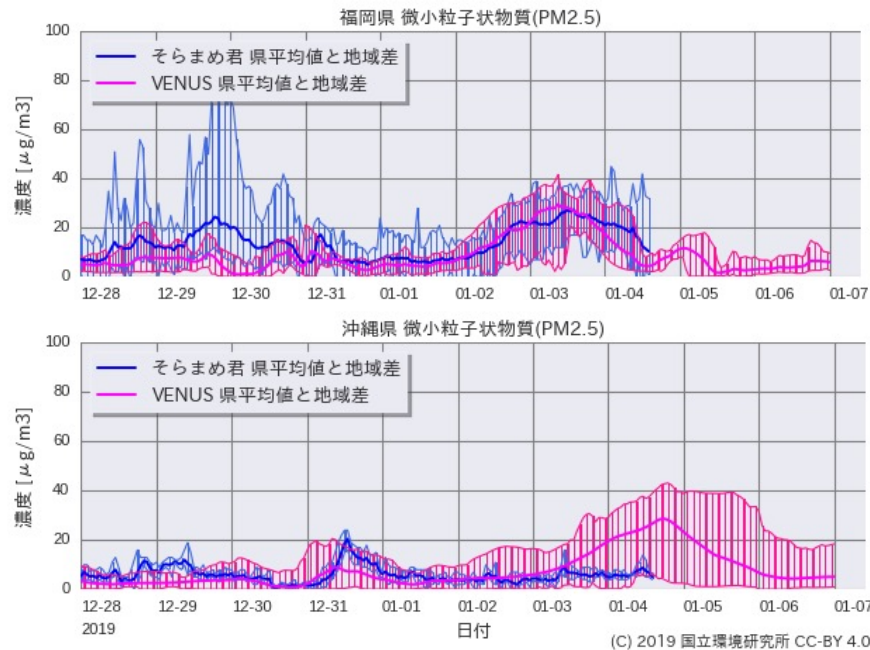
大気汚染予測システムの現状



国立環境研究所が運用。
米国環境保護局が開発する化学輸送モデル（CMAQ）を使用。
主に、PM2.5およびオゾンの予測を行う。

➡ 社会の重要なインフラの一部となりつつある。

予測値と測定値の時系列の比較（一予測値、一観測値）

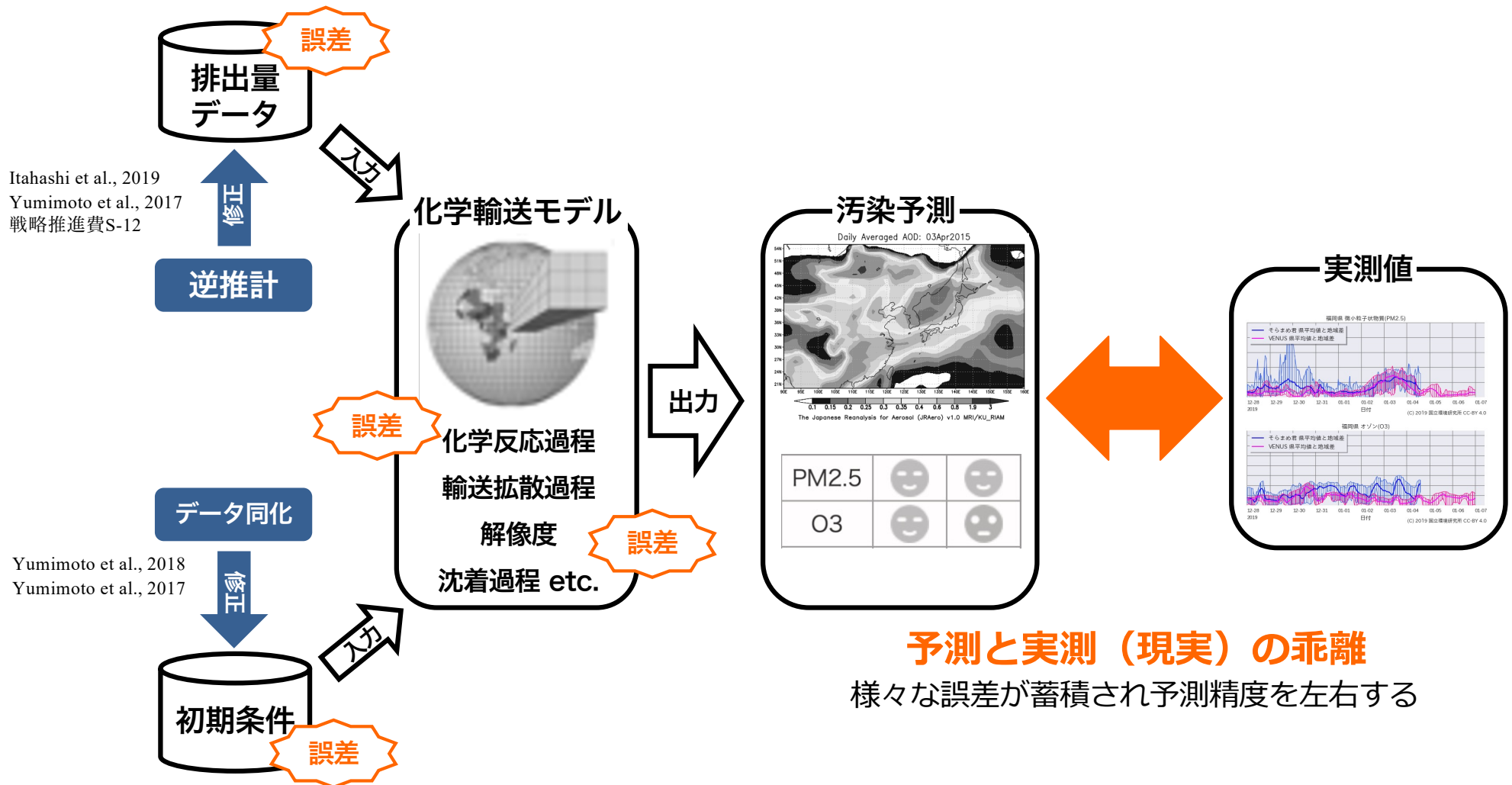


環境基準の超過を予測できていない。

特徴的な濃度変化を予測できていない（＝日最高濃度の予測ができていない）。

➡ 依然として予測精度に改良の余地があり、定量的な予測が出来ずにいる

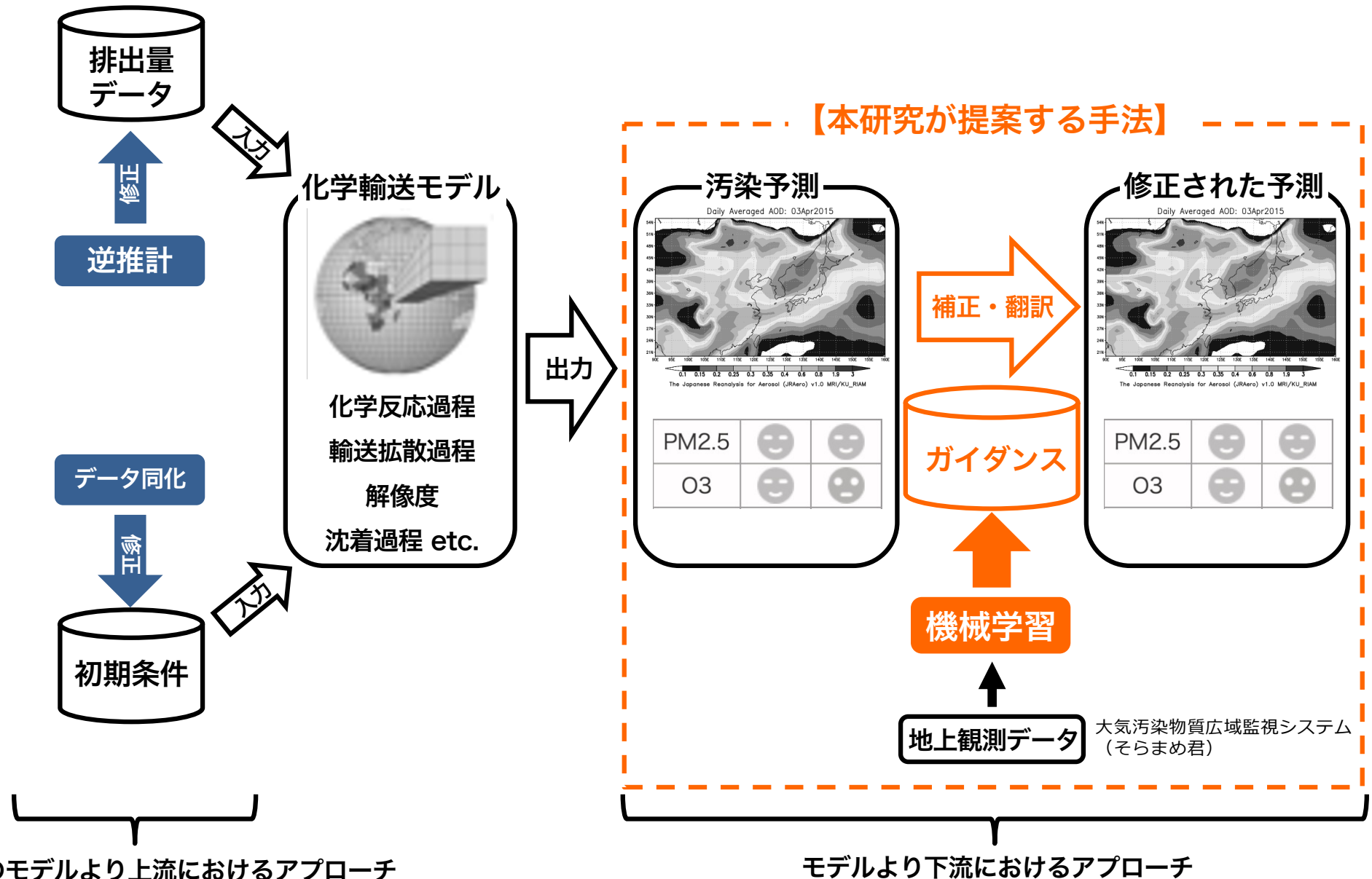
大気汚染予測システムの誤差要因



- ・従来のアプローチ（逆推計やデータ同化）ではモデル自体に含まれる誤差を修正できない
- ・データ同化や逆推計は導入コストが高い

研究開発目的

機械学習を応用し、ガイダンスの概念を導入することで、予測精度の向上を目指す



ガイドンスとは？

数値天気予報で用いられる事後処理の1つで、予報の補正・翻訳と呼ばれる。

- ・ 予測に含まれる系統誤差の修正
- ・ 数値モデルが直接予報できない要素（発雷確率など）への変換

研究目標

- ① 機械学習の技術を応用し
 - ② 大気汚染広域監視システムで蓄積された観測を学習データとすることで
 - ③ 大気汚染予測版のガイドンスを構築することで
- **PM2.5および光化学オキシダント予測の定量的な精度向上を実現する。**

[具体的な数値目標]

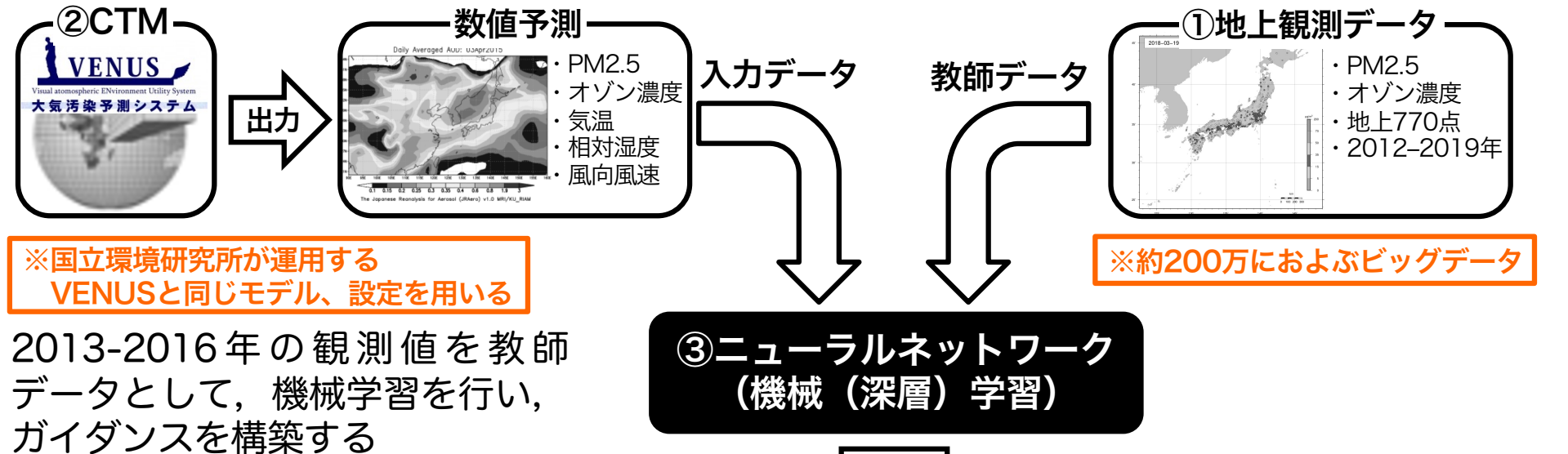
PM2.5およびオゾン濃度予測における平均二乗誤差および平均バイアスの20%削減

本研究の特色

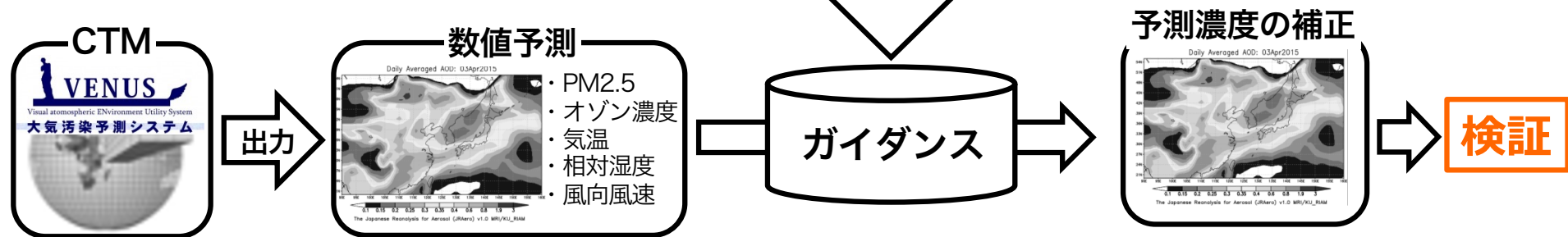
- ① 機械学習手法およびガイドンスの概念の大気汚染予測への導入。
- ② 大気汚染広域監視システムで蓄積された観測値（ビッグデータ）の活用。
- ③ VENUSへの導入を視野にいたした開発。

研究開発内容① – 機械学習によるガイダンス構築

【学習フェイズ】



【予測フェイズ】

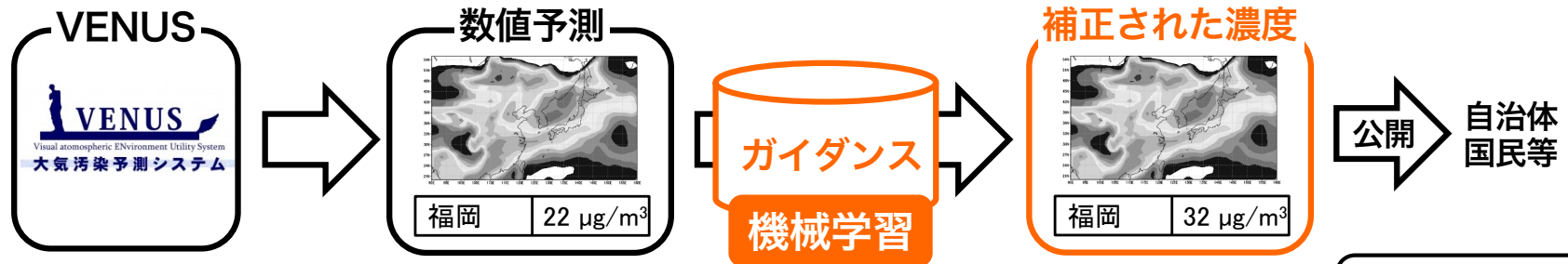


2017年を対象に予測実験を行い構築したガイダンスの検証を行う

研究開発内容② – 2つのガイダンス

① 回帰モデル型ガイダンス

機械学習の回帰手法に着目



※大気汚染予測システムが予測した濃度を補正する。

オゾン濃度予測
PM2.5濃度予測

② クラス分類型ガイダンス

機械学習のクラス分類や認識に着目

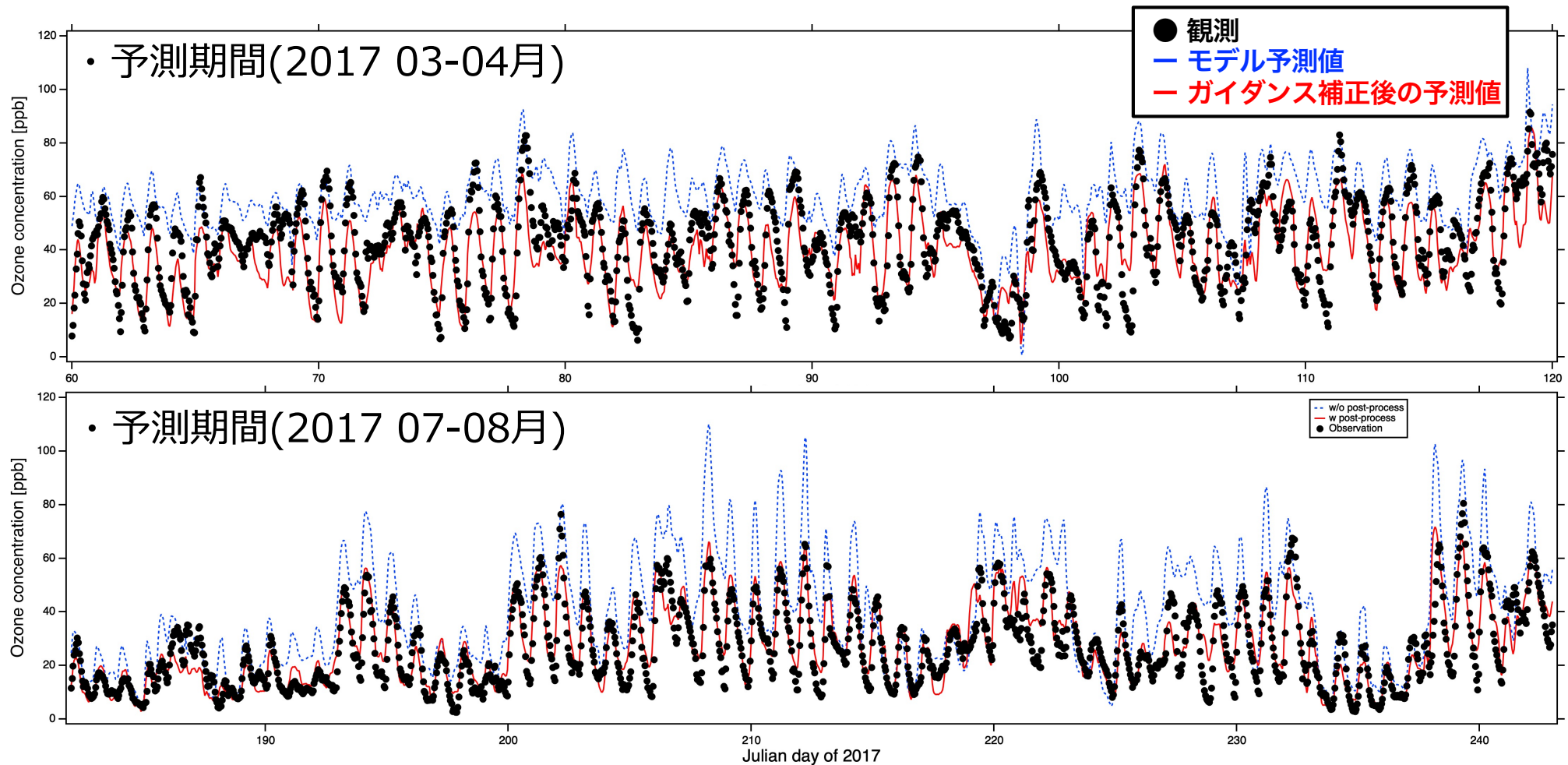


※予測された濃度や気象場の情報から基準値超過を判断する

PM2.5基準超過判断

回帰モデル型ガイドンス（オゾン）

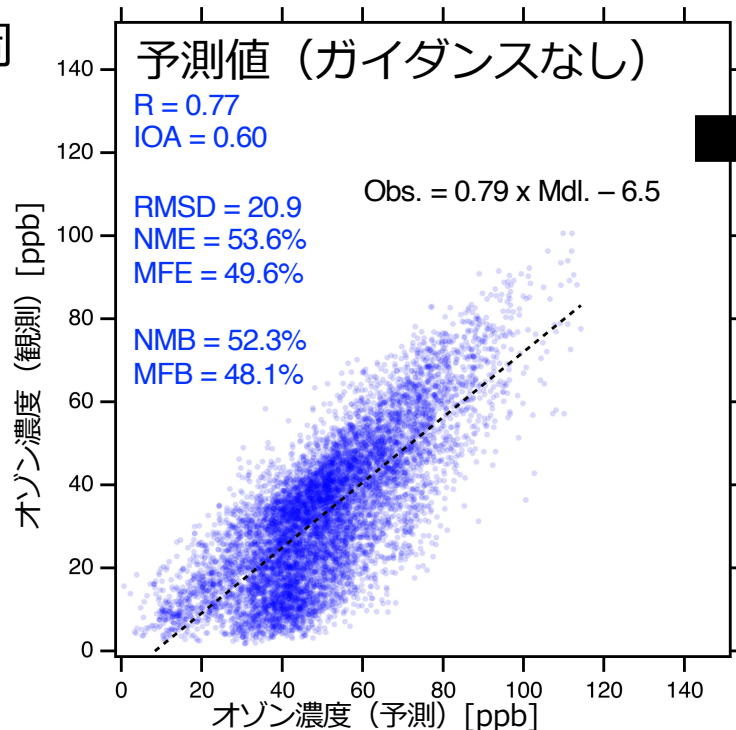
—（福岡の結果）—



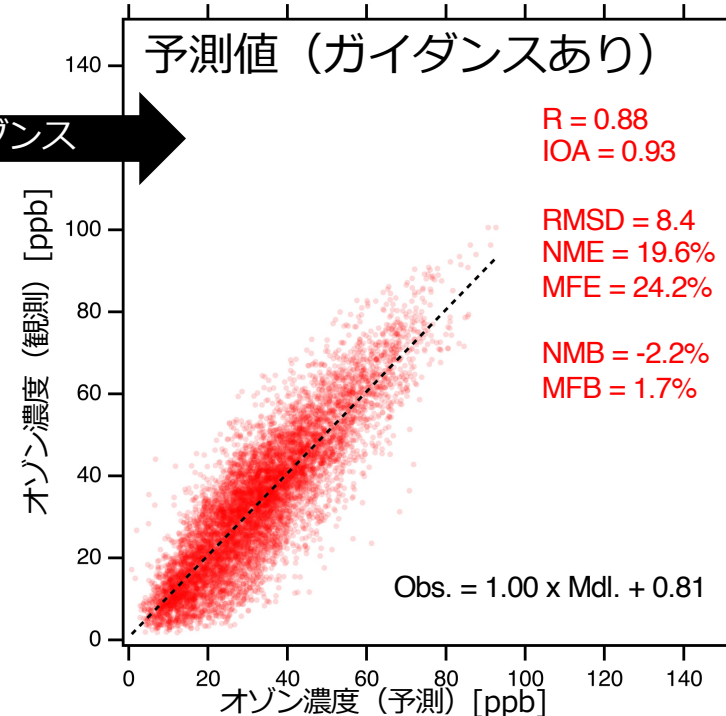
- モデル予測は濃度を過大評価 → ガイダンスによって大幅に修正
- 日内周期変動を過小評価 → ガイダンスによって改善、ピークとボトム濃度を再現できるように

回帰モデル型ガイダンス（オゾン）

・ 福岡



ガイダンス



[統計量によるガイダンスのパフォーマンス評価]

予測値と観測値の一致性

- ・ 決定係数 (R^2)
- ・ 一致指数 (IOA)

予測値と観測値の距離（誤差）

- ・ 平均二乗誤差 (RMSD)
- ・ 規格化平均誤差 (NME)
- ・ 平均分割誤差 (MFE)

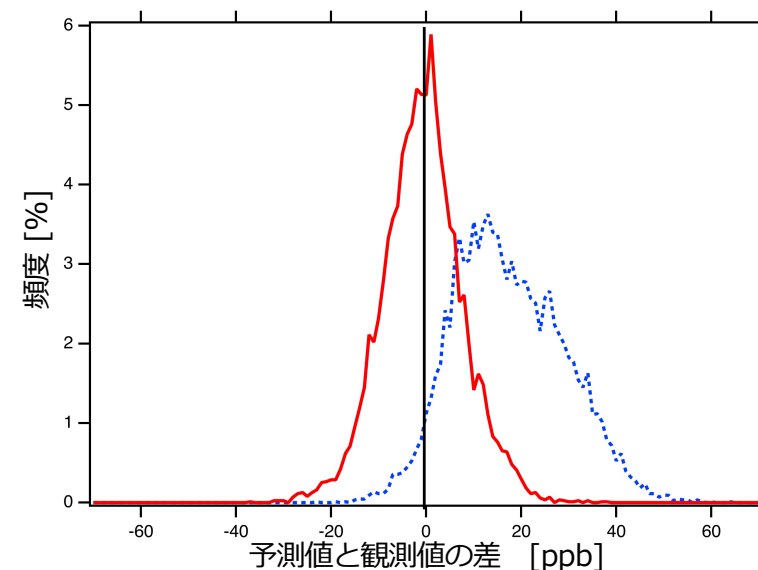
予測値と観測値の偏差（バイアス）

- ・ 規格化平均偏差 (NMB)
- ・ 平均分割偏差 (MFB)

- ・ 予測値と観測値の一致性、誤差、偏差ともに大幅に改善
- ・ 特に予測値に見られた過大バイアスがガイダンスの適用により大幅に減少。

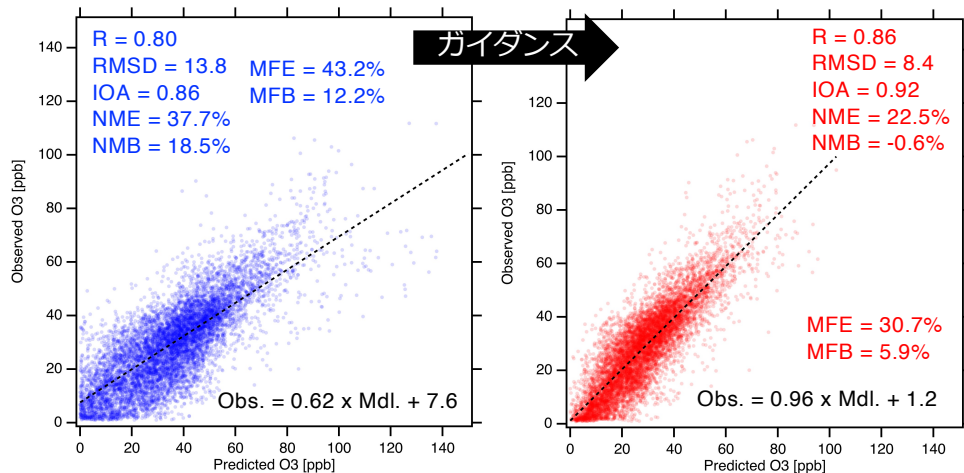
NMB : $52.3\% \rightarrow -2.2\%$, MFB : $48.1\% \rightarrow 1.7\%$

機械学習を用いた大気汚染予測システムの予測精度向上（事後ヒアリング資料）

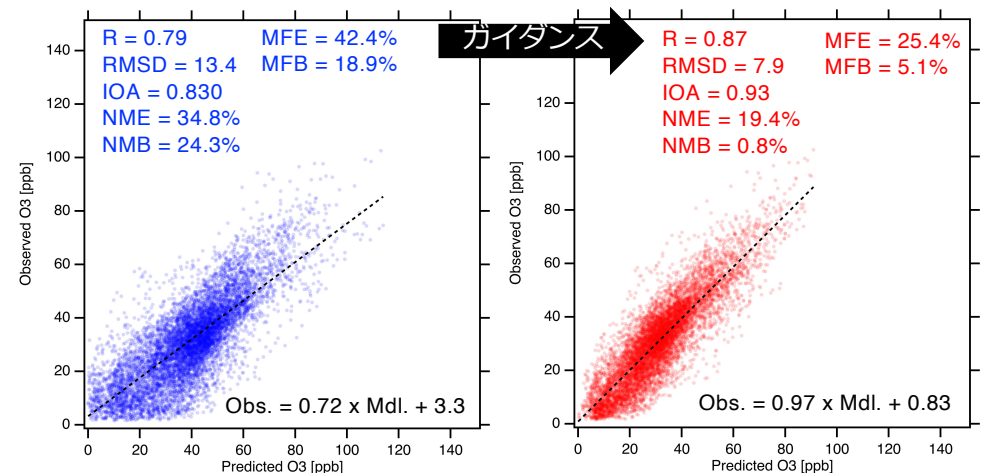


回帰モデル型ガイダンス（オゾン）

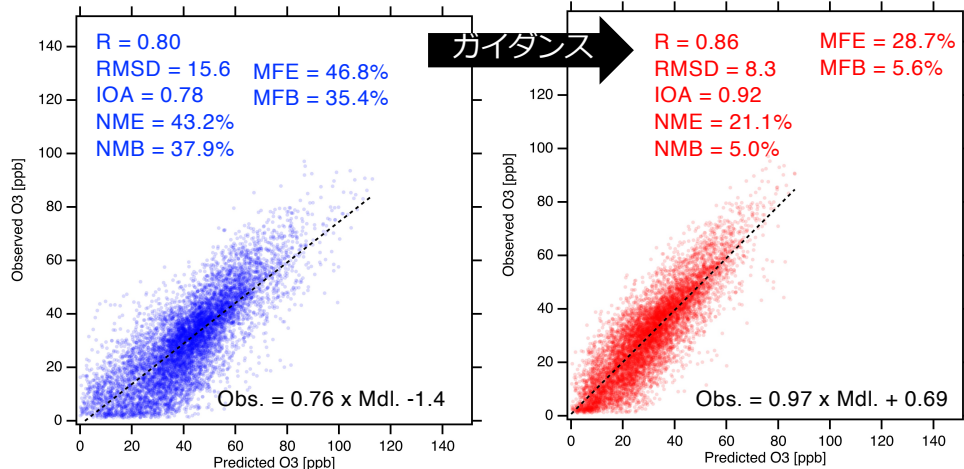
・ 東京



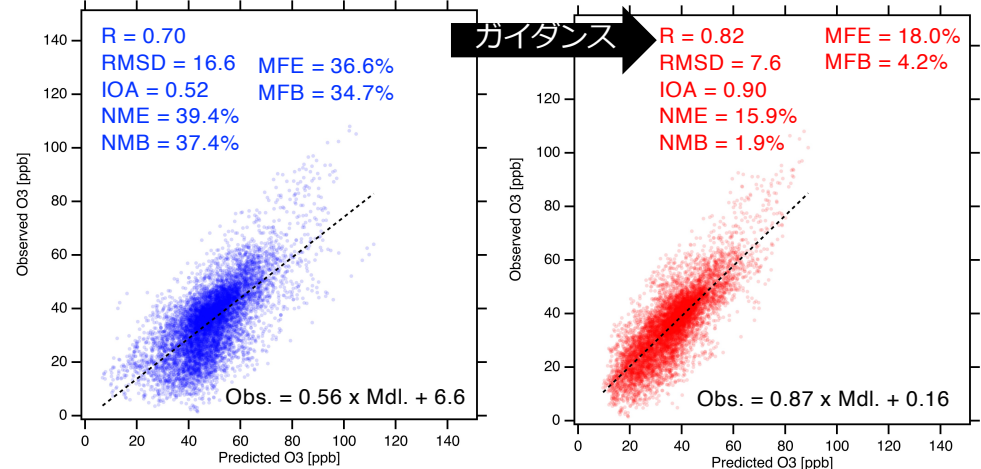
・ 大阪



・ 名古屋



・ 新潟



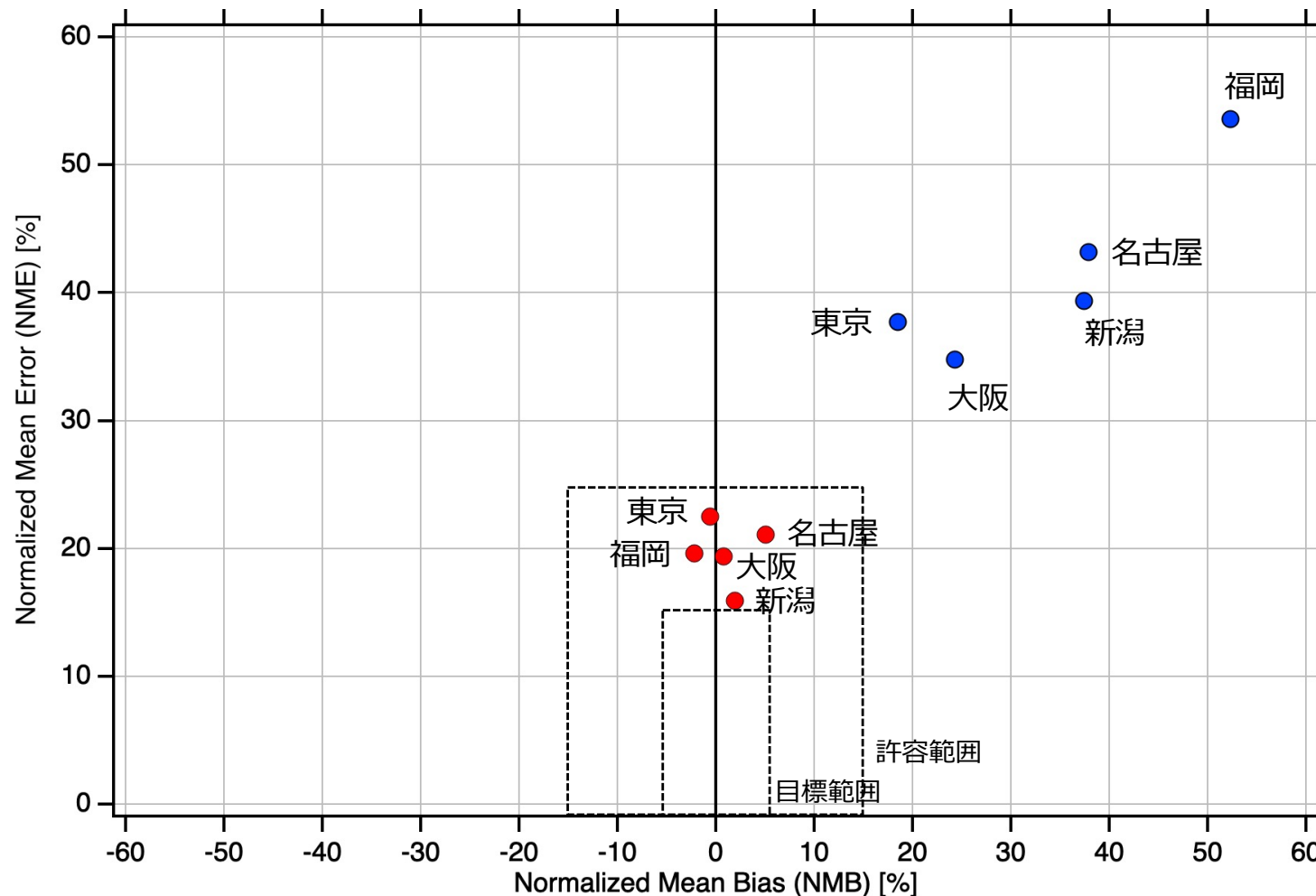
- ・ 改善の度合い等はさまざまであるが、すべての地点で予測精度が改善（手法の汎用性を確認）。
- ・ モデルによる予測が難しかった地点（新潟、 $\text{IOA} = 0.52$ ）でも予測精度の大幅な改善が見られた。
- ・ 福岡同様に過大バイアスの大きな改善
- ・ 研究目標であるRMSDおよびバイアスの20%減少を大きく達成。

RMSD = 39.1~59.8%減少、NMB = 86.8~96.8%減少、MFB = 51.6~96.4%減少

回帰モデル型ガイドンス（オゾン）

Emery et al., (2017)によるオゾン濃度の数値予測に対する予測再現性の評価

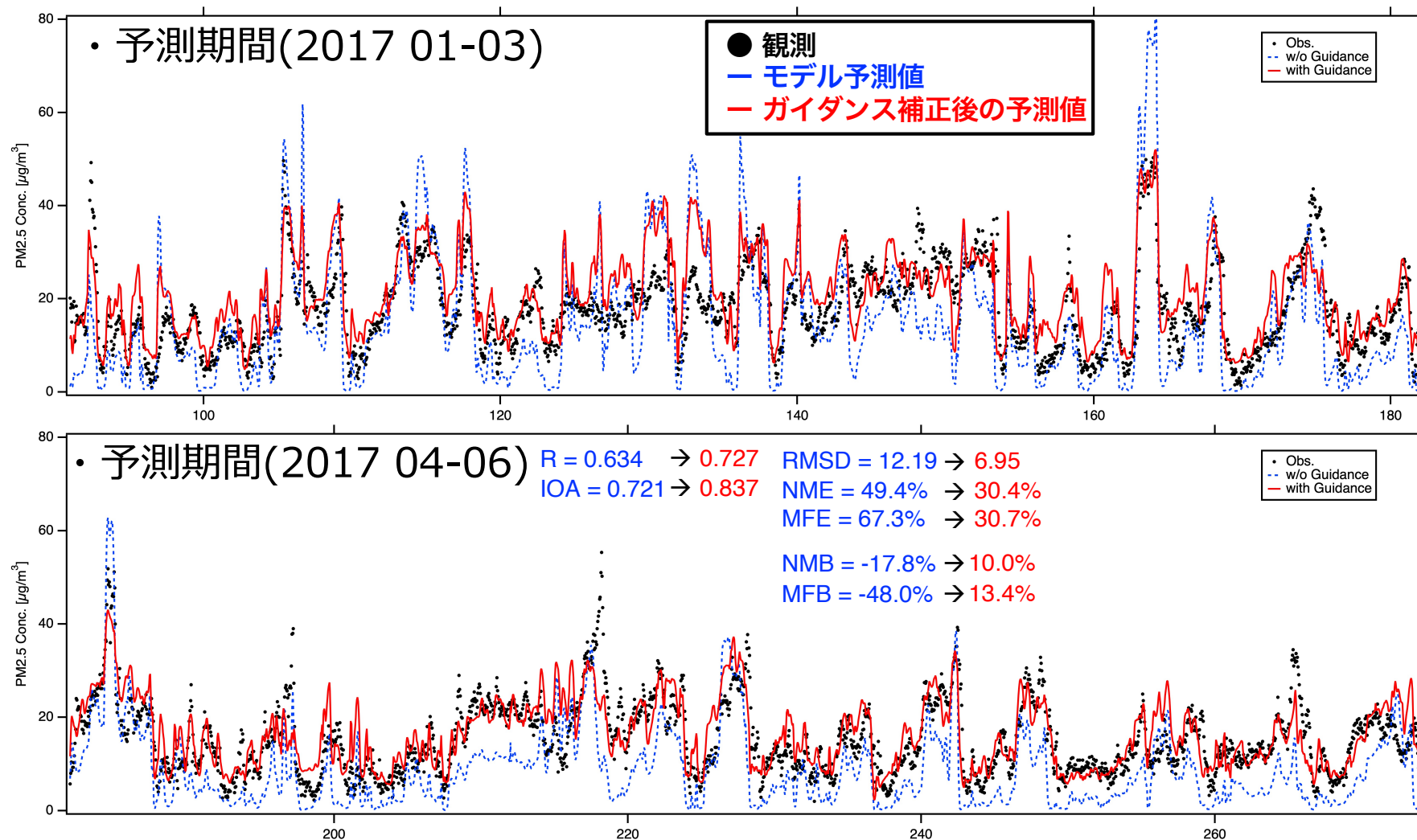
($NME \leq 25\%$ かつ $NMB \leq \pm 15\%$) で許容範囲 (criteria) を達成
($NME \leq 15\%$ かつ $NMB \leq \pm 5\%$) で目標範囲 (goal) を達成



- モデル予測値はすべての地点で許容範囲も達成できず。
- ガイドンスの適用によりすべての地点の予測で許容範囲を達成。**

回帰モデル型ガイダンス (PM2.5)

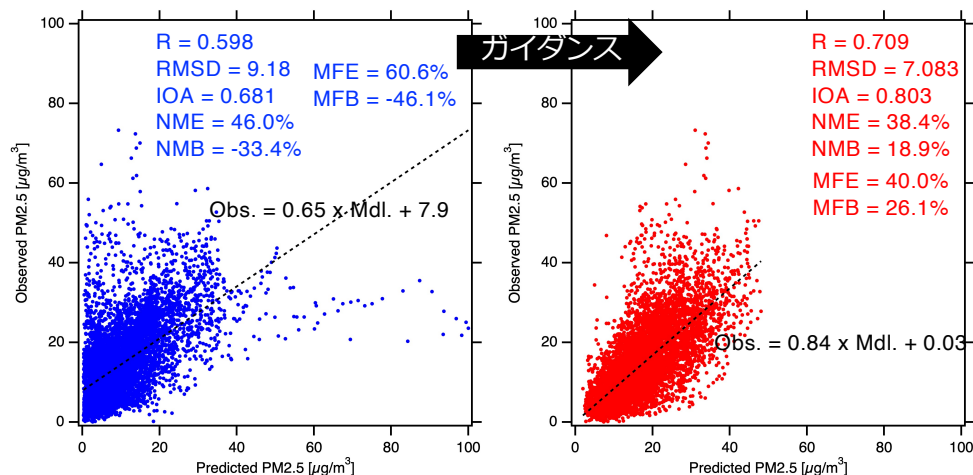
— (福岡の結果) —



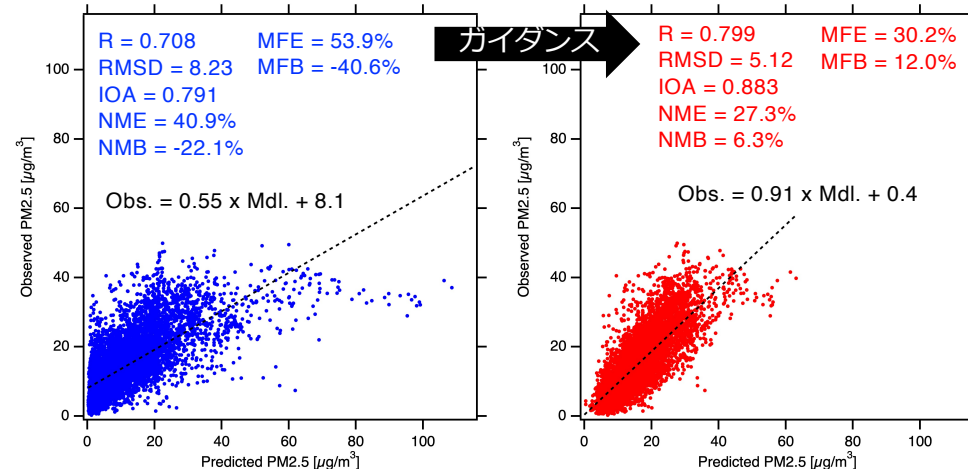
- モデル予測は春に過小バイアス → ガイダンスによって修正
- 冬の過大評価 → ガイダンスによって緩和

回帰モデル型ガイダンス (PM2.5)

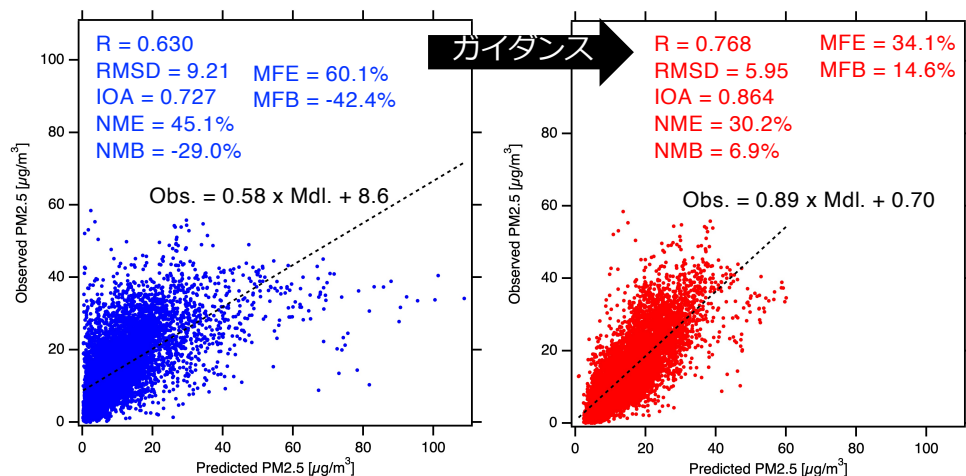
・ 東京



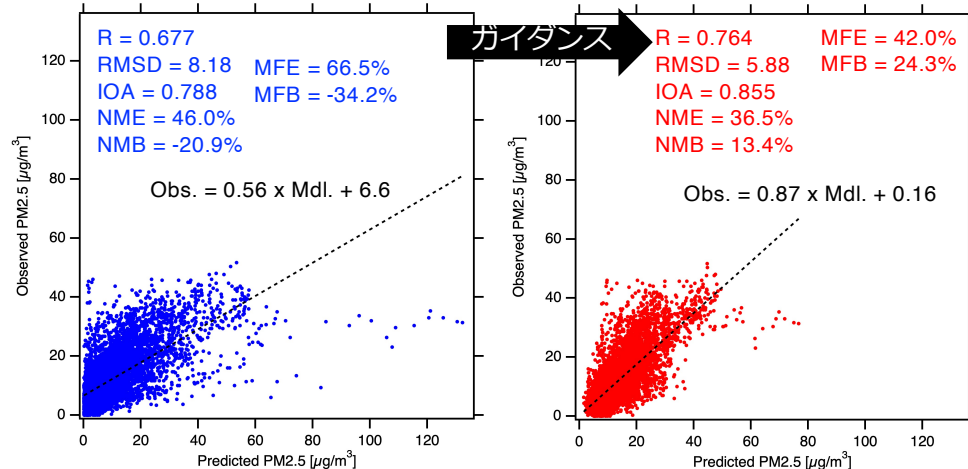
・ 大阪



・ 名古屋



・ 新潟

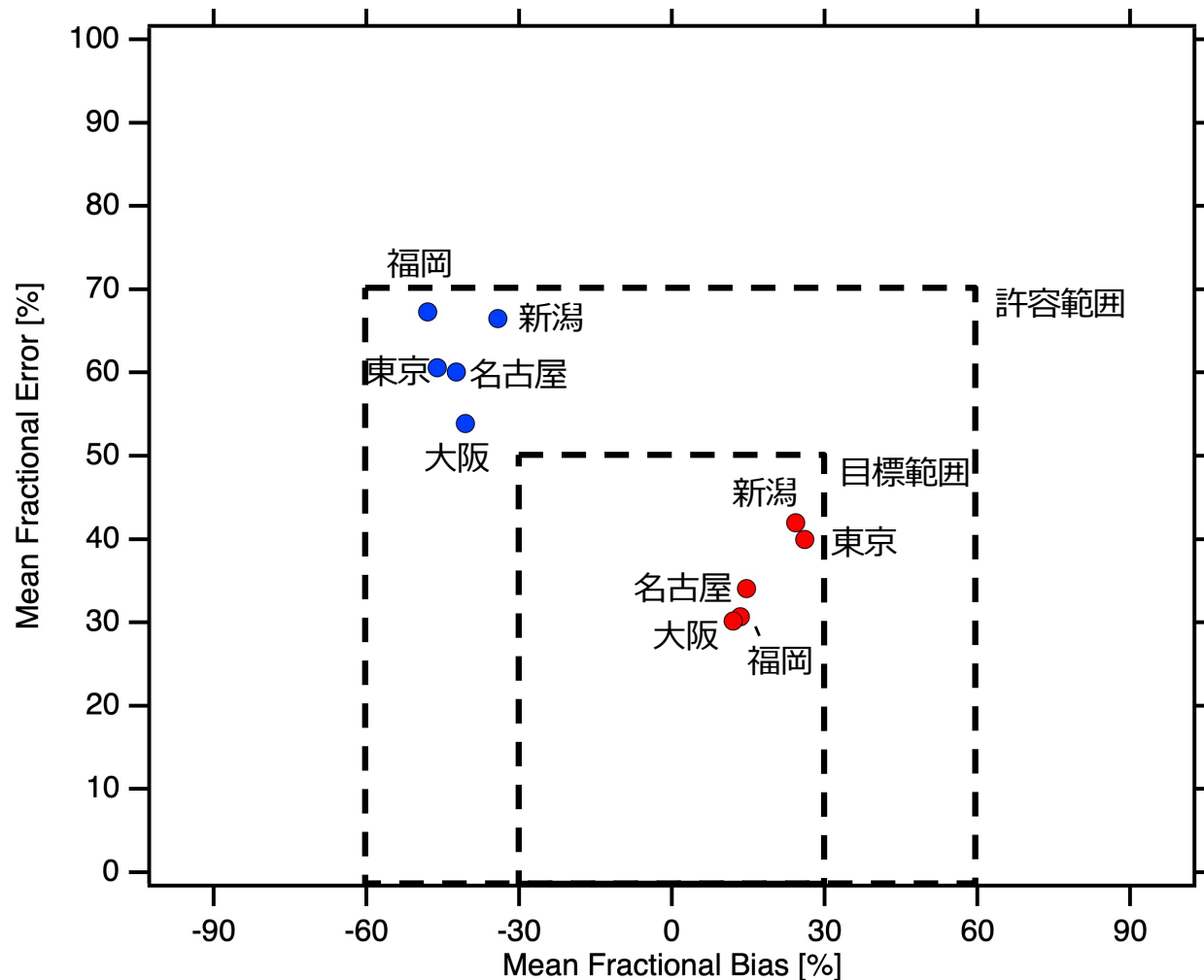


- ・ 改善の度合い等はさまざまであるが、すべての地点で予測精度が改善（手法の汎用性を確認）。
- ・ 予測値の大幅な過大評価を適切に修正。
- ・ **研究目標であるRMSDおよびバイアスの20%減少を達成。**
 $\text{RMSD} = 22.8 \sim 49.5\%$ 減少、 $\text{NMB} = 35.9 \sim 71.5\%$ 減少、 $\text{MFB} = 28.9 \sim 72.1\%$ 減少

回帰モデル型ガイダンス (PM2.5)

Boylan and Russell (2006)によるPM2.5濃度の数値予測に対する予測再現性の評価

(MFE $\leq 70\%$ かつMFB $\leq \pm 60\%$) で許容範囲 (criteria) を達成
(MFE $\leq 50\%$ かつMFB $\leq \pm 30\%$) で目標範囲 (goal) を達成



- 予測値はすべての地点で許容範囲は達成したが、目標範囲を達成できた地点はなかった
- **ガイダンスの適用によりすべての地点の予測で目標範囲を達成。**

環境政策への貢献＜見込まれる成果＞

□大気汚染予測に特化したガイダンスの開発に成功

□大気汚染予測システム（VENUS）への導入と定量的な予測精度向上の可能性

令和3年度開始の環境研究総合推進費課題

「機械学習によって観測データと統合された新しい大気汚染予測システムの開発と実働実験」

にて実際のVENUSの予測結果を用いた実働実験を行う予定。

□VENUSの予測精度が向上することによって

- ・ 越境大気汚染を含むPM2.5およびオゾンによる大気汚染現象の解明
- ・ 監視および早期警戒を通じた健康被害の軽減
- ・ 注意喚起および注意報発令の精度向上および発表・発令時刻の迅速化

研究目標の達成状況

査読付き論文に準ずる成果発表	0 件
その他誌上発表（査読なし）	1 件
口頭発表（学会等）	8 件
「国民との科学・技術対話」の実施	1 件
マスコミ等への公表・報道等	1 件
本研究に関連する受賞	0 件

<口頭発表>

1. Fujita, R., Yumimoto K. et al.: Modification of PM2.5 Forecasting with Deep Learning, *22nd Cross Straits Symposium on Energy and Environmental Science and Technology*, Virtual Platform, 2-3 December, 2020.
2. Yumimoto, K.: Aerosol assimilation/forecasting in Japan, *NASA ACCP Air Quality Virtual Workshop*, Virtual Platform, March 16-18, 2021
3. 板橋秀一、第 62 回大気環境学会年会 株式会社ROKI公開シンポジウム「COVID-19 と大気環境」(オンライン開催)(2021)COVID-19 の感染拡大・対策に伴う大気質変化
4. 弓本桂也：エアロゾル版再解析プロダクトの開発と長期変動研究への応用、第38回エアロゾル科学・技術討論会、オンライン開催、2021年8月26-27日
5. 弓本桂也、板橋秀一、早崎将光：機械学習によるPM2.5予測精度向上に関する研究、第38回エアロゾル科学・技術討論会、オンライン開催、2021年8月26-27日
6. 弓本桂也、板橋秀一、早崎将光：機械学習による大気汚染予測精度向上に関する研究、第62回大気環境学会年会、オンライン開催、2021年9月15-17日

<国民との科学・技術対話>

1. 弓本桂也：東アジアの大気環境予測について、第9回STI政策シンポジウム「総合知で創る東アジアの環境イノベーション」（主催：九州大学科学技術イノベーション政策教育研究センター、2022年3月10日アクロス福岡大会議室、現地50名、オンライン300名

<マスコミ等への公表・報道等>

1. NHK WORLD-JAPAN 『BOSAI: Science that can save your life / #15 PM2.5』（2022年3月5日、PM2.5予測の現状と予測精度改善に向けた取り組みについて説明）