

令和6年度 IIAE 大気環境総合センターセミナー

**【共催】 ERCA（環境再生保全機構）の研究成果発表**  
『地域ごとの光化学オキシダントに関する研究のレビューと  
そのとりまとめに関する調査研究』

高橋 克行（日本環境衛生センター）

『福岡県におけるシミュレーションの行政活用  
—大気汚染濃度予測システムとAIによる精度向上機構の開発—』

山村 由貴（福岡県保健環境研究所）

期 日：2024年7月23日（火）

場所：IIAE セミナー室 / Zoom オンライン（ハイブリッド開催）

一般財団法人大気環境総合センター

〒112-0004 東京都文京区後楽1丁目2-8 後楽1丁目ビル6F

TEL：03-6801-6082 FAX：03-6801-6083

<https://iaae.or.jp>

# プログラム

(敬称略)

- 13 : 30～13 : 35 令和 6 年度 IIAE セミナー ERCA (環境再生保全機構) の  
研究成果発表 趣旨説明  
若松伸司 (愛媛大学名誉教授 IIAE 代表理事)
- 13 : 35～14 : 25 「地域ごとの光化学オキシダントに関する研究のレビューと  
そのとりまとめに関する調査研究」  
高橋 克行 (日本環境衛生センター)
- 14 : 25～14 : 30 ～休憩～
- 14 : 30～15 : 20 「福岡県におけるシミュレーションの行政活用  
—大気汚染濃度予測システムとAIによる精度向上機構の開発—」  
山村 由貴 (福岡県保健環境研究所)
- 15 : 20～15 : 30 総合討論

# 地域ごとの光化学オキシダント に関する研究のレビューと そのとりまとめに関する 調査研究

日本環境衛生センター

高橋克行, 吉村有史, 遠藤智美, 塩手文也



# 目次

1. 調査研究の背景と目的
2. 研究対象及び方法
3. 研究成果
  - 3.1. 文献調査による地域毎の光化学オキシダントの要因の整理
  - 3.2. 既往研究のアップデート
  - 3.3. コロナ影響とOx濃度文献レビュー
4. 総括
5. 期待される成果の活用の方向性



# 1. 調査研究の背景と目的

## ●背景

光化学オキシダント（以下、オキシダントまたはOxとする）の環境基準の達成率は極めて低い状況が続いている。

その要因は地域や季節によって異なり、経年的に変化していることに加え、複数の要因が混在している可能性もあるため、地域ごとに適切なオキシダント対策が求められる。

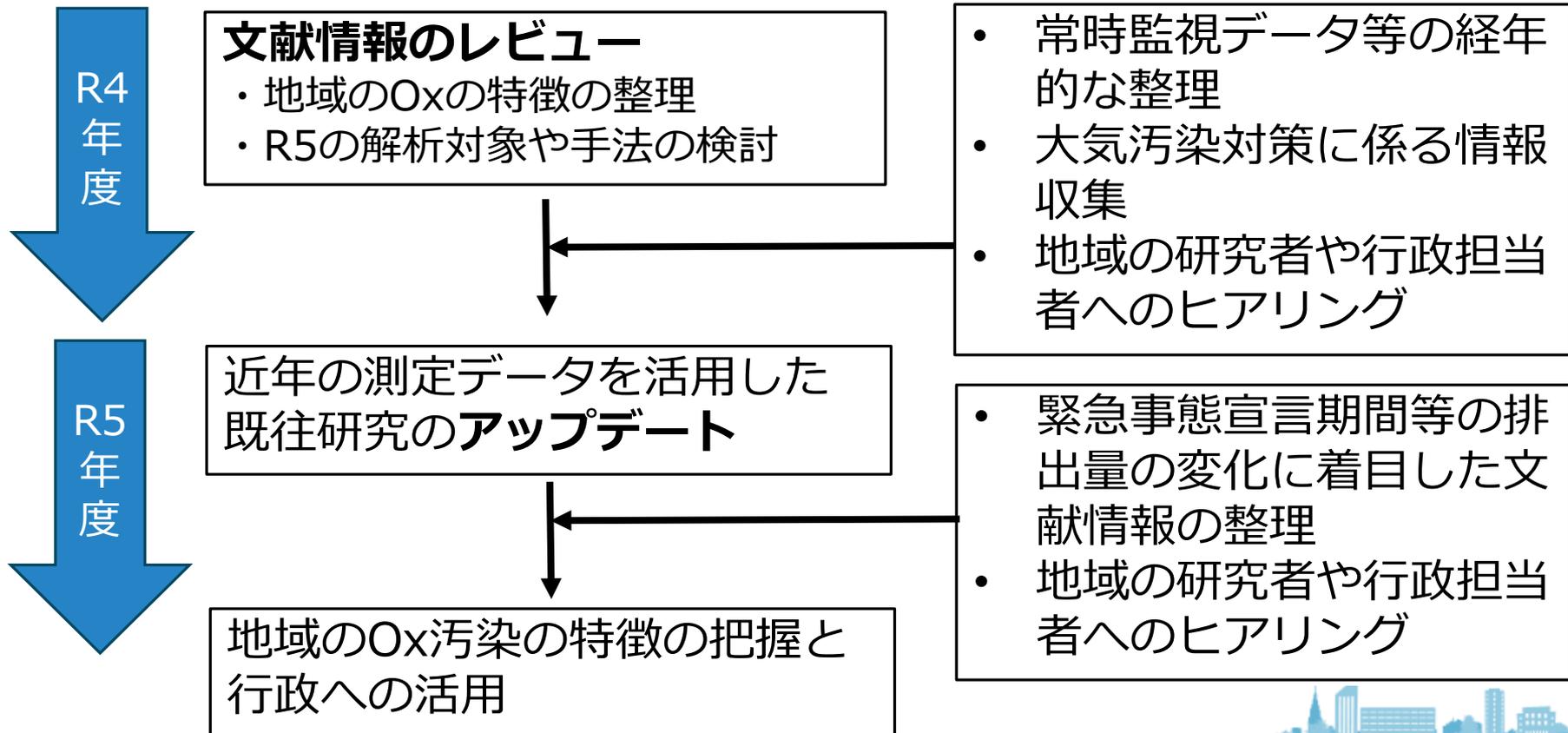
## ●目的

本研究では文献レビューを中心とした調査を実施して、地域の行政担当者が活用できるように、当該地域の前駆物質の排出状況に応じた光化学オキシダント汚染の特徴を、他地域との比較も交えて把握できるような取りまとめを行う。



## 2. 研究方法

- **対象地域**：関東、東海、関西、瀬戸内、九州の5地域
- **調査研究の内容**（2カ年計画）



# 3. 研究成果

## 文献調査による地域毎の光化学オキシダントの要因の整理

- 検索エンジン（JDreamIII）からキーワード検索で1400編の文献を抽出
- タイトルや抄録から有用と思われる有用と考えられた文献を選定し、さらに文献の記載内容も考慮して、地域毎・要因毎の文献数を次のように整理した。
  - 研究対象地域ではほとんどすべての要因で関東が一番多い
  - ただし、長距離越境輸送に関する文献は関東が0本で西の地域ほど文献数が多くなる

	関東	東海	関西	瀬戸内	九州
1. オゾン生成レジーム	7	3	3	1	0
2. NOタイトレーション効果	8	3	4	2	0
3. 前駆物質の排出量の削減効果	6	1	0	0	0
4. VOC組成とオキシダント生成の関係	21	0	3	0	1
5. 海風による内陸への輸送	14	5	5	3	1
6. 循環・滞留など	11	1	0	2	0
7. 長距離越境輸送の影響	0	1	3	5	7

# 3. 研究成果

## 既往研究のアップデート

- 令和4年度（2022年）は収集した文献を地域毎・要因毎に整理した
- 各地域のオゾン生成レジームの分布や前駆物質の排出量の削減効果等について、一定程度把握することができた。
- さらに効果的な地域比較や年代比較による取りまとめを行うことを目的に、令和5年度（2023年）には地域間や年代間で統一した解析手法を用いた検証を実施した。
- オキシダント汚染の要因のうち、地域単位での対策立案に有用な要因に焦点をあてることとした
- 文献で示された解析の中から地域や年代を拡張することで有用な知見が得られるものを選定した。

令和5年度の解析対象とする要因	解析の参考とする文献
解析①: NOタイトレーション効果	吉門(2019)
解析②: 前駆物質の排出量の削減効果	Fukunaga et al.(2021)
解析③: オゾン生成レジーム	神成(2006)

# 解析①：NOタイトレーション効果※

## 文献調査の結果

- 関東、東海、関西、九州の4地域では、オキシダントの2～6時の平均濃度は経年的に上昇していた。
- タイトレーション効果の低下でオキシダントが上昇するが、春季は見込みよりもさらに濃度が増加していた。
- タイトレーション効果の低下は夏季にもみられるが、見込みほどには濃度が増加しなかった
- 瀬戸内に関する文献は今回の調査では見つからず、令和5年度の追加解析で情報を補う。

※NOタイトレーション効果：NOとO<sub>3</sub>の反応により、見かけ上のOx濃度が低下する現象

## アップデート方針

参考文献	吉門(2019)
目的	夜間から早朝にかけてのオキシダント濃度の経年変化はタイトレーション効果のみで説明できるか。
解析手法	2～6時のオキシダント濃度について、実際の増加量とタイトレーション効果の低下により見込まれる増加量を比較した。

# 解析対象

## 期間

- I期：2000～2005年度、II期：2010～2015年度、III期：2016～2020年度
- I期→II期、II期→III期の変化を解析（吉門(2019)はI期→II期のみを解析）
- ※ I期より前はOx測定法が異なるため、本解析では対象外とした

## 対象とする測定局

- 関東、東海、関西、九州：吉門(2019)の解析対象と同じ測定局
- 瀬戸内：NO<sub>x</sub>、NMHC、Oxのいずれも測定している測定局から発生源地域との距離などを考慮して選定

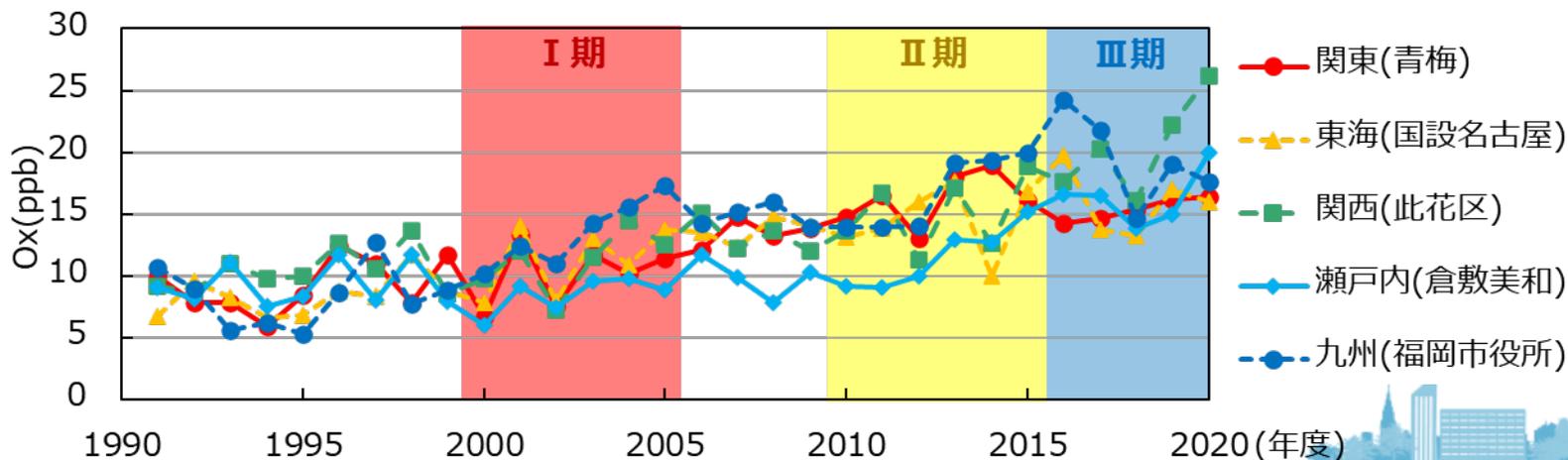


図8:各地域の2～6時のOx濃度の推移(夏季)と解析対象期間

# 解析方法

## ① $O_x$ 濃度とTitr( $O_3$ )の平均値算出

Titr( $O_3$ ) : NOタイトレーション効果により見込まれる $O_x$ 濃度の減少量

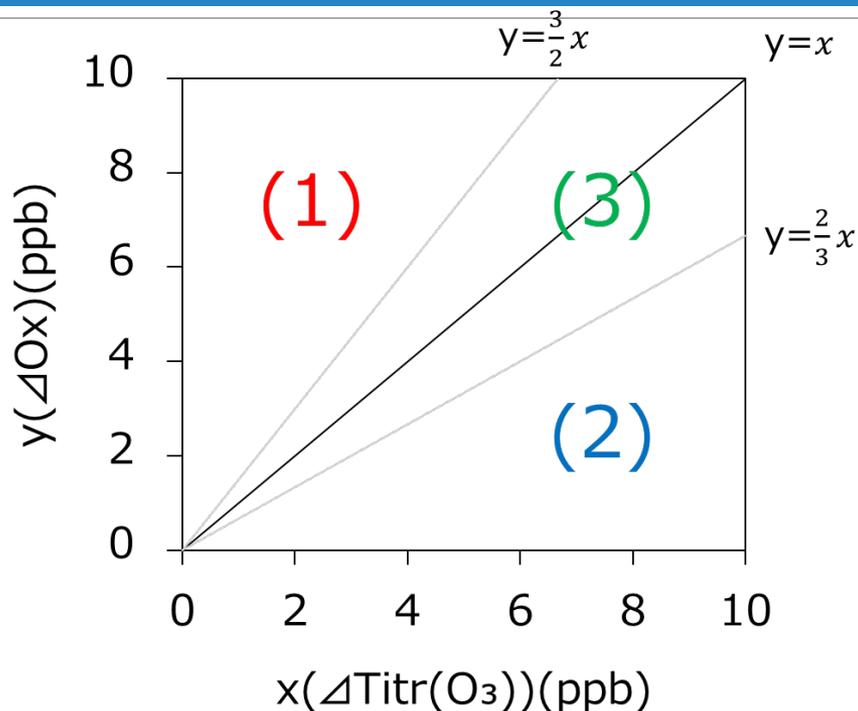
- $Titr(O_3) = [NO] - (1-a) [NO_x]$   
( $a$ の値は概略値として0.1を採用)

## ② $\Delta O_x$ と $\Delta Titr(O_3)$ の算出

①で求めたそれぞれの値を基に、春季(4,5月)と夏季(7,8月)の $\Delta O_x$ と $\Delta Titr(O_3)$ を算出した。

- Y軸 :  $\Delta O_x \rightarrow$  2~6時の $O_x$ 濃度の平均値(2-6 $O_x$ )の各期間の増加量 (例えばI期からII期への $O_x$ 濃度の増加量)
- X軸 :  $\Delta Titr(O_3) \rightarrow$  Titr( $O_3$ )の平均値の各期間の増加量

( $\doteq$ NOの減少に伴うタイトレーション効果の低下による $O_x$ 増加量)



各地域、各季節で(1)~(3)に属する測定局数をそれぞれカウントして

- (1) が一番多い  $\rightarrow \Delta O_x > \Delta Titr(O_3)$
- (2) が一番多い  $\rightarrow \Delta O_x < \Delta Titr(O_3)$
- (3) が一番多い  $\rightarrow \Delta O_x \doteq \Delta Titr(O_3)$



# 結果の解釈

## (1) $\Delta O_x > \Delta \text{Titr}(O_3)$ の場合

実際の $O_x$ 増加量の方がタイトレーション効果の低下による見込みの $O_x$ 増加量より多い。

- 考えられる要因の一つとして、吉門(2019)はバックグラウンドオゾン濃度の上昇を挙げている。

## (2) $\Delta O_x < \Delta \text{Titr}(O_3)$ の場合

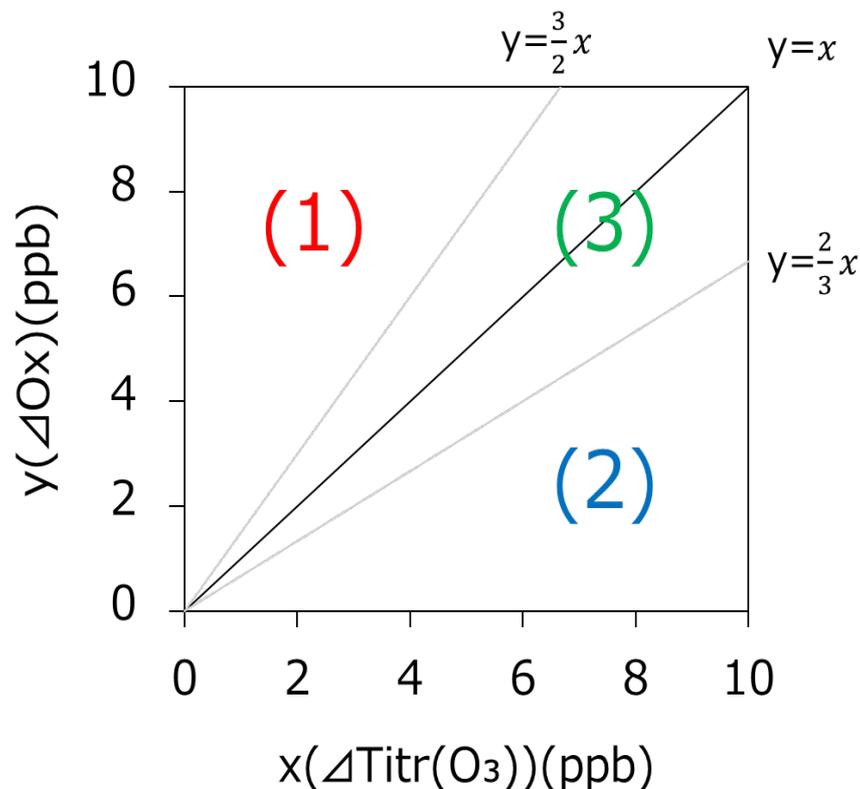
実際の $O_x$ 増加量の方がタイトレーション効果の低下による見込みの $O_x$ 増加量より少ない。

- 考えられる要因の一つとして、吉門(2019)は $O_x$ 対策の効果(以下対策効果と言う)が早朝の濃度にも表れた可能性を挙げている。

## (3) $\Delta O_x \cong \Delta \text{Titr}(O_3)$ の場合

実際の $O_x$ 増加量とタイトレーション効果の低下による見込みの $O_x$ 増加量が等しい。

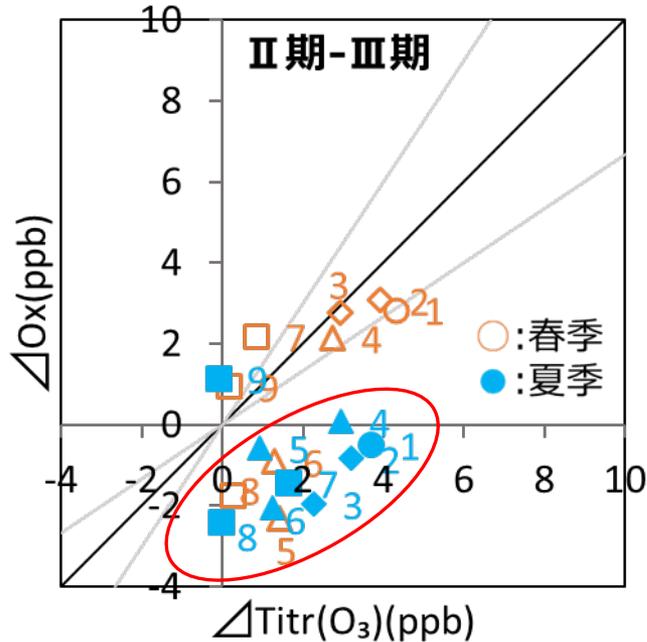
- $O_x$ 濃度の増加は、タイトレーション効果の低下によって説明できる。



# 結果の一例

## 関東

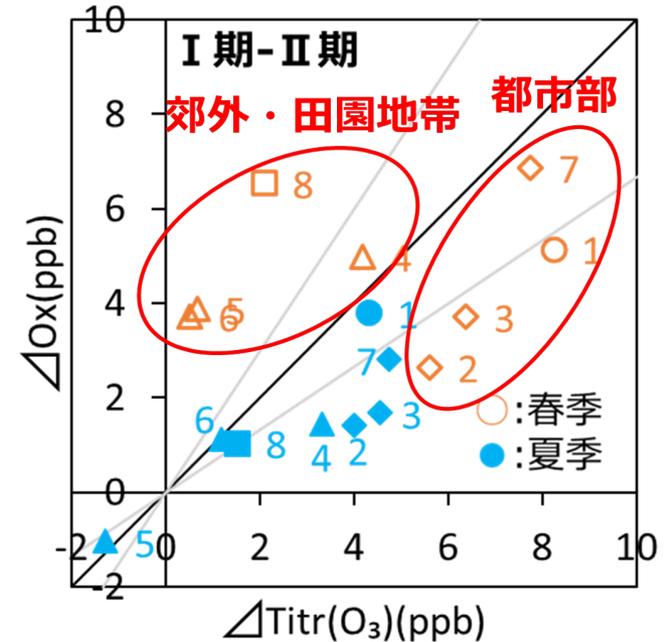
Ⅱ期：2010～2015 → Ⅲ期：2016～2020



- 夏季は早朝のOxが減少した(Y軸が負の値)  
→ **前駆物質の排出量の削減効果**が見られた

## 関西

Ⅰ期：2000～2005 → Ⅱ期：2010～2015



- 春季の郊外・田園地帯は  $\Delta\text{Ox} > \Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$   
→ **“バックグラウンド” Oxが増加**
- 春季の都市部及び夏季は  $\Delta\text{Ox} < \Delta\text{Titr}(\text{O}_3)$   
→ **前駆物質の排出量の削減効果**が見られた

# 結果のまとめ

## 春季

I 期: 2000~2005年度、II 期: 2010~2015年度、III 期: 2016~2020

	I 期→II 期	II 期→III 期
関東	→	↓
東海	→	↓
関西(都市部)	↑	→
関西 (郊外・田園地帯)	↓	↓
瀬戸内	→	↓
九州 (都市部・郊外)	→	→
九州(田園地帯)	→	↑

## 夏季

	I 期→II 期	II 期→III 期
関東	→	↓
東海	↓	→
関西	↓	↑
瀬戸内	↓	↑
九州	↓	↑

↑ :  $\Delta O_x > \Delta \text{Titr}(O_3)$  ・ ・バックグラウンド<sup>①</sup> O<sub>3</sub>上昇  
 ↓ :  $\Delta O_x < \Delta \text{Titr}(O_3)$  ・ ・対策効果  
 → :  $\Delta O_x \approx \Delta \text{Titr}(O_3)$

- 2010年代前半(II 期)以降は越境汚染の影響が小さくなっている可能性がある。
- 関東では地域由来のO<sub>x</sub>濃度が近年低下している可能性が示唆された。
- 2~6時のO<sub>x</sub>濃度はいずれの地域でも増加傾向にあるが、多くの地域でその増加量はNO<sub>x</sub>タイトレーション効果の低下で説明できた。すなわち、タイトレーション効果の低下が無ければ2~6時のO<sub>x</sub>濃度も横ばい~低下傾向であったと考えられる。



# 解析②：前駆物質の排出量の削減効果

## 文献調査の結果

- 関東(竹内, 2012)や東海(山神, 2020)では、前駆物質の排出量の削減効果が見られていたと報告がある。
- 関西、瀬戸内、九州に関する文献は今回の調査で見つからなかったため、令和5年度の追加解析で情報を補う。

## アップデート方針

参考文献	Fukunaga et al.(2021)
目的	前駆物質の排出量削減傾向がある中で、日中の光化学オキシダント生成量に改善効果が見られるか。
解析手法	日中のオキシダント濃度と夜間のオキシダント濃度の差を光化学オキシダント生成の指標として、その経年変化を評価した。



# 解析対象

## 期間

- 1991～2020年度の経年変化を解析
- ただし、1991年度時点で設置されていない測定局については、測定開始後の年度について解析を実施

## 対象とする測定局

- 関東、東海、関西、九州：吉門(2019)の解析対象と同じ測定局
- 瀬戸内：「解析①：NOタイトレーション効果」で選定したのと同じ測定局



# 解析方法

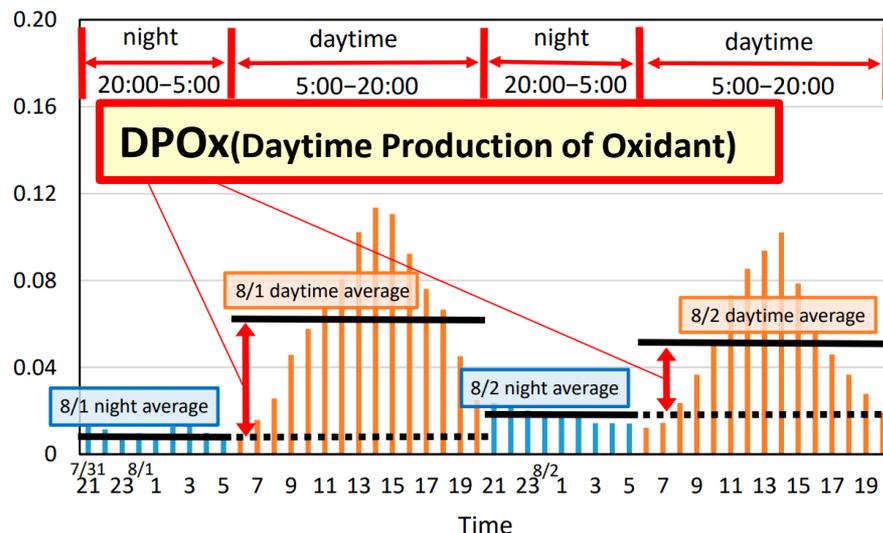
Oxのデータがある期間について、各測定局の**DPOxを算出**した。

- **DPOx**：日中に光化学反応により生成されたオゾンの量の指標、日中(5:00~20:00)の平均濃度から夜間(前日の20:00~5:00)の平均濃度を差し引くことで算出する。
- 各年の**春季(4,5月)**と**夏季(7,8月)**のDPOxをそれぞれ平均した。

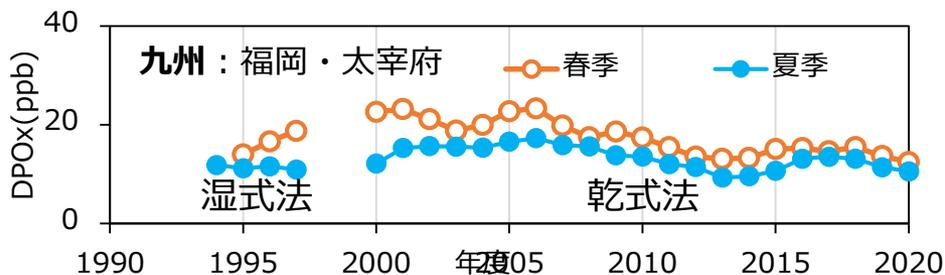
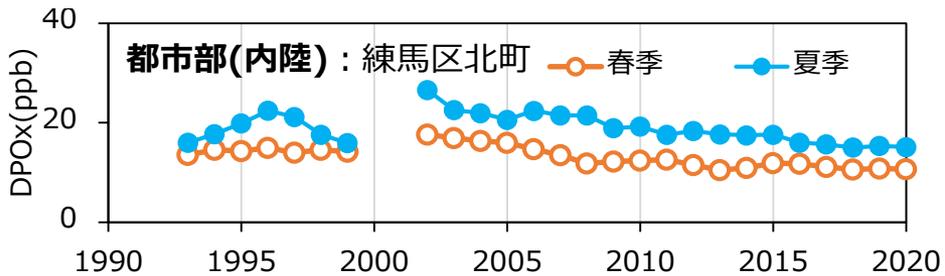
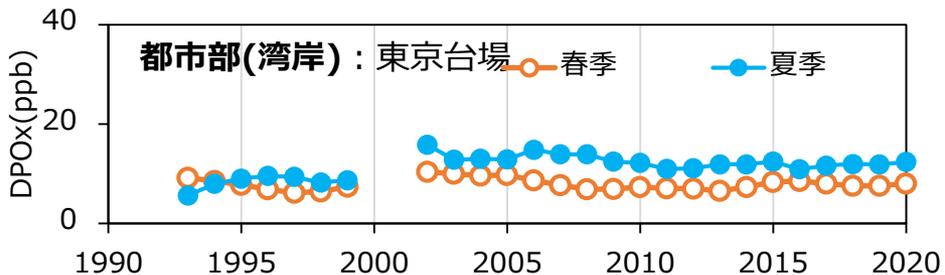
各季節の**DPOxを3年移動平均**して、その値が経年的に**減少傾向にあれば**、その地域における前駆物質の**排出量削減効果**が見られたと推定する。

- ただし、移動平均で平均する3年の中に異なるOx測定法を含む期間については計算を行わない。

(例えば、2000年に測定法が切り替わった測定局では、2000年と2001年について計算を行わない。)



# 解析結果の一例



## 都市部 (湾岸)

- DPOxは低め
- 経年変化は横ばい

## 都市部 (内陸)

- 湾岸に比べて内陸の方がDPOxが高い。すなわちOx生成が活発
- 経年的に低下傾向→削減効果あり

## 九州

- 経年的に低下傾向→削減効果あり
- 夏季の方がDPOxが低い→夏季に清浄空気の流入があるため



# 地域ごとのまとめ

## 地域別の前駆物質の排出量の削減効果の解析結果

	DPOxの経年変化	DPOxの測定局間の差	春季と夏季のDPOxの比較
関東	郊外の測定局では <b>減少傾向</b> 、 それ以外では <b>横ばい</b>	郊外 > 都市部	春季 < 夏季 (山間部を除く)
東海	いずれの測定局でも <b>減少傾向</b>	地点ごとの差は ほとんど無い	春季 < 夏季
関西	いずれの測定局でも <b>減少傾向</b>	地点ごとの差は ほとんど無い	春季 < 夏季
瀬戸内	多くの測定局で <b>減少傾向</b>	内陸 > 湾岸部	春季 ≥ 夏季
九州	多くの測定局で <b>減少傾向</b>	内陸 > 湾岸部	春季 > 夏季

- 今回解析対象とした地域では、多くの測定局で削減効果が見られた。
- 同一地域内の測定局で比較した場合、関東、瀬戸内、九州では内陸の測定局の方がDPOxが高かった。
- 関西以東では夏季と比較して春季の方がDPOxが高くなるのに対し、瀬戸内以西では夏季の方が高くなる傾向が見られた。



# 解析③：オゾン生成レジーム※

## 文献調査の結果

- 関東や関西では、都市部はVOC律速、郊外はNOx律速寄りであるという推定結果が得られていた(井上ら, 2010, 金ら, 2001)。
- 一方、瀬戸内(勝間ら, 2019)などレジーム解析が局所的な地域もあり、解析手法も様々であることから、統一された手法による広域的なレジーム解析が求められていた。

※オゾン生成レジーム：大気中のOx生成が、NOxとVOC (NMHC) のどちらにより依存しているか。

## アップデート方針

参考文献	神成(2006)
目的	VOCとNOxのどちらを重点的に削減すれば、より効果的にオキシダント濃度の低減につながるか。
解析手法	週末効果の反転現象を利用して、測定局周辺の1年間の大局的なオゾン生成レジームを推定した。



# 解析対象

## 期間：

- 1991～2020年度について、5年毎に分けて解析を実施

## 対象とする測定局：

- 関東、東海、関西、九州：吉門(2019)の解析対象の内、NMHCを測定している測定局
- 瀬戸内：「解析①：NOタイトレーション効果」で選定したのと同じ測定局



# 解析方法

① 各測定局の5～20時のOx濃度の日最高1時間値について、平日と日曜それぞれで**10パーセント**区間ごとの平均値を期間ごとに算出した。

① (※期間：前ページの5年区分した期間)

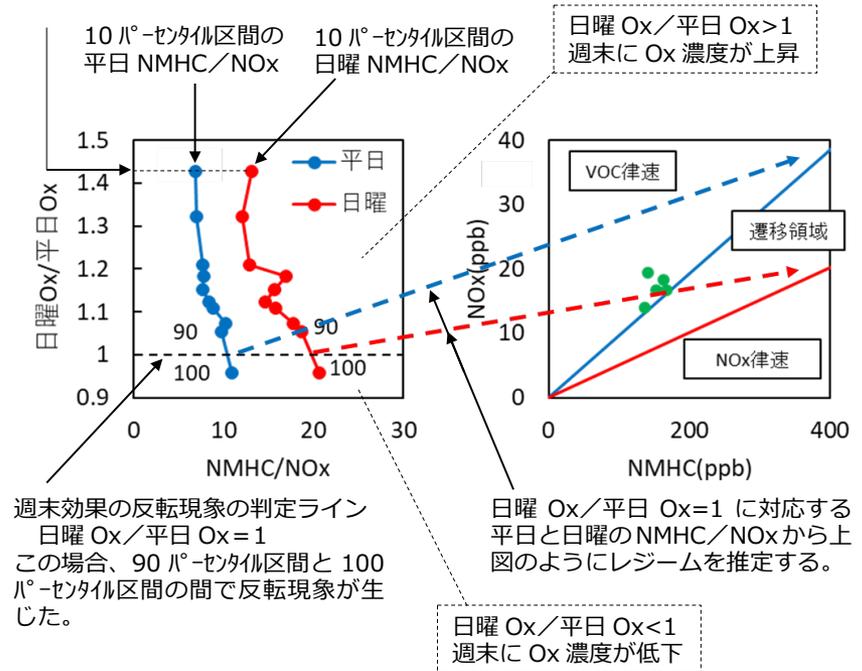
② 5～15時のNOx濃度とNMHC濃度の平均値をOx濃度のパーセント区間ごとにそれぞれ平均し、**NMHC/NOx比**を算出した。

③ 平日のOx濃度に対する日曜のOx濃度(**日曜Ox/平日Ox**)を同じパーセント区間ごとに算出し、その値が1を下回ると**週末効果の反転現象**が起こったと判定した。

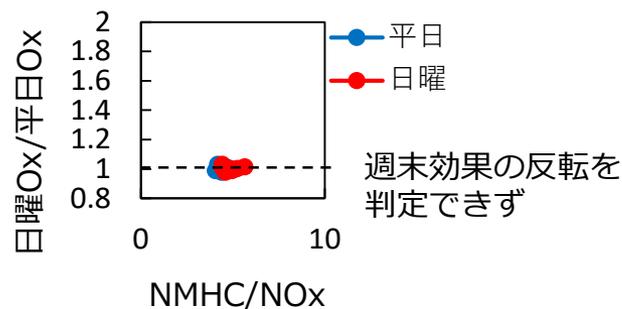
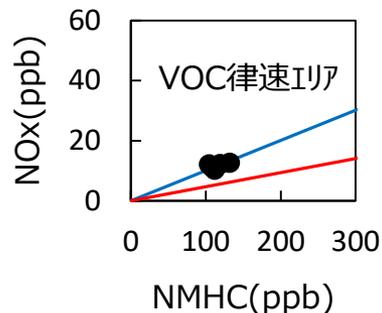
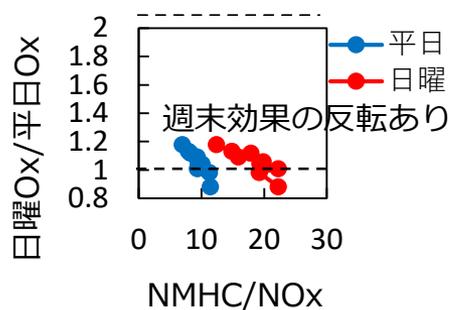
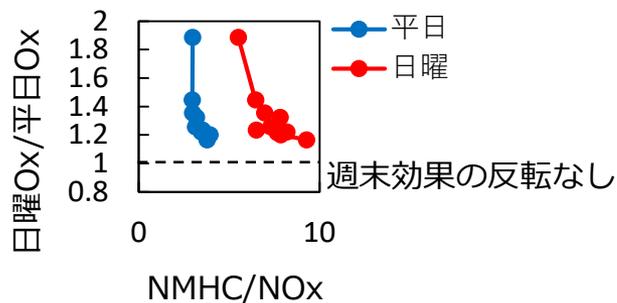
④ 測定局におけるレジームはNMHC/NOxの年平均値が、反転が起こった区間の平日の値より低ければVOC律速、同じ区間の日曜の値より高ければNOx律速、その中間であれば**遷移領域**と推定した。

① ※この方法は、年平均値を用いた大局的なレジームの推定であり、個別の高濃度事象の原因推定に用いる場合にはその点に留意する必要がある。

10パーセント区間の  
日曜 Ox/平日 Ox



# 解析結果の一例



## 関東の都市部の測定局（東京・台場）

- 平日と日曜の同じパーセンタイル区間で比較した場合、NMHC/NOx比は日曜の方が平日より高かった。
- 港区台場の測定局周辺はいずれの期間でも**VOC(NMHC)律速**であると推定された。
- 同様の傾向は**関西の都市部**でも見られた

## 関東の郊外の測定局（東京・青梅）

- この時レジームの遷移領域の境界となるNMHC/NOxの値は10.0~21.2となった。
- **VOC律速**~年度によって遷移領域にあると推定された。
- 同様の傾向は**関西の郊外**や**東海**でも見られた

## 西日本の測定局（山口・彦島）

- 彦島の測定局周辺のレジームは今回の解析方法では推定出来なかった。
- 同様の傾向は**九州**でも見られた。



# 地域ごとのまとめ

## 地域別の解析結果

	NOタイトレーション効果	前駆物質の排出量の削減効果	オゾン生成レジーム
関東	タイトレーション効果の低下があっても、2～6時のOx濃度は低下傾向であった	内陸の測定局では、削減効果が見られた	都市部：VOC律速 郊外・山間部：VOC律速～遷移領域
東海	タイトレーション効果の低下で見込まれるほどにはオキシダント濃度は上昇していなかった	いずれの測定局でも削減効果が見られた	VOC律速～遷移領域
関西	見込みの濃度上昇との関係は、解析した期間や地点、季節によって異なる傾向を示した。	いずれの測定局でも削減効果が見られた	都市部：VOC律速 郊外・山間部：VOC律速～遷移領域
瀬戸内	タイトレーション効果の低下で見込まれるほどにはオキシダント濃度は上昇していなかった	多くの測定局で削減効果が見られた	東部：VOC律速～遷移領域 西部：推定不能
九州	タイトレーション効果の低下以外の濃度上昇要因の影響を受けている可能性が示唆された	多くの測定局で削減効果が見られた	推定不能

## 3.3. コロナ影響とOx濃度文献レビュー

### 文献の収集結果(収集方法等については補足資料を参照)

#### 海外の傾向

- ロックダウン時にNOx濃度が低下し、**Ox濃度が上昇した地域が多数**あった。
- その要因
  - NOタイトレーション効果の減少
  - VOC律速下でのNOx濃度の減少
  - 雲量の低下による日射量の増加などの気象要因
- 地域の特徴
  - Ox濃度が増加したのはVOC律速の都市部
  - Ox濃度が減少したのはNOx律速の農村部
- また、スペインのイベリア半島やエクアドルのキトでは、Ox濃度の増加がみられず、その主な要因として気象条件が挙げられていた。

#### 日本国内の傾向

- 緊急事態宣言時にNOx濃度が低下したが、**Ox濃度の上昇はみられなかった。**
- 日本は海外に比べNOx濃度の低下率が低く、もとよりOx濃度が高い傾向あり
- Ox濃度の上昇がみられなかった一因として、越境大気汚染の影響の減少が示唆されているが、大陸のロックダウンの影響かどうかはさらなる検討が必要である。

# ■ 海外と日本国内のNOx低減率とOx上昇率の比較

		NOx、またはNO <sub>2</sub> の低減率		
		～30%	30～50%	50%～
OxまたはO <sub>3</sub> の上昇率	～0%	<b>東京(31→30)</b> 過去3年の1～6月の平均値の比較*1 <b>大阪(34→32)</b> 過去3年の1～6月の平均値の比較*1 <b>東京23区一般局(46→39)</b> 前年5月の月平均の比較*2 <b>メキシコ・メキシコシティ</b> *3	<b>スペイン郊外</b> *4 <ul style="list-style-type: none"> <li>●日本はNOx低減率が諸外国よりも低く、もともとのOx濃度のレベルも高め(30ppb以上)である。</li> <li>●海外ではNOxの低下率が30%以上で、Oxの濃度レベルも比較的低い(30ppb未満)傾向がある。</li> <li>●スペインでは、NOxの低下率が高いが、Oxの上昇率は低く、文献では気象の影響とされている。</li> </ul>	<b>スペイン都市</b> (43.6～48.1→40.6～43.6) 過去5年のMDA8の中央値の比較*4
	0～10%	<b>オーストリア郊外</b> *4 <b>ドイツ郊外</b> *4 <b>イタリア郊外</b> *4	<b>フランス都市、郊外</b> *4 <b>イタリア都市</b> *4	<b>スペイン・バレンシア</b> (32.3→33.0) 過去3年の日平均の比較*5
	10～20%	<b>オーストリア都市</b> *4 <b>ベルギー郊外</b> *4 <b>ドイツ都市</b> (34.1～43.6→36.6～51.1) 過去5年のMDA8の中央値の比較*4	<b>イタリア・ローマ</b> (27.6→31.0) 過去3年の日平均の比較*5	<b>カナダ・トロント</b> (18～39→20～42) 過去10年の4月～6月の平均の比較*6 <b>中国東部(24.3→29.0)</b> 前年2月の月平均の比較*7
	20%～	表のみかた ※ ( )内はOx、またはO <sub>3</sub> の濃度(ppb)でロックダウン、あるいは緊急事態宣言の(期間前→期間中)の値を示す。 文献の記載がμg/m <sup>3</sup> の場合、ppbに換算した。 ※ 期間前のOx濃度の平均値、または中央値が <b>30ppb以上</b> は赤文字、30ppb未満は青文字とした。 ※ *数字は文献リストに記載した文献番号を示す。	<b>イタリア・トリノ</b> (25.5→32.3) 過去3年の日平均の比較*5 <b>ベルギー都市</b> *4	<b>フランス・ニース(31.4→38.9)</b> 過去3年の日平均の比較*5 <b>中国・武漢(23→31.3)</b> 過去3年の日平均の比較*5

## 3.4. 地域の研究者や行政担当者へのヒアリング

### 本研究の解析結果に対する意見(令和5年度)

- 過去にNOxの削減でタイトレーション効果が低下し、Ox濃度の増加要因になり得たというのはその通りかと思う。また前駆物質の削減効果が表れているということは、これまでの対策が間違いでなかった裏付けとなりありがたい。
- 今までNOxは9割以上削減、VOCは7割程度削減しており、今後の対策の対象と考えるVOCについて、結論の部分で方向性を示していただきありがたい。

### 今後に期待する事項(令和5年度)

- 原因物質の濃度が下がっている一方で、Ox濃度が下がらない原因を誰も明確に説明できていなく、そのメカニズムを説明できるのが理想である。
- 行政的な観点からどの業種にアプローチすればよいかわかるように、VOCのどの物質を削減したらよいかわかるとよい。



## 4. 総括

- **文献調査**では、オキシダントに関する文献を収集し、地域毎・要因毎に整理した。その結果、各地域のオゾン生成レジームの分布や前駆物質の排出量の削減効果等について、一定程度把握することが出来た。
- また、オキシダント汚染の要因のうち、「**NOタイトレーション効果**」、「**前駆物質の排出量の削減効果**」、「**オゾン生成レジーム**」に焦点をあて、整理した文献で示された解析の中から地域や年代を拡張することで有用な知見が得られるものを選定した。
- **トレース・アップデート解析**では、令和4年度に選定した文献の手法を基に、5地域（関東、東海、関西、瀬戸内、九州）30年分のデータを用いて、上述の3要因に関する解析を実施した。その結果、今回解析対象とした**地域の多くでは前駆物質の排出量の削減効果が見られていた**と考えられた。
- これらの解析結果について、地方公共団体の方からは過去の対策の効果の裏付けや今後の対策立案の指針として評価頂いた。一方、実際の対策立案にはVOCの成分組成など常時監視データのみでは分からない情報が必要であることなどをご指摘いただいた。
- 今後は、実際の対策立案に向けて、常時監視データだけではなく大気中のVOCの成分分析やモデルを用いた将来予測など幅広い調査が必要となると考えられる。

## 5. 期待される成果の活用の方向性

- 文献調査の成果や解析結果については、地方公共団体の担当者が自身の地域のオキシダントに関する大気環境の状況把握や過去の対策効果の検証などに活用することが期待される。
- 地域独自のオキシダント対策や前駆物質の削減等の大気汚染対策に係る情報を収集した結果は、他の地域の対策立案の参考としていただきたい。
- 文献レビューにおいて取りまとめた文献のリストは、地方公共団体の担当者が自身の地域のオキシダントに関する過去の研究を調べる際に活用できる。
- 今回の既往研究の追加解析で使用した解析手法はいずれも常時監視データのみを使用しているため、誰でも解析に必要なデータを入手することが出来る。本調査と同様の解析を行うことで、地方公共団体の担当者が過去の対策の効果の検証や今後の対策立案の指針を考案する際に活用することが期待される。



令和6年7月23日（火）  
大気環境総合センターセミナー

# 福岡県におけるシミュレーションの行政活用

## —大気汚染濃度予測システムとAI による精度向上機構の開発—

山村由貴

福岡県保健環境研究所

# 今回ご紹介させていただく 福岡県における大気シミュレーションの活用例

- ・ 大気汚染物質の主要発生源の推定
- ・ 大気汚染濃度の予報

予報システムの構築と運用

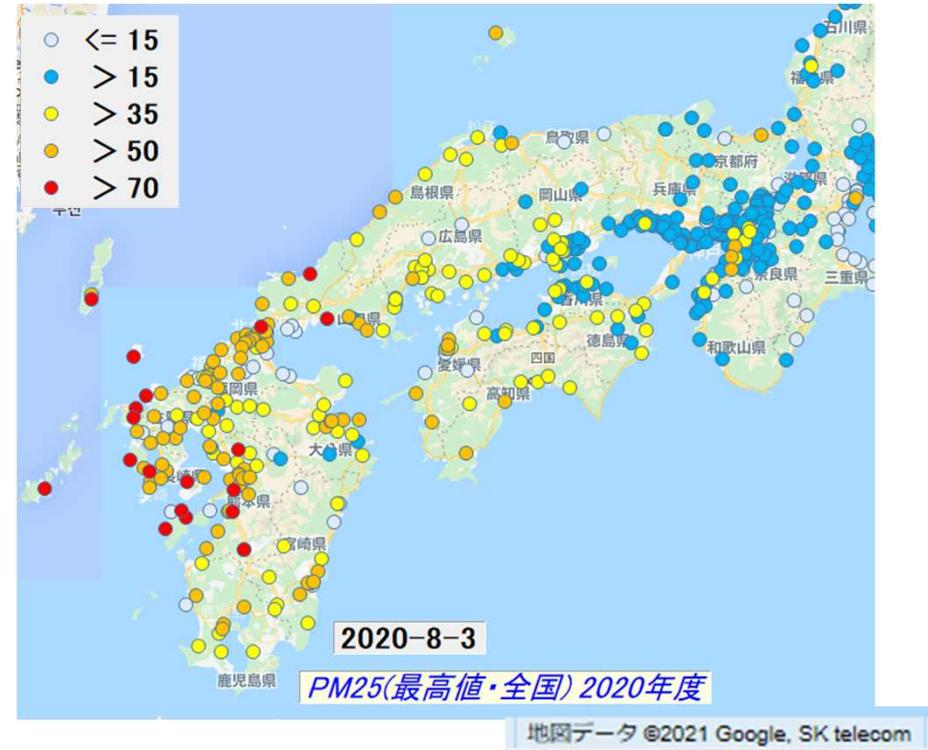
AIの導入による予報精度の向上

今回ご紹介させていただく  
福岡県における大気シミュレーションの活用例

- ・ **大気汚染物質の主要発生源の推定**
- ・ 大気汚染濃度の予報

予報システムの構築と運用

AIの導入による予報精度の向上

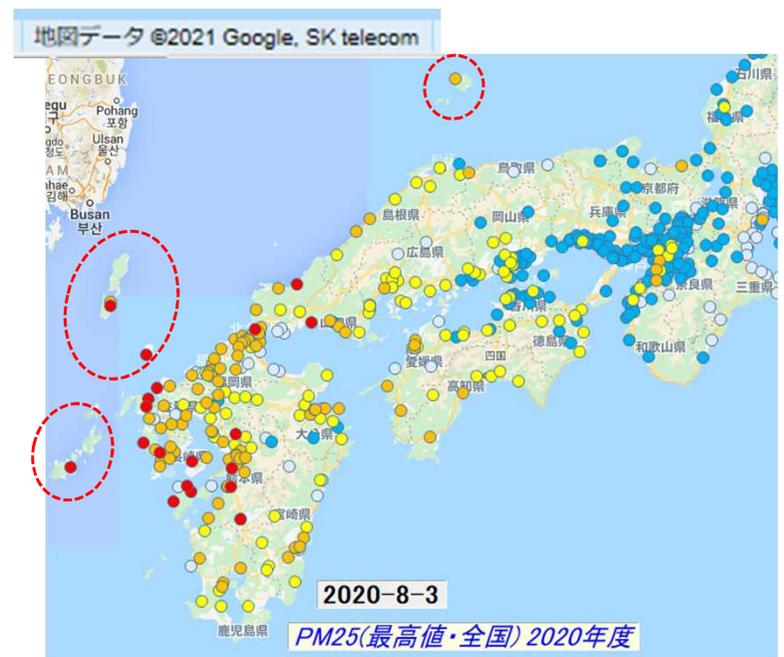
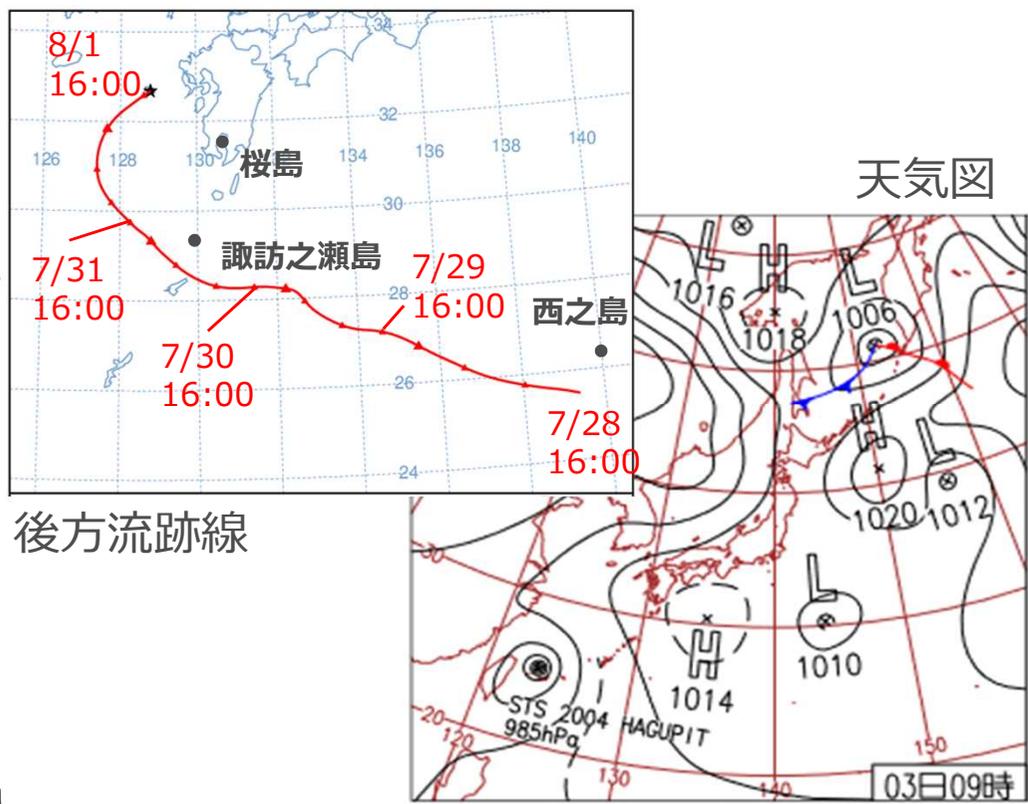


## PM2.5や光化学オキシダントが高くなると…



なぜ高くなったのか？  
高濃度はいつまで続くのか？

# 従来の発生源推定方法



気象状況、気塊の流れてきた方向  
→ 発生源や今後の濃度増減を推測

人為発生源の少ない離島で高濃度  
→ 車や工場等の地域汚染ではない？  
→ 自然由来？越境汚染？

主要発生源や今後の濃度を推定するには情報が不十分  
→ 大気モデルを用いたシミュレーションが有用

## 気象モデル：WRF（Weather Research & Forecasting）

米国大気研究センター（NCAR）と米国環境予測センター（NCEP）を中心とする共同プロジェクトによって開発されたモデル

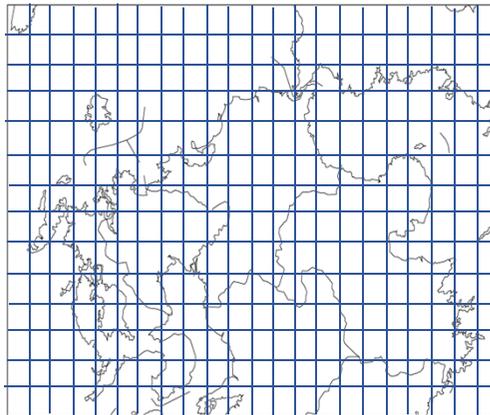
気温・風・気圧などの大気の状態変化を計算可能。

### 前処理

計算期間の  
気象解析データを入手

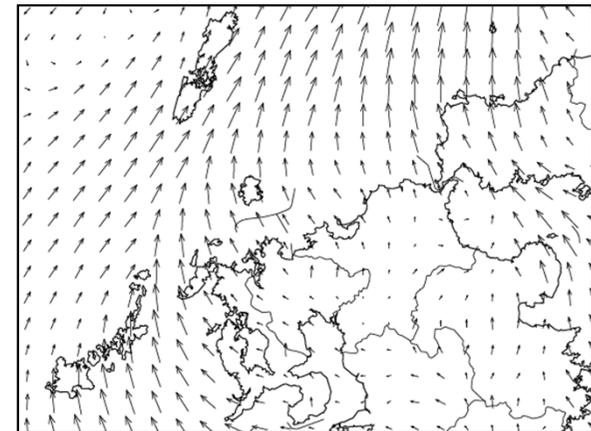
Group ID	Data Description	FILE COUNT
GRIB2 2007	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2007	102
GRIB2 2008	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2008	1464
GRIB2 2009	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2009	1460
GRIB2 2010	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2010	1460
GRIB2 2011	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2011	1460
GRIB2 2012	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2012	1464
GRIB2 2013	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2013	1460
GRIB2 2014	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2014	1460
GRIB2 2015	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2015	1460
GRIB2 2016	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2016	1464
GRIB2 2017	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2017	1460
GRIB2 2018	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2018	1460
GRIB2 2019	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2019	1460
GRIB2 2020	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2020	1464
GRIB2 2021	GRIB2 6 HOURLY FILES for 2021	1345
TOTAL	15/169 Subgroups	20443

計算領域・解像度を設定



### WRF計算

任意の時間・領域における  
気温・風等の気象を計算

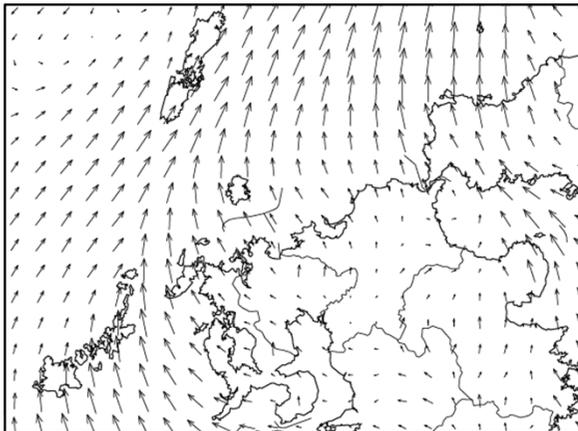


## 大気汚染物質計算モデルCMAQ (Community Multi-scale Air Quality)

米国環境保護庁 (EPA) の主導により開発された化学輸送モデル  
気象データ (気象モデルWRFで計算した結果などを使用) と大気汚染物質の  
排出量データを使って、大気中に排出された汚染物質がどのように変化・  
移流するのかを、化学反応を加味して計算する

### CMAQに入力するデータ

気象データ (WRF結果等)



排出量データ

REAS  
(アジア人為起源排出量)

NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC, ...

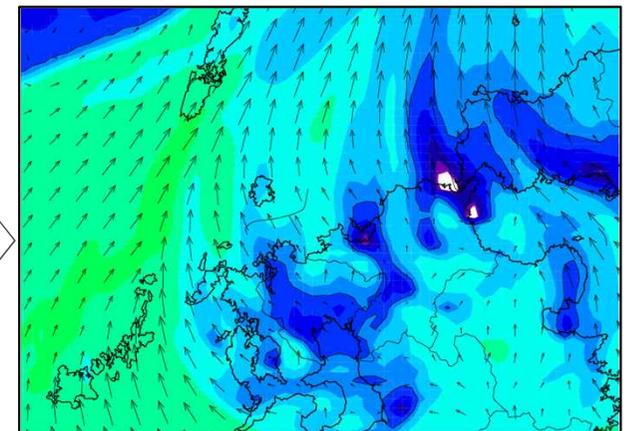
JATOP\_JEIDB  
(国内自動車排出量)

NO, NO<sub>2</sub>, PM...

⋮  
⋮  
⋮

### CMAQ計算

任意の時間・領域における  
大気汚染物質濃度を計算

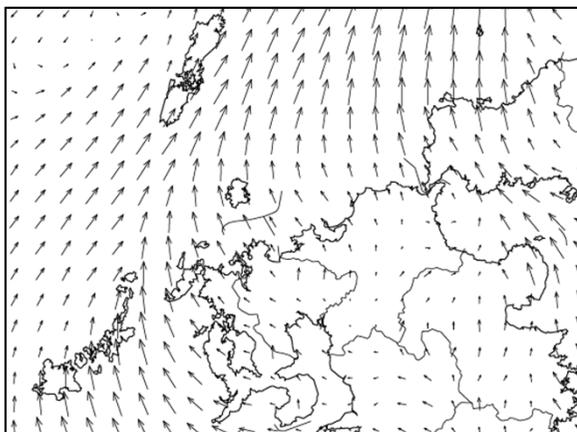


20 O<sub>3</sub> [ppb] 100

# 大気モデルを用いた発生源の推定

## CMAQに入力するデータ

気象データ (WRF結果)



排出量データ

REAS  
(アジア人為起源排出量)

NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC, ...

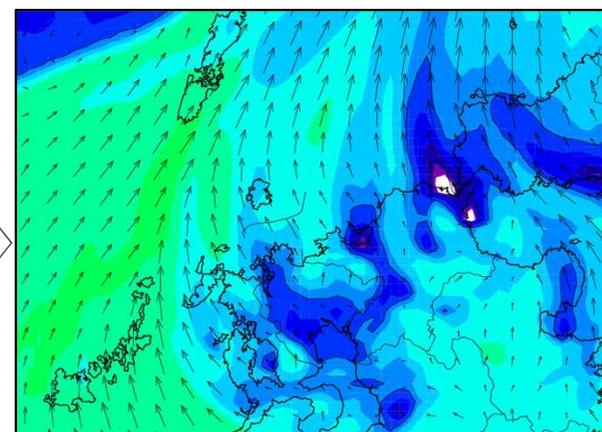
JATOP\_JEIDB  
(国内自動車排出量)

NO, NO<sub>2</sub>, PM...

⋮  
⋮  
⋮

## CMAQ計算

任意の時間・領域における  
大気汚染物質濃度を計算



20 O<sub>3</sub> [ppb] 100

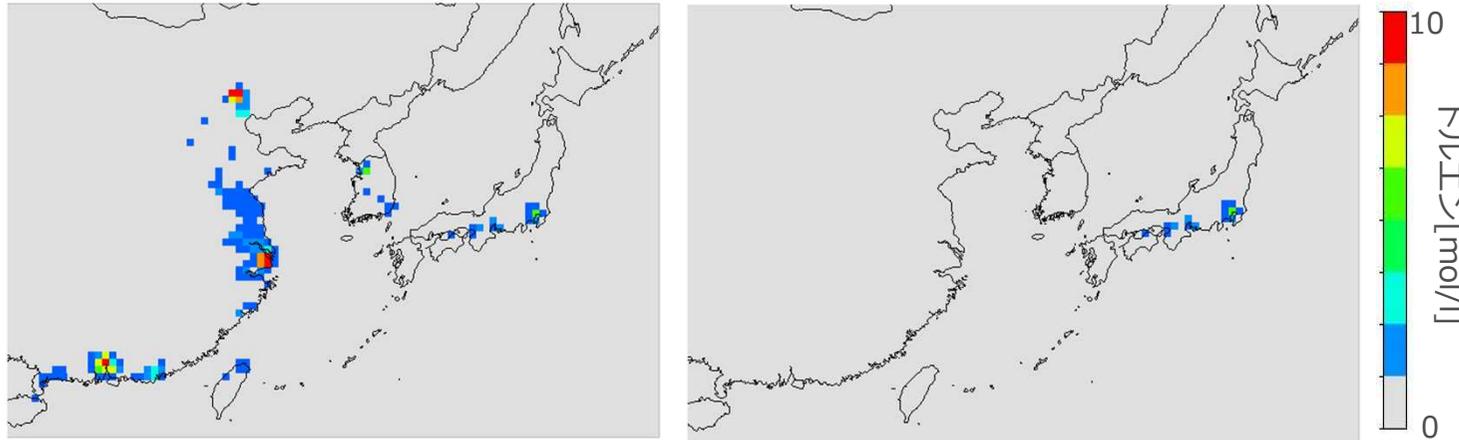
排出量データを変化

→ 汚染物質濃度の変化量から、対象の排出量の影響が分かる

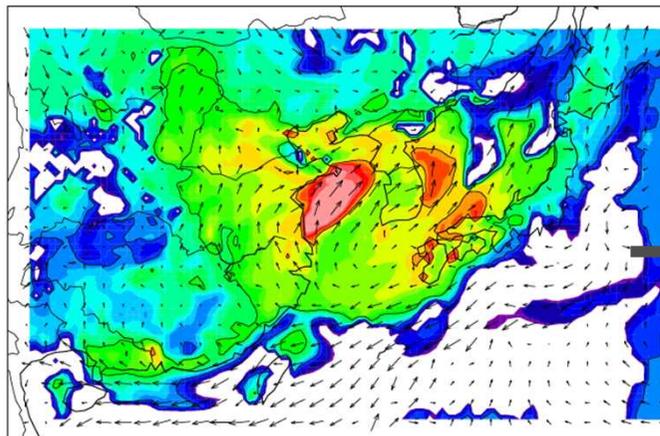
# 大気モデルを用いた発生源の推定

\*トルエンのみでなく、全ての大気汚染物質の  
国外人為起源排出量を0にしています

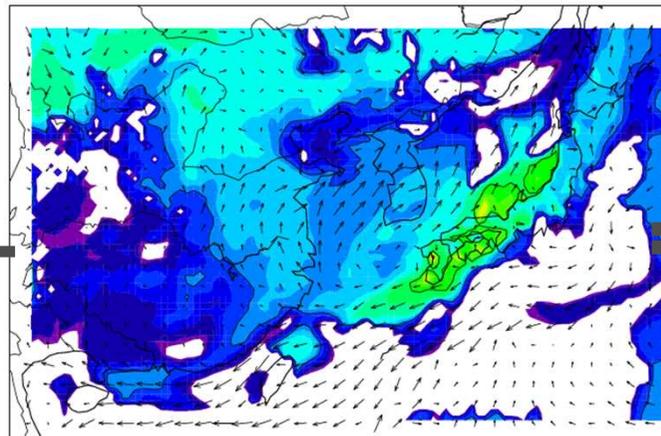
## トルエン (VOCの一種) 排出量データ\*



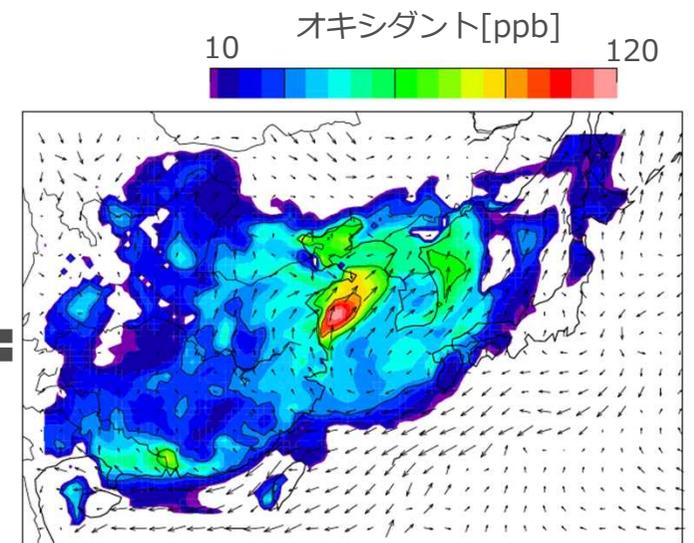
光化学オキシダント濃度を計算



全排出量を含む通常の計算



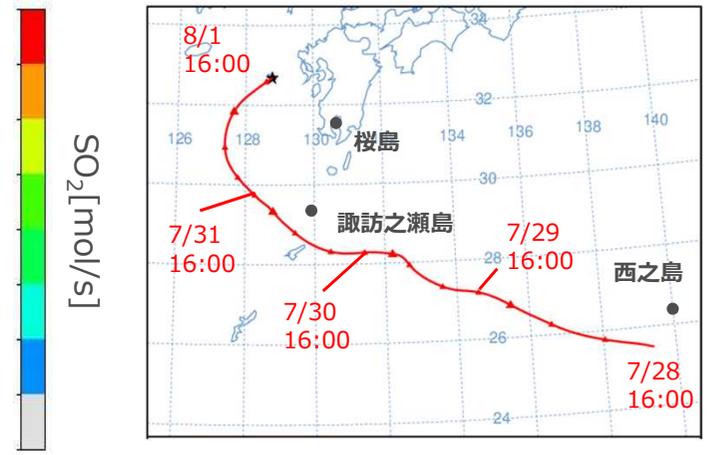
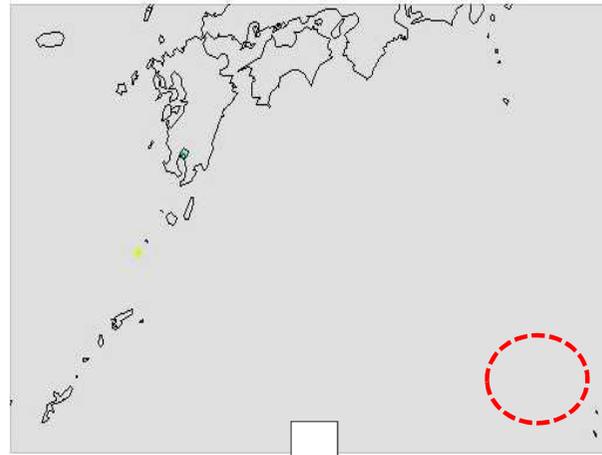
国外の人為起源排出量を0  
とした計算  
= 国内 + 自然由来



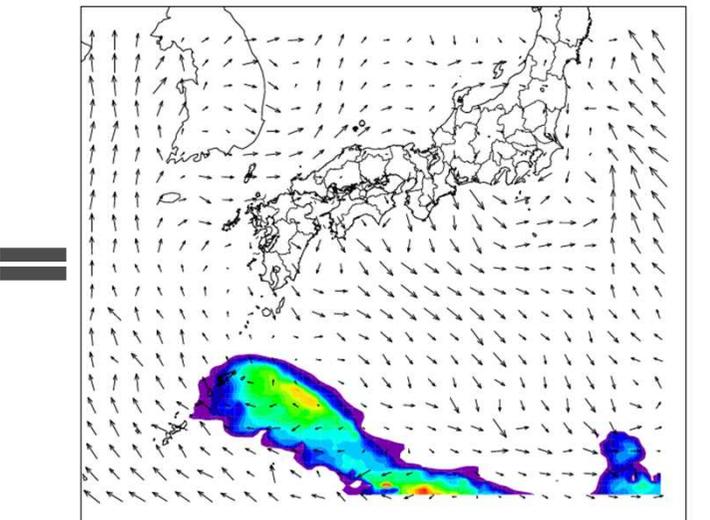
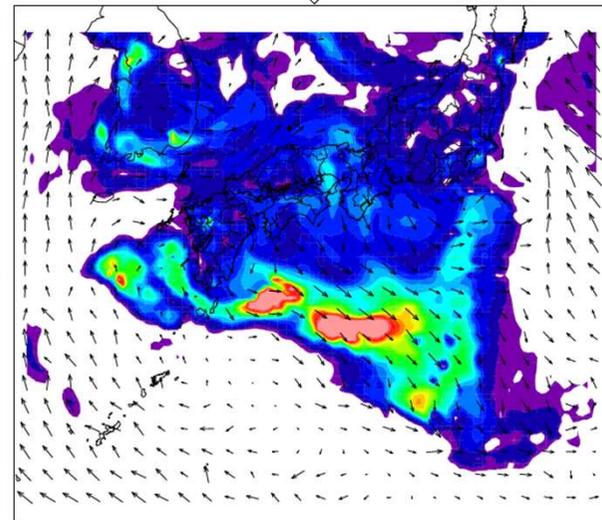
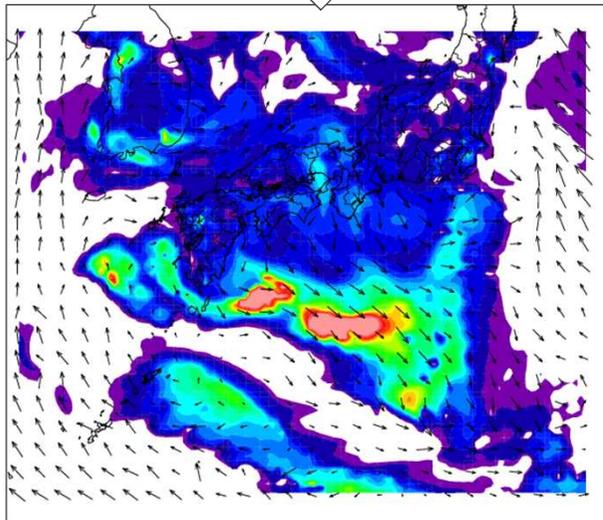
越境汚染の影響

# 大気モデルを用いた発生源の推定

## SO<sub>2</sub>排出量データ



SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (PM2.5主成分)濃度を計算



全排出量を含む通常の計算

西之島から放出されるSO<sub>2</sub>ガスを0とした計算

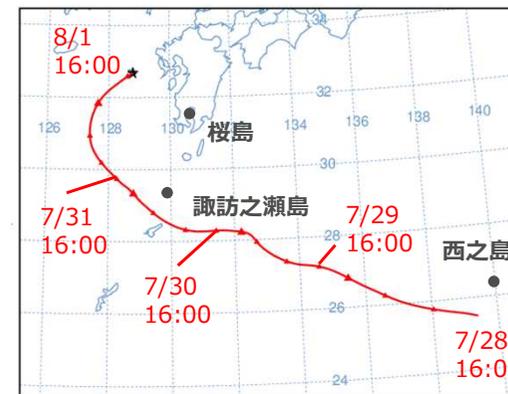
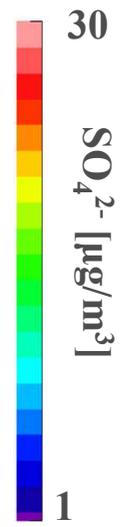
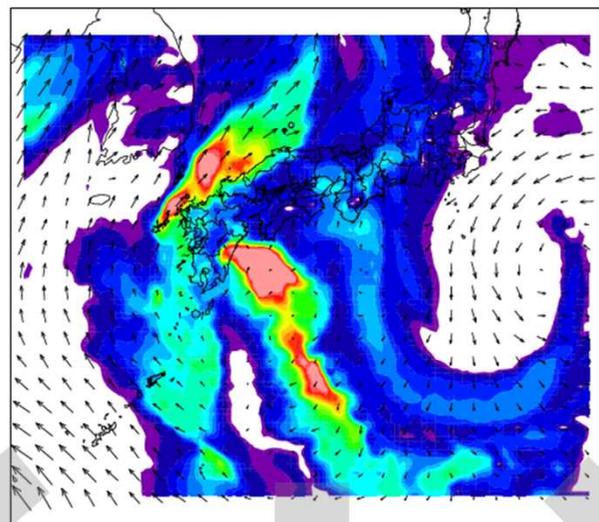
西之島のSO<sub>2</sub>が原因で生成したSO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (PM2.5)

# 発生源推定の例 -2020年8月のPM2.5高濃度事例-

8/2 16:00JST



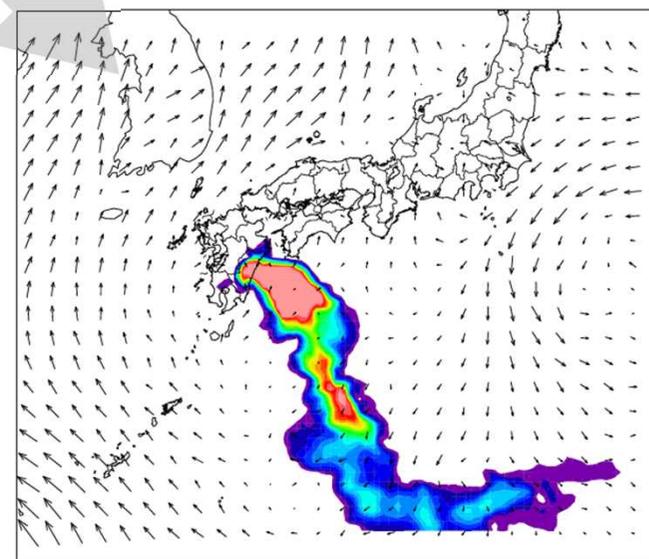
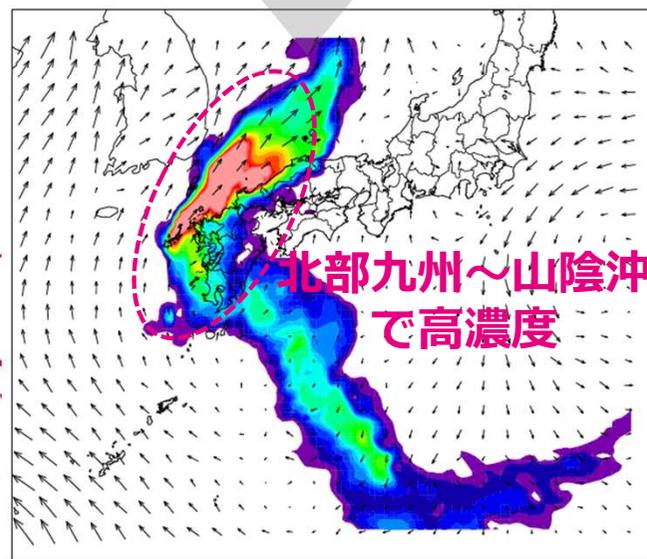
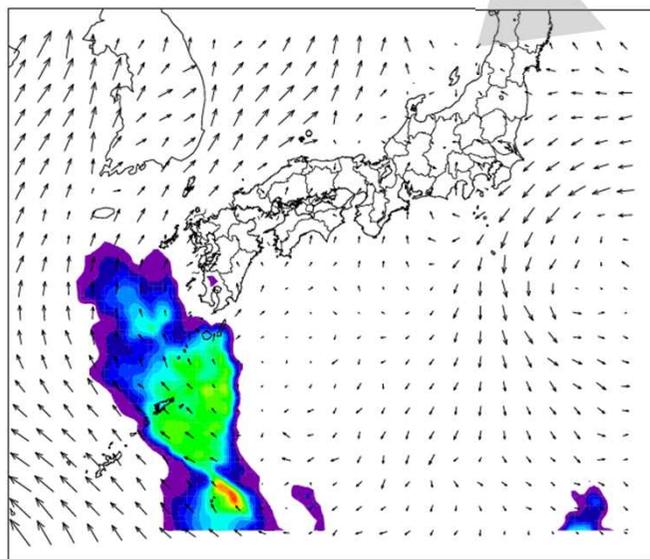
## 通常計算 (全排出量を含む)



### 西之島の影響

### 諏訪之瀬島の影響

### 桜島の影響



今回ご紹介させていただく  
福岡県における大気シミュレーションの活用例

- ・ 大気汚染物質の主要発生源の推定
- ・ **大気汚染濃度の予報**

**予報システムの構築と運用**

AIの導入による予報精度の向上

## 福岡県では2022年から

# 県独自の光化学オキシダント・PM2.5濃度予測を開始

\* 黄砂の予測は外部委託

### 光化学オキシダント・PM2.5・黄砂の予測について

福岡県では、光化学オキシダント・PM2.5・黄砂の予測情報を県公式LINEで配信しています。外出やイベントなどの計画に、予測情報を活用いただくため、受信登録をお願いします。

#### 予測情報の概要

- 光化学オキシダント等が高濃度になる時間帯の予測情報を当日から2日先まで、1日を6時間ごとに4分割して、北九州・福岡・筑後・筑豊の県内4地域ごとに配信します。
- 高濃度が予測される時間帯を午前9時ごろ(土日祝日含む)に配信します。なお、2日先までに高濃度が予測されていない場合は、配信されません。
- 実際に高濃度の光化学オキシダント等が観測された際の注意報等の発令と解除情報も配信します。

#### 予測情報の受信登録



PM2.5や光化学オキシダントが高くなると、

福岡県では・・・

- ・ **県民へ注意喚起**を実施（PM2.5）
- ・ **注意報、警報**を発令（オキシダント）
- ・ ばい煙等排出者に対して、**削減要請**を実施（オキシダント）  
（ただし、**越境汚染の影響**が大きい場合を除く）



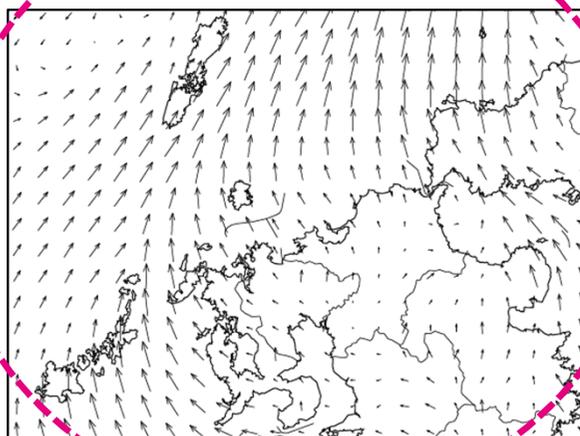
事前に知っておきたかった…  
未然に防げないのか？



# 大気モデルを用いた汚染濃度の予測

## CMAQに入力するデータ

気象データ (WRF結果)



排出量データ

REAS  
(アジア人為起源排出量)

NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC, ...

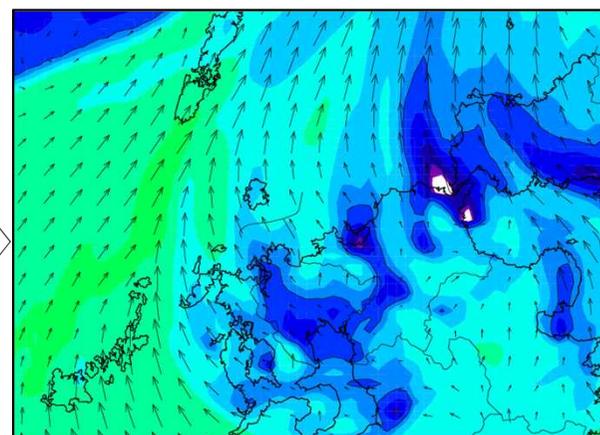
JATOP\_JEIDB  
(国内自動車排出量)

NO, NO<sub>2</sub>, PM...

⋮  
⋮  
⋮

## CMAQ計算

任意の時間・領域における  
大気汚染物質濃度を計算



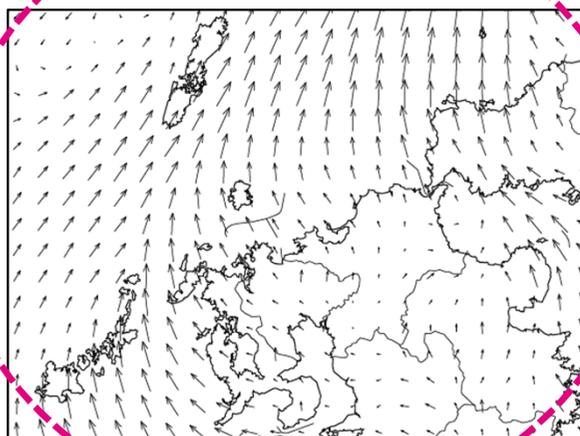
20 O<sub>3</sub> [ppb] 100

予報データを使用することで、

未来の汚染分布 = **汚染濃度予測**が可能に

## CMAQに入力するデータ

気象データ (WRF結果)



排出量データ

REAS  
(アジア人為起源排出量)

NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, VOC, ...

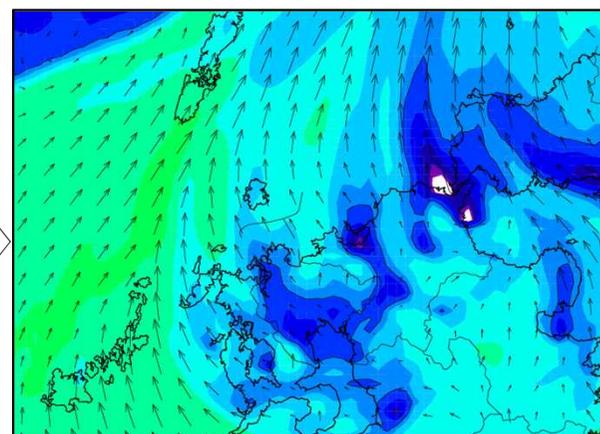
JATOP\_JEIDB  
(国内自動車排出量)

NO, NO<sub>2</sub>, PM...

⋮  
⋮  
⋮

## CMAQ計算

任意の時間・領域における  
大気汚染物質濃度を計算



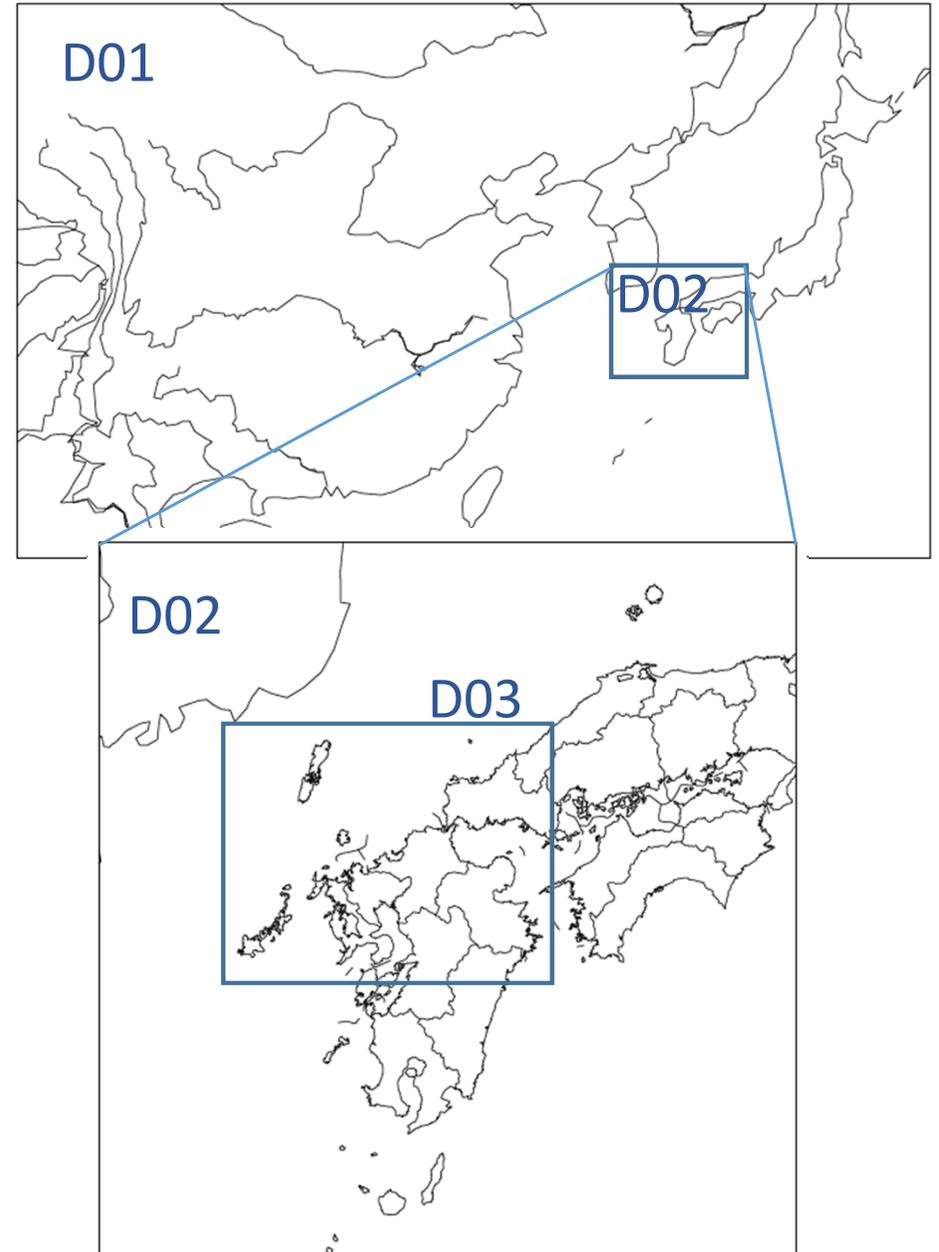
20 O<sub>3</sub> [ppb] 100

予報データを使用 + 排出量を変化

未来の汚染分布に対して、

**主要発生源の解明・排出量削減効果の試算が可能に**

モデル	WRF (Version 3.9.1.1) CMAQ (Version 5.0.2)
計算領域・ 解像度	45 km×45 km (D01:東アジア) 15 km×15 km (D02:西日本) 5km×5km (D03:北部九州)
鉛直層数	39 (~100 hPa)
地理データ	USGS GTOPO 30 USGS 25 Category
気象データ	NCEP GFS (0.25×0.25°)



## 国内排出量データ

	対象年	解像度
JATOP (自動車)	2011	1km
OPRF (船舶)	2005	1km(全般) 10km(遠洋)
EAGrid2010- JAPAN (上記以外)	2010	1km
気象庁火山活 動報告資料 (火山)	2018	阿蘇・桜島・諏 訪之瀬島・西之 島のSO <sub>2</sub> を考慮

## 国外排出量データ

	対象年	解像度
REASv2.1* (アジア人為 起源)	2008	0.25°
ARCTAS (アジア外 人為起源)	2008	1°
MEGAN (植物起源)	2018	1km

\*Streets et al. (2003) に基づいてNH<sub>3</sub>排出量の季節変動を補正  
Zheng et al. (2018) を参考に、中国からのSO<sub>2</sub>排出量を60%、  
NO<sub>x</sub>排出量を40%削減  
気象・地球観測衛星Auraによる観測データ (NASA, 2018) の2008年  
から近年までのSO<sub>2</sub> 濃度推移をもとに韓国のSO<sub>2</sub>排出量を40%削減した

## 計算に係る工程をプログラムで自動化

気象予報データをダウンロード

WRFで対象エリアの気象を計算

WRF計算結果をCMAQ形式へ変換

排出量データを作成

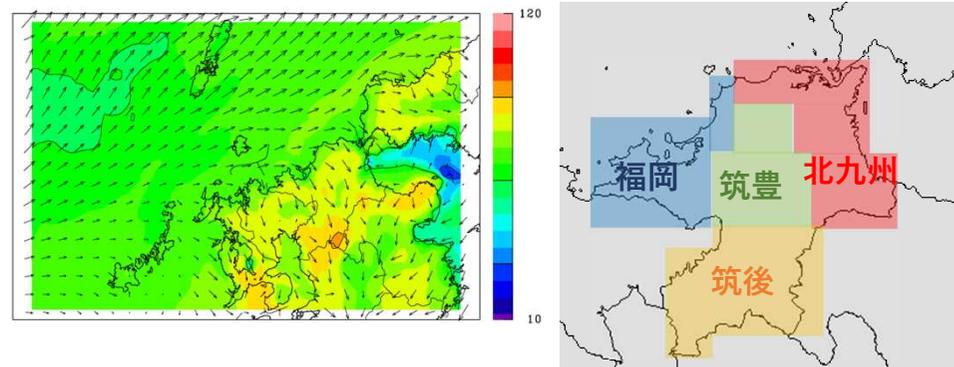
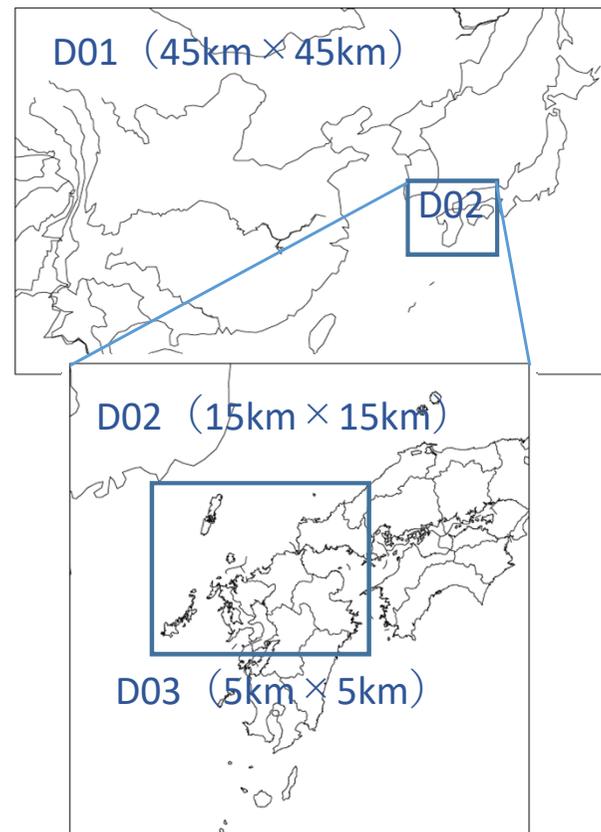
CMAQで汚染物質濃度を計算

濃度分布をコンター図化(pdf)

県内4地域の各最高濃度を算出  
(テキスト・エクセル)

前日夕方～0時

当日0時～9時



## 計算の流れ

気象予報データをダウンロード

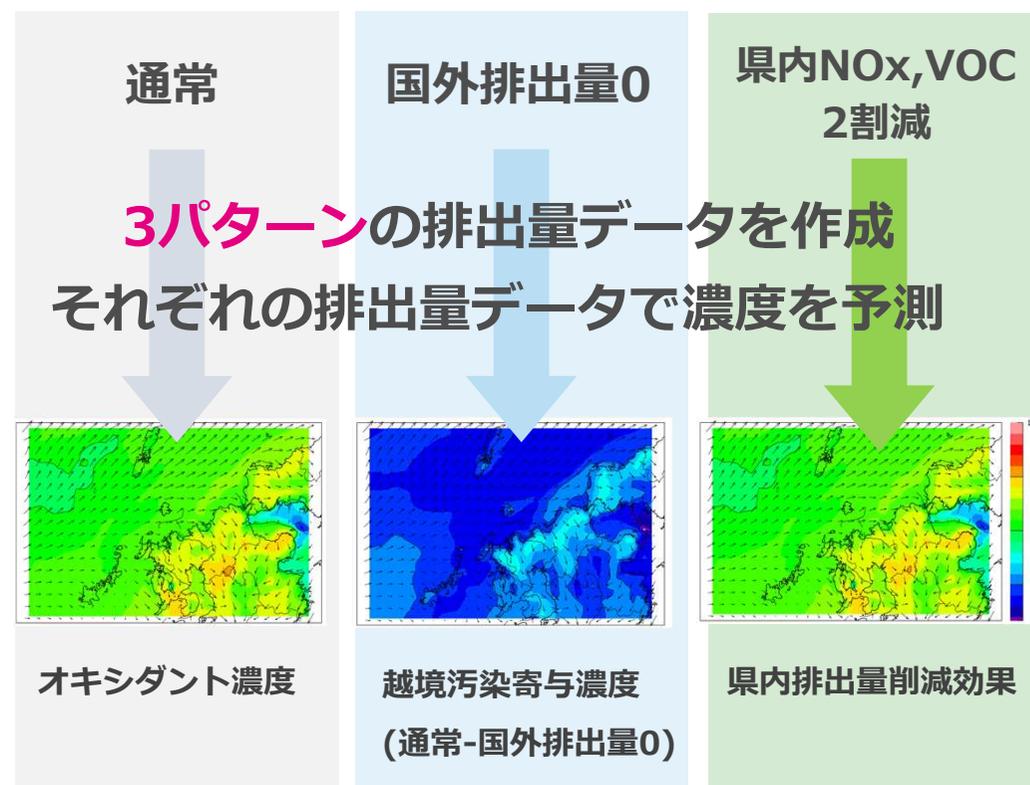
WRFで対象エリアの気象を計算

排出量データを作成

CMAQで汚染物質濃度を計算

濃度分布をコンター図化(pdf)

県内4地域の各最高濃度を算出  
(テキスト・エクセル)

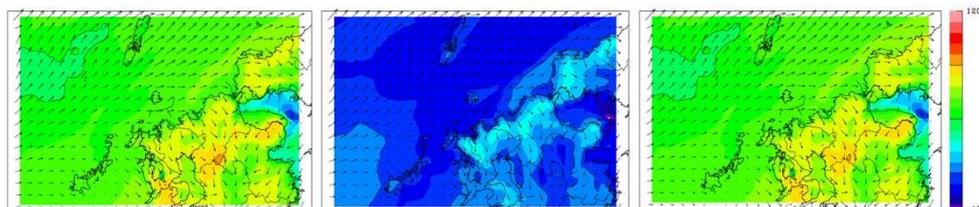


**3パターンの予測が可能**

## 保健環境研究所・県庁・保健福祉環境事務所との予測結果共有

### 濃度分布をコンター図化(pdf)

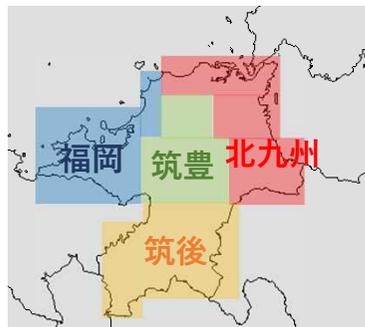
各パターンの計算結果(1時間ごと)をpdf化



オキシダント濃度 越境汚染寄与濃度 県内排出量削減効果  
(通常-国外排出量0)

県庁と保健環境研究所の両者がアクセス可能なフォルダへ自動でアップロード

### 県内4地域の各最高濃度を算出 (テキスト・エクセル)



Subject: 【濃度予測情報】光化学オキシダント

Time	北九州_O3	福岡_O3	筑後_O3	筑豊_O3
day0=0~6	51 -	66 -	53 -	56 -
day0= 6~12	75 -	75 -	72 -	79 -
day0= 12~18	91 -	84 -	126 ○	88 -
day0= 18~24	66 -	65 -	87 -	62 -
day1= 0~6	46 -	47 -	56 -	40 -
day1= 6~12	49 -	47 -	60 -	49 -
day1= 12~18	65 -	72 -	121 ○	63 -
day1= 18~24	59 -	55 -	90 -	55 -
day2= 0~6	52 -	57 -	64 -	53 -
day2= 6~12	70 -	67 -	72 -	70 -
day2= 12~18	80 -	85 -	75 -	82 -
day2= 18~24	74 -	78 -	62 -	76 -
day3= 0~6	45 -	50 -	51 -	42 -
day3= 6~12	38 -	21 -	23 -	21 -
day3= 12~18	19 -	25 -	15 -	17 -
day3= 18~24	53 -	56 -	44 -	49 -

算出した内容を、県庁・保環研・保健福祉環境事務所、北九州市、福岡市、大牟田市、久留米市職員のメールアドレスへ毎朝自動で配信

光化学オキシダント監視体制及び緊急時対応で行動の判断材料として活用

## 高濃度が予測された場合、福岡県LINEで県民へ情報配信

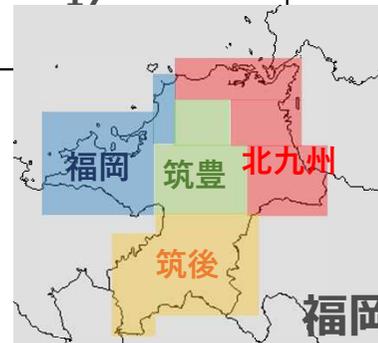
→ 高濃度に備えた行動が可能に

Subject: 【濃度予測情報】光化学オキシダント

Time	北九州_03	福岡_03	筑後_03	筑豊_03
当日				
day0=0~6	51 -	66 -	53 -	56 -
day0= 6~12	75 -	75 -	72 -	79 -
day0= 12~18	91 -	84 -	126	88 -
day0= 18~24	66 -	65 -	87 -	62 -
翌日				
day1= 0~6	46 -	47 -	56 -	40 -
day1= 6~12	49 -	47 -	60 -	49 -
day1= 12~18	65 -	72 -	121	63 -
day1= 18~24	59 -	55 -	90 -	55 -
2日先				
day2= 0~6	52 -	57 -	64 -	53 -
day2= 6~12	70 -	67 -	72 -	70 -
day2= 12~18	80 -	85 -	75 -	82 -
day2= 18~24	74 -	78 -	62 -	76 -
3日先				
day3= 0~6	45 -	50 -	51 -	42 -
day3= 6~12	38 -	21 -	23 -	21 -
day3= 12~18	19 -	25 -	15 -	17 -
day3= 18~24	53 -	56 -	44 -	

オキシダント（1時間値の最高値）  
120ppbを超えると予測された場合

PM2.5（6時間平均値の最高値）  
70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えると予測された場合

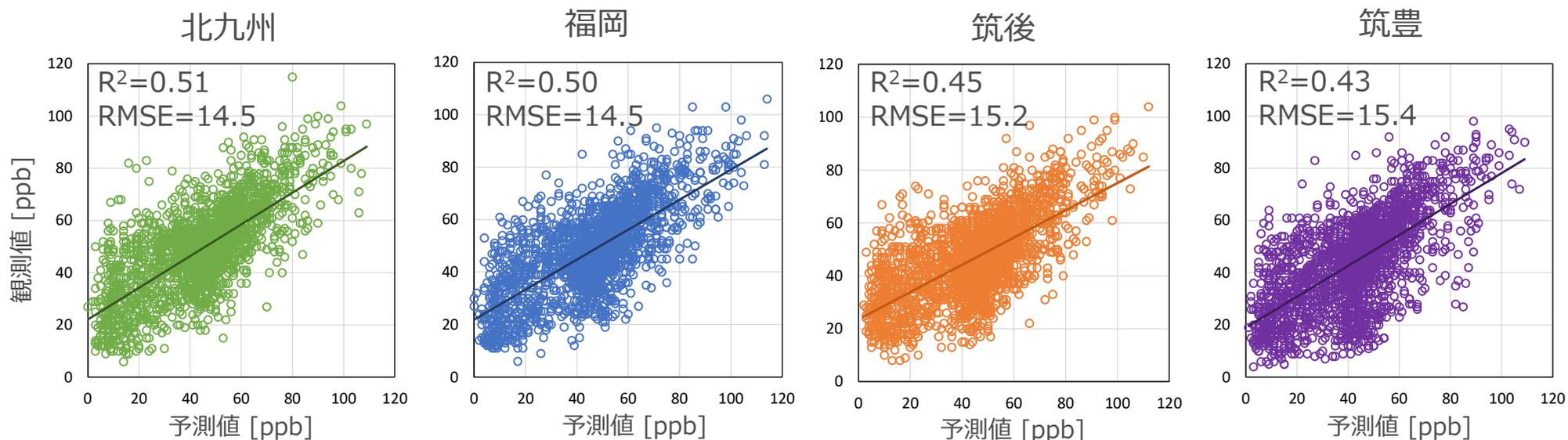


福岡県LINEで高濃度予測情報を配信

# 予測精度 ～光化学オキシダント～

光化学オキシダント（各エリアの1時間値の最高値で比較）

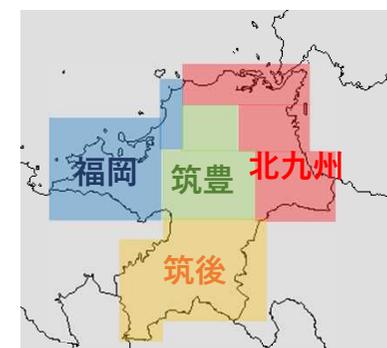
\* 2022年2月15日～2023年8月31日データ



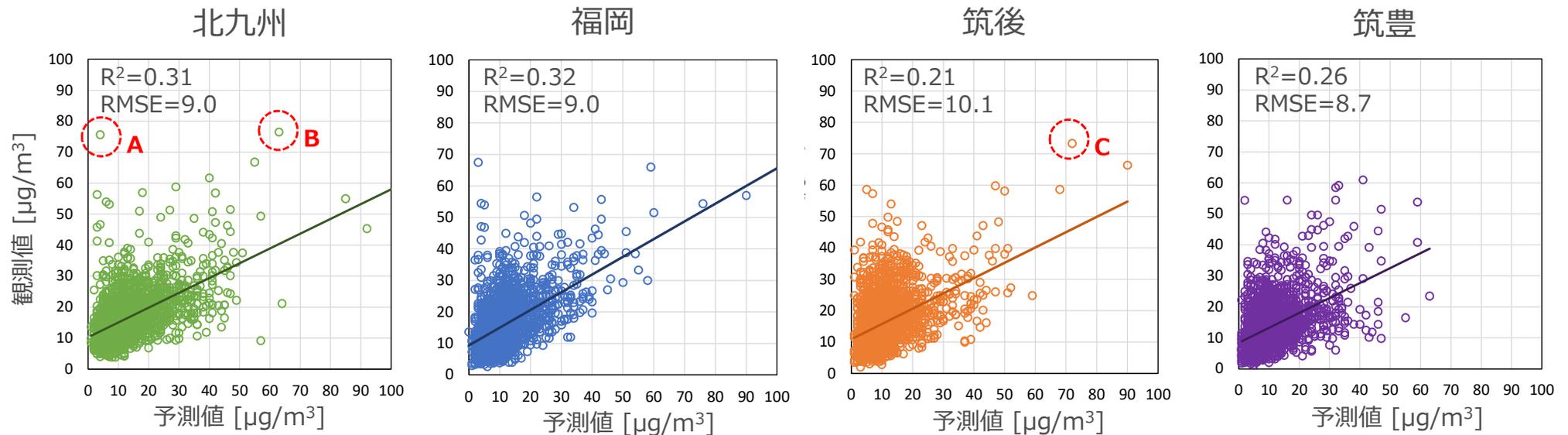
観測値が80ppbを超えたデータのうち、計算値の誤差が±20ppb以内

→ 北九州75%, 福岡79%, 筑後88%, 筑豊82%

高濃度時の対応に資する精度を得られていると考えられる



PM2.5（各エリアの6時間平均値の最高値で比較）



オキシダントと比べて、精度は下がる

→ PM2.5は、発生源の異なる複数の成分から構成されているためと推測される

観測値が $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ （6時間平均値）を超えたのは、A,B,Cの3件

→ B,Cは高濃度を予測できていた（後述）

Aは黄砂飛来日（黄砂は排出量に含まれていない為、予測は困難）

## 2023年1月5~7日

### 九州・山口で煙霧を観測、PM2.5は1時間値が100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超

#### 九州北部でPM2.5高濃度 福岡など煙霧

2016年1月4日 21:23



九州北部で4日、微小粒子状物質「PM2.5」の大気中濃度が高まった。福岡管区気象台によると、福岡市、佐賀市、長崎市などで、空気中の乾いた微粒子により視界が10キロ未満になる現象「煙霧」が発生し、見通しが悪い状況が続いた。

福岡県によると、北九州市では午後2時、大気1立方メートル当たりの濃度が112マイクロ（マイクロは100万分の1）グラムに達し、県内の複数の観測所で連続して国の1日平均の基準値（70マイクログラム）を超えた。



「PM2.5」の大気中濃度が高まり、かすむ福岡市街。左奥は博多ポートタワー（4日午後）＝共同

2013/1/6 10:00頃  
福岡県保環研屋上から撮影



日本経済新聞

[https://www.nikkei.com/article/DGXLASJC04H63\\_U6A100C1000000/](https://www.nikkei.com/article/DGXLASJC04H63_U6A100C1000000/)

## シミュレーションで高濃度を事前に予測 越境汚染が主要因であることも同時に予測

→ 福岡県LINE等で県民に高濃度予測情報を配信  
Ⅱ型共同研究\*を通じて、全国の地環研と知見を共有

\*「光化学オキシダント等の変動要因解析を通じた地域大気汚染対策提言の試み」

**【PM2.5】**  
高濃度予測情報

筑後地域で次の時間帯に高濃度が予測されています。

01月06日  
12時から24時

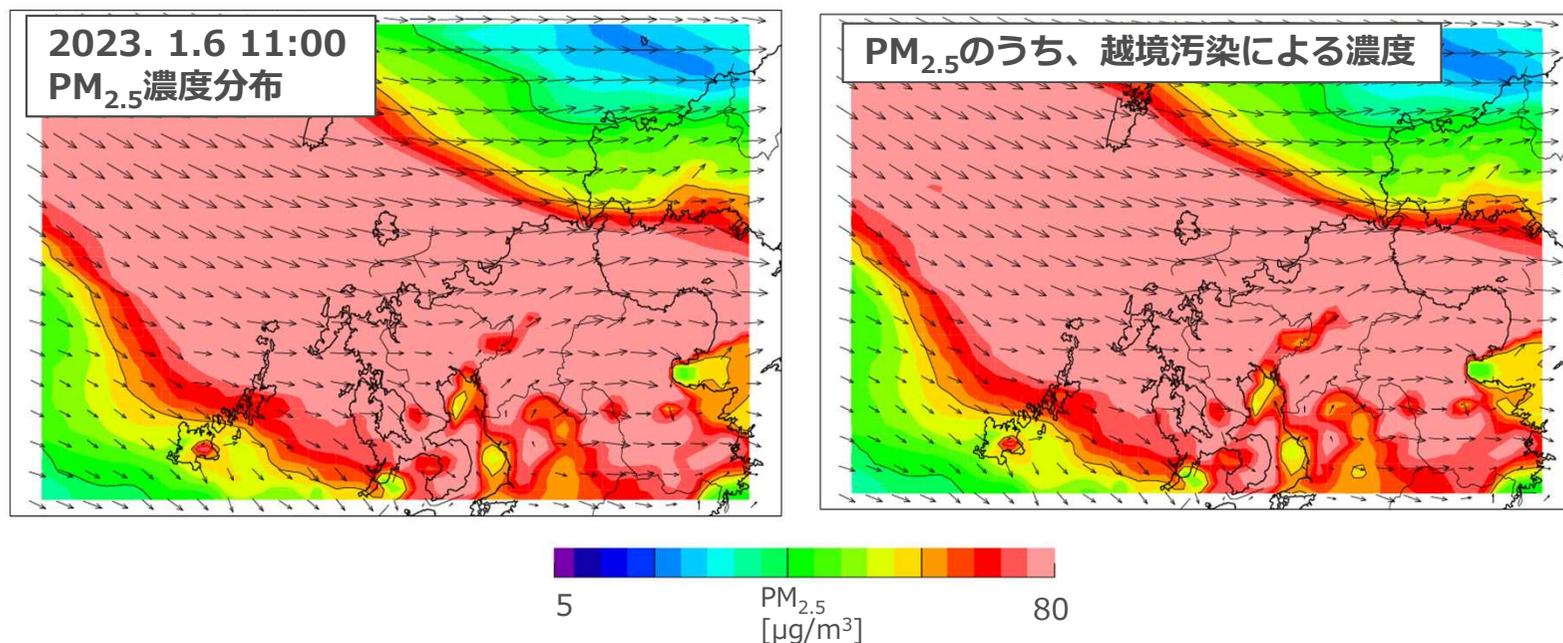
実際に高濃度となった場合、注意喚起を行うことがあります。予測情報は、今後変わる可能性があります。

高濃度時の行動目安↓  
<https://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/pm25-tyuikanki.html>

微小粒子状物質 (PM2.5) に係る注意…ページの先頭です。メニューを飛ばして本文へ。メニュー JavaScriptが無効になって…

8-58

シミュレーションによる予測



2022年12月21日

## 福岡県内で二酸化硫黄の測定値上昇 「硫黄臭い」 通報相次ぐ

12月21日 12時47分



福岡県内で21日朝からガス会社や消防に「硫黄臭い」といった通報が相次ぎました。

県などは二酸化硫黄の測定値が通常時よりも上昇していることを確認し、情報収集を進めています。福岡県内では21日朝からガス会社や消防に「硫黄臭い」や「異臭がする」といった通報が相次いだ

ほか、SNSにも同様の書き込みがみられます。

西部ガスによりますと、21日福岡市の広い範囲や春日市で「異臭がする」という通報が相次いで寄せられたということです。

通報を受けて現地を確認しましたが、これまでにガス漏れなどの異常は確認されていないということです。

福岡県などは福岡市や久留米市など広域で二酸化硫黄の濃度が高まっていることを確認していて、二酸化硫黄の測定値では、福岡市中央区春吉で午前6時の時点で0.002ppmでしたが、午前9時には0.023ppmと、10倍を超える数値まで上昇しました。

また、濃度の上昇は佐賀県の一部でも確認されたということです。

SO<sub>2</sub>の刺激臭が感知されるのは0.3~1 ppm

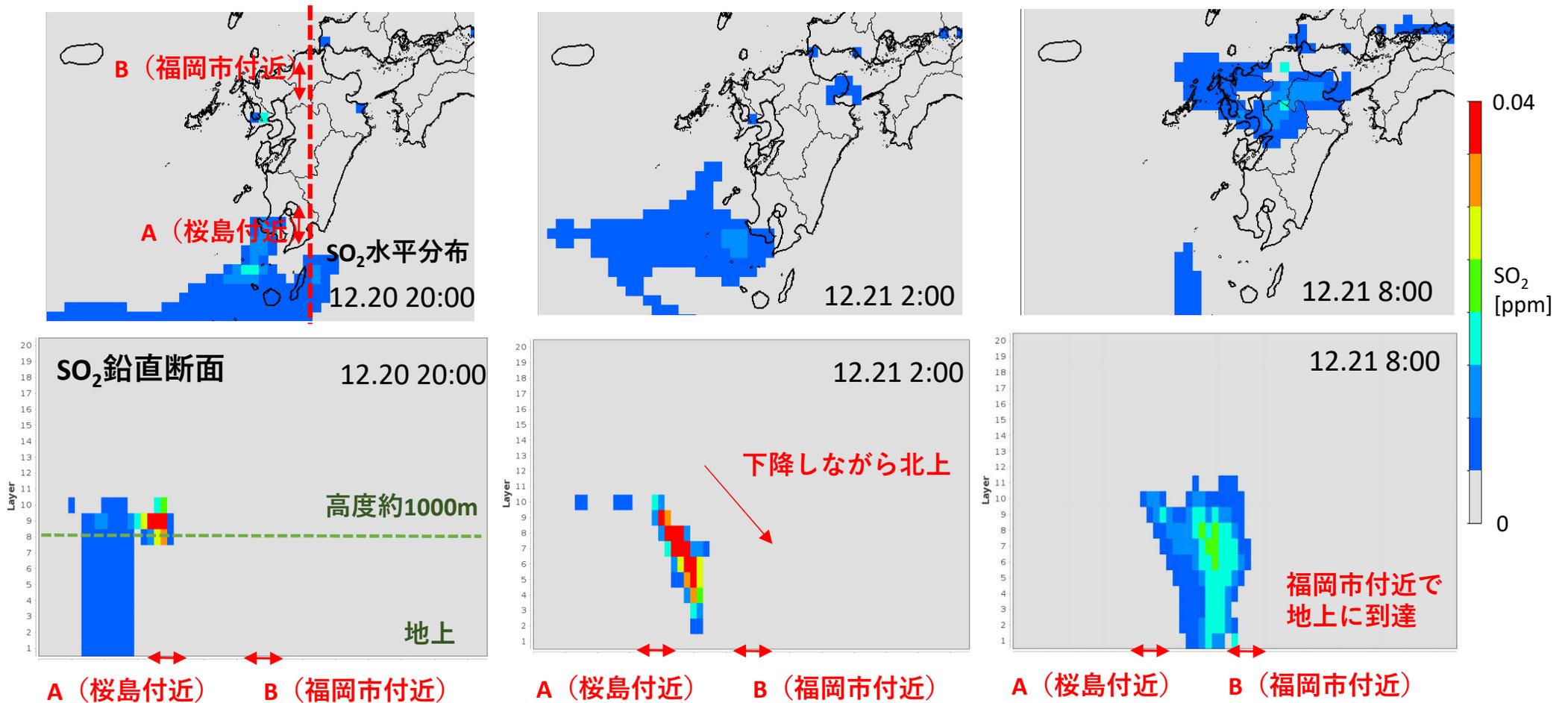
→ 硫黄臭の原因は、おそらく  
同じ火山ガスの硫化水素  
H<sub>2</sub>S

硫黄臭の通報が相次いだ場所とSO<sub>2</sub>濃度上昇箇所が同じ

→ H<sub>2</sub>SとSO<sub>2</sub>は同じ動きをした可能性が高い

## CMAQでは、オキシダント以外にも数百種類の化学物質を同時に計算 予測結果からSO<sub>2</sub>濃度情報を取り出して解析

\*臭いの原因考えられるH<sub>2</sub>Sも、SO<sub>2</sub>と同様の動きをしたと推定



桜島からの二酸化硫黄が北に流れ、福岡市付近で地上に到達していたことを示唆\*

# 今回ご紹介させていただく 福岡県における大気シミュレーションの活用例

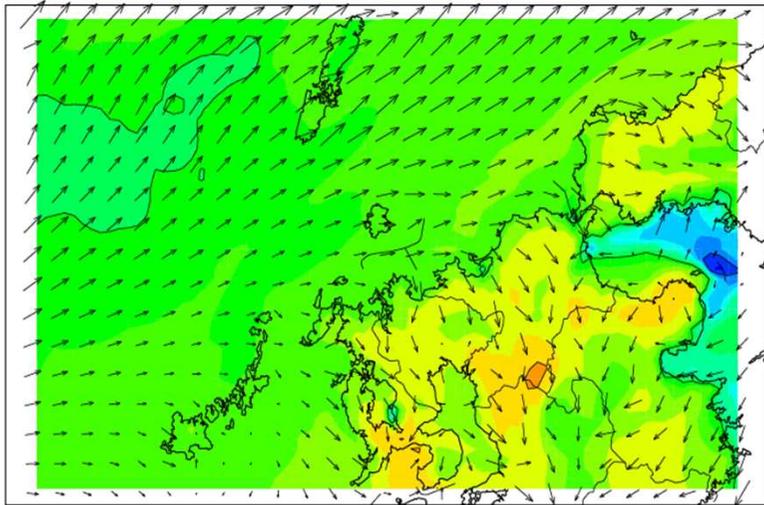
- ・ 大気汚染物質の主要発生源の推定
- ・ **大気汚染濃度の予報**

## 予報システムの構築と運用

## AIの導入による予報精度の向上

\* R4,5年度ERCA 大気環境の改善分野に関する調査研究「地方公共団体におけるシミュレーションモデルを活用した光化学オキシダント対策の検討に関する調査研究」として実施  
\* \* 光化学オキシダントを対象

## WRF/CMAQによるシミュレーション



物理・化学式に基づいた計算で濃度を予測

= 濃度の根拠を辿ることが可能

越境0・排出量削減等のケース計算が可能



精度向上のための検証に時間がかかる

化学・物理反応式、係数の評価等…

**AIによる誤差補正を補助的に組み合わせる**

→ 迅速・簡易に精度を向上することが可能

## 予報システム

気象予報データをダウンロード



WRFで対象エリアの気象を計算



排出量データを作成



CMAQで汚染物質濃度を計算



濃度分布をコンター図化(pdf)



県内4地域の各最高濃度を算出  
(テキスト・エクセル)

過去のデータで予め学習させた  
機械学習モデル

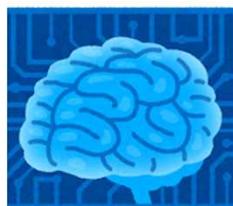
機械学習モデルでCMAQ予測濃度の  
誤差を予測・補正

## 説明変数

予測対象を説明する要素



## 機械学習モデル



## 目的変数

予測対象となる要素



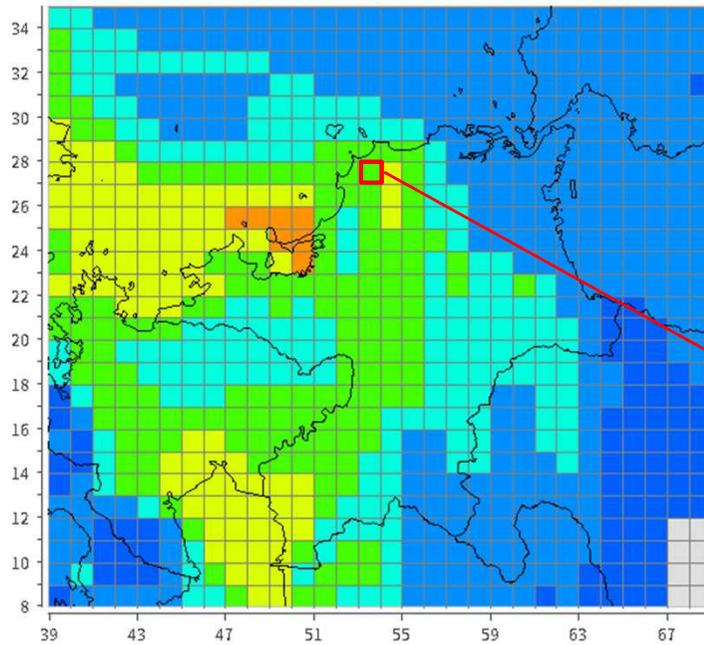
**目的変数**には、オキシダント濃度の**観測値と計算値の誤差**を選択

**説明変数**には、**オキシダント生成に関する16要素**を選択

予報データから説明変数を取り出す必要がある = 観測値は含めない

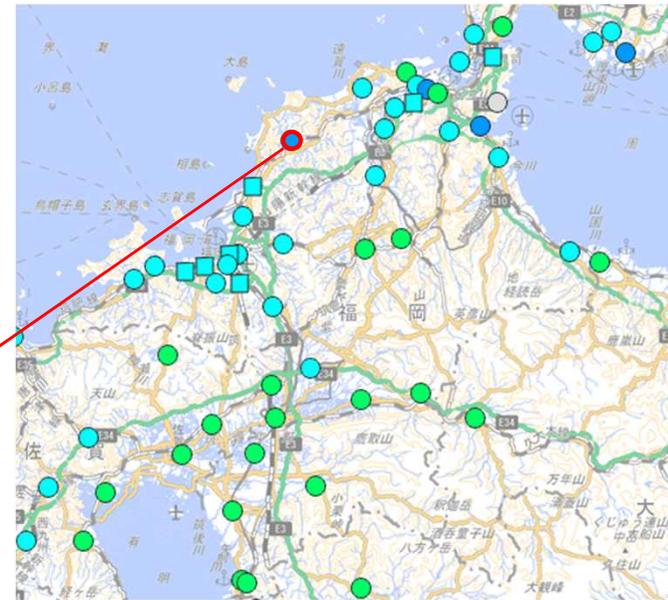
属性	変数 (全て計算値)
気象	気温、気圧、風向、風速、降水量、水蒸気量、日射量
月・時刻・位置	月、時刻、緯度、経度
大気汚染物質	O <sub>3</sub> 、NO、NO <sub>2</sub> 、トルエン、イソプレン

## モデル（計算値）



格子毎に1時間毎の濃度を算出  
濃度その他、気象計算結果や時間、位置情報  
も各格子に含む

## 観測（観測値）



丸・四角印：大気常時監視測定局  
PM2.5, 光化学オキシダント濃度を1時間毎に測定

**緯度経度情報をもとに、観測局（福岡県内）に対応するモデル格子を選出**

**説明変数として使用する気象計算値等も、同じ格子から抜き出す  
これを、全測定局・対象期間に対して行う**

## AIの導入による予報精度の向上

- ・ **モデル種類の検討**
- ・ **学習データ期間の検討**
- ・ **高濃度見逃し削減モデルの検討**

## 機械学習に関する検討

- **モデル種類の検討**
- 学習データ期間の検討
- 高濃度見逃し削減モデルの検討

本研究では、**0x濃度誤差の値**を予測させるため、**回帰モデル**を選択

## 回帰モデル

学習データ

25kg



15kg



学習



3kg



6kg



テストデータ (未知)



入力



“14kg”などの  
値を予測

## 分類モデル

学習データ

犬



犬



学習



猫



猫



テストデータ (未知)

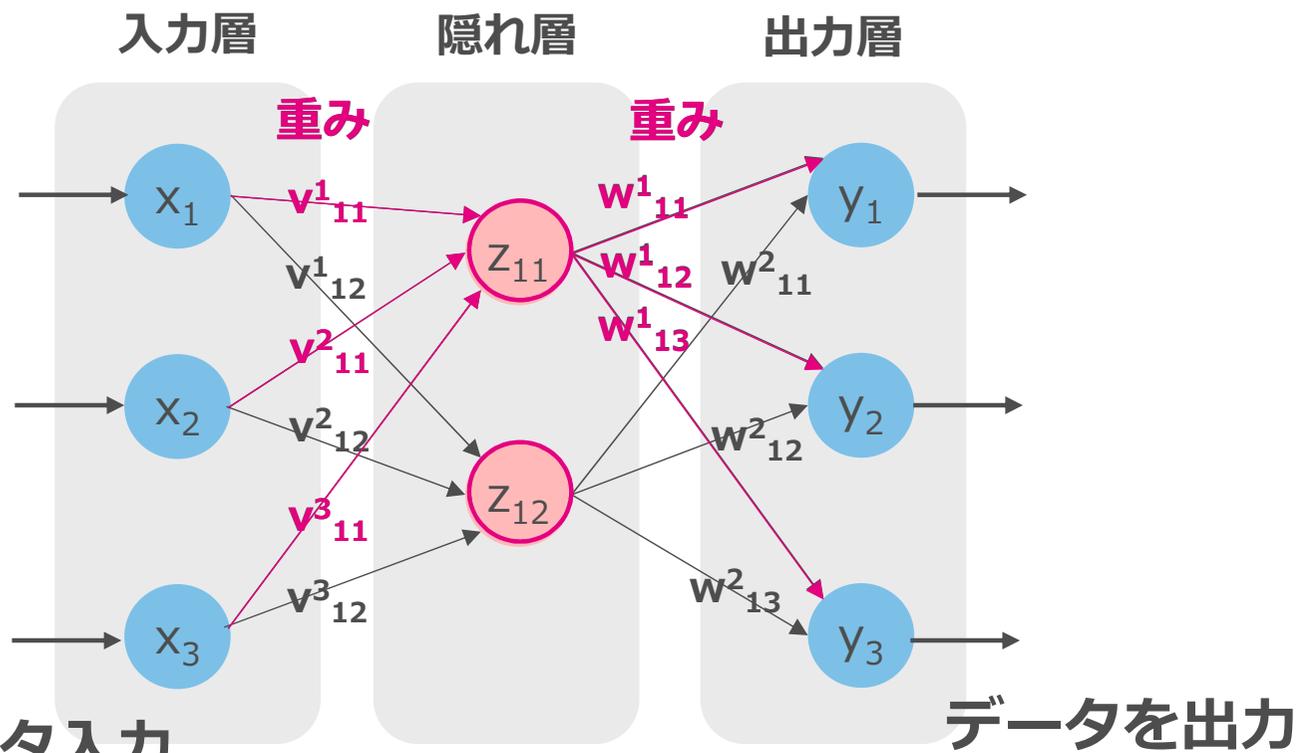


入力



“犬or猫”など、  
データの属する  
クラスを予測

# 機械学習モデルの種類 ~ニューラルネットワーク~



入力層にデータ入力

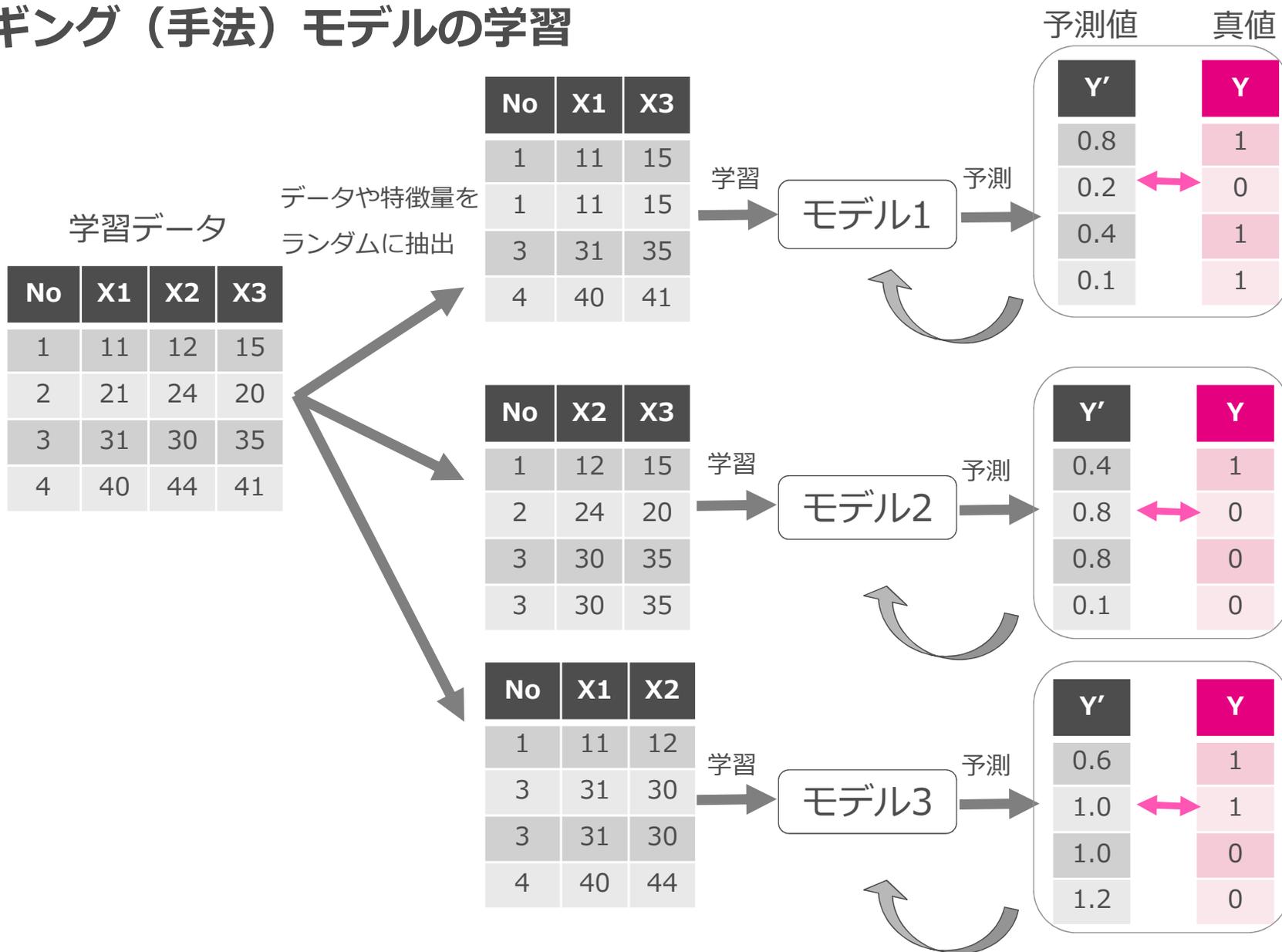
データを出力

重みづけ和を計算

重みづけ和を計算 ・ 活性化関数に通す

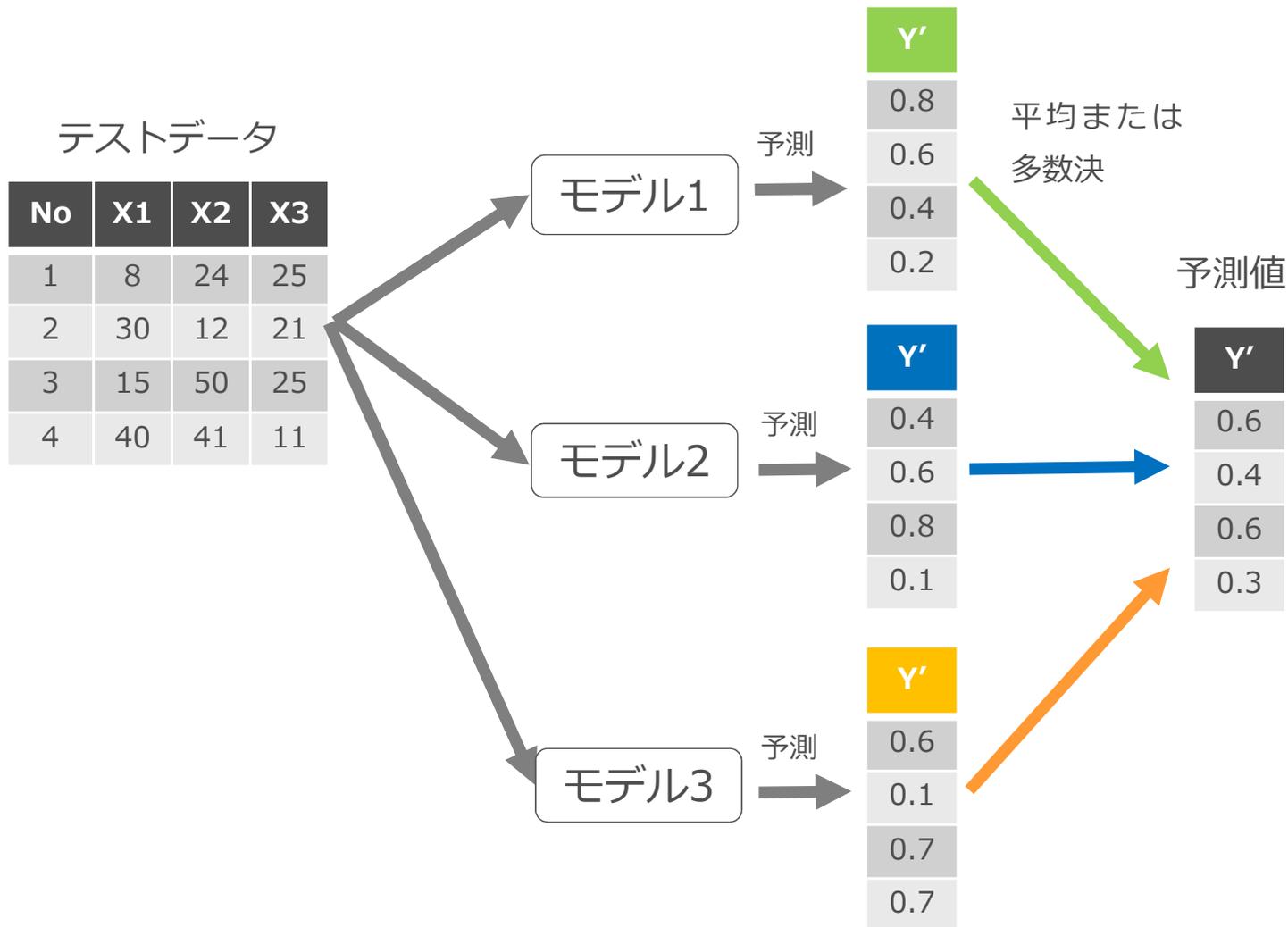
学習によって、重みを最適化

## バギング (手法) モデルの学習



弱学習器を複数作成

## バギング (手法) モデルの予測



## モデル：機械学習モデル2種類と線形回帰

- ・ニューラルネットワーク回帰
- ・アンサンブル回帰
- ・線形回帰

## データ：学習に3年分、テストに1年分の使用

	期間
学習データ	2018, 19, 21年 1月1日～12月31日
テストデータ	2022年1月1日～12月31日

## 使用ツール

**MATLAB Statistics and Machine Learning Toolbox**

様々な種類の機械学習が実行可能なツールボックス

## Python

プログラム言語の1つで、無料で使用可能。

ユーザー数は760万人（2022年5月時点）。

ライブラリと呼ばれる、用途別に関数やパッケージがまとめられたものが存在。商用利用に制限をかけているものもあるので、注意が必要。

## MATLAB

プログラム言語に加え、対話型アプリなども含まれる“コンピューティングプラットフォーム”。マスワークス社から販売（有料）。

ユーザー数は410万人（2022年5月時点）。エンジニアに人気。

ツールボックスと呼ばれる、用途別に関数やパッケージがまとめられたものが存在（要追加購入）。

## 精度評価の指標には、散布図と以下を使用

二乗平均誤差 ...0に近いほど高精度

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Mi - Oi)^2}$$

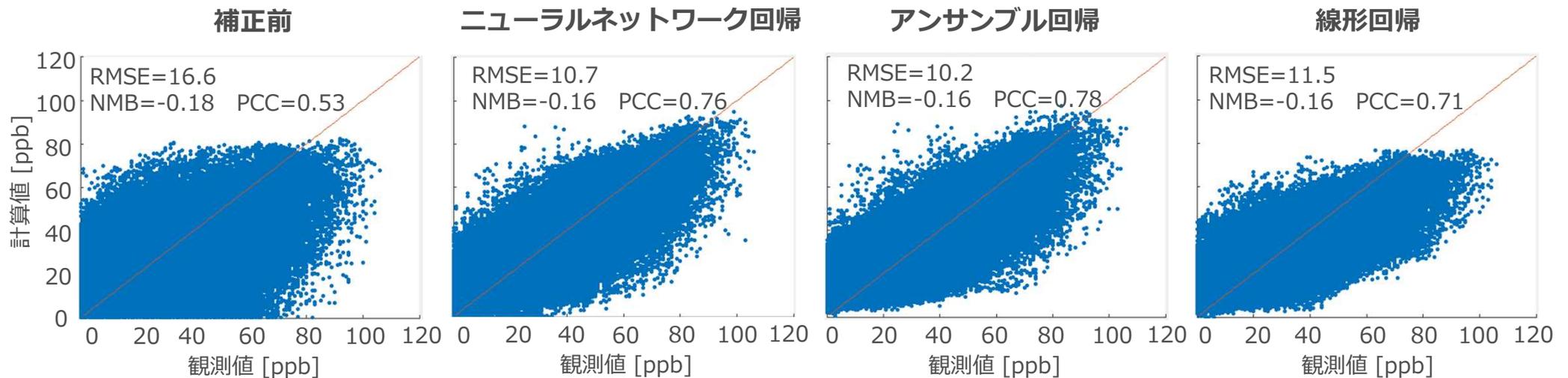
正規化平均バイアス ... 0に近いほど高精度、負：計算値が過小、正：過大

$$NMB = \sum_{i=1}^N (Mi - Oi) / \sum_{i=1}^N Oi$$

ピアソン相関係数 ...1に近いほど直線性が良い

$$PCC = \sum_{i=1}^N [(Mi - \bar{Mi})(Oi - \bar{Oi})] / \sqrt{\sum_{i=1}^N (Mi - \bar{Mi})^2 \sum_{i=1}^N (Oi - \bar{Oi})^2}$$

$Mi$  : 計算値、 $Oi$  : 観測値、 $\bar{Mi}$  : 平均値、 $N$  : データ数



いずれのモデルで補正した場合も、補正前に比べて精度が向上

観測値80ppb以上のデータに対しては・・・

線形回帰：計算値をやや過小に補正

ニューラルネットワーク・アンサンブル回帰

：補正前、線形回帰よりも過小傾向は減少

2つの精度は同程度

**機械学習（ニューラルネットワーク回帰とアンサンブル回帰）の方が有効**

## 機械学習に関する検討

- ・ モデル種類の検討
- ・ **学習データ期間の検討**
- ・ 高濃度見逃し削減モデルの検討

## 学習データ期間の精度への影響を検証した

**1年**分の7割データで学習、残り3割と別の1年でテスト

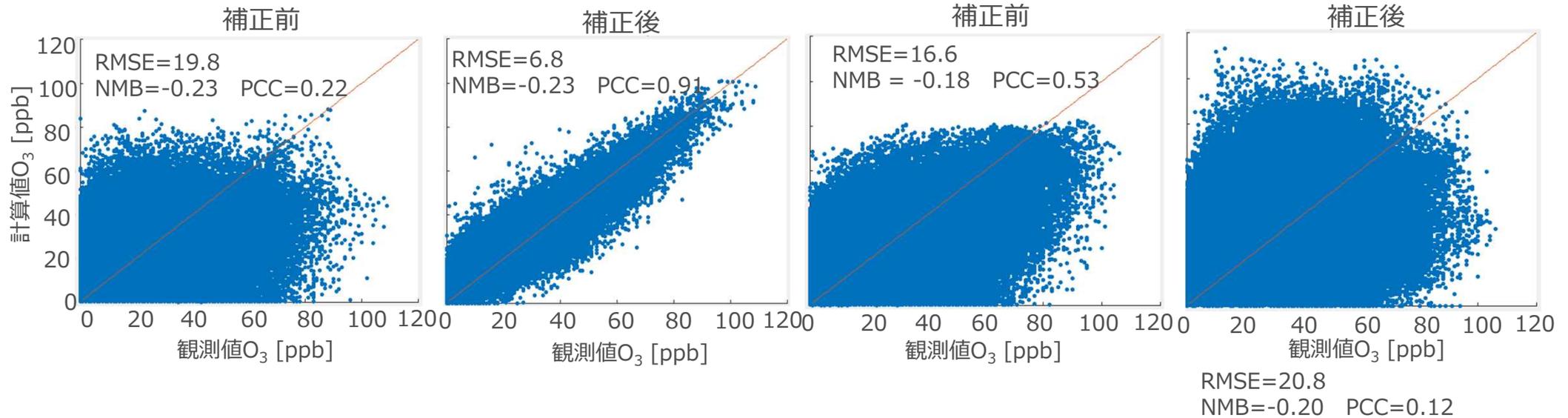
	期間
学習データ	2021年1月1日～12月31日のデータの7割
テストデータ1	2021年1月1日～12月31日のデータの3割
テストデータ2	2022年1月1日～12月31日

機械学習モデル：ニューラルネットワーク回帰

## 2021年1年分のうち7割のデータで学習したモデルで補正

2021年のうち3割のデータ

2022年1年分のデータ



2021年3割のデータに対しては高精度で補正

他年（2022年）のデータに対しては、補正により精度低下

→ 過学習を起こし、2021年以外のデータに対応できていない

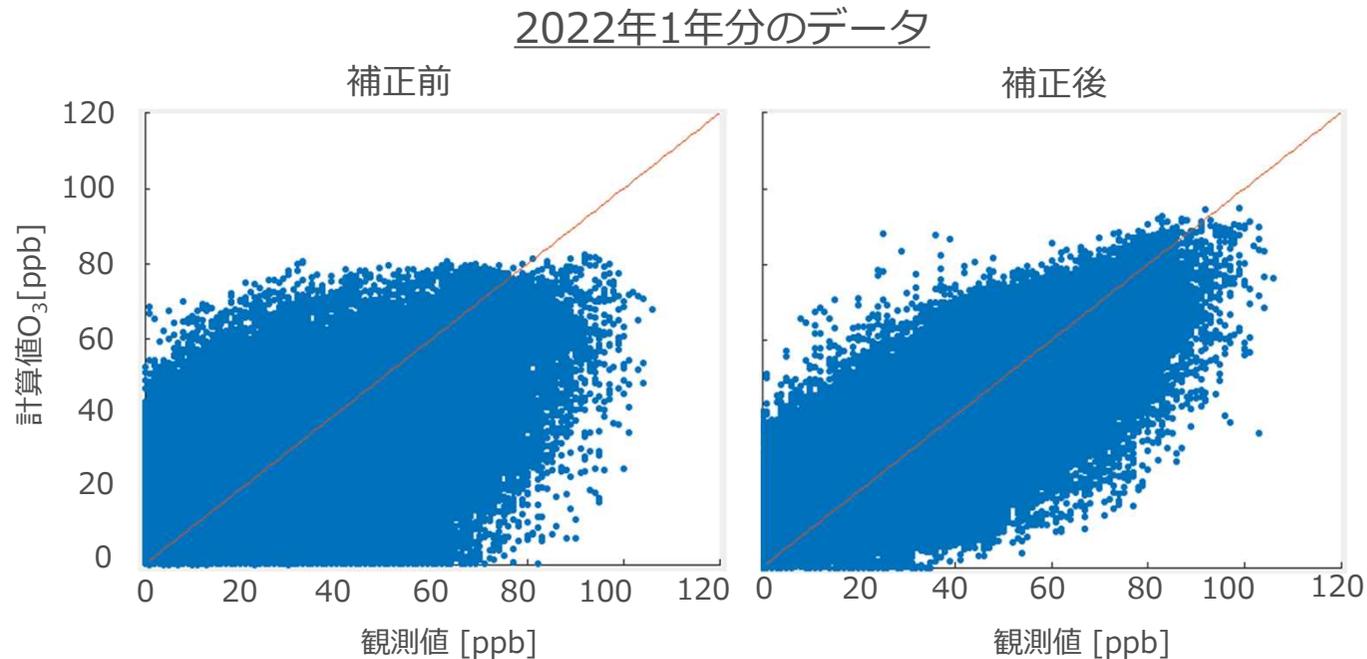
## 学習データ期間の精度への影響を検証した

**3年**分のデータで学習、別の1年でテスト

	期間
学習データ	2018, 19, 21年 1月1日~12月31日
テストデータ	2022年1月1日~12月31日

機械学習モデル：ニューラルネットワーク回帰

## 2018, 19, 21年の3年分のデータで学習したモデルで補正



	RMSE	NMB	PCC
補正前	16.6	-0.18	0.53
補正後	14.8	-0.16	0.76

RMSE：二乗平方根誤差  
NMB：正規化平均バイアス  
PCC：ピアソン相関係数

機械学習モデルによる補正で**精度が向上**

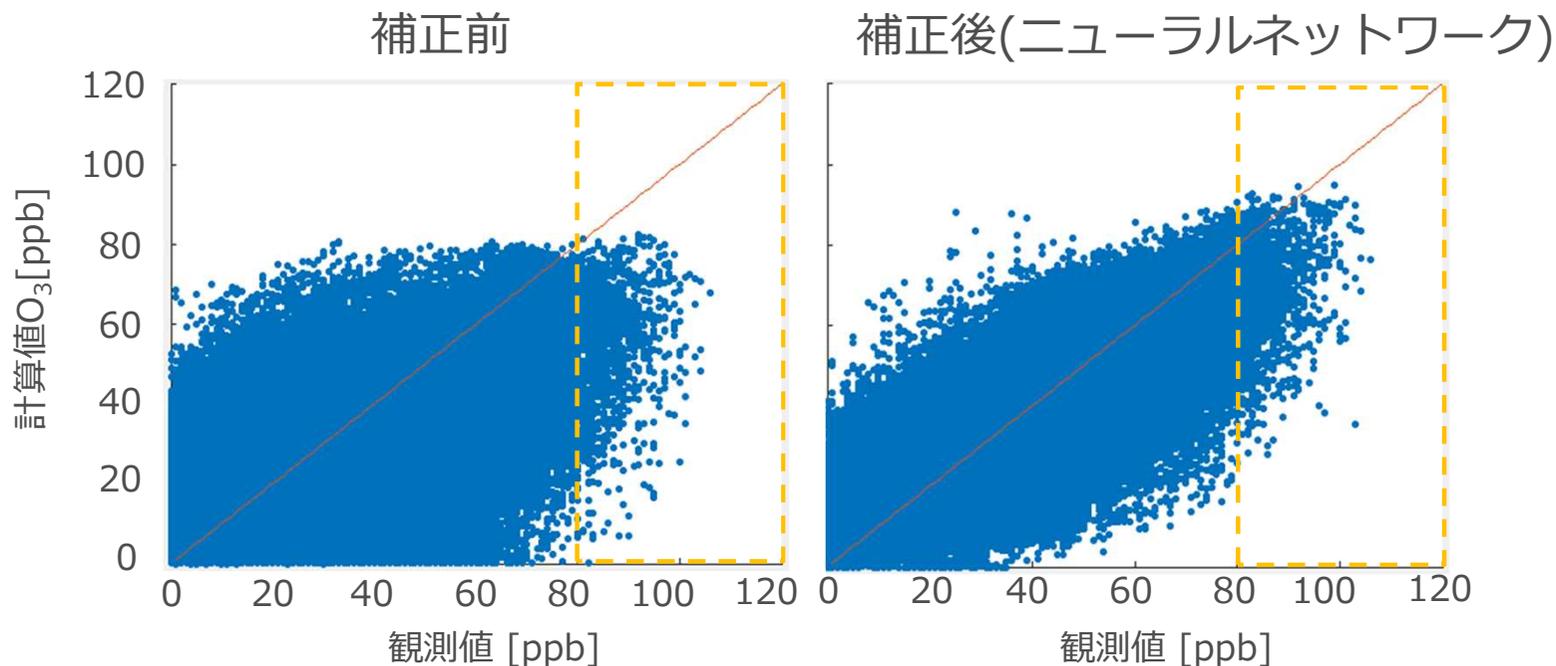
**複数年**のデータで学習

→ 未知のデータにも対応可能な、汎用性の高いモデルを作成可能

## 機械学習に関する検討

- ・ モデル種類の検討
- ・ 学習データ期間の検討
- ・ **高濃度見逃し削減モデルの検討**

# 機械学習モデルの作成 ～観測値80ppb以上での精度検証～

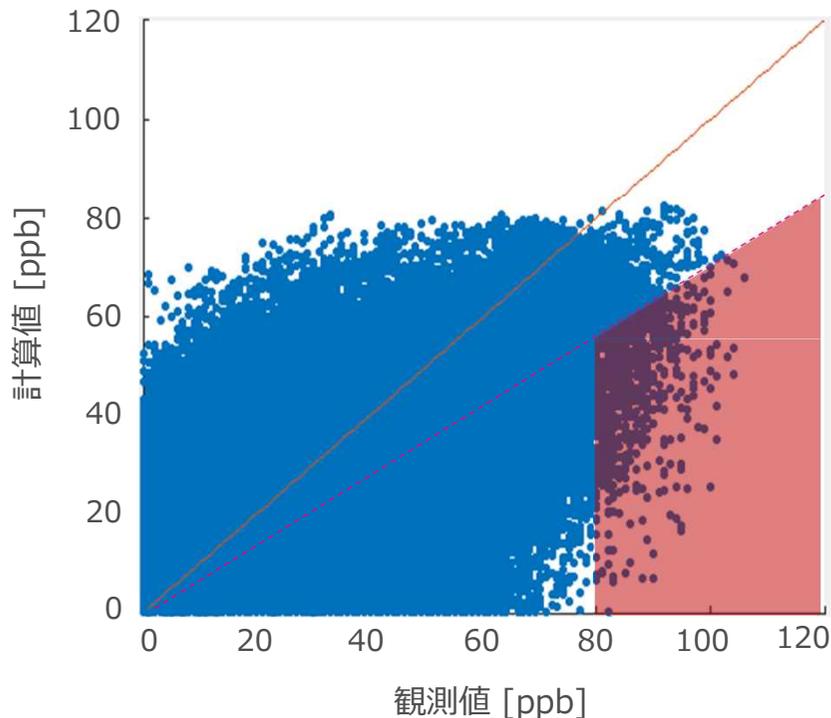


		RMSE	NMB	
補正前	全データ	16.6	-0.18	
	観測値80ppb以上	34.1	-0.36	
補正後	全データ	10.7	-0.16	改善
	観測値80ppb以上	20.9	-0.16	

観測値80ppb以上で、計算値にやや過小傾向がある  
補正によって改善されるが、過小傾向は残っている

健康被害を抑制するためには、“高濃度の見逃し”を減らすことが重要

→ 高濃度の見逃しを低減させる機械学習モデルを検証



観測値が80ppb以上かつ計算値が  
観測値よりも3割以上小さいデータ

→ “高濃度の見逃し”データとして  
ニューラルネットワークで  
**重みをつけて学習**、モデルを作成

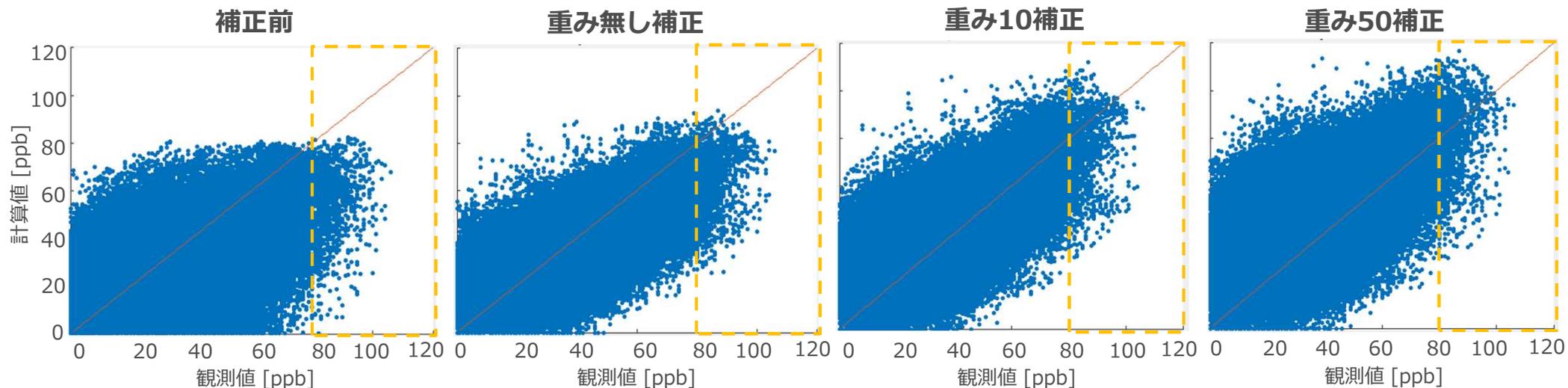
重み10と50で検証

## 使用ツール

**MATLAB** Deep Learning Toolbox

ニューラルネットワークに特化したツールボックス

# 高濃度見逃し低減のための機械学習モデル作成 ～精度検証～



		RMSE	NMB	PCC
補正前テストデータ	全データ	16.6	-0.18	0.53
	観測80ppb以上	34.1	-0.36	-
重みなし	全データ	11.9	-0.0081	0.69
	観測80ppb以上	25.8	-0.26	-
重み10	全データ	13.9	0.16	0.66
	観測80ppb以上	19.4	-0.14	-
重み50	全データ	17.6	0.32	0.63
	観測80ppb以上	17.5	-0.072	-

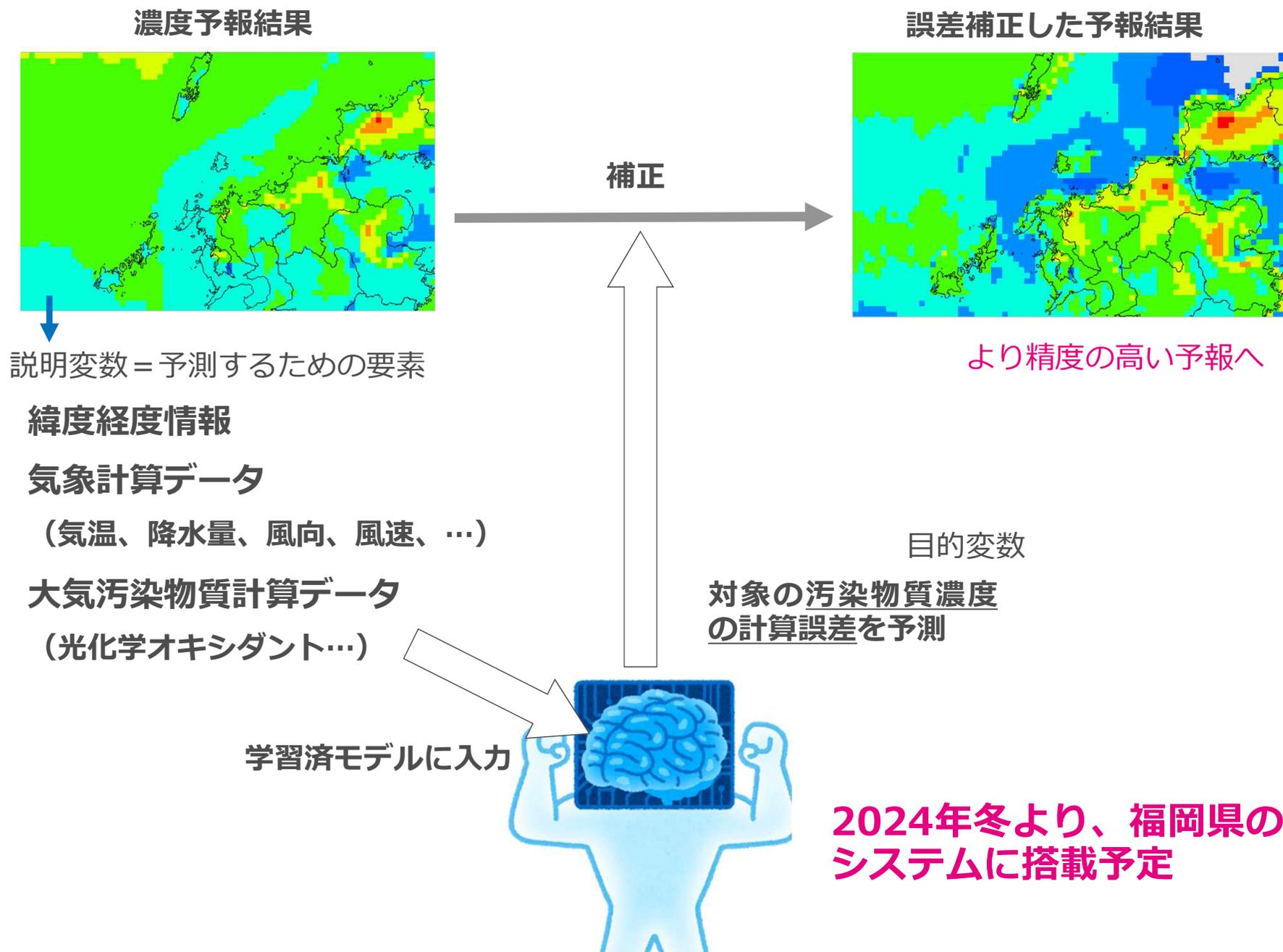
RMSE : 二乗平方根誤差  
 NMB : 正規化平均バイアス  
 PCC : ピアソン相関係数

重みを増やすほど観測値80ppb以上の精度は向上し、過小傾向が改善

⇔ 全体の精度は、重み無し > 重み10 > 重み50

→ 用途によって使い分けが可能

# 今後の予定 ～予報システムへの機械学習モデルの組み込み～



- 大気シミュレーションモデルは、大気汚染の移流・拡散を面的かつ定量的に表現することができる。排出量を調整して計算することが可能なため、主要発生源の推定にも有益である。
- 福岡県では、大気シミュレーションモデルWRF/CMAQを用いて、**福岡県を対象とした、詳細な光化学オキシダント、PM2.5の濃度予報システムを構築・運用している**。この予報システムにより、数日先までの福岡県内の地域別のオキシダント、PM2.5濃度、越境汚染の寄与、NO<sub>x</sub>、VOC排出量削減効果が予測可能になった。
- オキシダント生成に係る16要素（気象、地理、大気汚染物質等の計算値）から、オキシダント濃度の計算値と観測値との誤差を予測する機械学習モデルを作成し、誤差補正によって精度が向上することを確認した。
- **予報システムに学習済機械学習モデルによる誤差補正を搭載することで、より精度の高い予報が可能となる。**
- 予報システムは既に県での運用を開始、誤差補正プログラムは2024年冬から搭載予定。同時に、福岡県ホームページ・Xでも予報結果の配信を予定。PM2.5補正用の機械学習モデルも現在作成中。

# 御清聴ありがとうございました

本システムの構築および機械学習による誤差補正は、（独）環境再生保全機構 大気環境の改善分野に関する調査研究「地方公共団体におけるシミュレーションモデルを活用した光化学オキシダント対策の検討に関する調査研究」として実施しました。  
また、排出量データの作成は、大阪大学大学院工学研究科嶋寺光准教授からプログラムをご提供いただきました。ここに記して、謝意を表します。



福岡県マスコットキャラクター：エコトン

令和 6 年度 IIAE 大気環境総合センターセミナー

【ERCA の研究成果発表】

『地域ごとの光化学オキシダントに関する研究のレビューと  
そのとりまとめに関する調査研究』

『福岡県におけるシミュレーションの行政活用 —大気汚染濃度予測システムと  
AI による精度向上機構の開発—』

主催：一般財団法人大気環境総合センター

共催：ERCA（環境再生保全機構）

本誌の無断転載を禁じます