



第25回 海上技術安全研究所研究発表会



海陸風循環が船舶排出物の輸送に与える影響について ～瀬戸内海の例～

令和7年7月18日

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

環境・動力系

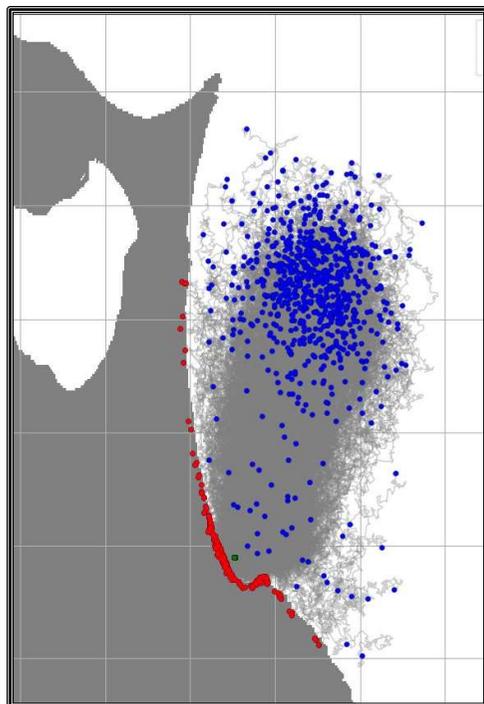
浅見 光史

目次

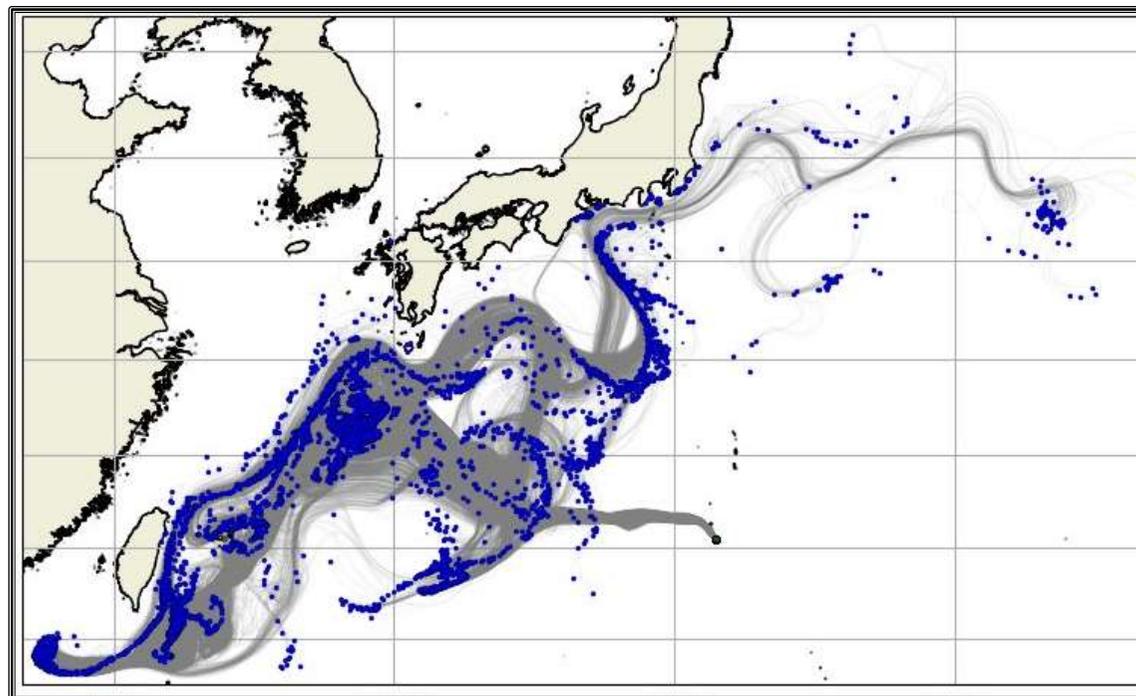
- ・ 研究の位置づけ・動機
- ・ 計算モデルの概要
- ・ 計算領域
- ・ 排出インベントリ
- ・ 気象場およびPM_{2.5}濃度の再現性評価
- ・ Source-Receptor解析
- ・ 陸風および海風の特徴とその抽出法
- ・ 評価地域における海風期間のPM_{2.5}月平均分布
- ・ 海風期間における船舶の排出物によるPM_{2.5}濃度の比較
- ・ 結論

■重点研究課題

ゼロエミッション燃料を用いたGHG削減技術の高度化および安全・環境対策、並びに船舶の航行時における環境負荷低減に関する研究開発



八戸沖燃料油流出事故の油漂流予測



海底火山噴火で放出された軽石の海洋分布予測

研究の動機



■瀬戸内海

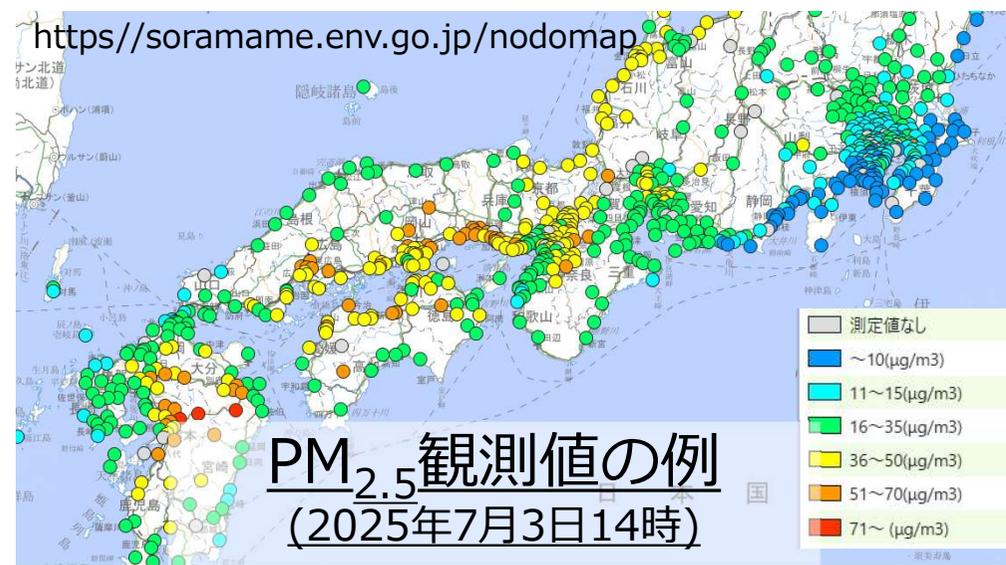
- 3島に囲まれる世界最大級の閉鎖海域
- 複雑な地形
- 場所により特徴の異なる局所風が発生

■大気汚染物質の排出源

- 排出源：瀬戸内工業地域、船舶(輻輳海域)
- 越境汚染
- 過去におけるPM_{2.5}環境基準の未達地域
(現在の日本の達成率：100%(令和5年度))
- 海岸付近や主要航路で高い排出強度を観測*

【本研究の目的】

- 船舶から放出されたPM_{2.5}の輸送をモデルシミュレーションで評価
- 海陸風などの環境条件の影響を分析



PM_{2.5}環境基準

指標	環境基準値 (µg/m ³)	
年平均値	15以下	長期的な健康影響
日平均値	35以下	短期的な高濃度暴露

*) S. Itahashi, et al., Jpn. Soc. Atmos. Environ. **57**, 129–138 (2022)

WRF-Chem (オンラインモデル)

相互作用

入力データ

初期条件・境界条件

- ・ 気象再解析データ
- ・ 海面水温データ

気象モデル

- 気象場を再予測
- ・ 風速・気温
 - ・ 降水・太陽放射
 - ・ 雲物理

化学輸送モデル

- 物質の輸送と変化を予測
- ・ 輸送・熱的变化
 - ・ 除去や吸脱着・光分解
 - ・ 雲粒核生成

入力データ

排出インベントリ

物質の排出源の時空間推計データ

- ・ 人為起源排出：MIX2^{*1}
- ・ 植物起源排出：MEGAN2.1^{*2}

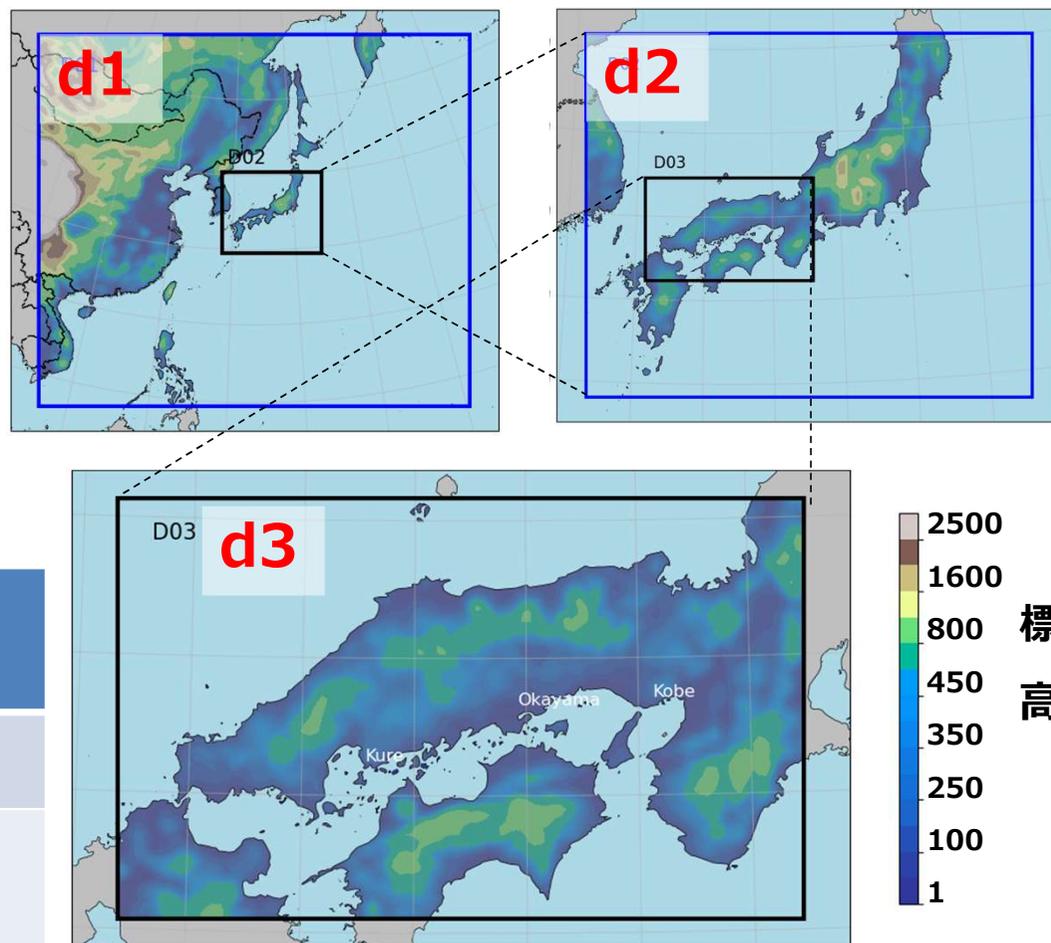
*1) M. Li, et al., Atmos. Chem. Phys. **24**, 7, 3925–3952 (2024).

*2) A. B. Guenther, et al., Geosci. Model Dev. **5**, 1471–1492 (2012).

■計算領域

東アジア由来越境汚染を考慮して設定

- 東アジア(**d1**)、日本(**d2**)、瀬戸内海(**d3**) の3地域
- オンラインモデル：グリッド数および解像度は気象モデルと化学輸送モデルで共通



水平方向解像度	45 km(d1), 15 km(d2), 5 km(d3)
鉛直方向解像度	27 η levels (上限：50 hPa)
領域の大きさ (経度 × 緯度)	d1: 140 × 120 cells d2: 97 × 79 cells d3: 109 × 67 cells

計算領域(3領域のネスティング)

排出インベントリ



■排出インベントリ

物質が時空間的にどのように大気中に排出されているかを示す排出源のデータベース

-人為起源排出(MIX2)

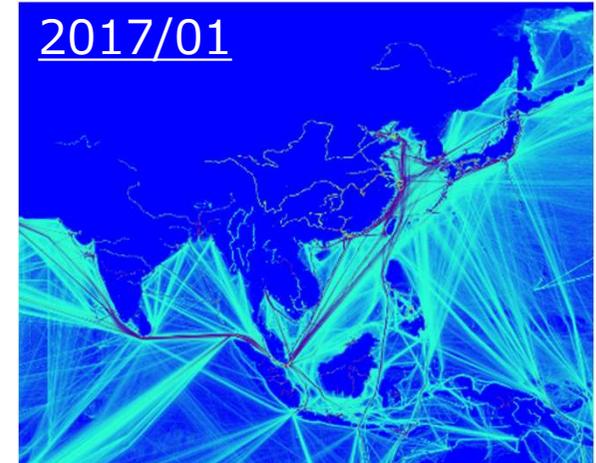
- 東アジアの複数国の排出インベントリの組合せ
- 排出分類(7系統)：電力、産業、住宅、輸送、農業、バイオマス燃焼、船舶
- 対象物質(10種)

-植物起源排出(MEGAN2.1)

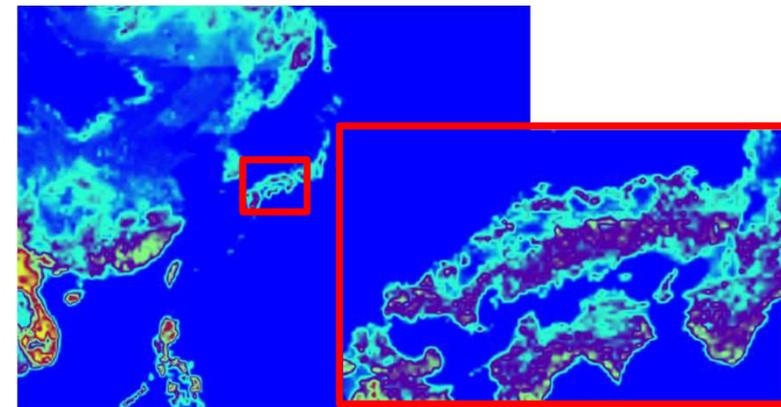
- 呼吸や光合成で生じる揮発性有機化合物を計算

■PM_{2.5}の成長過程

吸湿成長やガス状成分との吸脱着を考慮
(MOSAICエアロゾルモジュールの適用)



船舶起源PM_{2.5}排出分布



植物光合成排出に係る葉面積指数(LAI)分布

目次

- ・ 研究の位置づけ・動機
- ・ 計算モデルの概要
- ・ 計算領域
- ・ 排出インベントリ
- ・ **気象場およびPM_{2.5}濃度の再現性評価**
- ・ **Source-Receptor解析**
- ・ **陸風および海風の特徴とその抽出法**
- ・ **評価地域における海風期間のPM_{2.5}月平均分布**
- ・ **海風期間における船舶の排出物によるPM_{2.5}濃度の比較**
- ・ **結論**

気象場およびPM_{2.5}濃度の再現性評価

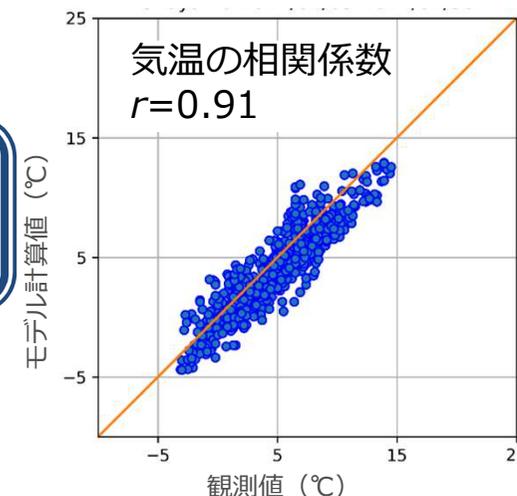


モデルの結果は計算値；実現象を適切にとらえているか確認が必要

■気象場の再現



観測値を概ね再現



気象場再現性確認の例

■PM_{2.5}濃度の再現

米国環境保護庁(US-EPA)推奨の統計

性能指標で比較



再現性許容範囲内

Source-Receptor解析



全排出源を用いた2017年1月のPM_{2.5}濃度は8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度に均一分布

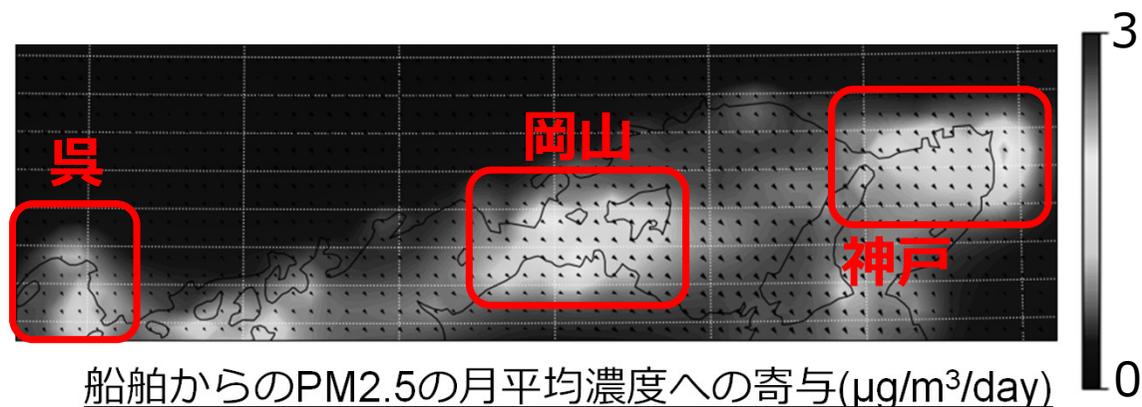
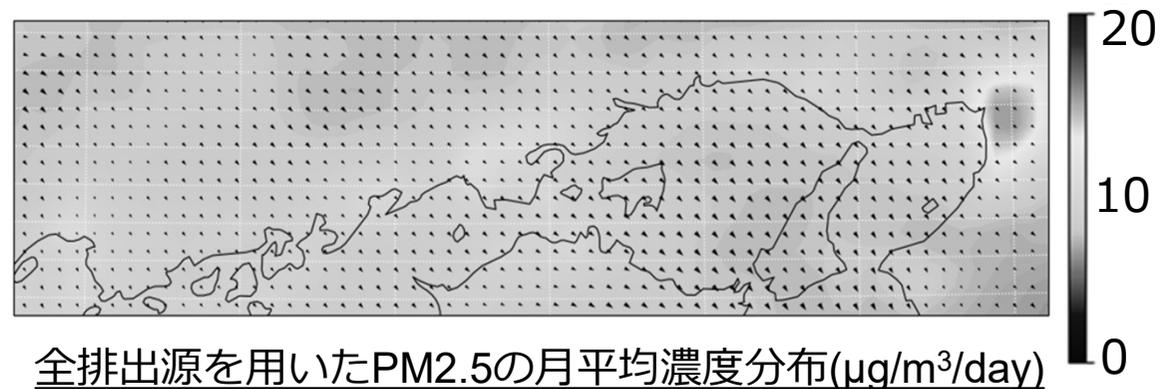
→船舶の寄与は？

■Source-Receptor解析

特定排出源からの物質の影響評価

- 船舶のみからの寄与を推定
- 2017年1月の船舶排出からのPM_{2.5}寄与の高い場所は、
神戸、岡山、呉

→瀬戸内海地域の気流の滞留に起因。PM_{2.5}が大気中に長期間留まる可能性。海→陸へ向かう「海風」がPM_{2.5}を内陸に運び、陸域に影響

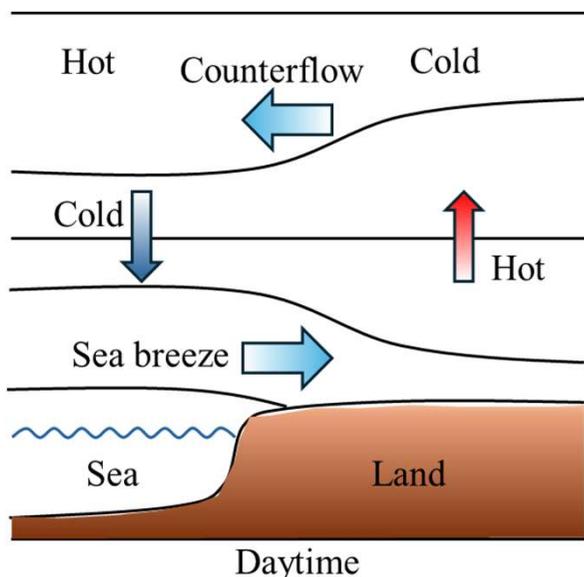


陸風および海風の特徴とその抽出法



■海陸風

- **海風**：陸側が太陽放射で加熱され、上昇気流が発生し、**海→陸**へ吹く風
- **陸風**：陸側が冷却し、海水側が相対的に暖かくなり、**陸→海**へ吹く風

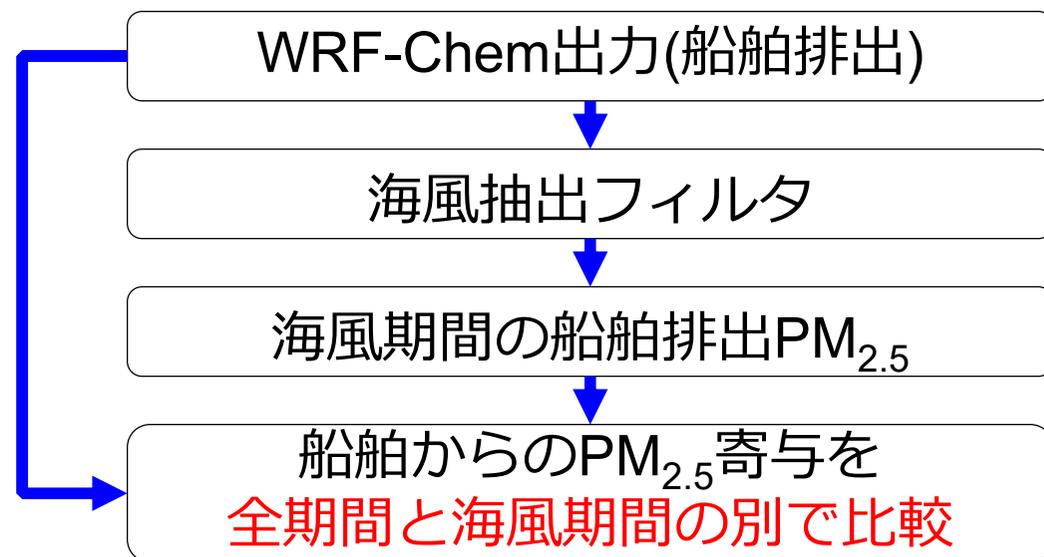


海風の概要

■海風および陸風の区別

- **風速と風向の時系列の顕著な特徴に着目した手法***を採用。風の変化をフィルタリングして、海風を抽出

海風影響評価のプロセス



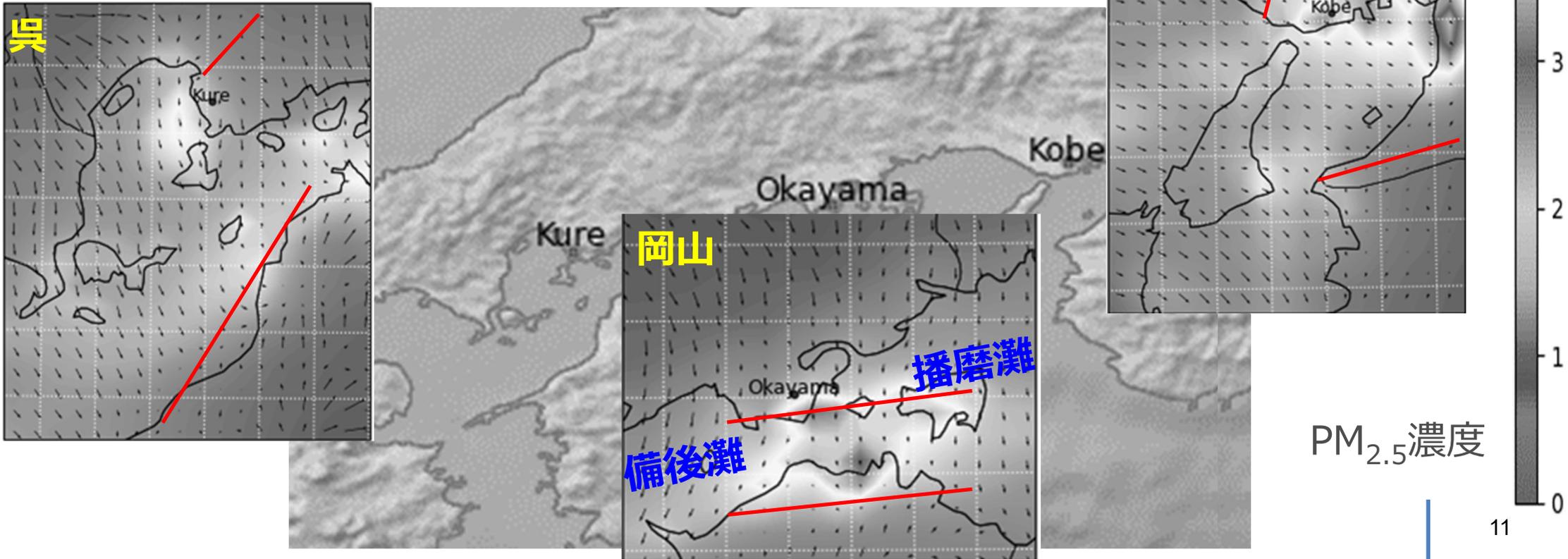
*) K. Borne, et al., Int. J. Climatol. **18**, 901-914 (1998)

評価地域における海風期間のPM_{2.5}月平均分布

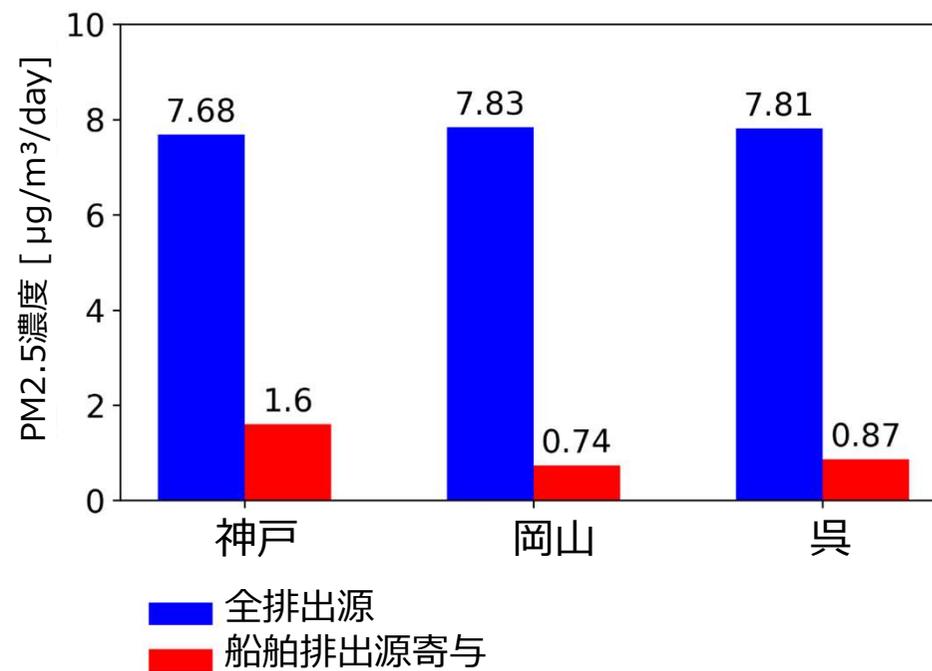
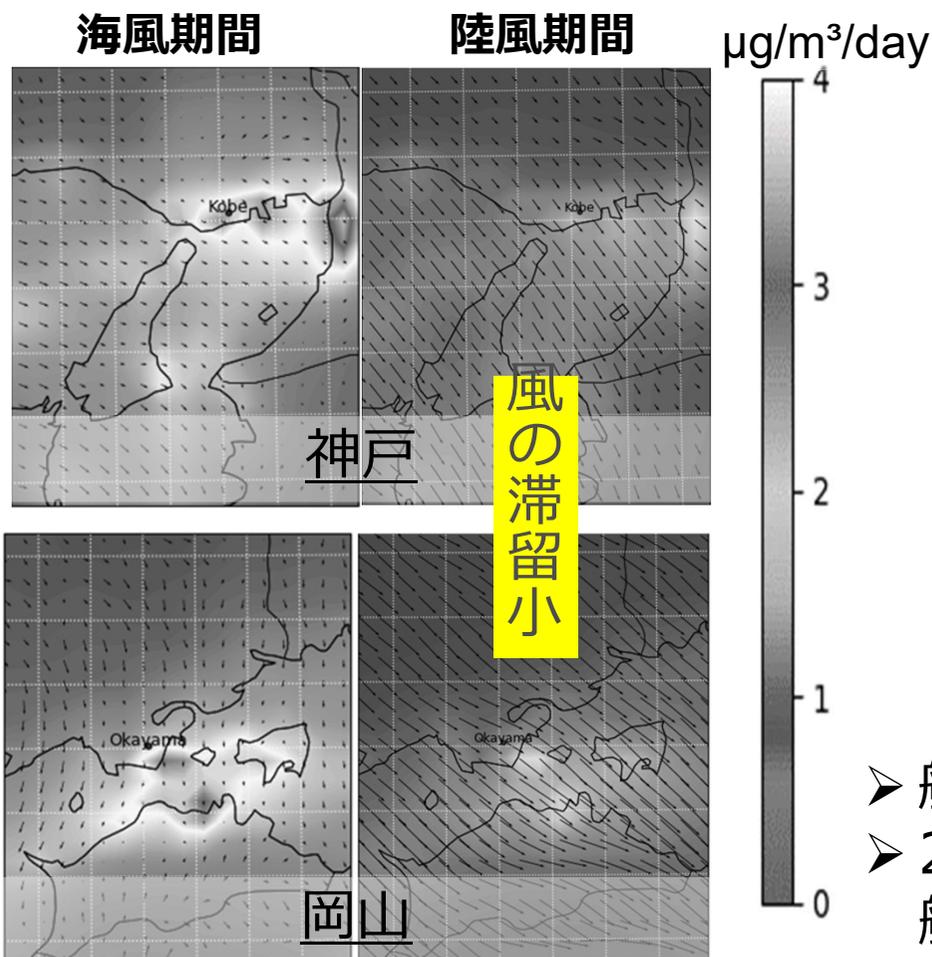


■ 1月の海風時には、水平面の風速が小さくなる収束線(赤線)が形成

- 神戸周辺：海岸線に沿い帯状に分布
- 岡山周辺：海上に分布。地形の影響で停滞
- 呉周辺：滞留を助長しない地形、濃度が僅かに増加



海風期間における船舶の排出物によるPM_{2.5}濃度の比較



- ▶ 船舶からのPM_{2.5}は海風期間に陸域へ多く輸送
- ▶ 2017年1月全期間では、総排出量に対する船舶排出物の陸域への寄与は**1-2割**程度

船舶由来のPM_{2.5}濃度および風向・風速の分布

- 船舶から放出されたPM_{2.5}の輸送をモデルシミュレーションで評価し、海陸風の影響を分析し、以下の結論が得られた：
 - 船舶からのPM_{2.5}は海風期間に陸域へ多く輸送
 - 神戸や岡山周辺におけるPM_{2.5}の濃度分布から、大気汚染物質の滞留が地形と風の収束線に起因することを示唆

- 最新のオンライン化学輸送モデルを導入
 - 巨視的な傾向把握に留まらず、気象場と化学過程の相互作用を同時に評価することから、詳細な感度分析が可能
 - 今後の環境問題への政策・技術的アプローチにおいて有用なツール

ご清聴ありがとうございました

