

# 2020年船舶燃料油硫黄分規制強化による大気質改善効果の評価

課題番号 : 5-1802(2018~2020年度)

体系的番号 : JPMEERF20185002

重点課題 : 【重点課題15】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)

: (5-14)瀬戸内海周辺におけるPM<sub>2.5</sub>高濃度要因の解明

実施期間 : 平成30年度~令和2年度



研究代表 : 櫻井 達也 (明星大学)

研究分担 : 速水 洋 (早稲田大学)

板橋 秀一 (電力中央研究所)

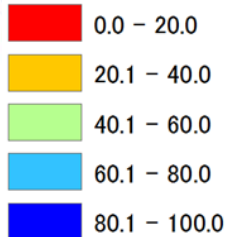
嶋寺 光 (大阪大学)

# 1. はじめに：瀬戸内地域での低いPM<sub>2.5</sub>環境基準達成率

JFY2013

JFY2018

改善傾向にあるが...



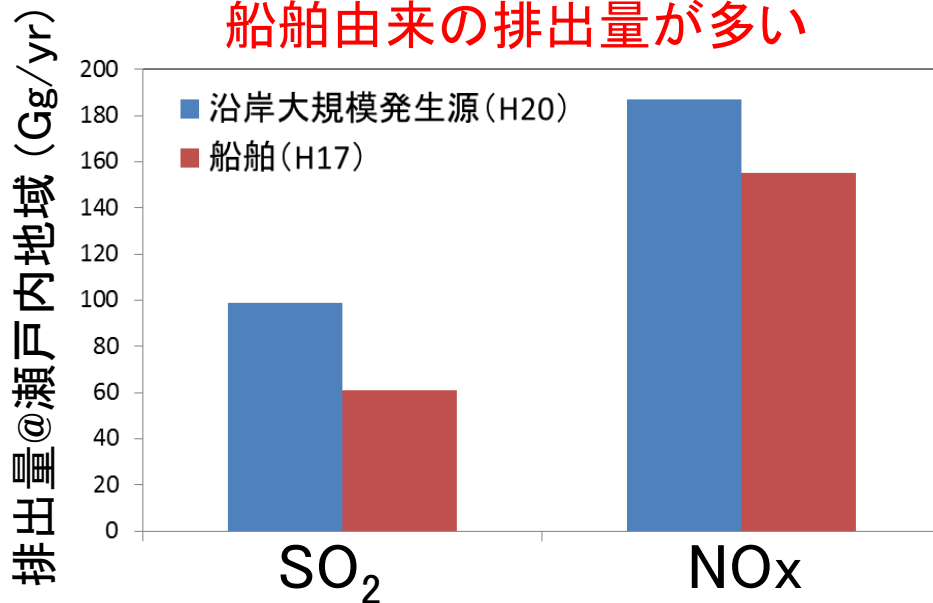
瀬戸内地域

## 船舶通航量の過密海域

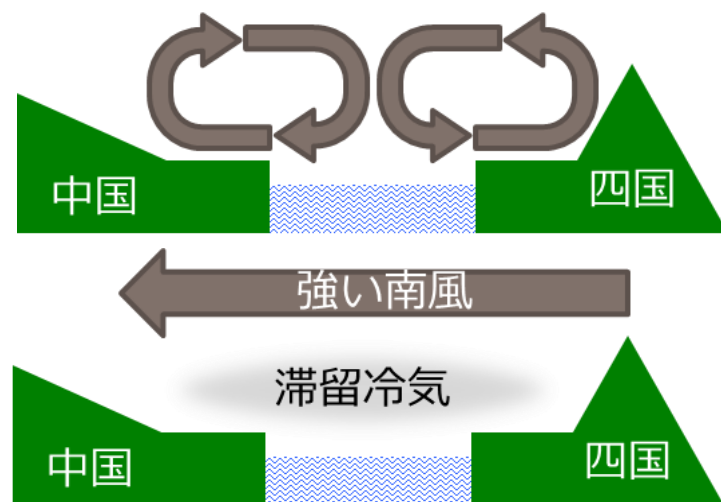


<https://www.marinetraffic.com>

## 船舶由来の排出量が多い

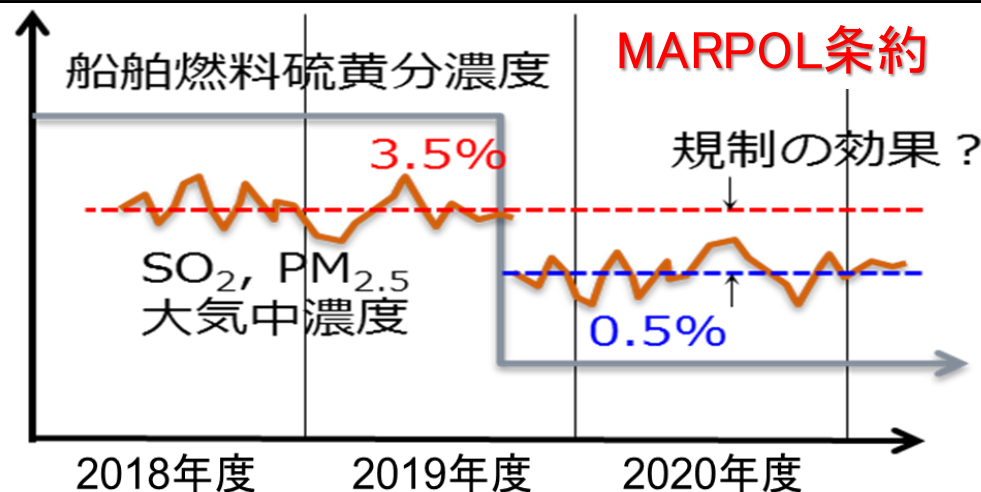


## 瀬戸内地域特有の空気塊の滞留性



(海洋気象学会『瀬戸内海の気象と海象』に基づいて作成)

## 2. 研究開発目的：2020IMO規制強化による大気質改善効果



船舶燃料油硫黄分規制が強化される**2020年1月を挟んで**現地調査を実施。規制強化による瀬戸内地域での大気質改善効果を**観測とモデル解析**により評価する。

- ①: 船舶排出量DBの構築と沿岸着地濃度予測(明星大学)  
⇒ 排出量調査
- ②: 船舶燃料油規制強化によるPM<sub>2.5</sub>改善効果の観測的評価(電中研)  
⇒ 観測研究
- ③: 船舶排出物質がわが国の大気質に及ぼす影響の評価(大阪大学)  
⇒ モデル研究

## 全体目標

- ① 一次物質(排ガス)を対象とした**短期・局所的評価**から規制強化の効果を検証
- ② 二次生成物質を含めた大気質の**長期・広域的評価**から規制強化の効果を検証
- ③ 2020年以降のPM<sub>2.5</sub>対策の方向性検討(**政策への貢献**)

## サブテーマ1

- 時間・空間的に高解像度な**船舶排出量データベース**を構築
- 船舶排ガス拡散モデルの構築 → リアルタイム拡散予測 & 排出量DB検証

## サブテーマ2

- 規制強化による瀬戸内地域での大気質改善効果(**長期観測**)
- 規制強化による排ガス中SO<sub>2</sub>濃度と燃料油中S分への効果(**短期観測**)
- 瀬戸内地域特有のPM<sub>2.5</sub>高濃度の確認(**マルチコプタ観測**)

## サブテーマ3

- 瀬戸内地域特有のPM<sub>2.5</sub>高濃度の解明(**再現計算**)
- 規制強化による瀬戸内地域での大気質改善効果(**船舶排出に対する感度計算**)
- 2020年以降のPM<sub>2.5</sub>対策の方向性(**発生源寄与評価計算**)



## 4. 研究開発内容：①短期・局所的評価

5

### ① 船舶排ガス直接観測による規制強化の効果検証(サブ2)

期間：2018, 2019, 2020年の8月下旬～9月上旬  
(2018年は予備検討用)

場所：関門橋下関側橋脚付近(下関市壇之浦)

内容：排ガス中SO<sub>2</sub>濃度測定 &  
排ガス成分からの燃料油中S分逆推計



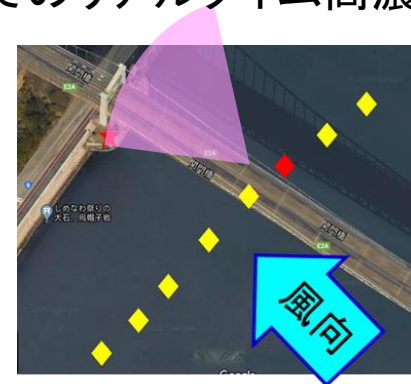
### ② 船舶排ガス拡散モデルの構築(サブ1)

内容：AISデータと紐づけた船舶排ガス  
拡散モデルの開発

→ 実測との比較による排出量推計  
手法の妥当性検証

→ 沿岸域でのリアルタイム高濃度予測

比較用データ



### ③ 海面上濃度鉛直分布観測(サブ2)

期間：2020年10月12～16日

場所：詫間(長期観測地点から東に約5km)

内容：瀬戸内地域特有の汚染状況を把握。

マルチコプタにセンサを搭載し上空500 mまで測定。

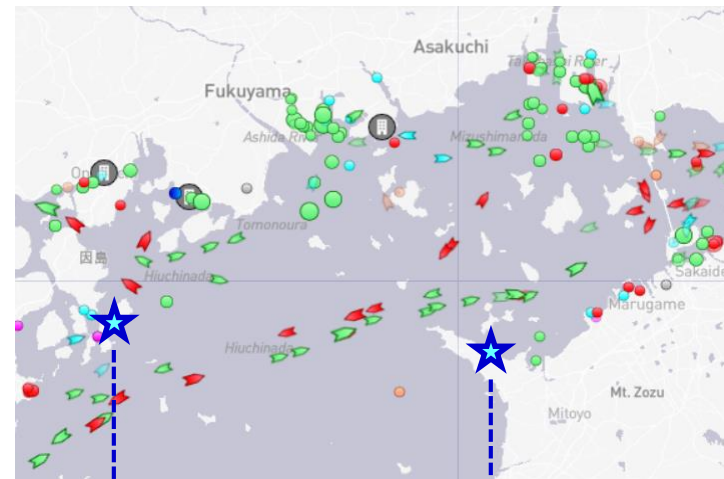


# 4. 研究開発内容：②長期・広域的評価 & ③PM<sub>2.5</sub>対策の方向性

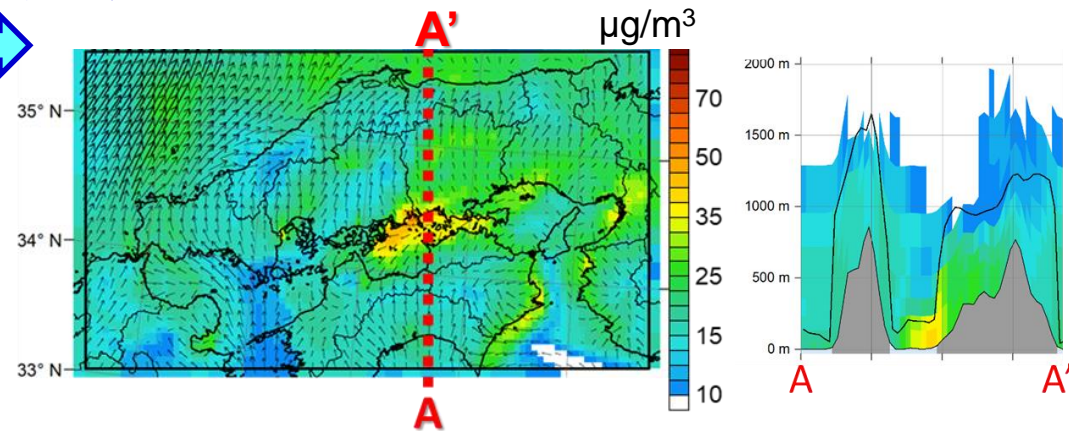
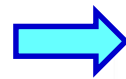
## ① 船舶排出量DBの構築(サブ1)

対象年：2015 & 2020(燃料油中S分=0.5%)

内容：AISデータを利用した高解像度DBの開発(3次メッシュ・時間値ベース)



入力データ



## ③ 大気質モデル解析(サブ3)

モデル：WRF/CMAQ

内容：現状再現計算(地域特性解析)  
船舶感度計算(規制強化の効果)  
発生源寄与計算(方向性)



モデル検証用データ&考察補完

## ②-1 PM<sub>2.5</sub>等長期観測(サブ2)

期間：2018/10~2021/1

場所：弓削(弓削高専)および詫間(香川高専)

内容：PM<sub>2.5</sub>重量&成分濃度の長期連続観測  
大気境界層高度の測定(@詫間)



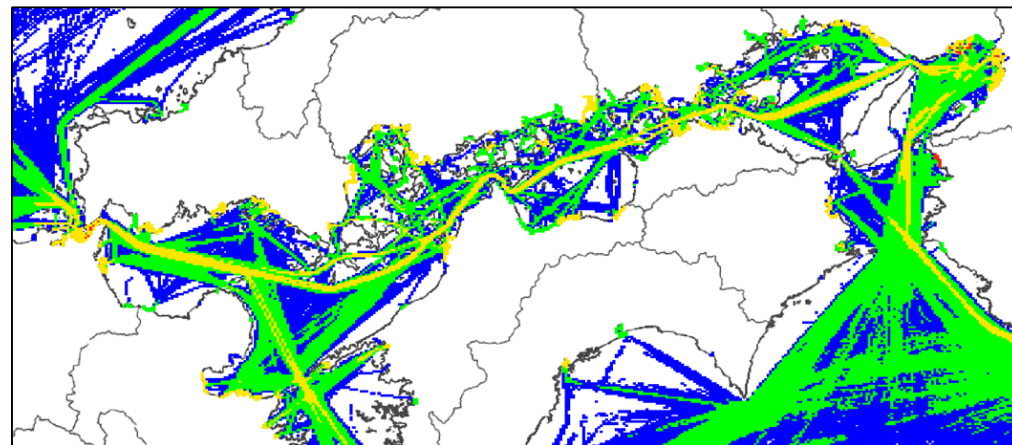
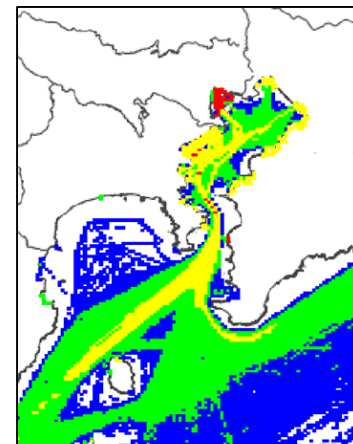
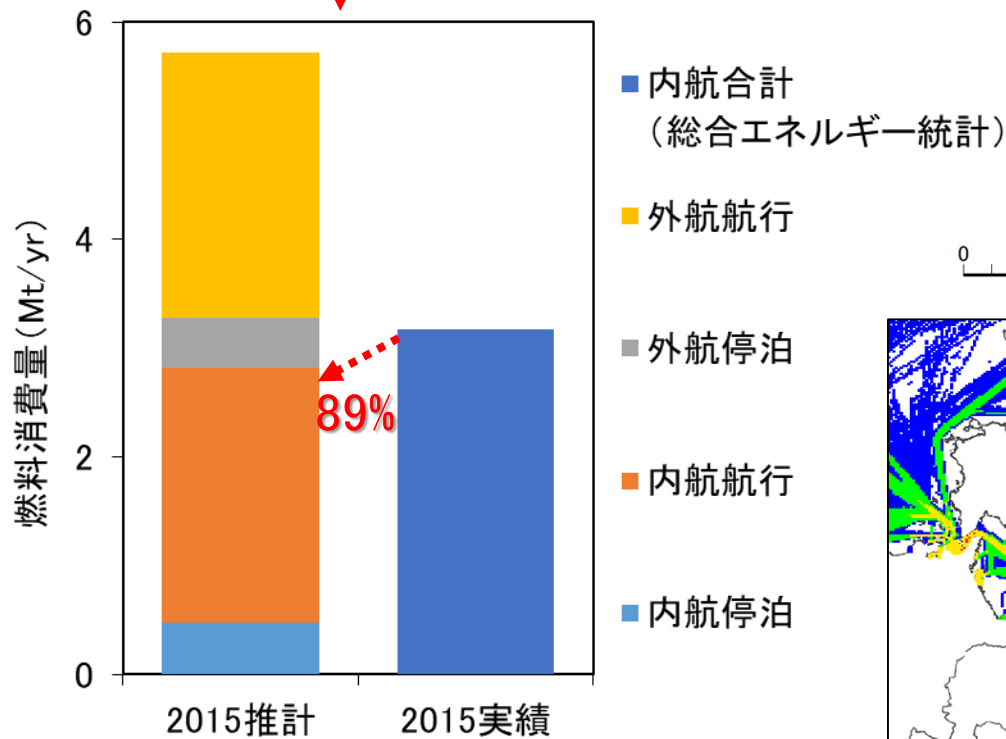
# 5-1. 成果の概要(排出量):

## 船舶排出量の算定結果例(SO<sub>2</sub>)と誤差評価(燃料消費量)

対象物質: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NMVOCs, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> in PM<sub>2.5</sub>

推計対象: 航行時・停泊時・漁船

内航船の推計値(燃料消費量)を統計値と比較



- 内航船の2015推計値/実燃料消費量 ≒ 89%
- 外航船は日本に寄港しない場合もあるため、実燃料消費量の統計データがない。



# 5-1. 成果の概要(長期観測):

## 瀬戸内地域における長期平均濃度の改善効果①



### 本研究の長期連続観測地点

T: 詫間地点, Y: 弓削地点

### 利用した常監局

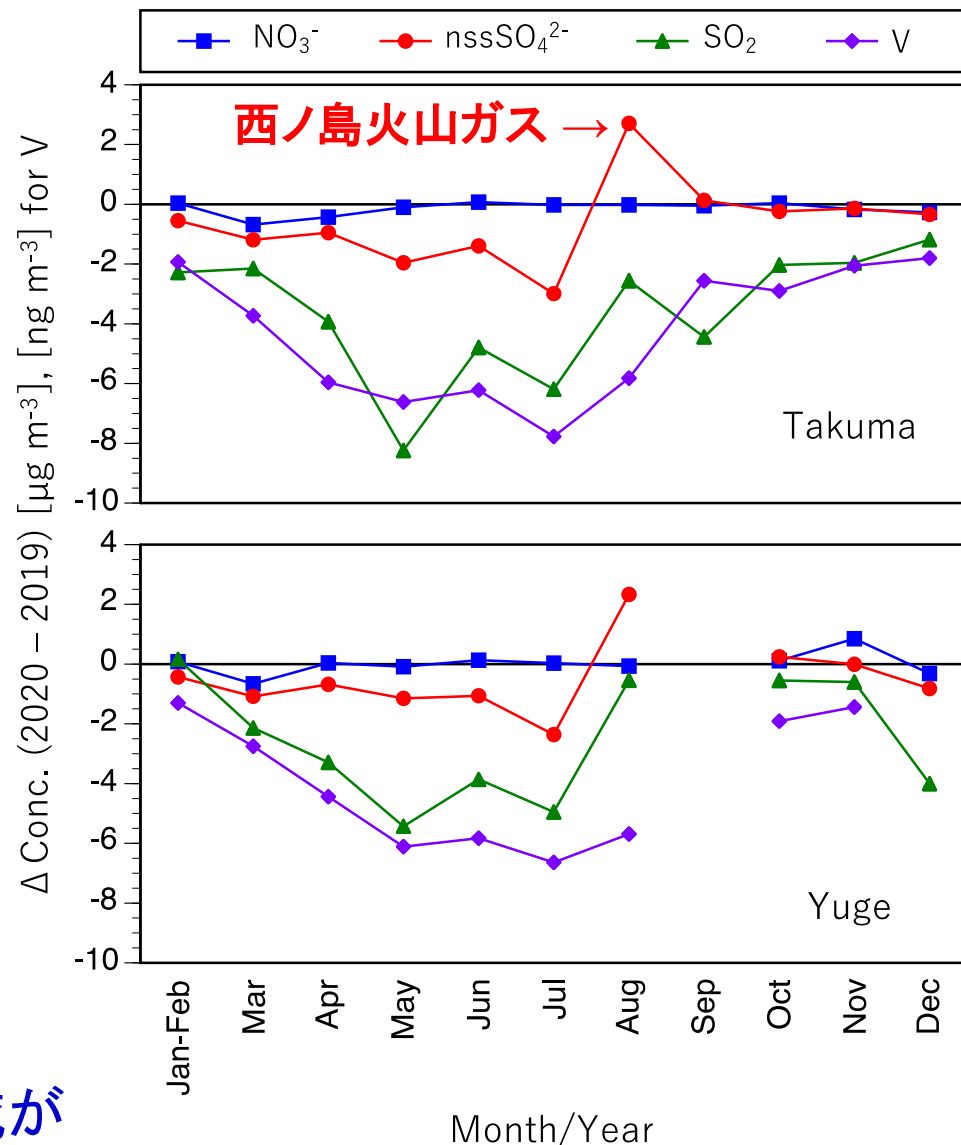
F: 福山市曙小学校局, Ku: 倉敷市松江局,

Ka: 観音寺市役所局, S: 坂出市役所局

◎  $\text{NO}_3^-$ は変化なし

◎  $\text{SO}_2$ と $\text{nssSO}_4^{2-}$ は濃度低下

→ Vの低下から重油燃焼の寄与低減が示唆される。



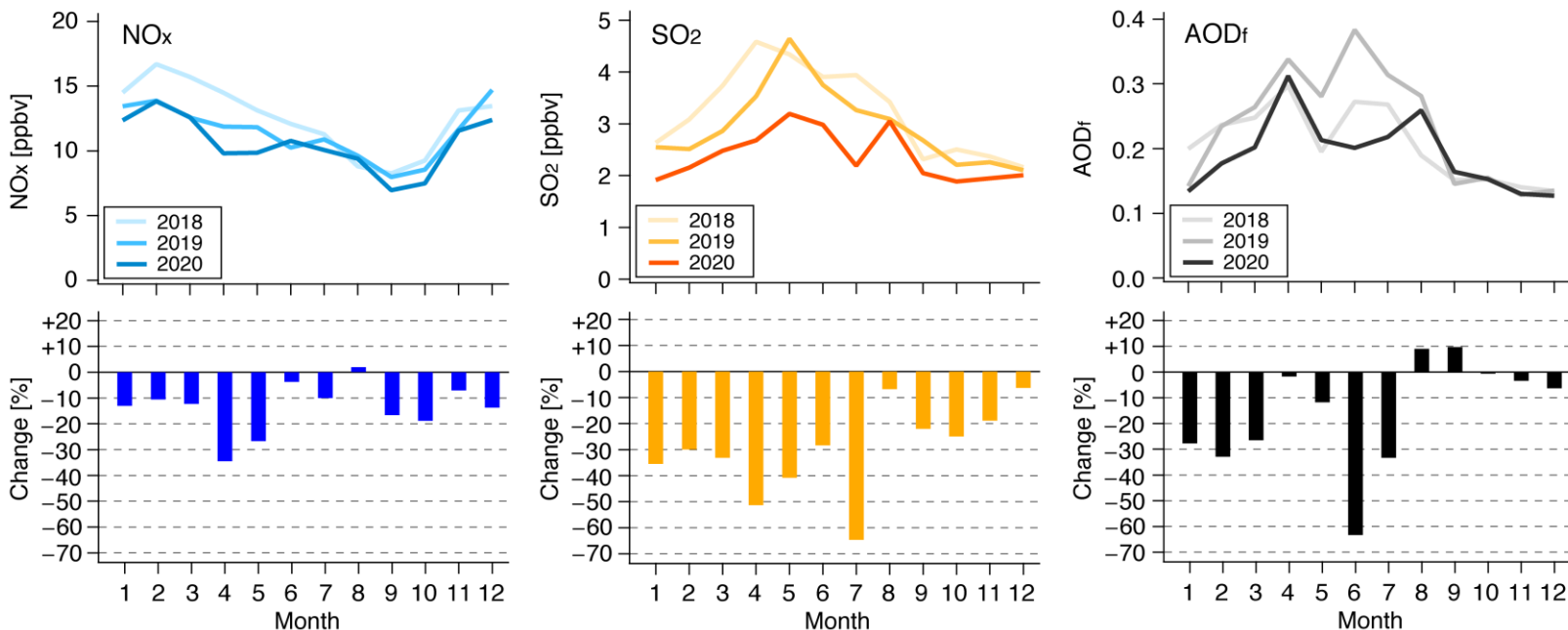
規制強化前後の月平均濃度の変化



# 5-1. 成果の概要(長期観測):

## 瀬戸内地域における長期平均濃度の改善効果②

瀬戸内地域におけるNO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, 微小エアロゾル光学的厚さ(AODf)の月平均値(上)と前2年平均値に対する2020年の変化率(下)



- 前出の定点での観測を常監局(4地点)と衛星データ(MODIS)で補完
  - NO<sub>x</sub>よりもSO<sub>2</sub>の方が減少率大きい。
  - 衛星AISを解析したところ、COVID-19の影響による船舶排出量の減少は小さいことを確認。
- AODfの減少にも2020IMO規制強化が一定の寄与

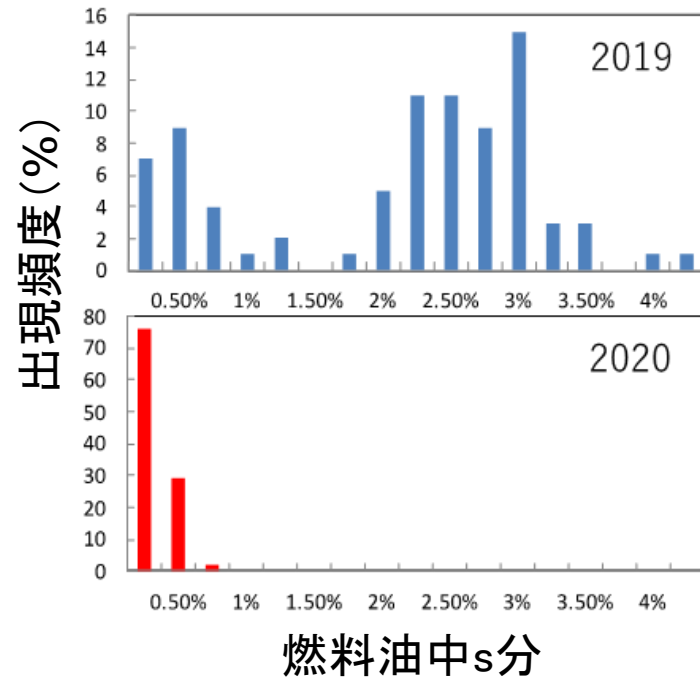
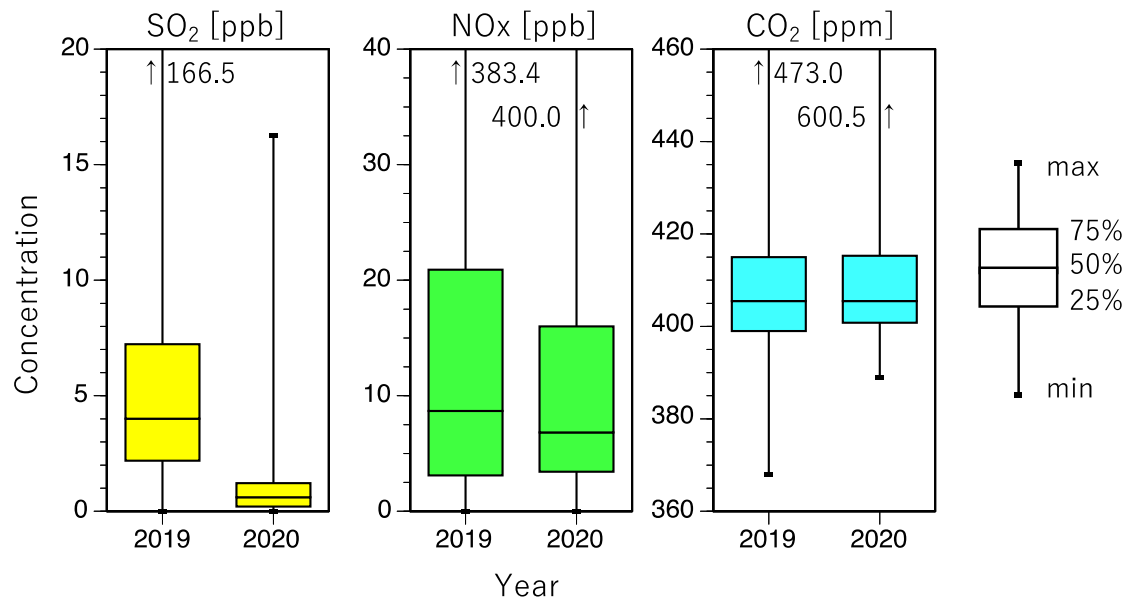
2020IMO規制強化の効果を裏付け

# 5-1. 成果の概要(短期観測):

## 船舶排ガスと沿岸大気質への改善効果(短期・局所的評価)

関門海峡で測定した汚染物質濃度の出現範囲

推定された船舶燃料油s分の出現頻度



- 観測期間中のSO<sub>2</sub>濃度は2020年に大幅減(中央値で4.1→0.6 ppb)
- 同時計測のCO<sub>2</sub>データを用いて燃料油中硫黄分(FSC)を推定

$$FSC = 0.232 \frac{\int [SO_2 - SO_{2,bkg}]_{ppb} dt}{\int [CO_2 - CO_{2,bkg}]_{ppb} dt} [\%sulphur]$$

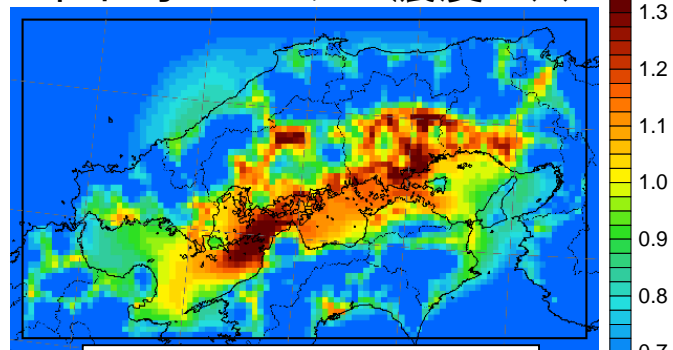
2019年: 3%付近(C重油相当)と0.5%付近(A重油相当)に出現頻度のピーク

2020年: ほぼ0.5%未満 → 規制遵守を確認

◎ トレーサー(反応・沈着なし)を瀬戸内周辺で水平一様に定常放出

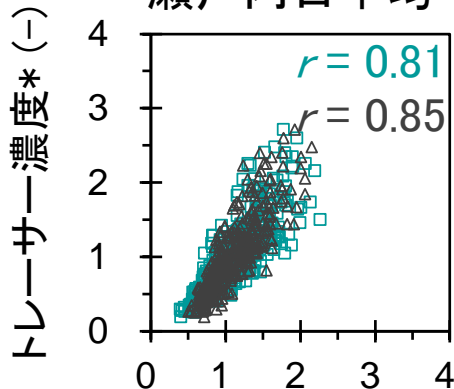
➤ 風速↓, 大気境界層↓ = トレーサー濃度(滞留性)↑

年平均トレーサー濃度\*(-)

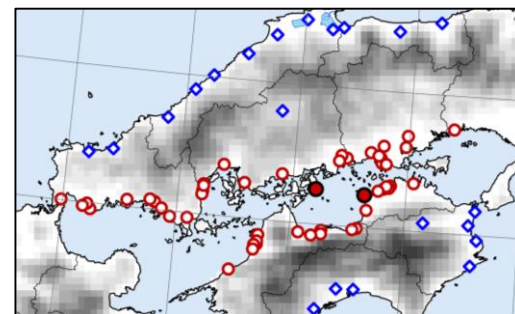


瀬戸内地域年平均 = 1

瀬戸内日平均

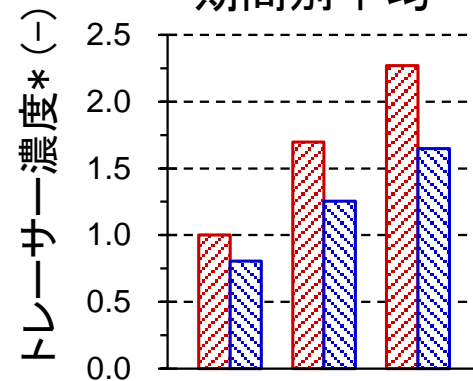


1/風速\*, 1/大気境界層高さ\*(-)



○ 瀬戸内  
□ その他中国四国

期間別平均



年 高 地域  
濃度 汚染

● 期間区分を以下の通り定義する。

- 地域汚染日: トレーサー濃度上位5% (瀬戸内周辺で滞留)

- 高濃度日: PM<sub>2.5</sub>濃度上位5% (越境汚染も影響)

● 滞留性 ⇒ 瀬戸内地域 > その他中国四国地域

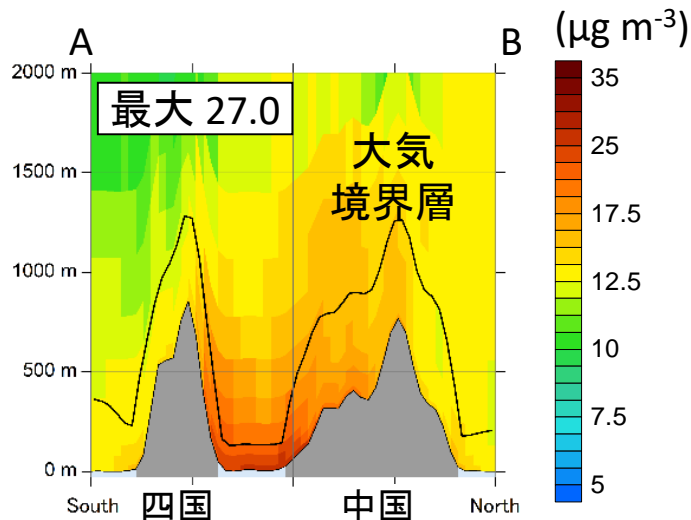
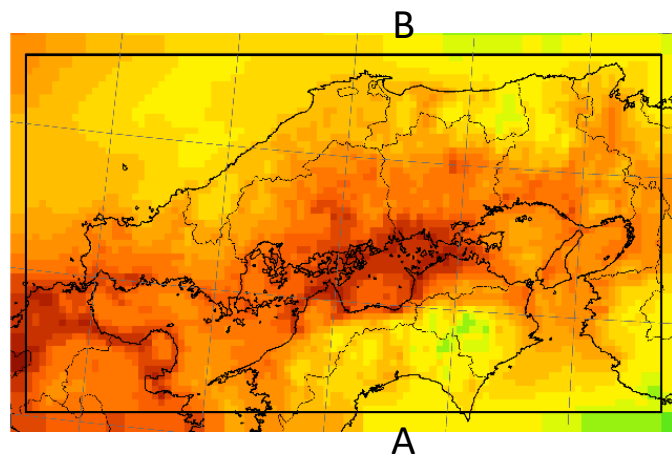
- 地域差 ⇒ 地域汚染日 > 高濃度日 > 年平均

- 瀬戸内地域の気象特性が地域特有の高濃度に寄与することを示唆

# 5-1. 成果の概要(大気質モデル):

## PM<sub>2.5</sub>濃度と規制効果の空間分布(地域汚染日平均)

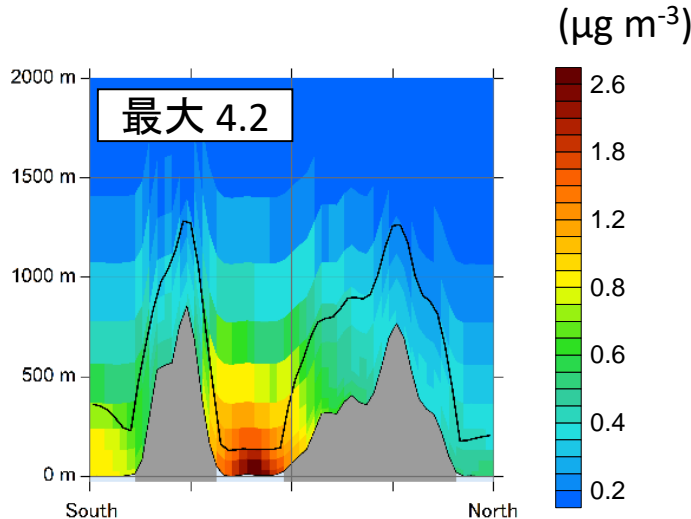
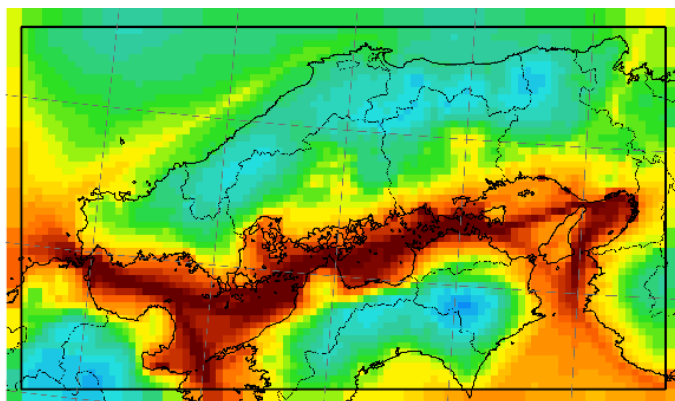
### PM<sub>2.5</sub>濃度(2019年)



### 領域内のS排出量 (GgS/yr)

➤ 規制前  
合計: 106  
船舶: 34 (32%)

### PM<sub>2.5</sub>濃度低減効果

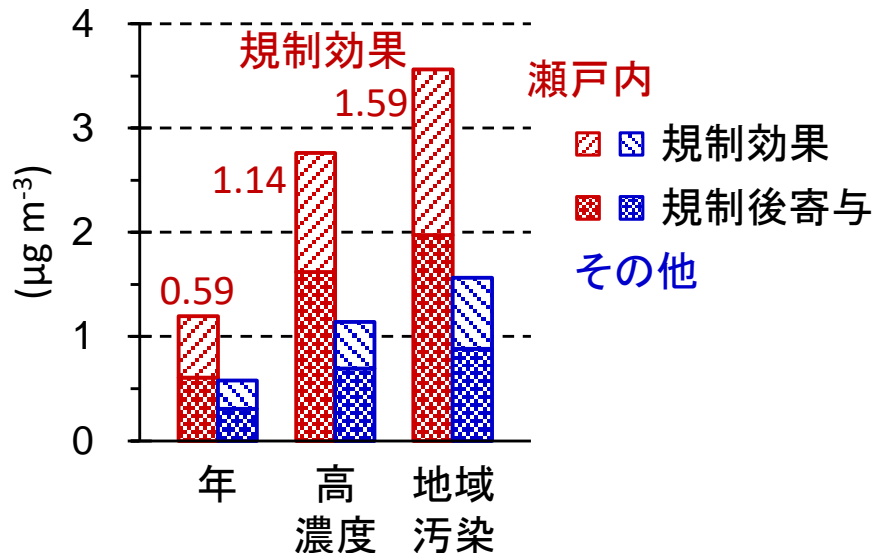


➤ 規制強化後  
合計: 80  
船舶: 8 (10%)

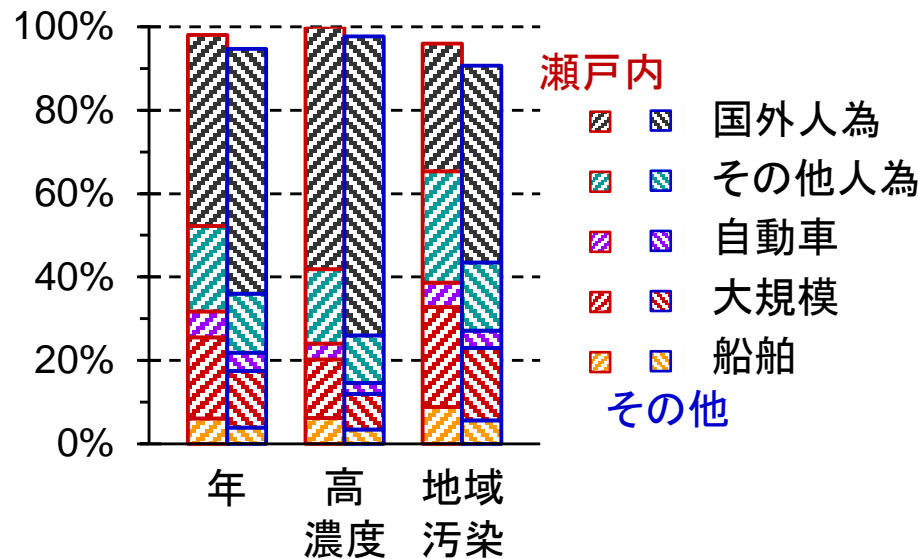
- ◎ 瀬戸内海とその沿岸の大気境界層内で高濃度PM<sub>2.5</sub>
- ◎ 規制強化の効果は航路付近で大きいですが, 沿岸・内陸でも二次生成成分が低減



船舶排出の規制効果と規制強化後寄与

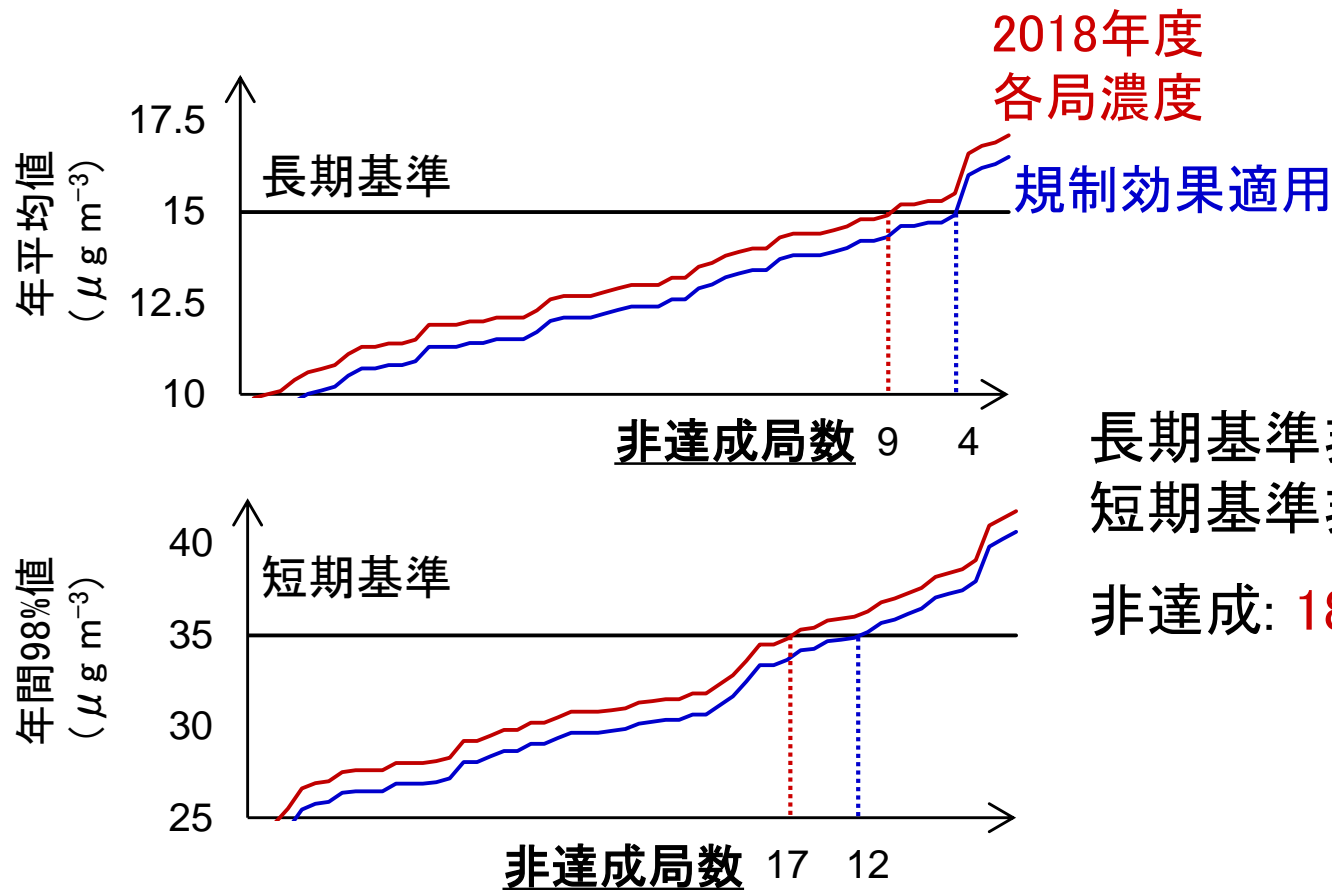


規制強化後の発生源別寄与率



- 瀬戸内地域, 地域汚染日で高い規制効果
  - 国内対策効果を適切に評価する上で滞留性の考慮が重要
- 規制効果で瀬戸内地域における船舶寄与が低下 ⇒ 規制強化の効果
  - 規制前: 11, 10, 15% → 規制強化後: 6, 6, 9% (年, 高濃度日, 地域汚染日)
- 瀬戸内地域・地域汚染日における規制強化後の寄与は, 大規模固定発生源 (24%) が国外人為起源 (31%) に匹敵して多い ⇒ 対策の方向性
  - 特に電気業の排出割合は最も多い (NO<sub>x</sub>: 26%、SO<sub>2</sub>: 45%、PM<sub>2.5</sub>: 14%)

- 2018年度の瀬戸内地域におけるPM<sub>2.5</sub>測定局(58局)の環境基準達成評価値に規制強化の効果\*を一律に適用



長期基準非達成: 9局 → 4局  
 短期基準非達成: 17局 → 12局  
 非達成: 18局 → 13局

- 規制強化によって環境基準達成状況の改善に資する効果が得られることを確認

\*年平均値には年平均, 年間98%値には高濃度日の規制効果を適用

### 1. 船舶排出量データベースの構築

- 構築した船舶排出量データベースは既に一般に公開されており、国等で実施されているPM<sub>2.5</sub>対策に係る検討等において**順次使用されている**。

### 2. 2020IMO規制強化による瀬戸内地域での大気質改善効果の定量化

- **短期観測より**，規制強化により船舶排出ガス中のSO<sub>2</sub>濃度が大幅に減少し，沿岸大気質が改善したことがわかった。
- **長期観測より**，規制強化は大気中のSO<sub>2</sub>やヴァナジウム濃度の減少に寄与したことが示唆された。
- **モデル解析より**，地域特有の汚染状況下では規制強化によって船舶の寄与は15%から9%に減少し，これは2018年度における同地域の環境基準未達成局を18局(全58局中)から13局に減少させる効果に相当することを明らかにした。

### 3. 瀬戸内地域での更なる大気汚染対策の方向性について

- 規制強化後，地域特有の汚染状況下においては，**大規模固定発生源の寄与率(約24%)**は国外人為起源の寄与率(約31%)に近い値であり，国内では今後のPM<sub>2.5</sub>対策における**優先順位が高い発生源**であることを示した。

## 6. 研究成果の発表状況

査読付き論文	3 件
その他誌上発表(査読なし)	1 件
口頭発表(学会等)	28 件
「国民との科学・技術対話」の実施	1 件

<https://corec.meisei-u.ac.jp/sangaku-2018>



日野市、青梅市の企業様向け  
**明星大学理工学部**  
**産学交流会**  
 2018  
**6/16** 土  
 明星大学 (日野校)

明星大学理工学部には、「どんな研究者がいる?」「どんな研究設備がある?」を知ることができる、産学交流会を日野市及び青梅市の企業様向けに開催いたします。是非ご参加ください。

日時: 2018年6月16日(土)

会場: 明星大学 29号館15階

(東京都日野市程久保2-1-1) 交通アクセス , キャンパスマップ 

主催: 明星大学

共催: 日野市、青梅市、日野市商工会、青梅商工会議所

対象: 日野市・青梅市の企業、自治体、商工会

定員: 50名

問合せ先: 明星大学 連携研究センター事務室

tel: [042-591-5639](tel:042-591-5639) e-mail: [liaison@meisei-u.ac.jp](mailto:liaison@meisei-u.ac.jp)

### (1)産学連携事例紹介 (15:00~15:50)

事例紹介①「コンピュータ支援機械設計と加工に関する産学連携事例」

機械工学系 教授 高三徳 (教員情報 )

連携キーワード: 機械設計開発、自動精密切削、ソフトウェア応用と開発、技術支援と技術者育成

事例紹介②「大気汚染物質の排出規制に係る産学連携の事例紹介」

(NEDO 平成25年度 地熱発電技術研究開発、環境省 平成30年度 環境研究総合推進費 採択事業)

環境科学系 准教授 櫻井 達也 (教員情報 )

連携キーワード: 環境動態解析、環境影響評価、環境技術・環境負荷低減、環境モデリング

聴講者: 50名

