

MD3 大気質シミュレーションに基づく船舶燃料油硫黄分規制強化による瀬戸内地域の大気質変化の評価

Evaluation of the contribution of stricter regulation on sulfur content in marine fuel to change of air quality in the Setouchi region based on air quality simulation

指導教員 嶋寺光教授・共生環境評価領域

28H21059 平井賢治 (Kenji HIRAI)

Abstract: Under the regulations of MARPOL Annex VI, the maximum sulfur content in marine fuel oil was reduced from 3.5% to 0.5% after 2020. This study used an air quality model called CMAQ to evaluate the contribution of the stricter regulation to air quality change in the Setouchi region with heavy ship traffic volume. Air quality simulations showed that meteorological fields had a significant effect on changes in atmospheric concentrations in the years from 2019 to 2020; secondarily generated SO_4^{2-} concentration was greatly reduced by stricter regulation; and the reduction in the concentration of primary emitted SO_4^{2-} and secondarily generated SO_4^{2-} in the Setouchi region was remarkably larger than that in the surrounding areas.

Keywords: $\text{PM}_{2.5}$, Sulfate, Ship emissions, Air quality model, Setouchi region

1. はじめに

日本における $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は減少傾向にあるが、瀬戸内地域では他地域に比べて $\text{PM}_{2.5}$ の環境基準達成率が低い。瀬戸内地域は、排出特性である船舶航行および大規模煙源の集中と、気象特性による空気塊の滞留の影響によって、地域的な高濃度大気汚染が発生しやすいと考えられる。2020年1月以降、MARPOL条約付属書VIの規制により船舶燃料油中の硫黄分の上限が3.5%から0.5%へ引き下げられた。この船舶燃料油硫黄分規制強化（以下、規制強化）により船舶の排出が減少し、大気質の変化が予想される。そこで本研究では、瀬戸内地域において大気質シミュレーションを行い、規制強化による大気質変化を評価した。 $\text{PM}_{2.5}$ の主成分であり、規制強化が影響すると考えられる SO_4^{2-} については、詳細な解析を行った。

2. 方法

気象モデルには WRF v3.8、大気質モデルには CMAQ v5.3.3 を用いた。計算期間は、2019年と2020年とした。計算領域は、東アジア領域、九州～関東領域、瀬戸内周辺領域の3領域とした。本研究では、瀬戸内地域として概ね山口県から岡山県、および愛媛県から徳島県の瀬戸内海沿岸から5 km未満の範囲を設定し、比較対象のその他中国四国地域として瀬戸内海沿岸から20 km以上離れた地域を設定した。日本における人為起源排出量の作成には、船舶は GLIMMS-AQ インベントリ¹⁾、その他の排出部門は J-STREAM インベントリ²⁾を用いた。計算ケースについて、WRFで作成した気象場を2019年、2020年とするケースをそれぞれ M19、M20、日本における船舶排出量の推計基準年を2015年、2020年とするケースをそれぞれ E15、E20とした。これらを組み合わせ、M19E15、M19E20、M20E15、M20E20の4ケースを設定した。瀬戸内周辺領域における E15 と E20 の排出量は、 SO_2 でそれぞれ 207 Gg/y と 158 Gg/y (24%減)、一次 $\text{PM}_{2.5}$ でそれぞれ 27 Gg/y と 20 Gg/y (26%減) となった。2019年から2020年にかけての大気質変化は、規制強化によるものと気象変化によるものをそれぞれ各ケースの濃度計算値の差で評価した。また、CMAQの Sulfur Tracking Method を用いて SO_4^{2-} 濃度を、瀬戸内周辺領域で排出され

た1次排出、同領域で化学反応によって生成された2次生成、同領域の外から流入した境界流入の3つに分類した。

3. 結果と考察

規制強化のみによって、年平均 SO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_4^{2-} 濃度は瀬戸内地域でそれぞれ 0.67 ppb (18%)、 $0.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (6%)、 $0.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (9%) 減少し、その他中国四国地域でそれぞれ 0.12 ppb (12%)、 $0.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3%)、 $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (6%) 減少した。図1に、瀬戸内地域における SO_4^{2-} 月平均濃度変化を示す。規制強化のみによる濃度変化は、船舶排出量削減を反映して全ての月で減少となった。気象変化による濃度変化は規制強化による濃度変化と比較して月変動が大きく、観測値は気象変化の影響を受けることを考慮すると、規制強化のみによる濃度変化の評価には、本研究のようなシミュレーションを用いた比較が適しているといえる。図2に、規制強化のみによる年平均 SO_4^{2-} 濃度変化の分布を示す。規制強化によって、1次排出、2次生成、境界流入の SO_4^{2-} 濃度は瀬戸内地域でそれぞれ $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 減少し、その他中国四国地域でそれぞれ $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 減少した。1次排出、2次生成 SO_4^{2-} 濃度は、瀬戸内地域においてより大きく減少した。2次生成 SO_4^{2-} 濃度は最も大きく減少し、1次排出よりも広範囲に分布している。 SO_2 濃度は瀬戸内海を中心に分布しており、船舶から排出された SO_2 が沿岸、内陸へと輸送される過程で SO_4^{2-} へと変質していると考えられる。

4. 結論

本研究の結論を、以下にまとめる。

- 大気濃度変化には気象が大きく影響しており、排出規制効果の評価にはシミュレーションを用いた比較が適していることがわかった。
- 規制強化によって1次排出および2次生成 SO_4^{2-} 濃度は、瀬戸内地域において大きく減少した。
- 規制強化による SO_4^{2-} 濃度変化は、2次生成の減少が最も大きかった。

参考文献

- 1) Tatsuya Sakurai, Miu Ito, and Shinichi Hanayama: Development of Air Pollutants Emission Inventories for Ships around Japan on a High Geographical Resolution, Asian Journal of Atmospheric Environment, 15(1), 102-109, 2020.
- 2) Satoru Chatani, Hikari Shimadera, Syuichi Itahashi, and Kazuyo Yamaji: Comprehensive analyses of source sensitivities and apportionments of $\text{PM}_{2.5}$ and ozone over Japan via multiple numerical techniques, Atmospheric Chemistry and Physics, 20, 10311-10329, 2020.

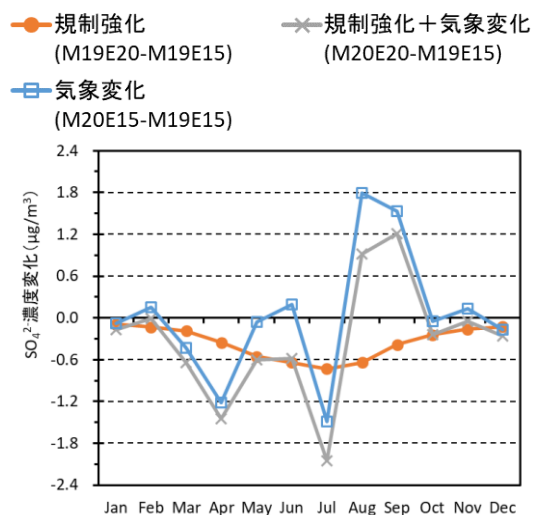
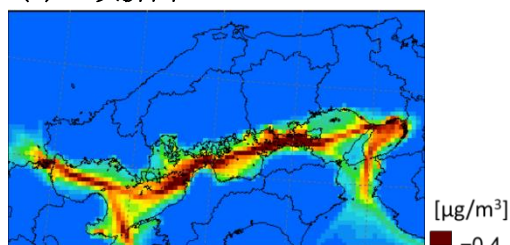
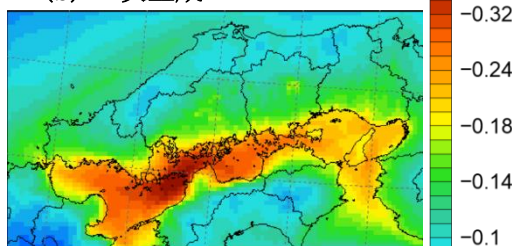


図1 瀬戸内地域における SO_4^{2-} 月平均濃度変化

(a) 1次排出



(b) 2次生成



(c) 境界流入

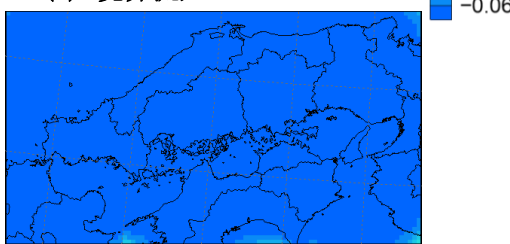


図2 瀬戸内周辺領域における年平均 (a) 1次排出、(b) 2次生成、(c) 境界流入 SO_4^{2-} 濃度変化 (M19E20-M19E15) の分布