

高架橋を含む道路における大気質の測定と CFD 解析

Observation and CFD Analysis of Air Quality along Roads with Viaducts

学生会員 ○高倉 悠太郎 (大阪大学)

学生会員 中川 雅也 (大阪大学)

正会員 松尾 智仁 (大阪大学)

正会員 嶋寺 光 (大阪大学)

正会員 近藤 明 (大阪大学)

Yutaro TAKAKURA*1 Masaya NAKAGAWA*1 Tomohito MATSUO*1

Hikari SHIMADERA*1 Akira KONDO*1

*1 Osaka University

To accurately evaluate roadside air pollution, it is necessary to take into account chemical reactions and radiations. Some CFD models considering them have been proposed, but few has been validated by comparing to field measurements. In this study, the accuracy of the model was evaluated by comparing roadside air pollution measurements and the simulation. Some of the characteristics of roadside air pollution such as high concentration of NO_x due to the vehicles and low O₃ concentration due to NO tightening were successfully reproduced. However, the concentration distribution of pollutants had some errors between the measured and calculated results. One possible reason for this is the inaccuracy of the geometrical model.

はじめに

近年、都市部の沿道大気質は改善しているが、いまだ局所的な大気汚染は存在している¹⁾。また、交通量の多い幹線道路では渋滞緩和のため高架橋が建設されており、道路周辺の建物や高架橋は道路周辺の流れを複雑にするため、沿道大気質の予測を困難にする²⁾。そのため、高架橋を含み汚染物質が高濃度で確認されている国道43号線を本研究の対象地域とした。街区スケールにおける大気質を正確に評価するためには、流れに加えて化学反応、放射計算を考慮する必要がある。そして、複数地点での測定による化学反応、放射計算を考慮したCFDモデルの検証はあまり行われていない。そこで本研究では、CFDモデルの精度検証を目的として、沿道で複数地点での大気質の測定実験とCFDシミュレーションの比較を行った。

1. 測定実験

1.1 実験目的

本実験は、沿道大気質を評価するCFDモデルを検証するための測定データを得ることを目的としている。そこで、大気汚染物質の簡易センサーを用いて4地点での同時測定を行うことで、道路近傍での汚染物質濃度分布を測定した。加えて、道路における自動車からの汚染物質の発生量および汚染物質の輸送を支配する都市気象を把握するため、交通量、温度、湿度、風速、風向の測定を行った。

1.2 実験条件

2021年6月15日の7時から20時にかけて、大阪市西淀川区にある出来島小学校付近の国道43号線周辺の4地点(国道沿道2点、国道に面しない地点2点)でNO、NO₂、Ox(本測定においては、O₃とNO₂の和)、PM_{2.5}の濃度、交通量(国道高架下の道路のみ)、風速・風向(地点Aのみ)の測定を行った。また、出来島小学校には自動車排出ガス測定局(自排局)が設置されており、NO、NO₂、O₃、PM_{2.5}などが測定されている。図-1に測定地点を示す。

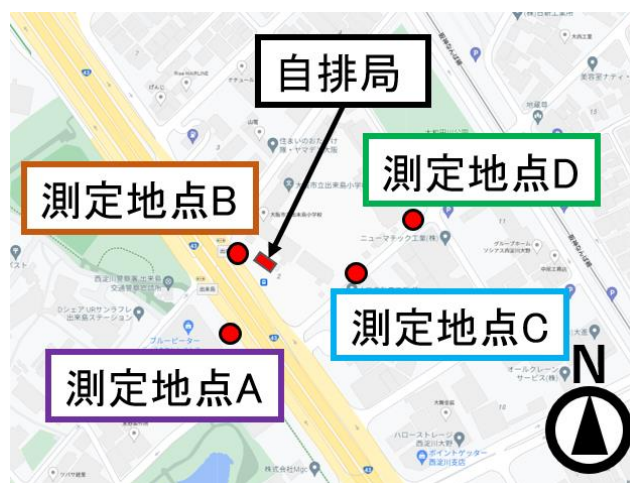


図-1 測定地点

2. CFD モデル

2.1 モデル概要

本研究での CFD 計算の流れとして、まず対象領域の形状データを作成した。次に、気象・大気質モデルを用いて算出した風速、風向、気温、放射量、汚染物質濃度を境界条件として使用した。また、交通量と排出係数³⁾から算出した排出量も CFD モデルに入力した。CFD モデルでは、温熱気流計算や放射計算、汚染物質の輸送・反応による各汚染物質の濃度変化の計算が行われ、温熱気流場、濃度場が算出される。

2.2 計算条件

計算領域は測定実験を行った周辺とし、図-2、3に示すように x, y, z 方向に 840m, 750m, 80m、解析領域は測定地点を概ね中心として x, y, z 方向に 240m, 150m, 20m である。道路排出の発生エリアは地上道路、高架橋道路でそれぞれ西側、東側の 4 か所ある。計算期間は測定期間に助走期間の 1 時間を加えた 2021 年 6 月 15 日 6 時から 20 時とした。

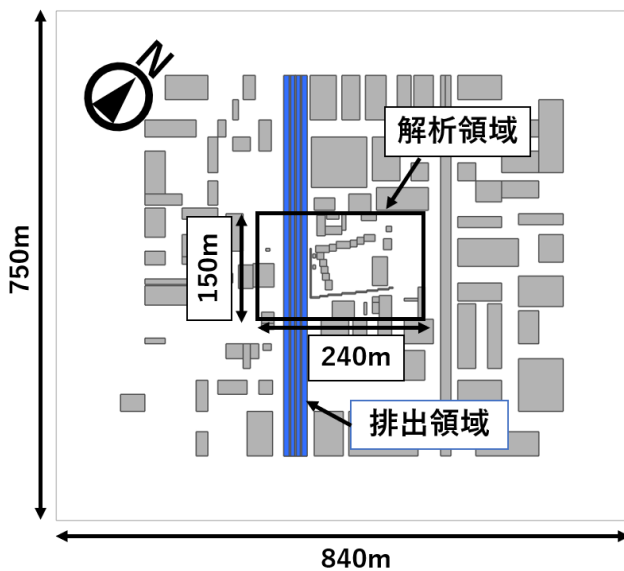


図-2 計算領域 (x-y 図)

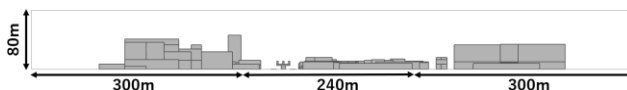


図-3 計算領域 (x-z 図)

3. 結果

3.1 測定結果

風速・風向は高さ 1m 程度で測定したため、建物の影響を大きく受けており、近傍の気象官署の測定値とは異なる傾向を示した。交通量測定での自動車の種類は、2 輪、軽乗用車、乗用車、軽貨物車、小型貨物車、普通貨物車、特殊車、バス、パッカー車の 9 種類とした。地点 A, B ともに朝の 8 時、9 時に交通量が多くなっていた。これは通勤で国道 43 号線を利用する人が多いためだと考えられ

る。また、地点 A の 19 時に交通量が多くなっていたのは、乗用車の割合が大きいため大阪方面から兵庫方面に帰宅する人が多いからだと考えられる。高架道路の交通量は測定できなかったため、交通センサスのデータ⁴⁾をそのまますべて高架橋の交通量として扱った。交通量から算出した排出量は、大型車の排出量が小型車の排出量よりも非常に多いため大型車の交通量に大きく依存する結果となった。大気汚染物質濃度の時間変動を図-4 に示す。NO は沿道で高くなる傾向が見られ、道路に対して自排局と同じ側で測定した地点 B では自排局と濃度がおおむね一致したが、道路の反対側に設置した地点 A ではやや異なるパターンが見られた。NO で 13~15 時頃に濃度が減少しているのは、14 時頃から風速が大きくなっていたため汚染物質が拡散したからだと考えられる。NO₂ は自排局の濃度と異なる結果となり、センサーの故障が疑われた。また、O_xについては測定結果と自排局でおおむね一致が見られた。さらに、NO 濃度が午後には低下しているのは、午前には O₃ の濃度が低いので NO のタイトレーションが起こりにくい、午後には O₃ の濃度が大きくなっておりタイトレーションが支配的になっているためだと考えられる。

— 自排局 — 地点 A — 地点 B — 地点 C — 地点 D

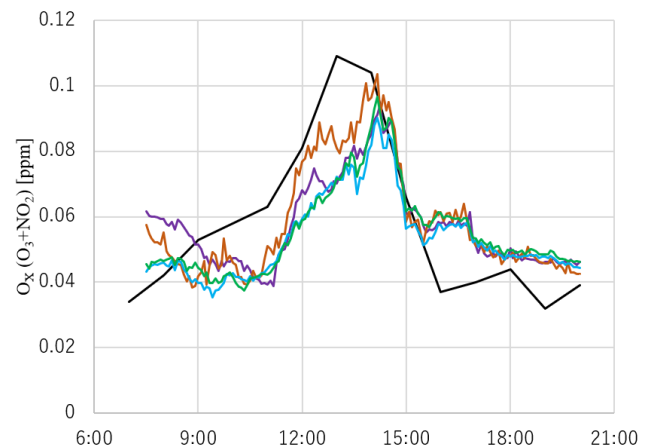
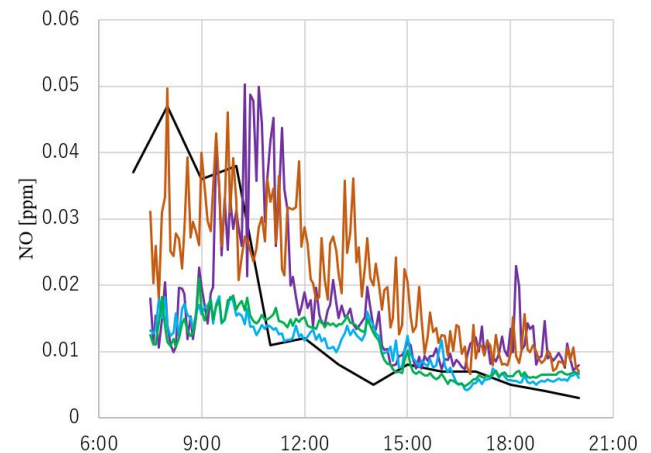


図-4 測定した NO, O_x 濃度の時間変動

3.2 計算結果

図-5に12時, 18時における自排局がある地点にあたる $y=77\text{m}$ の国道43号線に着目した風速・風向を示す。西側は風速が大きく道路に沿った風向であり, 東側は風速が12時では小さく, 18時では大きく高架橋の横に渦が形成された。高架橋によって道路の東西で流れのパターンに違いが生まれた。12時, 18時における $y=77\text{m}$ の大気汚染物質濃度分布を図-6に示す。NO, NO₂は東向きの風の影響で国道43号線の東側の方が西側より濃度が高くなっている。また, NO, NO₂は自動車から排出されるため道路近傍で濃度が高く, 高架橋上は交通量が多く防音壁に囲まれているため特に高濃度となっている。地上道路から排出されたNO, NO₂は国道43号線東側の測定地点B周辺に達し, 高架橋道路から排出されたNO, NO₂は自排局に達している。O₃濃度はNO濃度が高い地点で低くなっている。これは, 排出されたNOのタイトレーションによりO₃濃度が減少していると考えられる。

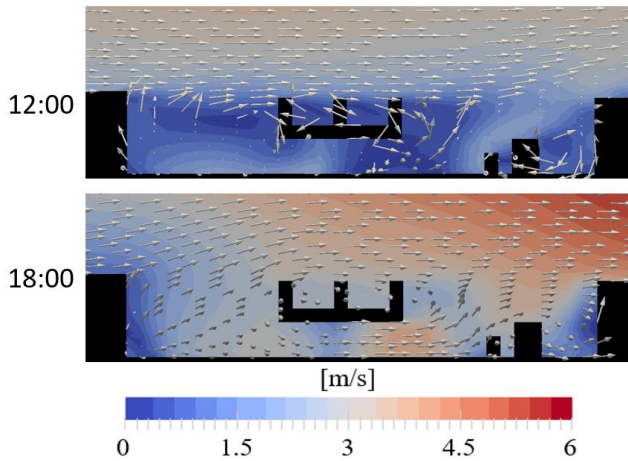


図-5 風速と風向 (x-z)

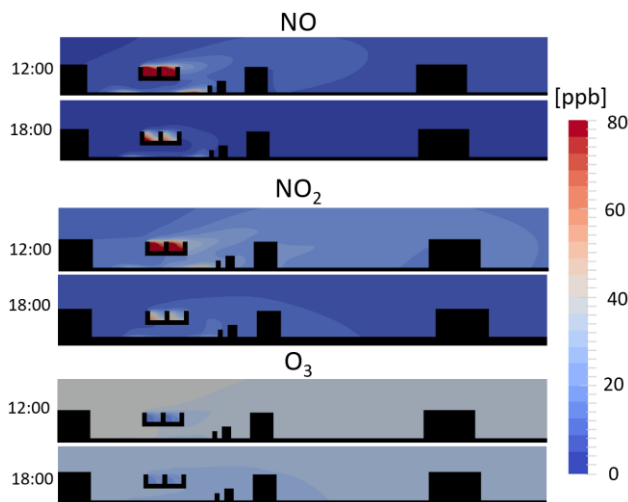


図-6 大気汚染物質の濃度分布 (x-z)

3.3 測定とCFD計算の比較

地点Aでの風速・風向を図-7に示す。風速は昼頃から大きくなっており, 夕方にピークを迎える傾向が測定と計算のどちらでも見られた。風向については測定と計算でおおむね一致した時間と真逆の風向となった時間があった。

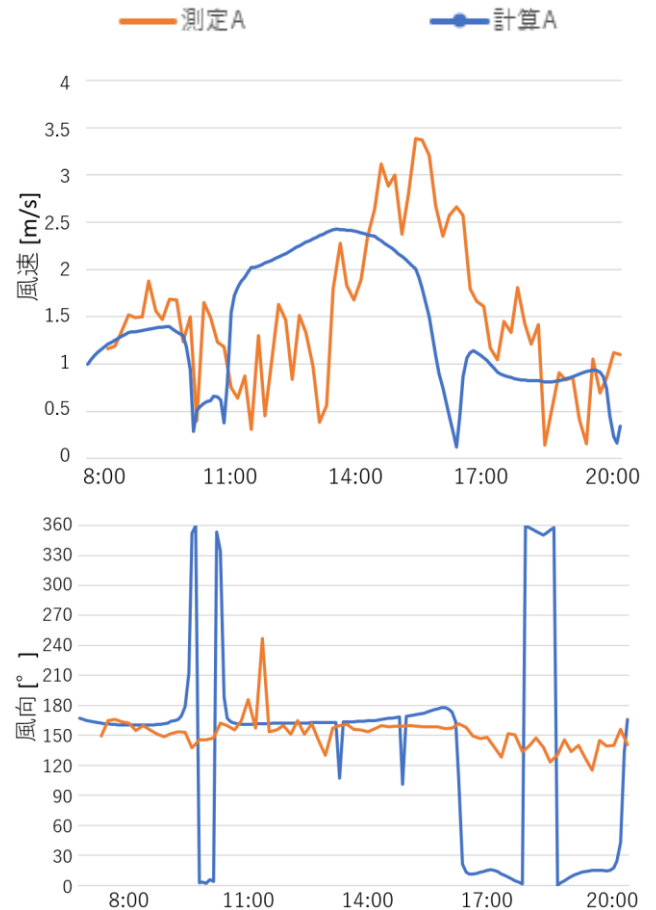


図-7 地点Aでの風速・風向の時間変動

図-8に大気汚染物質濃度を示す。NO, NO₂について, 測定結果では, 地点ABの方が地点CDより高濃度であったが, 計算結果では, 地点Bは地点CDより高濃度で, 地点Aは16時以前で地点CDより低い濃度となった。これは計算では, 地点A付近の風速が大きいため汚染物質が拡散されたためだと考えられる。また, 地点Bの午前中の計算結果にばらつきが見られた。さらに, 9時半あたりから約1時間濃度が急激に大きくなったり小さくなったりしていた。O_xについては他の汚染物質に比べると比較的, 測定結果と計算結果で一致が見られた。しかし, 全体的にみると, 汚染物質濃度の測定結果と計算結果はあまり一致しなかった。

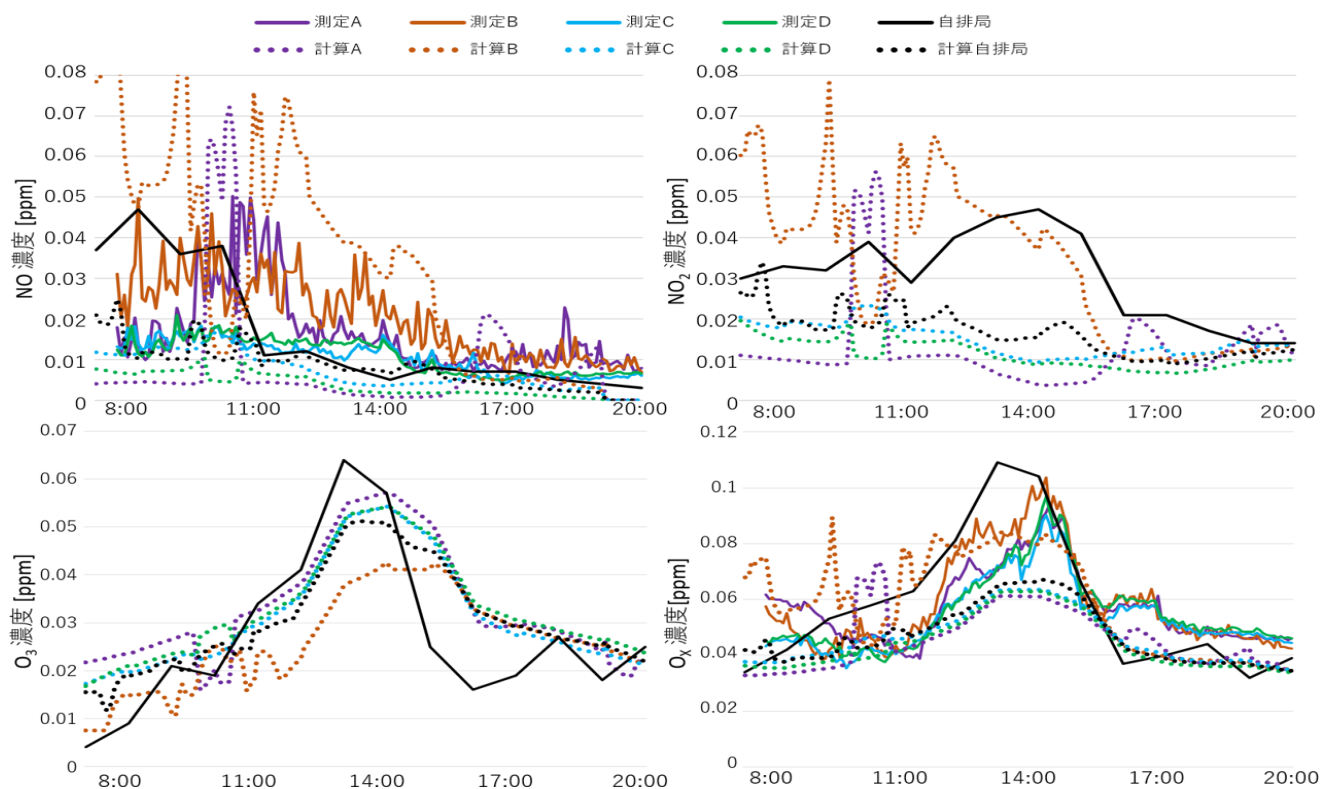


図-8 大気汚染物質の測定結果と計算結果の比較

前述したように汚染物質濃度の測定結果と計算結果があまり一致していないので、本研究で使用した CFD モデルが精度よく再現したと述べるのは難しい結果となった。しかし、高架橋を含む道路では、高架橋や周辺建物によって道路内に複雑な流れ場が形成され、道路近傍の渦により局所的な高濃度が発生することや、防音壁により高架橋道路およびその風下に高濃度が発生することといった高架橋を含む道路の特徴は再現された。また、自動車排ガス由来の NO は空気中の O₃ と反応し NO₂ を生成する現象は計算でうまく再現できた。これらのような定性的な傾向は捉えることができたと考えられる。そこで、本研究でうまく再現計算が出来なかった原因として、形状モデルが考えられる。今回の形状モデルは計算領域外の建物は再現したが、流れ場に影響を与える可能性のある樹木や自動車を再現していなかった。そのため流れ場の再現が十分でなかった。特に、国道 43 号線を横切る向きの風速が大きく、地点 A 付近では周辺環境や高架橋による渦が形成されず汚染物質の滞留が見られなかった。今後は、実際の流れ場が再現されるような形状モデルを作成し、精度よく再現計算を行うことを課題とする。

4. まとめ

本研究では、化学反応と放射計算を考慮した CFD モデルの精度検証を目的として、高架橋を含む道路において簡易センサーを用いた測定実験と CFD シミュレーションを実施した。

本研究の結論を以下にまとめる。

- 測定実験では自動車排ガスの寄与が大きい汚染物質は国道 43 号線沿いで濃度が高くなる傾向となった。
- CFD シミュレーションでは高架橋が流れ場に影響を与える様子や NO のタイトレーションなどが再現された。
- 形状モデルの再現が不十分であり、流れ場がうまく再現できなかったことで汚染物質濃度の測定結果と計算結果に誤差が生じた。

参考文献

- 1) Shima M, Adachi M, Indoor nitrogen dioxide in homes along trunk roads with heavy traffic, *Occup*, Vol.55, pp.428-433, 1998
- 2) C.F. Zhang, M Wen, J.R. Zeng, G.L. Zhang, H.P. Fang, Y. Li, Modeling the impact of the viaduct on particles dispersion from vehicle exhaust in street canyons, *Technological Sciences*, Vol.55, pp.48-55, 2021
- 3) 一般財団法人日本自動車研究所, 「自動車排出量推計業務(2010年版)」報告書, 2013
- 4) 大阪府都市整備部交通道路室, 全国道路・街路交通情勢調査表(交通センサス), <https://www.pref.osaka.lg.jp/attach/30327/00000000/cyosahyou.PDF>