

化学反応を考慮した実街区大気質の CFD シミュレーション

Air quality simulation of existing city block using chemistry-coupled CFD model

○学 田中 秀和^{*1}, 張 琦^{*1}
 松尾 智仁^{*1}, 嶋寺 光^{*1}, 近藤 明^{*1}
 Hidekazu TANAKA^{*1}, Qi ZHANG^{*1},
 Tomohito MATSUO^{*1}, Hikari SHIMADERA^{*1} and Akira KONDO^{*1}
^{*1} 大阪大学 Osaka University

In urban area, roadside air pollution is a serious environmental issue. In order to evaluate the roadside air pollution, it requires to consider the both of chemical reaction and shape of buildings. In this study, a chemistry-coupled CFD (computational fluid dynamics) model was applied to assess the roadside air quality in a real situation. CBM-IV (Carbon bond mechanism IV) was used as the chemical reaction model coupled to the CFD model. The performance of the chemistry-coupled CFD model was tested in Umeda-shindo (Osaka prefecture), where roadside monitoring station is located, 24 hours on 23rd August 2010. The boundary conditions were calculated by air quality model WRF-CMAQ (Weather Research and Forecasting - Community Multiscale Air Quality Modeling System). Results showed that comparing with the observation data, the chemistry-coupled CFD results showed better accuracy in NO_x concentration than the WRF-CMAQ data. In a real situation, the building geometry and mobile emission were found to have great impacts on the urban air quality in the CFD simulation, emphasizing the importance to assess the roadside air pollution with high spatial resolution.

Key Words : CFD, WRF-CMAQ, Roadside air quality, CBM-IV, Chemical reaction,

1. 結 言

都市部において、NO_xやO₃による大気汚染が問題となっている。特に、沿道における自動車による局所的な大気汚染は観測が難しく、その実態が明らかではない。主に自動車から排出される汚染物質による局所的大気汚染を正確に評価するには、建物形状と化学反応の両方を考慮する必要があるが、従来のモデルは水平メッシュ解像度が1~数十 km と建物形状を再現できないため適さない。そこで本研究では、1~数十 m 程度の水平メッシュ解像度を扱うことのできる数値流体力学 (CFD) モデルに化学反応モデルを組み込むことで、実街区の大気質シミュレーションを行った。

2. 数値計算方法

本計算では、化学反応モデルを組み込んだ CFD モデルを用いて大気質シミュレーションを行った。CFD モデルでは、乱流モデルに標準 k-ε モデルを用い、日射と長波放射を考慮して温熱環境が計算される。化学反応モデルには Carbon Bond Mechanism, version IV (CBM-IV)⁽¹⁾ を用いた。

解析日時は 2010 年 8 月 23 日 0 時から 24 時間とし、解析対象の緯度、経度はそれぞれ、北緯 34.00°、東経 135.50° であり、気温、風、及び大気汚染物質濃度の境界条件には、WRF-CMAQ の計算結果を用いた。計算領域は典型的なストリートキャニオンである大阪府大阪市の中心部である梅田新道沿道の梅新南交差点周辺とし、x、y、z 方向にそれぞれ 600、600、150m で、5 つの道路を含む。解析領域は x、y、z 方向にそれぞれ 200、200、60m で、22 個の建物を含む。図 1 は、(a) 計算領域の 3D 図、(b) 計算領域の x-y 図、(c) 計算領域の x-z 図であ

る。また、本計算で用いた汚染物質濃度の観測点の位置、観測値は、梅田新道自排局⁽³⁾のデータに基づき設定し、観測点を図1 (b), (c)に示す。

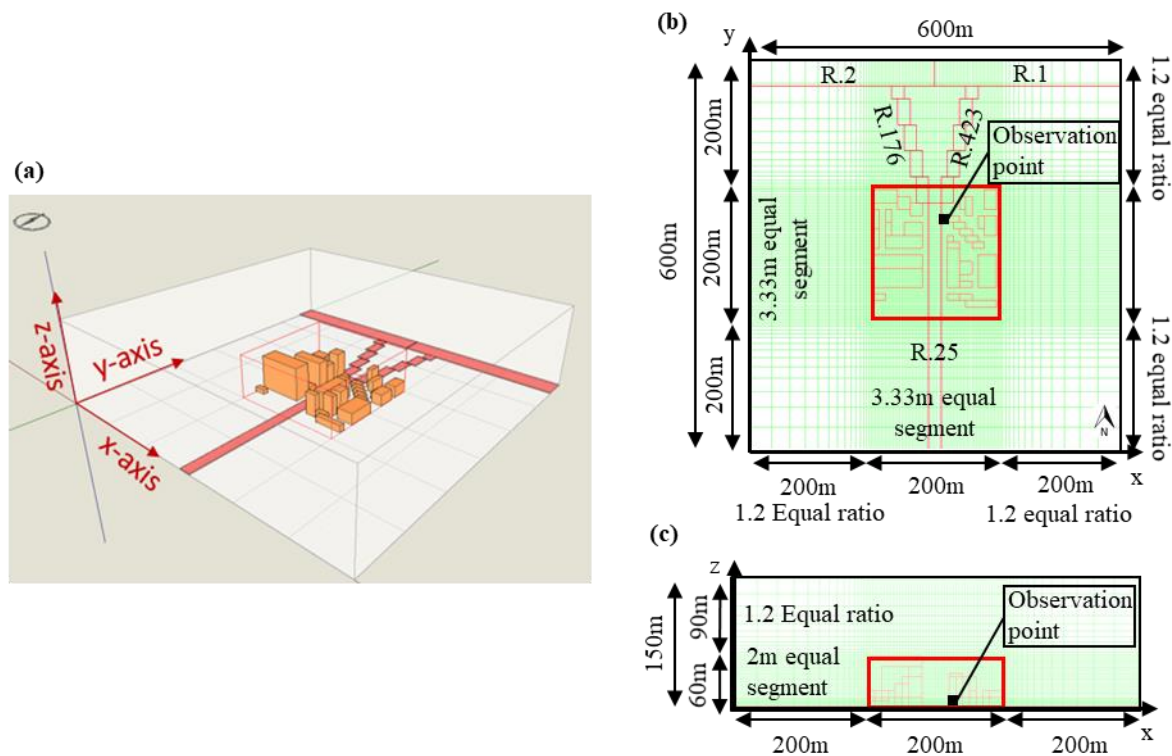


Figure1. (a) 3D model of Umeda-shindo, (b) x-y view, (c) x-z view of calculation area. Red square is Analysis area, and R1 means National route 1.

計算領域における車両の総排出量は、Japan Auto-Oil Program (JATOP)⁽³⁾ による排出インベントリより求め、国土交通省による各道路の台数データ⁽⁴⁾に基づき各道路に配分した。NO_xにおけるNOとNO₂の比率は、24時間の平均で約9:1であった。図2に、境界条件である(a)各道路からの排出量、(b)風速の日内変動を示す。

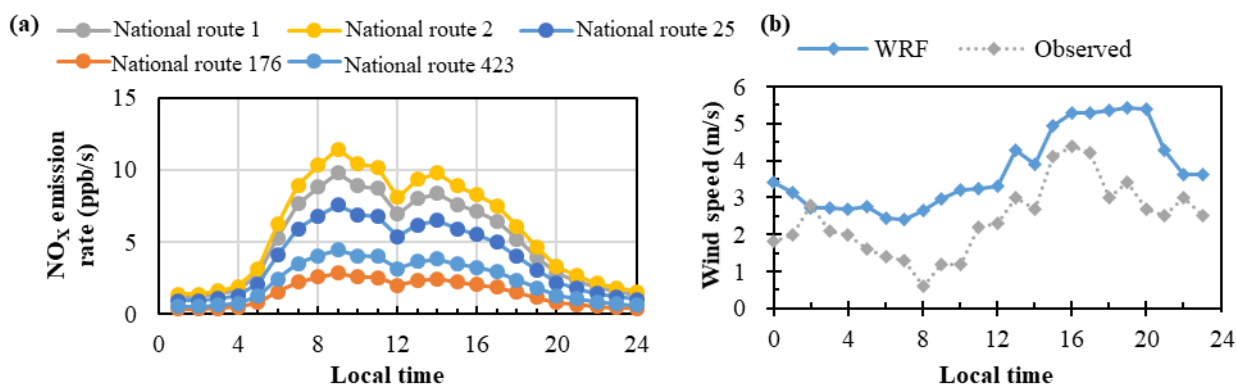


Figure 2. Diurnal variation of (a) each road NO_x emission rates, (b) wind speed on August 23, 2010.

3. 数値計算結果

CFD シミュレーションの風速、風向の結果に関して、図 2 (b)より 8 時から 12 時において全体的に風速が小さく、16 時から 20 時にかけて大きい値が見られた。風向は、一日を通して西から東へと概ね一定であり、これらは境界条件に起因するものであった。

汚染物質濃度の結果に関して、図 3 は、 $z=1.5\text{m}$ (観測点の高さ) における濃度分布の日内変動の x - y 図を示す。主に朝のラッシュ時の排出量の増加、風速の影響による汚染物質の滞留により、8 時から 12 時にかけて道路に高濃度の NO_x が見られた。その後、20 時においては NO のタイトレーション効果によって、依然として高濃度の NO_2 濃度が観測された。また、タイトレーション効果によって O_3 濃度は一日を通して NO_2 濃度分布と逆の濃度分布を示した。

次に、観測点の断面 A-A' における汚染物質濃度分布の x - z 図を図 4 に示す。 NO_x 濃度は、風向の影響により全体的に風下側で高濃度が観測された。特に高濃度を示す 8 時から 12 時において、道路からの排出の影響、風速の鉛直ベクトル成分が小さいことから、 NO_x 高濃度はキャノピー下側に見られた。16 時から 20 時では排出量は減少したものの、依然としてキャノピー上側に比べて下側で高濃度が観測された。

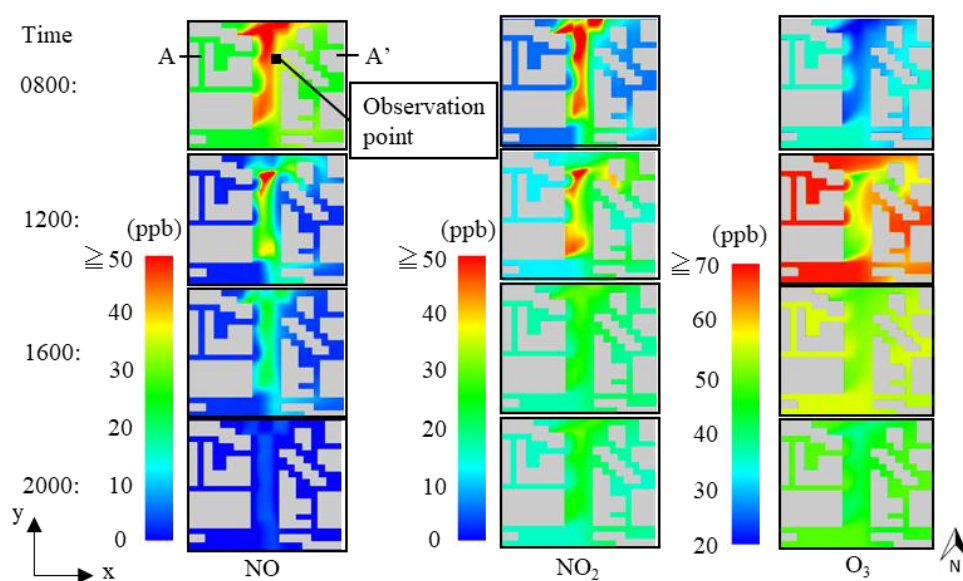


Figure 3. Concentration distribution in x - y view ($z=1.5\text{ m}$, observation point height)

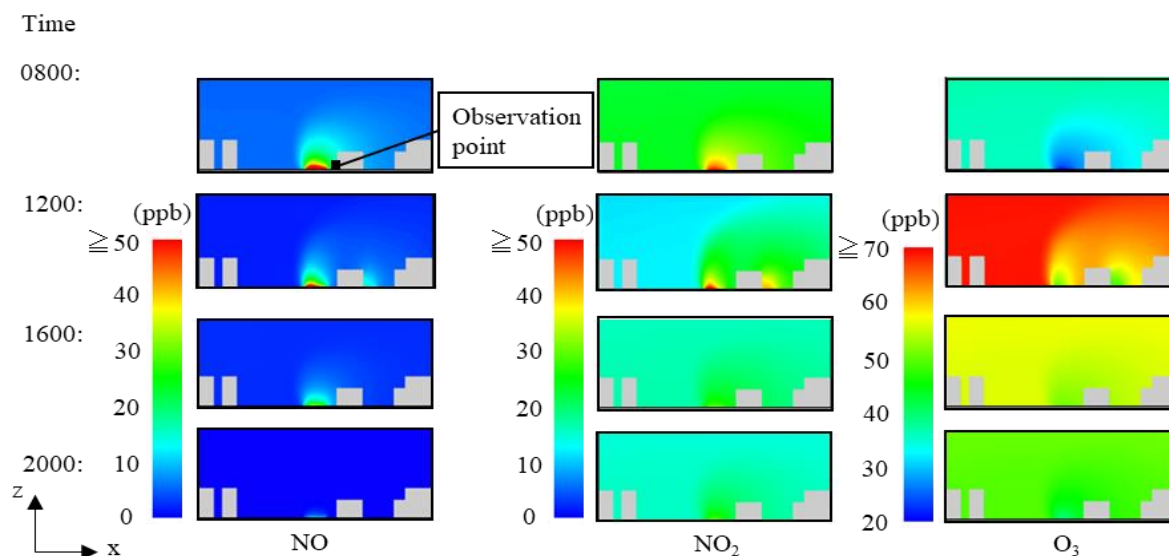


Figure 4. Concentration distribution in x - z view (observation point)

WRF-CMAQ の計算結果, 観測値, CFD の計算結果について, 観測点における汚染物質濃度を図 5 に示す. WRF-CMAQ による計算値と観測値を比較すると, NO 濃度は一日を通して, NO₂ 濃度は午前中に着目すると濃度増減の傾向を捉えているものの, 過小評価していることがわかる. また, CFD の結果と観測値を比較すると, NO 濃度は概ね一致し, NO₂ 濃度は 12 時から 18 時にかけて過小評価したものの, WRF-CMAQ の結果よりも再現性が良好であった. これらは, 細かいメッシュにおいて建物形状や化学反応, 排出量を考慮したためと考えられる. O₃ 濃度は観測値が無いため精度を評価できないが, WRF-CMAQ と CFD の結果の間に大きな差はなかった.

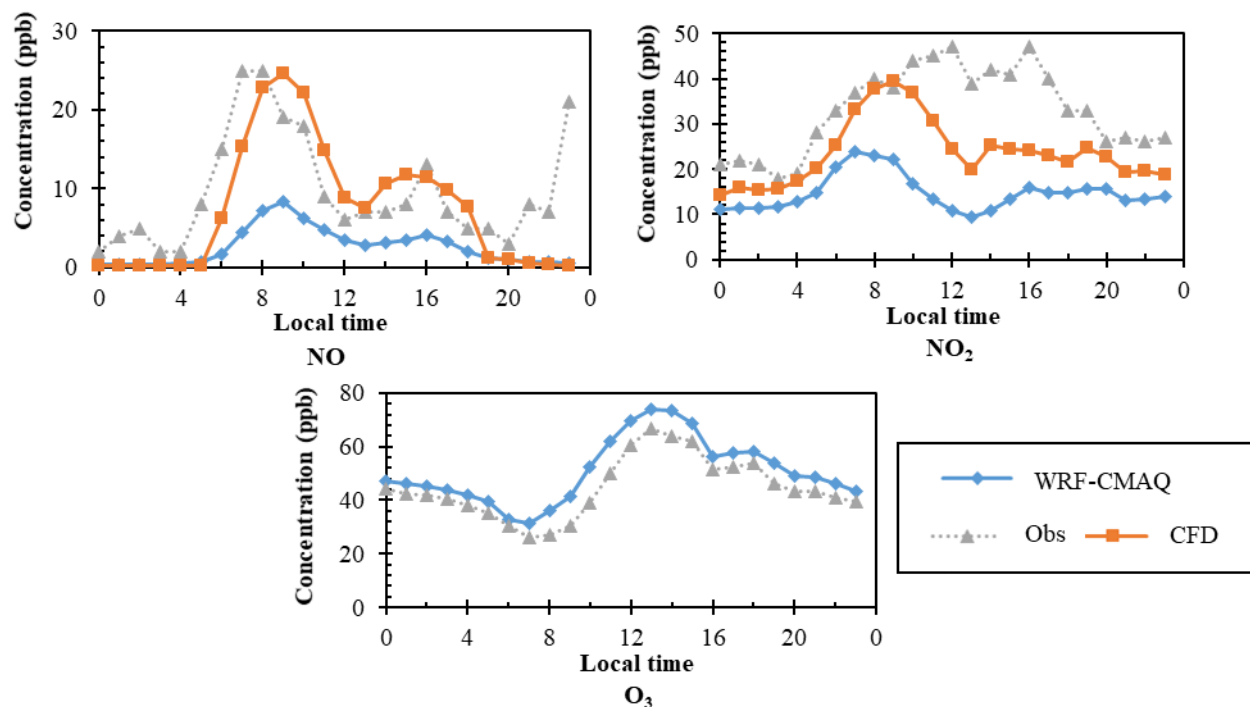


Figure 5. Comparison among the WRF-CMAQ (boundary condition), observed data and CFD calculation results at the observation point

4. 結論

本研究では, 細かいメッシュ解像度を扱うことのできる CFD モデルに化学反応モデルを導入して, 大阪梅田新道を対象とした 24 時間の大気質シミュレーションを行った.

WRF-CMAQ シミュレーションの結果に比べて CFD シミュレーションの方が汚染物質濃度において観測値との差は小さく, 特に自動車からの排出の大半を占める NO は観測値と概ね一致した.

本研究より, 建物形状などの幾何学的影響や化学反応, 自動車による排出は大気質の空間的変動に強く影響を与えることが明らかとなり, 空間高分解能での大気質評価の重要性を示した.

5. 参考文献

- (1) Michael W. Gery, Gary Z. Whitten, James P. Killus, Marcia C. Dodge: A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling, Journal of Geophysical Research, Vol.94, No.D10, pp.12925-12956, 1989.
- (2) 大気汚染物質広域監視システム (そらまめ君) ホームページ
<http://soramame.taiki.go.jp/DataList.php?MstCode=27101510>
- (3) (一財) 石油エネルギー技術センター, JATOP 技術報告書「自動車排出量推計」JPEC-2011AQ-02-06
- (4) 平成 22 年度 道路交通センサス
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/>