



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	地域スケール大気汚染現象の数値シミュレーション
Author(s)	大原, 利眞; 鶴野, 伊津志; 若松, 伸司
Description	第4回衛生工学シンポジウム (平成8年11月7日 (木) -8日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 3 計画展望、モデリング . 3-4
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 110-113
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7834">https://hdl.handle.net/2115/7834</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-3-4_p110-113.pdf



3 - 4

## 地域スケール大気汚染現象の 数値シミュレーション

大原 利眞 (財)計量計画研究所  
鶴野 伊津志、若松 伸司 (国立環境研究所)

### (1) はじめに

地域スケール(20~200Km程度)における大気汚染現象である光化学オキシダント(Ox)、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)、浮遊粒子状物質(SPM)、酸性霧・雨は、関東・関西地域等の大都市周辺地域において大きな問題となっている。このような大気汚染問題に対してメカニズム把握、影響予測評価、対策効果推計等をするためには、現象を精度良くシミュレート可能な予測モデルを構築することが極めて重要である。上記の汚染現象の何れもが光化学反応に起因する二次的な生成によることや対象地域の気流場が複雑であることから、それらに対応できるモデル化が必要であり、メソスケール数値気象モデル(Mesoscale Model; MM)と光化学反応を含む大気汚染物質の輸送モデル(Chemical Transport Model; CTM)を組み合わせた数値シミュレーションモデルが有効である。ここでは、この種のモデルにおける現状、基本フレーム、現況再現性、問題・課題等について報告する。

### (2) モデルの現状

アメリカやカナダでは、多数のメソスケールにおけるCTMが開発されている。例えば、光化学Ox予測用の代表的なモデルであるUAM(Urban Airshed Model)は、アメリカ環境保護庁(EPA)の推奨モデルとして数多くの地域に適用され豊富な実績を有しており、その最新版UAM-Vでは多くの改良が図られている。また、リージョナルスケールにおける酸性雨予測モデルとして開発されたCTM(例えばSTEM II)はメソスケールモデルとしても適用されている。我が国において実況の発生源データを用いたCTMによる夏季のシミュレーションとしては、Wakamatsu and Schere<sup>1)</sup>(関東地域にUAMを適用し、特別観測期間の高濃度Oxを再現計算)やChang et al.<sup>2)</sup>(2次元モデルを用いて東京湾地域から長野県に至る光化学Oxや二次生成粒子等の長距離輸送現象をシミュレート)がある。また、冬季のNO<sub>2</sub>高濃度現象を対象とした光化学反応モデルを含む3次元シミュレーション事例としては、近藤ら<sup>3)</sup>がある。以上のシミュレーション研究においては、特別観測やルーチン観測による実測風データをもとにマスバランスを考慮した客観解析により風場を与えている。特別観測による上層風の実測データがない場合には、ルーチン観測の地上風データ(AMeDAS、大気汚染常時測定局)や測定地点・頻度が少ない高層気象観測データのみから気流場を推計せざるをえなく、3次元空間分布を精度良く与えるのは難しい。このことは、風の立体構造が汚染物質の動態を支配することから、物質輸送シミュレーションにおいて大きな問題となる。この問題に対処する方法としてMMを使用し気流場を計算する方法が有効である。米国ではPielke et al.<sup>4)</sup>のRAMSやAnthes et al.<sup>5)</sup>のMM4等のMMを用い、4次元データ同化手法(FDDA)によって観測データをモデル内に取り込んで気流を計算しCTMの入力データとすることにより、良好な結果を得ている。

一方、光化学反応モデルについて見ると、1970年代には極めて簡略化されたモデルが利用されていたが現在では反応式数で100前後のものが用いられることが多い。比較的良く使用されるモデルとして、Gery et al.<sup>6)</sup>のCBM-IV, Lurmann et al.<sup>7)</sup>のCAL及び Stockwell et al.<sup>8)</sup>のRADM2をあげることができる。これらは各々、UAM-V, ADOM, RADM (ADOMとRADMはそれぞれカナダと米国の代表的な酸性雨予測モデル)で使用され、反応式数は81, 112, 154である。Dodge<sup>9)</sup>はこれらの反応モデルを比較検討し、著しく高濃度のNO<sub>x</sub>や芳香族炭化水素類が存在する場合を除くとO<sub>3</sub>, PAN, HNO<sub>3</sub>の生成量に関してはモデル間の違いが小さいことを示した。

著者ら<sup>10-15)</sup>は関東と関西地域において、FDDAを用いたMMと詳細な光化学反応モデルを含む3次元CTMを使用し実況の発生源データを与えてシミュレーション計算し現況再現性について検証した(表1)。以下、その事例について報告する。

### (3) CTMの基本フレーム

光化学O<sub>x</sub>やNO<sub>2</sub>を対象とした(雲・雨を含まない)CTMは、気象モジュール、発生源モジュール、反応モジュール、乾性沈着モジュール及び移流拡散・反応・沈着・発生過程を含む物質輸送方程式系を時間積分するドライバーモジュールから構成される。図1はデータ処理の流れを、表2は著者らが用いたモデル構成を示す。

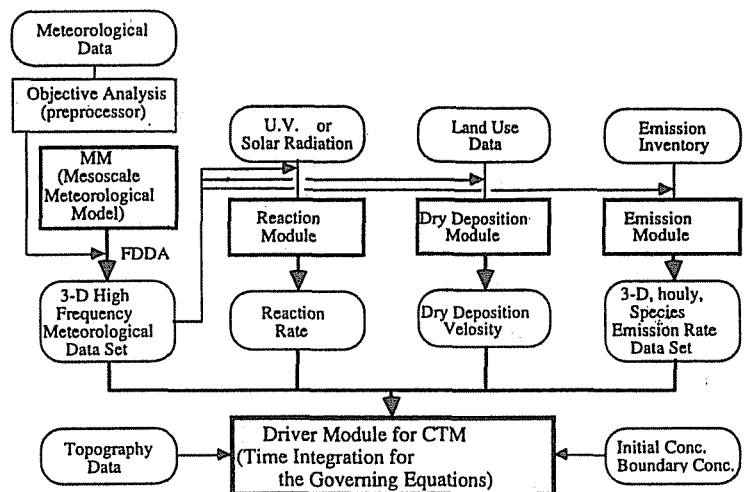


図1 CTMのデータ処理フロー図

表1 著者らによるメソスケール・シミュレーション事例

ケース名	A	B	C
<b>CTM</b>			
地域 (x, y, z)	関東 (200×280×2Km)	関東 (200×250×2Km)	関西 (115×110×3Km)
対象期間	夏季 1981年7月 1990年6, 7月	冬季 1990年12月	春季 1993年4月
テーマ	光化学O <sub>x</sub> 高濃度シミュレーションと感度解析	房総前線出現時のNO <sub>x</sub> 高濃度汚染のシミュレーション	春季NO <sub>x</sub> 高濃度汚染のシミュレーション
主要評価物質	O <sub>x</sub> , (NO <sub>2</sub> )	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> , (O <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> )
排出物質	NO <sub>x</sub> , NMHC(+生物)	NO <sub>x</sub> , NMHC	NO <sub>x</sub> , NMHC, SO <sub>2</sub>
グリッド構成 x, y, z	30×60×6	22×34×10 広域 24×38×10 狭域	25×24×10
検証用データ	大気常時測定データ 航空機観測データ	大気常時測定データ	大気常時測定データ 航空機観測データ
<b>MM</b>			
地域 x, y, z	600×570×8Km	600×570×8Km	320×390×8Km
グリッド構成 x, y, z	44×51×22	44×51×23	70×84×23
検証用データ	AMeDAS, 低層ソナー, RIM	AMeDAS	AMeDAS, 低層ソナー, RIM, レーダー

表2 CTMの構成

Meteorol. parameters	Wind and diffusivity Photolysis rate constant	Mesoscale numerical model(MM) with a four-dimensional data assimilation(FDDA). K <sub>1</sub> on the ground calculated based on the ultraviolet radiation intensity using the equation of Zafonte et al.(1977). Other photolysis rates on the ground and their vertical profiles calculated using the data table of Demerjian et al.(1980).
Dry deposition velocity		A resistance-based model of Wesely(1988) as a function of geophysical parameters, meteorological condition and pollutant characteristics.
Photochemical reaction scheme		CBM-IV scheme of Gary et al.(1989).
Emission	NO <sub>x</sub> NMHC	Estimation of the emission from moving and fixed sources. Anthropogenic emission from five major categories and biogenic emission estimated using the method of Pierce et al.(1990).
Initial and boundary concentrations		Initial and boundary concentrations determined based on surface monitoring data and aircraft observations.
Coordinate system		• two-way nesting grid • z <sub>s</sub> system

(4) モデルの現況再現性

表1に示すシミュレーション・ケース毎のMM及びCTMによる現況再現結果は次の通り。

①ケースA(関東地域における夏季の光化学Oxシミュレーション)

<MM> FDDAなしで夜間の気流場を再現するのは難しいが、高層気象データ等を用いて取り込むことにより予測精度は大幅に改善される。

<CTM> 光化学OxとNO<sub>2</sub>濃度の地域分布や時間変動等に関する現況再現性は良好である(図2)。気象パターンの異なる5期間において同様な結果が得られる。また、航空機観測によって得られた上空濃度分布の変動パターンも定性的には再現される。

②ケースB(関東地域における冬季のNO<sub>2</sub>シミュレーション)

<MM> FDDAを用いることにより、房総前線の出現・移動・消滅過程及び前線北側の弱風域や接地安定成層を再現できる。

<CTM> 前線の変化に伴うNO<sub>2</sub>濃度分布変化が良好に再現される。地上濃度の時間変動パターンは実測とほぼ一致する(図3)。

③ケースC(関西地域における春季のNO<sub>2</sub>シミュレーション)

<MM> FDDAを用いない場合でも観測結果に一致した結果が得られるが、FDDAを用いると大気境界層の日変化を含めたモデル予測精度が改善される。

<CTM> 限られた地域では、NO<sub>x</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>及びNMHCについて良好な現況再現結果が得られる(図4)。また、NO<sub>2</sub>とO<sub>3</sub>の再現性は評価対象としたほぼ全域において良好である。

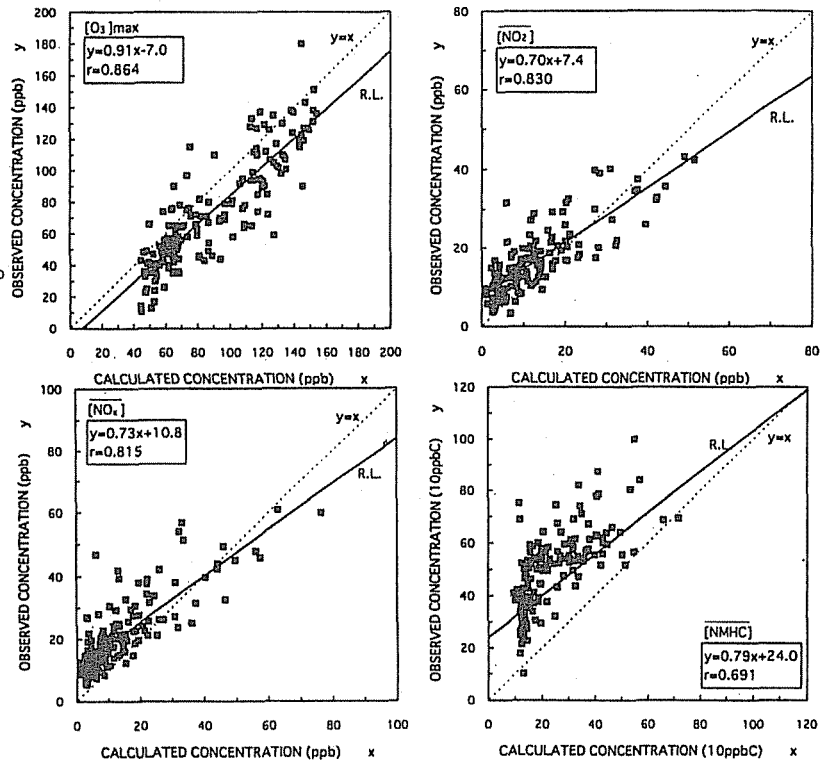


図2 ケースAにおける計算濃度と実測濃度の比較 (1981年7月17日)  
[O<sub>3</sub>]max.: O<sub>3</sub>日最高濃度, [·]: 日平均濃度

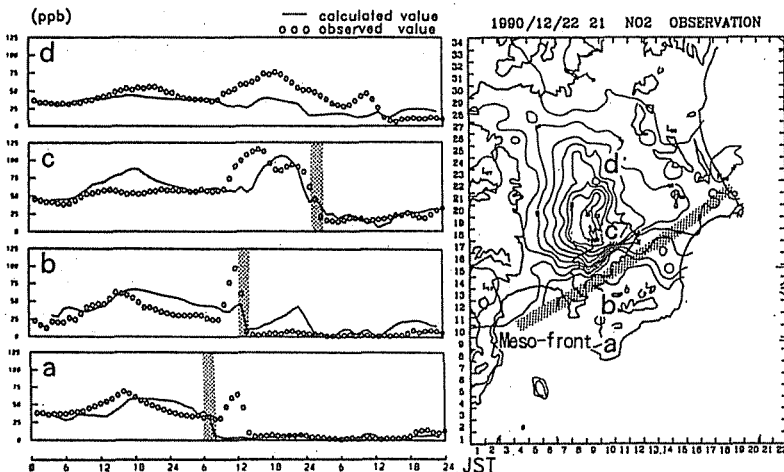


図3 ケースBにおけるNO<sub>2</sub>濃度の計算値と実測値の比較 (1990年12月21~23日)  
左図の網かけ部は房総前線の通過時間帯を示す。

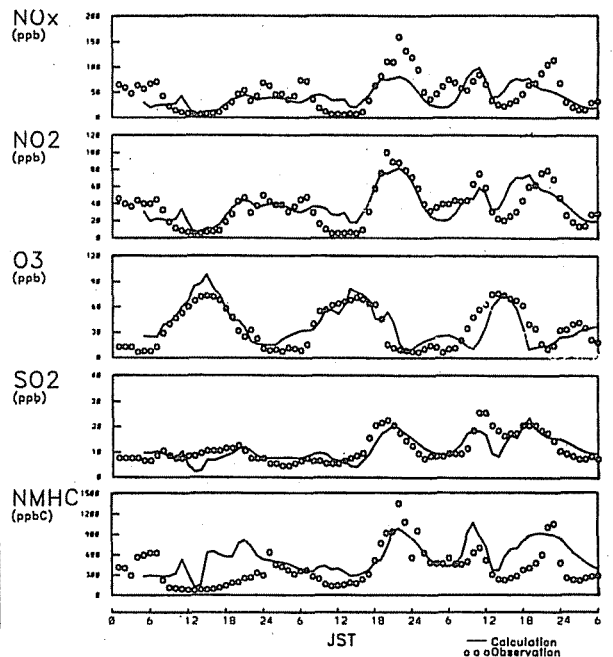


図4 ケースCにおける計算値と実測値の時間変動パターンの比較 (1993年4月18~20日)

#### ④まとめ

<MM> FDDAを用いたMMは、合理的な三次元気象場を生成しCTMのプロセッサとして有効である。但し、FDDAに用いるのに適当な実測データの時空間密度は対象とする地域や総観的な気象場によって異なる。なお、MM計算領域はCTM計算領域よりもかなり広域にとる必要がある。

<CTM> 一般的に、妥当な気象場(気流、拡散係数)で且つ実況を反映した発生源データを用いてCTMで計算された結果は、光化学O<sub>x</sub>とNO<sub>2</sub>については良好な現況再現性が得られる。一方、NMHC濃度の現況再現性はO<sub>x</sub>やNO<sub>2</sub>濃度に較べると悪い。なお、モデルの現況再現性をより客観的に評価するためには、複数の主要物質について計算値と実測値を四次元的に比較評価する必要がある。

#### (5) CTMの主な問題・課題

CTMに係わる主要な問題・課題を整理すると次のとおりである。

- ・排出量推計精度の向上 (特にNMHC等) ⇒ 年間排出量、時間変動パターン、組成分布の把握
- ・拡散係数推計精度の向上 ⇒ 安定成層時や都市域における推計方法の改良
- ・空間分解能による制約 ⇒ ネスティンググリッド、ハイブリッドモデル、フルム・イン・グリッド等の適用
- ・短期予測モデルとしての適用 ⇒ GPVの利用、高速演算化 等
- ・エアロゾルや酸性雨を含めたモデルの総合化 ⇒ ・物理/化学プロセスを把握した上での適切なモデリング  
・MMの改良  
・発生源データの整備 等
- ・シミュレーション解析手法の改良 ⇒ コンピューター・グラフィックスを用いた可視化

#### 文献

- 1) Wakamatsu and Schere(1991) EPA/600/3-91/015.
- 2) Chang et al.(1989) Atmos. Environ., 23.
- 3) 近藤、兼保、吉門、山本、鈴木(1996) 環境管理, 32.
- 4) Pielke et al.(1992) Meteor. Atmos. Phys., 49.
- 5) Anthes et al.(1987) NCAR/TN-282-STR.
- 6) Gery et al.(1988) EPA/600/3-88/012.
- 7) Lurmann et al.(1986) J. G. R., 91.
- 8) Stockwell et al.(1990) J. G. R., 95.
- 9) Dodge(1989) J. G. R., 94.
- 10) 鶴野(1995) 大気環境学会誌, 30.
- 11) 大原、若松、鶴野、安藤、泉川、神成、外岡(1996) 大気環境学会誌(投稿中).
- 12) 大原、鶴野(1996) (投稿準備中).
- 13) 大原、若松、鶴野(1995) 第36回大気環境学会講演要旨集.
- 14) 鶴野、大原、若松、松井(1996) 天気, 43.
- 15) 鶴野、大原(1996) 大気環境学会誌(印刷中).