

[研究報告]

気象モデル MM5 を用いた東アジア地域における気象場の再現

A modeling study for East Asia's meteorological field using MM5

桜井達也*, 韓志偉*, 松田和秀*

Tatsuya SAKURAI, Zhiwei HAN and Kazuhide MATSUDA

【要 約】長距離輸送モデルの精度向上を進めるにあたり、気象モデルの再現性に焦点を当て、東アジア地域における気象場の再現計算を行った。再現計算には現在最も使用されている気象モデルの MM5 を用いた。計算領域は北緯 36 度・東経 118 度を中心とした 4000×6500 km の領域で、計算格子は 50×50 km とした。鉛直方向は最上部 100 hPa までを 23 層に分割した。各気象要素の計算結果は、夏季、冬季を代表させた 7 月と 12 月ともに、観測結果に対して良い再現性を示した。特に、課題に挙げられる降水量の再現性は、計算結果が観測結果を過大評価する傾向が見られるものの、降水パターンや東アジア地域における分布を比較的良く再現した。水平・鉛直分解能や物理モデルのパラメータをさらに検証していく必要があるものの、MM5 を用いて再現された気象場は、長距離輸送モデルによる越境大気汚染の動態評価に十分適用できるものと考えられた。

キーワード：MM5、数値シミュレーション、長距離輸送モデル、東アジア、越境大気汚染

1. はじめに

東アジア地域では各国の経済成長に伴って、硫黄酸化物 (SOx) 及び窒素酸化物 (NOx) の排出量がこれからも増え続けることが予測されており¹⁾、越境大気汚染問題が現実の問題となりつつある。特に、東アジアの東端に位置するわが国では、大陸起源による越境大気汚染の影響を強く受ける。このため東アジア地域の、広域規模における越境大気汚染の動態解析が不可欠となっている。

大気汚染物質の発生から沈着に至る流れを定量的に評価するためには、数値シミュレーションによる解析が有効である。数値シミュレーションではソース・リセプター解析に代表されるような様々なシナリオ計算を行うことができるが、汚染物質の移流、拡散、大気中における化学反応過程を高精度で計算するためには、気象場 (気象要素の時空間分布) を詳細に計算できる気象モデルの開発が重要と考えられる。近年、「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク (EANET)」に代表される広域規模の観測網や、ACCESS (Ace-Asia and Trace-P Modeling and

Emission Support System)²⁾ や Klimont et al. (2001)¹⁾ に代表される発生源インベントリが整備されている中で、長距離輸送モデルの精度向上は、今後の東アジアにおける大気汚染の研究において不可欠である。

越境大気汚染に関する国際合意の形成を目的とした「東アジアにおける長距離輸送モデルの比較研究 (MICS-Asia)」では、これまで大気汚染物質の濃度と沈着量の計算結果に重点をおいて比較・検討が進められてきたが^{3, 4, 5)}、気象場の再現性の向上も併せて進めていくことが重要と考えられる。このような背景のもと、本研究では気象モデルの MM5 (the fifth-generation Mesoscale Model of non-hydrostatic version) を用いて、東アジア地域における高精度な気象場の再現を目的とする。MM5 はペンシルベニア州立大学米国大気科学研究センター (PSU/NCAR) で開発された気象モデルであり、無償で提供されている。また、MM5 は米国環境保護庁 (US-EPA) が開発を進めている大気質モデルである Models-3/CMAQ (the Community Multi-scale Air Quality model) の気象場再現モデルに用いられていることから、現在最も広く用いられている気象モデルの 1 つと言える。

* (財) 日本環境衛生センター・酸性雨研究センター
Acid Deposition and Oxidant Research Center, JESC

2. 計算方法

2. 1 気象モデルの概要

本研究で用いる MM5 は、流体の基礎方程式に基づいて大気の流れを計算する力学モデルと、力学モデルに現れる乱流項や非断熱加熱、雨滴の形成・消滅などを計算する物理モデルから構成される⁶⁾。

気象場の再現計算には土地利用・地形標高データ、海面温度データ、気象要素（気温、相対湿度、風向、風速、気圧）の客観解析データを入力データとして用いる。湿性沈着過程の計算に重要な降水量や雲量はこれらの入力データから計算されるため、気象場の再現計算では降水現象の再現性が大きな課題となる。

2. 2 計算条件

気象場の再現計算は図 1 に示すような、北緯 36 度・東経 118 度を中心とした 4000×6500km の領域で行った。計算領域の座標系はランベルト等角円錐図法とし、計算格子は 50×50km とした。鉛直座標は地形準拠座標系 (σ 座標系) とし、最上部 100hPa までを 23 層に分割した。地形準拠座標系ではモデルの最下層が地表面に一致するため、山岳地域に代表されるような複雑な地形を比較的忠実に再現することができる。土地利用・地形標高は米国地質調査所 (USGS) の土地利用情報を、海面温度は米国海洋大気局 (NOAA) の週平均海面温度データを、気象要素の初期・境界値には気象庁の全球客観解析データ (GANAL; 経緯度 1.25 度格子, 6 時間間隔) を採用した。計算対象期間は 2001 年の 7 月と 12 月の計 2 ヶ月間とし、同期間における気象要素の観測値を比較対象とした。

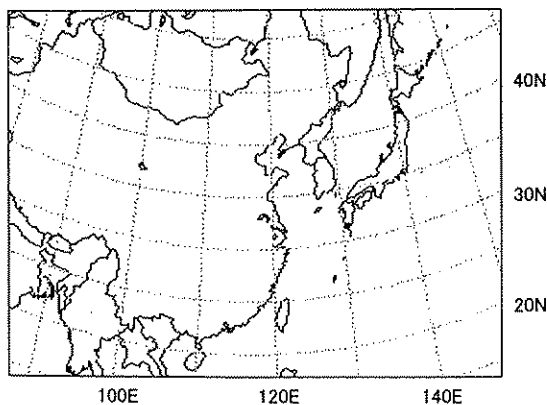


図 1 気象場再現計算の対象領域

3. 結果と考察

3. 1 モデル再現性の局地的評価

図 2 は、EANET サイトの佐渡関岬で観測された気象要素と MM5 の計算結果を比較したものである。初期・境界条件として用いた客観解析データに含まれる気温、湿度、風速、風向の計算結果は観測結果を妥当に再現した。特に、海沿いに位置する当サイトでは強い風速が観測されているが、計算結果は観測された風速・風向の日変化の特徴をよく再現した。課題に挙げた降水量の計算結果は、他の気象要素と同様、観測結果を妥当に再現した。特に、降水が多く観測された 12 月では、ピークにおける計算値は観測値よりもやや高い値を示したが、観測値の降水パターンを比較的良く再現した。

水平分解能が 50km ほどの計算条件下において、離島に位置する佐渡関岬を対象とした局地的な比較・検証を行ったが、計算結果は各気象要素の観測結果を妥当に再現したといえる。

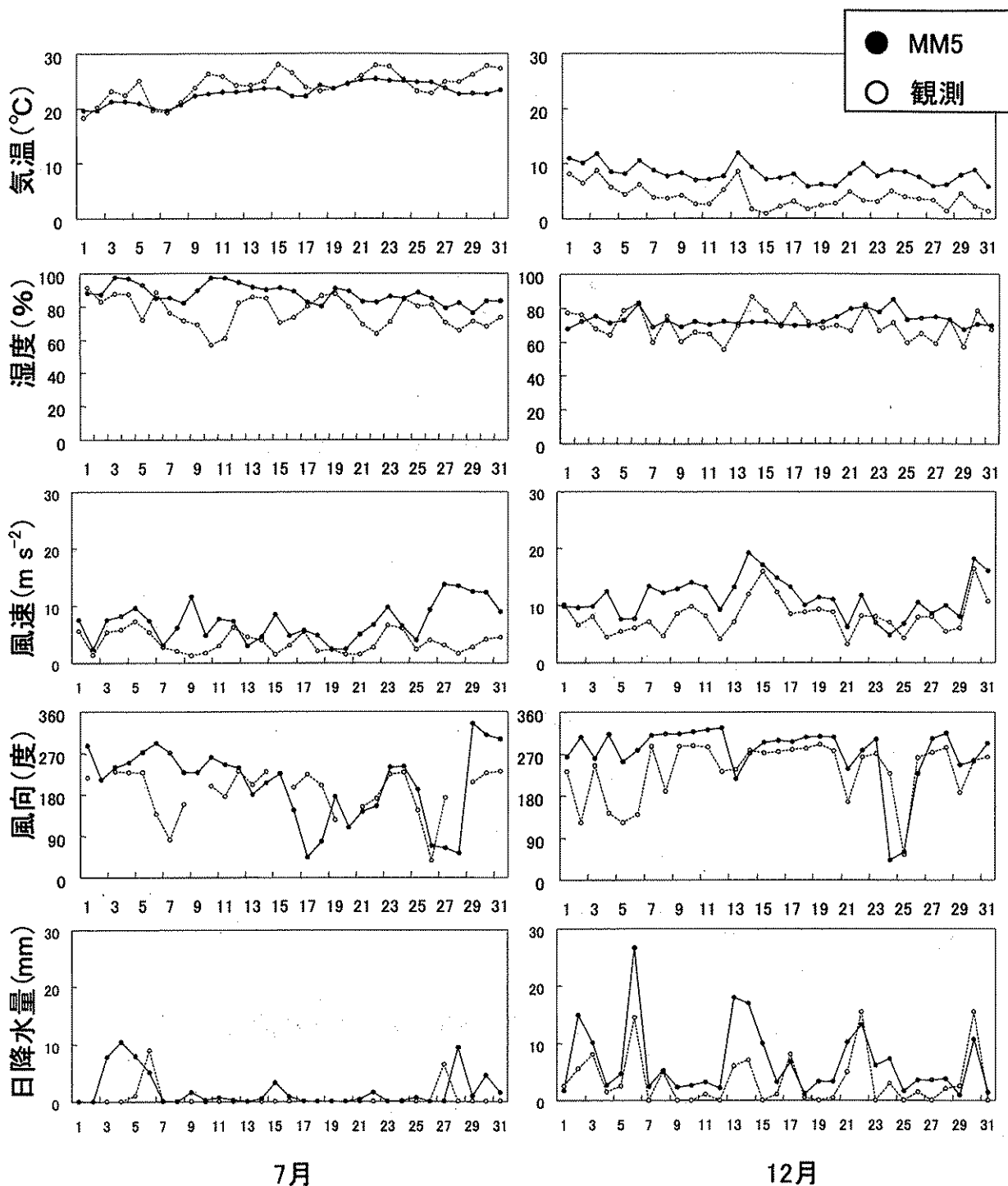
3. 2 東アジア地域における降水量分布

続いて、東アジア地域における降水量分布の計算結果を検証する。検証するにあたり、比較の対象には世界気候研究計画 (WCRP) の全球エネルギー・水循環観測実験 (GEWEX) における全球降水気候プロジェクト (GPCP) のデータを用いた⁷⁾。GPCP データは衛星観測データと地上観測データの組み合わせによって構成されている。データ形式は 1986 年から現在に至るまで、全球を経緯度 2.5 度で区切った月平均降水量として収録されている。

図 3 に、2001 年 7 月と 12 月における降水量分布の計算値と GPCP データを示す。GPCP データが緯度経度座標系で収録されているため、計算結果を緯度経度座標系 (経緯度 0.5 度格子) に変換して分布図を作成した。計算結果は観測された降水量を過大評価する傾向が見られるものの、7 月の太平洋海上やミャンマー周辺、また 12 月の日本周辺で降水量が多いなど、観測結果の降水量分布の特徴をよく再現した。

3. 3 計算条件と精度

気象モデルの計算結果は、大気質や越境汚染シミュレーションの入力データとして用いられる。そのため、今後の長距離輸送モデルの発展には気象モデルの精度向上が不可欠である。例えば湿性沈着過程の計算では、降水量や雲量の時空間分布は重要なパ



注) 比較は気温、湿度、風速、風向、降水量の日平均値で行い、比較対象期間は 2001 年 7 月と 12 月とした。

図 1 佐渡関岬における気象観測結果と計算結果の比較

ラメータとなり得る。降水現象の再現性向上には空間分解能を上げ、より詳細な土地利用・地形標高データを考慮した計算が有効と考えられる。また、局地スケールにおける再現性の向上にはネスティング手法を用いた計算手法が有効である。一方で、ネス

ティング手法は広域規模におけるソース・リセプター解析等には適応できないことなどから、気象場の再現計算には、目的や環境に合った計算条件・手法の選別も重要と言える。

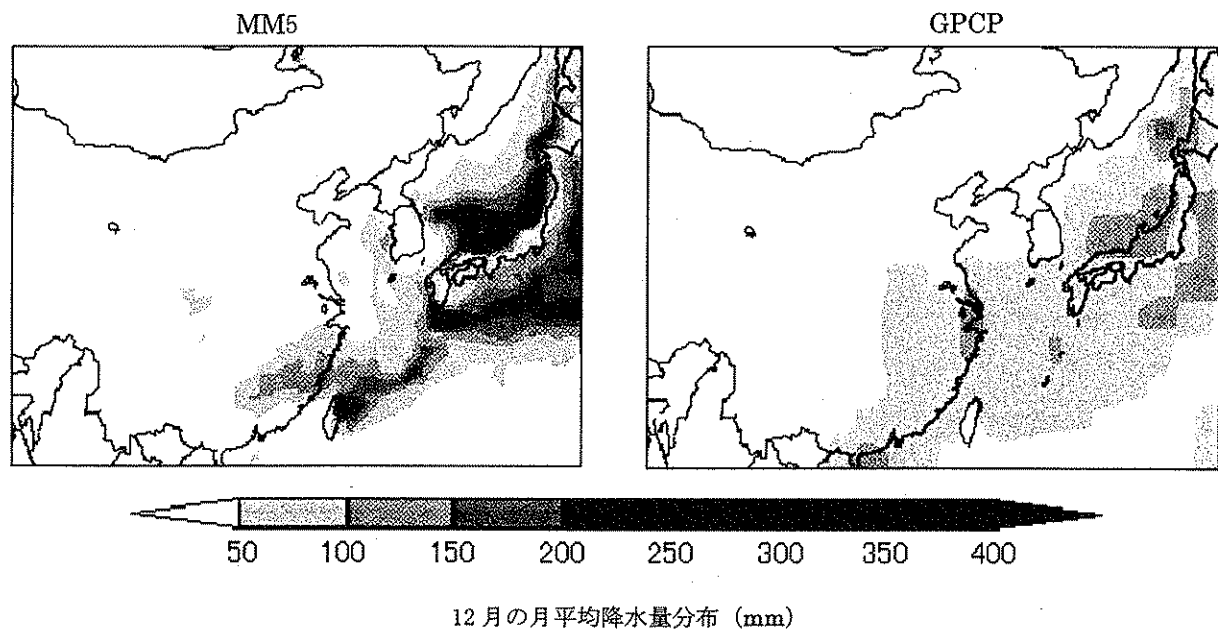
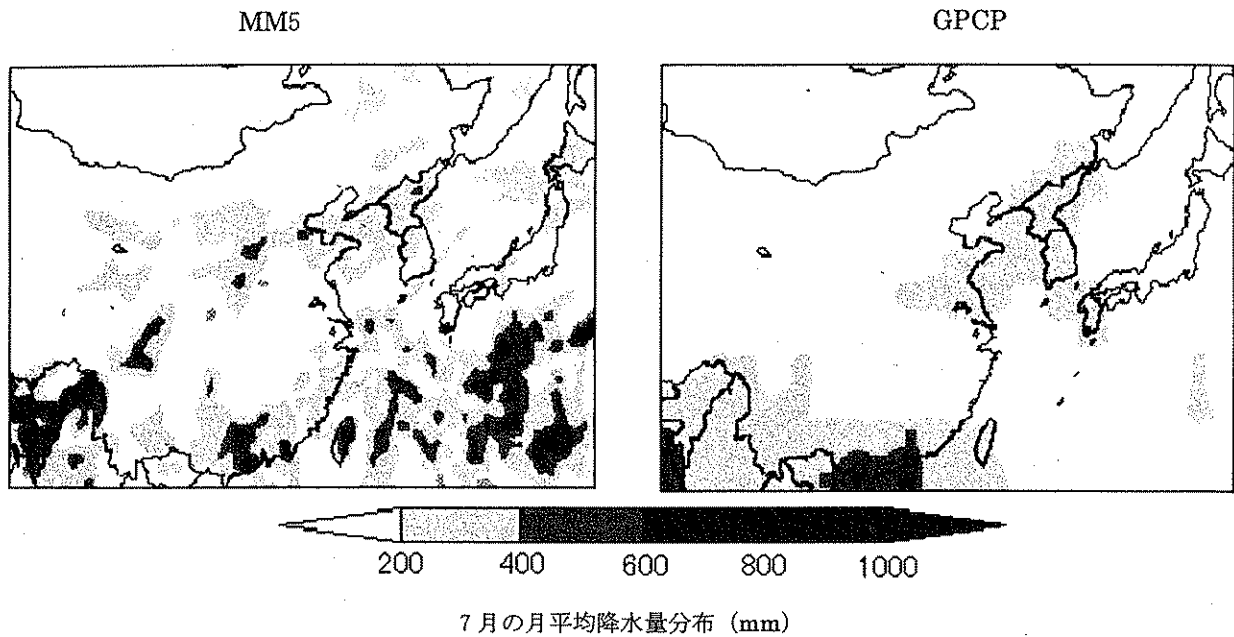


図3 2001年7月と12月における降水量分布の計算値とGPCPデータの比較

4. まとめ

気象モデル MM5 を用いて、東アジア地域を対象とした気象場の再現計算を行った。各気象要素の計算結果は夏季、冬季を代表させた7月と12月ともに、観測結果に対して良い再現性を示した。特に、課題に挙げた降水量の再現性では、計算結果が観測結果を過大評価する傾向が見られるものの、降水パター

ンや東アジア地域における分布を比較的良く再現した。

計算結果の再現性は、入力データにも多く依存する。本計算では気象要素の初期・境界値に客観解析データのみを用いたが、MM5には AMeDAS 等の観測値を内挿して初期・境界値を再解析するプロセッサも整備されている。今後の再現性の向上を目指す上で、当プロセッサの導入、水平・鉛直分解

能や物理モデルのパラメータの検証等を行う必要性があるものの、MM5 を用いて再現された気象場は、長距離輸送モデルによる越境大気汚染の動態評価に十分適用できるものと考えられる。

5. 参考文献

- 1) Klimont, Z., Cofala, J., Schopp, W., Amman, M., Streets, D. G., Ichikawa, Y. and Fujita, S. (2001): Projections of SO₂, NO_x, NH₃ and VOC emissions in East Asia up to 2030, *Water, Air, and Soil Pollution* 130, pp193-198.
- 2) Streets, D. G., Bond, T. C., Carmichael, G. R., Fernandes, S. D., Fu, Q., He, D., Klimont, Z., Nelson, S. M., Tsai, N. Y., Wang, M. Q., Woo, J. H. and Yarber, K. F. (2003): An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000, *Journal of Geophysical Research* 108 (D21), 8809, doi:10.1029/2002JD003093.
- 3) Ichikawa, Y., Amman, M. and Carmichael G.R., 2001. International workshop on the transport of air pollutants in Asia: Summary of the results of the MICS Asia, *Atmospheric Environment* 35, pp4527-4529.
- 4) Carmichael, G. R., Hayami, H., Calori, G., Uno, I., Cho, S. Y., Engardt, M., Kim, S. B., Ichikawa, Y., Ikeda, Y., Ueda, H. and Amann, M. (2001): Model Intercomparison Study of Long Range Transport and Sulfur Deposition in East Asia (MICS-Asia), *Water, Air, Soil Pollution* 130, pp51-62.
- 5) Carmichael, G. R., Calori, G., Hayami, H., Uno, I., Cho, S. Y., Engardt, M., Kim, S. B., Ichikawa, Y., Ikeda, Y., Woo, J. H., Ueda, H. and Amann M. (2002): The MICS-Asia Study: model intercomparison of long-range transport and sulfur deposition in East Asia, *Atmos. Environment* 36, pp175-199.
- 6) MM5: <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>
- 7) 社団法人資源協会 (2000): 人工衛星による地球環境保全および地球資源調査システムの調査研究成果報告書, pp104-154

Summary

The meteorological model was conceived to develop a long-range transport model for East Asia. East Asia's meteorological fields were simulated by MM5 for the period of July and December 2001. The domain center was 36N and 118E, and the domain size was 4000×6500 km. The grid size was 50×50 km, and the vertical layer extended up to 100 hPa and was divided into 23 layers. The calculated meteorological fields were well in accordance with the level and time variation of observation results. Calculated precipitation (which has been a target) showed particularly close accordance with the time variation and the horizontal distribution of observation results. Though greater consideration of the horizontal and the vertical resolution and the parameterization of the physical process are required, calculations confirmed that the calculated meteorological fields were sufficient for air quality evaluation by means of the long-range transport model.