

## 東アジア地域における NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> の長距離輸送に関する数値解析

豊橋技術科学大学 学生員 五十川誠二  
 豊橋技術科学大学 正会員 北田敏廣  
 香川県庁 岡林 毅

### 1. はじめに

現在東アジアでは、急速な工業化に伴って NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> の排出量が飛躍的に増大し、世界の中でも地球環境に多大な影響を与える地域の一つと考えられている。そのため同地域における微量化学物質の排出源特性や動向を理解することが重要であり、さらにこれらを予測できる数値モデルを確立することは、現在問題となっている温室効果、酸性雨等の現象を見積もるための有効なツールであると考えられる。

本研究の目的は、3次元輸送・反応モデル<sup>1) 2) 3)</sup>を用い、その解析結果とPEM-WEST(A)航空機観測の結果とを比較することにより、①大陸からの遠隔地の太平洋域への物質流入の定量的な評価、②夏季から春季に東アジア沿岸を通過する台風による物質輸送の評価、③降水による大気組成の変化の評価等を行うことである。

先に筆者らは、SO<sub>2</sub>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の2成分系について同様の報告<sup>4)</sup>をしたが、今回は多数の化学成分に関する情報を含む元のデータを十分に生かして比較・検討したものである。

### 2. 支配方程式

質量保存式により導かれた空間3次元の非定常移流・拡散・反応方程式系であり、鉛直方向にはσ座標を用いた部分球モデルである。

$$C \frac{\partial X_i}{\partial t} + C \frac{u}{r \cos \theta} \frac{\partial X_i}{\partial \phi} + C \frac{v}{r} \frac{\partial X_i}{\partial \theta} + C \frac{\omega \sigma}{\Delta p} \frac{\partial X_i}{\partial \sigma} = \frac{1}{r^2 \cos^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} \left( C E_\phi \frac{\partial X_i}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{r^2 \cos \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( C \cos \theta E_\theta \frac{\partial X_i}{\partial \theta} \right) + \frac{C g^2}{\Delta p^2 r^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( C r^2 E_\sigma \frac{\partial X_i}{\partial \sigma} \right) + R_i(X_1, X_2, X_3, \dots, X_{37}) \quad i = 1, 2, \dots, 22$$

$$\omega \sigma = \left\{ \frac{U}{r \cos \theta} + \left( \frac{\partial z}{\partial \phi} \right)_\sigma + \frac{V}{r} \left( \frac{\partial z}{\partial \theta} \right)_\sigma + \left( \frac{\partial z}{\partial t} \right)_\sigma - \omega \right\} C g$$

ここで、X<sub>i</sub>は第i番目化学種の無次元濃度、Cは空気密度、φ、θ、σはそれぞれ経度、緯度、鉛直方向、u、v、ωは風速、E<sub>φ</sub>、E<sub>θ</sub>、E<sub>σ</sub>は渦拡散係数の各方向成分を表す。R<sub>i</sub>は化学反応項であり、考慮されている化学種は、NO、NO<sub>2</sub>、HNO<sub>3</sub>、PAN、SO<sub>2</sub>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、O<sub>3</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>等22の輸送種、これ以外にOH、HO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>等の遊離基が定常状態法適用の化学種としてモデルに含まれており、これらの化学種は86の気相化学反応により相互に関係づけられている。

初期濃度分布は、PEM-WEST(A)観測データと既存の気候学的なデータを元に推定した値を用いた。

### 3. 気象場、計算領域、人為排出源

数値解析で用いた気象場は、気象研究所の新客観解析データで1991年9月20日～9月28日までの9日間の全球規模データをである。

計算領域は、東経99.375度から西経159.375度、北緯0度から北緯80.625度で、グリッドサイズは、緯度方向経度方向ともに1.875度とした。鉛直方向のグリッドは、地表面から上空20hpa(20km)を16分割とした。輸送タイムステップは30分、化学反応は25秒間隔で行った。

人為排出源を考慮した物質は、NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, その他の揮発性炭化水素類(VOC)である。CO, VOCについては、NO<sub>x</sub>の排出源と連動させて扱っている。

### 4. PEM-WEST(A)航空機観測について

PEM-WEST(A)航空機観測は、1991年9月7日～10月22日の期間にNASAによって西太平洋域の対流圏化学特性を明らかにするために実施された。特に今回計算値との比較の対象とするMISSION9では、長崎沖で日本に接近中の台風9119号の上空を飛行し、貴重なデータが得られている。図(1)にMISSION9のフライトルートを示す。

### 5. 結果・考察

本研究では、降雨による大気組成の変化を評価するため、降雨生成による気相・エアロゾル相物質(HNO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)の除去過程が考慮されているもの(WET)とそうでないもの(DRY)の2ケースについて行った。

#### 5.1 観測値との比較に基づくモデルの検証

モデルを検証するために 4. で述べたMISSION9のフライトルートに沿って得られた観測結果と同時刻の計算結果の比較した(図(2))。この図より、(1)  $O_3$ ,  $CH_4$ ,  $H_2O_2$ ,  $NO_y$  は観測におよそ追隨している、ただしGMT5時～6時にかけては、計算値が $O_3$ では大きく、 $CH_4$ では小さい。(2)  $NO$ ,  $NO_2$ の和である $NO_x$ は、特に対流圏上層部で観測値より低い、(3)溶解性物質の $HNO_3$ ,  $H_2O_2$ については、WETの方がより観測値に近い値である。これから、本研究のモデルの評価は、(1)おおむね良好、ただし、(2)最近言われているように、 $NO_x$ に対する自由対流圏での雷放電による生成、航空機からの放出など、上層での直接的な排出源を考慮に入れること、(3)サブグリッドスケールの鉛直方向物質輸送の適切な表現、(4)VOCに対する排出源分布の改善、等が必要と考えられる。

**5.2 台風に伴う物質の鉛直輸送**

図3は、計算で得られた濃度場(WET)を使用し、 $SO_4^{2-}$  の高度10000mでの8日間(9/20～28)におけるグリッドあたりの全鉛直輸送量(kmol)を計算したものであり、正值が上昇輸送、負値が下降輸送を表す。東経118度、北緯15度と東経120度～140度、北緯10度～30度の領域の大部分で大きな数値(1000～3500kmol)であるが、東経127度、北緯18度と東経124度、北緯27度で局所的に小さな値(-1300kmol)を示している。これは、台風9119号に伴う下層からの高濃度の気塊が輸送されたことを示し、局所的な小値は、台風南外縁部の下降降によって上層の低濃度の気塊が運ばれたものと考えられる。東経118度、北緯15度における局所的大値は、台風9119号とは違った台風による下層から高濃度気塊の輸送を示していると思われる。

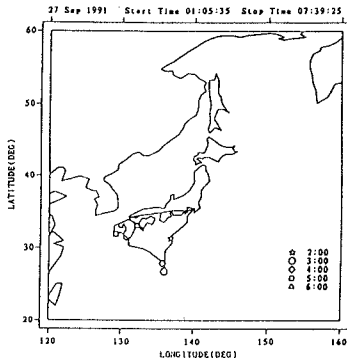


図1 MISSION9 フライトルート

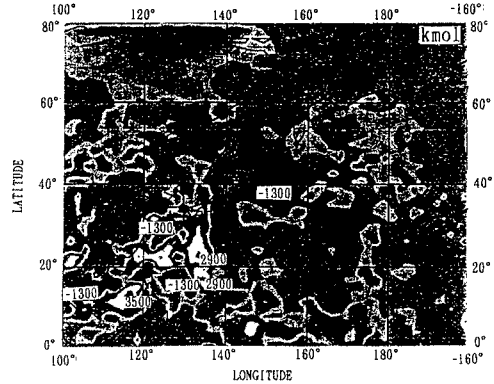


図3 台風に伴う $SO_4$ の鉛直輸送状況 (kmol)

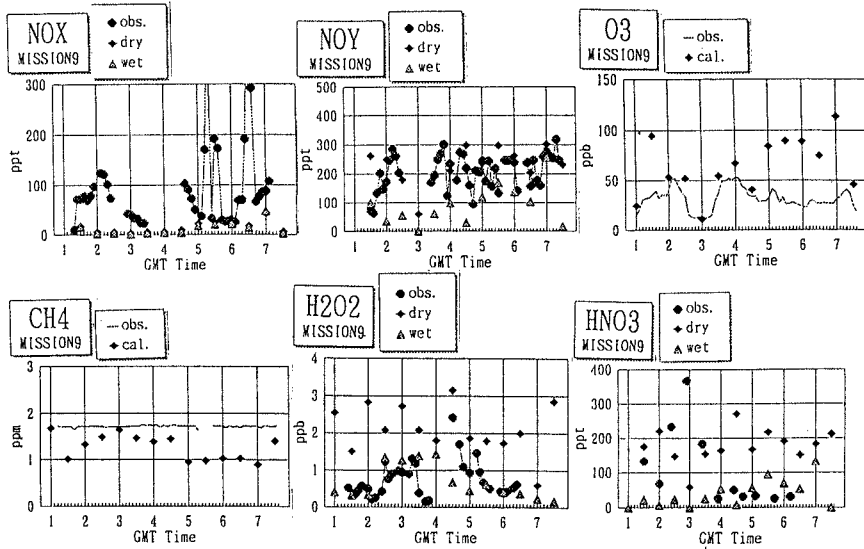


図2 MISSION9 のフライトルートに沿った解析値と観測値の比較<sup>1)</sup>

参考文献

- 1) Kitada, T. and Peters, L. K. (1982): A three-dimensional transport-chemistry analysis of CO and CH<sub>4</sub> in the troposphere, Proc. of 2nd Int. symp. on Composition of non urban troposphere, AMS/AGU/NASA, 96-101.
- 2) Kitada, T., Yamamoto, T. and Kondo, Y. (1994): Effect of typhoon on semi-global scale mass transport over the northern pacific ocean, preprints volume: Joint Meeting on Global Atmosphere Chemistry, 8th CAOGP and 2nd IGAC, Fuji-Yoshida.
- 3) Kitada, T., Isogawa, S., Okabayashi, T. and Yamamoto, T. (1995): Long range transport of  $NO_x$ ,  $SO_x$  and  $O_3$  over east asia and the northern pacific ocean caused by typhoons, 10th world Clean Air Congress.
- 4) 北田, 山本, 近藤(1993): 台風9119による微量化学物質の輸送特性, 土木学会第48回年次学術講演会