

# 化学輸送モデルとアメリカ大使館計測を用いた最近の中国のPM<sub>2.5</sub>の年変化の解析

○鶴野伊津志<sup>1)</sup>、弓本桂也<sup>2)</sup>、原由香里<sup>1)</sup>、板橋秀一<sup>3)</sup>、清水厚<sup>4)</sup>、杉本伸夫<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>九州大学応用力学研究所, <sup>2)</sup>気象研究所, <sup>3)</sup>電力中央研究所, <sup>4)</sup>国立環境研究所

【はじめに】 2009年9月に、微小粒子状物質PM<sub>2.5</sub>の大気環境基準が制定されたが、長崎県の離島でもPM<sub>2.5</sub>環境基準の未達成が報告され越境汚染の影響が指摘されている。しかし、2013年1月になって突然PM<sub>2.5</sub>の大気汚染問題が大きく注目された。これは、2013年1月に北京など中国の広範囲の都市域で、健康被害をもたらすPM<sub>2.5</sub>の高濃度スモッグが発生し、「深刻な汚染」が報じられたことが一つの契機である。

PM<sub>2.5</sub>は粒径2.5 $\mu$ m以下の微小粒子状物質の「集合体」で、モデル計算では、それに含まれるエアロゾル組成の加算が必要となるが、モデルで計算されていない成分もありPM<sub>2.5</sub>の測定値との直接的な比較には難しさが伴う。一方、最近ではエアロゾルの輸送モデルを用いて数日先までのPM予報を提供するネット上のサイトもあるが、越境汚染の主な発生域である中国での最近の観測データをもとに、モデルの再現性や問題点などを解析することが重要である。

我々は、米国ハーバード大学の研究グループが中心となって開発し、世界で広く使われている化学輸送モデル(GEOS Chem)とアジア域における人為起源大気汚染物質の排出インベントリREAS Ver. 2.1(Kurokawa et al., 2013)を用い、2004年 - 2013年にかけての東アジア域のエアロゾル濃度の経年変化のモデル解析を行った(鶴野ら, 2013b)。以下では、中国でのPM観測としてアメリカ大使館(北京)での観測値、モデルで計算された季節変化、エアロゾルの組成の計算値などを示し、最近のPM<sub>2.5</sub>の変化などについての知見やモデル計算上の問題点などの中間報告的な解析結果を示す。

## 【化学輸送モデルと観測データ】

GEOS Chemは詳細な対流圏のガスとエアロゾル化学過程を含む化学輸送モデルである。本研究ではGEOS Chem Ver. 9-1-1を用い、全球計算結果を側面境界値とする高分解能のアジア領域一方向ネスト計算を行った。水平解像度は、全球版は2° × 2.5°、アジア域の高解像度版は0.5° × 0.667°である。モデルの計算領域の設定と基本計算条件は、鶴野ら(2013a, 2013b)に示した。モデル計算は、REAS Ver. 2.1排出量推計を与えて、2000年1月から開始し、2013年3月まで連続して行った。REASインベントリは2008年までしか無いため、2009年以降は2008年の排出量を繰り返し利用した。一般に、NH<sub>3</sub>の排出量は冬季に少なく、夏季に多い季節変化を示す。ここでは、このような季節変化を含むHuang et al. (2011)に一致するようにREASの結果を補正した(REASのNH<sub>3</sub>には月変化はない)。モデルでのPM<sub>2.5</sub>濃度は、硫酸塩(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、硝酸塩(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、アンモニウム塩(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、黒色炭素(BC)、有機炭素(OC)の濃度の和として算出した。

PM<sub>2.5</sub>濃度は、北京のアメリカ大使館(U.S. Embassy Beijing)、上海のアメリカ領事館(U.S. Consulate Shanghai)で米国環境保護庁(U.S. EPA)の認定を受けているMet One Instruments社のBAM-1020を用いた $\beta$ 線吸収法による観測結果と、福岡市の4局の一般大気環境測定局の観測値の中央値を用いた。観測データはUTC時間基準の日平均値で、モデルと比較した。北京のデータは2009年2月から利用でき、上海は2013年1月以降のものを入手した。福岡市のデータは2011年4月から2013年3月までの2年間のデータを利用した。

## 【結果とまとめ】

図1には、北京のアメリカ大使館と福岡市での月平均とPM<sub>2.5</sub>の変化を示す。北京では、2013年1月は例年以上の高濃度であったが、6月以降は2009年 - 2011年の同月のPM<sub>2.5</sub>濃度が高く、経年的に濃度の上昇傾向は確認できず、年々の濃度変動が大きいことが判る。福岡市のPM<sub>2.5</sub>は測定期間が短いので経年的な変化の議論はできないが、北京に較べて濃度レベルは概ね1/5以下である。また、2013年1月の福岡市の月平均濃度18 $\mu$ g/m<sup>3</sup>は、福江島で

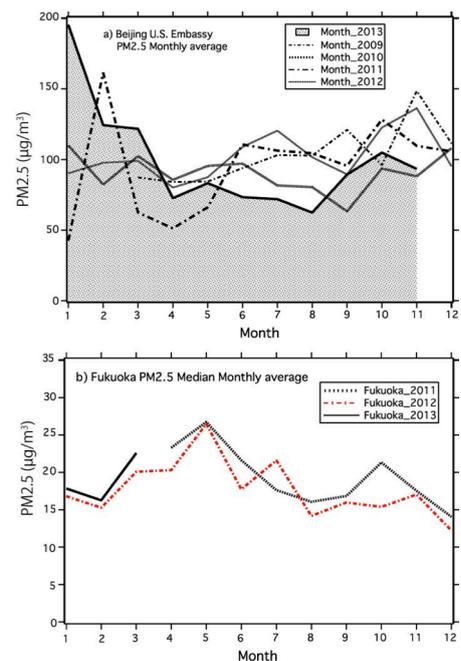


図1 (a) 北京のアメリカ大使館と(b)福岡市でのPM<sub>2.5</sub>の月平均値の年々変化

の観測値  $21\mu\text{g}/\text{m}^3$  (金谷, 2013) よりも低い。

2004年から2013年の各年1月のPM2.5の月平均濃度を図2に示す。北京は実測とモデル値、福岡はモデル計算値である。モデル計算のPM2.5の変化傾向は北京アメリカ大使館での実測の変化傾向とよく一致している。これらについての詳細な解析結果は鶴野ら(2013b)を参照されたい。

次に、季節的な変化を調べるために、北京でのPM2.5濃度の高かった2010年の日平均値とGEOS CHEMで計算されたエアロゾル組成の季節変化を図3に示す。中国でのエアロゾル組成の詳細な測定結果の入手には困難が伴うため、モデルと観測値との細かい比較は行っていないが、モデルの結果から、次の点が判る。

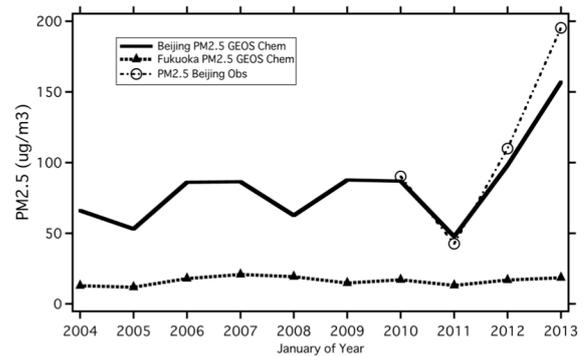


図2 2004-2013年各年の1月のPM2.5月平均値

- モデルで計算されたPM2.5の季節変動は、観測値の季節変動の「特徴を捉えている」ように見える。
- 硫酸塩濃度は夏季にピークを取っている。
- NH<sub>3</sub>の排出量によって、PM2.5の濃度が変わる。特に硝酸塩への影響は大きい。これは、NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>とHNO<sub>3</sub>の平衡関係にNH<sub>3</sub>濃度の影響が大きいためである。
- 冬に硝酸塩の寄与が大きく、夏は硝酸ガスの寄与が大きい。冬の硝酸塩の寄与は硫酸塩以上の可能性があり、最近の冬季のPM2.5高濃度には、窒素酸化物からの硝酸塩の寄与が大きいことが推察される。
- REAS Ver 2.1の排出量推計は2008年までなので、2009年以降の排出量の伸びを妥当なレベルで推定する必要がある。中国のSO<sub>2</sub>は減少傾向、NO<sub>x</sub>は増加傾向が報告されており、PM2.5への硝酸塩の寄与が増加していると予想されるが、中国での観測値で検証する必要がある(実際には非常に困難)。
- 2009年 - 2013年の排出量推計値を用いたPM2.5計算値と図1の北京の測定値の季節変動を検証する必要があるが、これは今後の課題である。

【参考文献】

Huang, X., Song, Y., Li, M., Li, J., Cai, X., Zhu, T., Hu, M., Zhang, H.: A high-resolution ammonia emission inventory in China, *Global Biogeochem. Cycles*, 26, GB1030, doi:10.1029/2011GB004161 (2012).

Kurokawa, J., Ohara, T., Morikawa, T., Hanayama, S., Janssens-Maenhout, G., Fukui, T., Kawashima, K., and Akimoto, H.: Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000–2008: Regional Emission inventory in ASia (REAS) version 2, *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 11019-11058 (2013).

金谷有剛: 越境大気汚染を正しく理解する, *日経サイエンス* 2013年5月号, pp. 35-39 (2013).

鶴野伊津志, 板橋秀一, 弓本桂也, 入江仁士, 黒川純一, 大原利眞: 東アジア域のNO<sub>x</sub>排出量の経年変化と窒素化合物の挙動のモデル解析. *大気環境学会誌*, 48, 9月号, pp.223-233 (2013a)

鶴野伊津志, 弓本桂也, 原由香里, 板橋秀一, 金谷有剛, 杉本伸夫, 大原利眞: 何故2013年冬季の中国でPM2.5が高濃度になったか? *大気環境学会誌*, 48, 11月号, pp.274-280 (2013b)

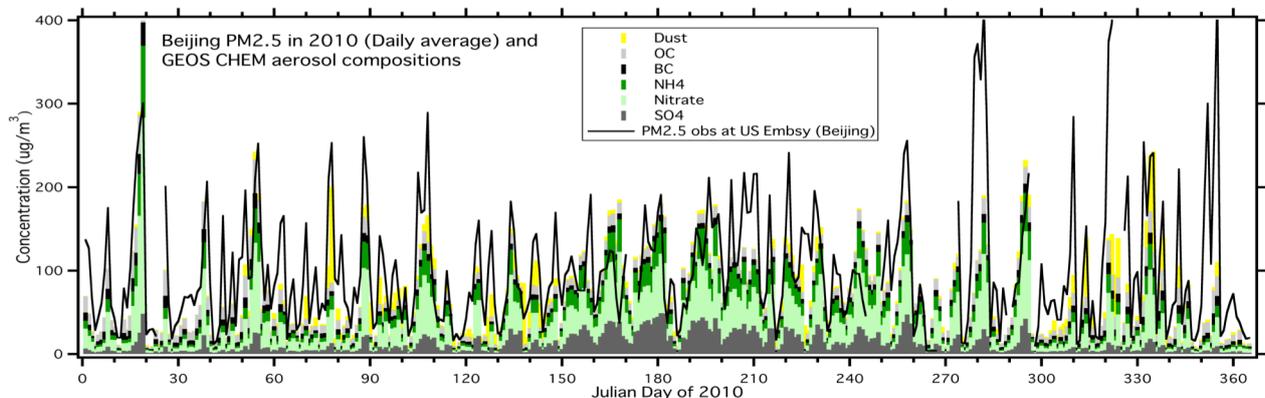


図3 2010年の北京のPM2.5日平均値とGEOS CHEMでのエアロゾル組成の変化