

ライダー/衛星観測と化学物質輸送モデルによる  
東アジア域における人為起源エアロゾルの長期トレンド解析

Long-term trend of anthropogenic aerosol in East Asia  
derived from Lidar measurements, passive satellite remote sensing  
and a chemical transport model

原由香里<sup>1</sup>, 清水厚<sup>1</sup>, 鶴野伊津志<sup>2</sup>, 杉本伸夫<sup>1</sup>, 松井一郎<sup>1</sup>

Yukari Hara, Atsushi Shimizu, Itsushi Uno, Nobuo Sugimoto, Ichiro Matsui

<sup>1</sup>国立環境研究所, <sup>2</sup>九州大学応用力学研究所

<sup>1</sup>National Institute for Environmental Studies

<sup>2</sup>Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

## ABSTRACT

The long-term trend of anthropogenic aerosol in Eastern Asia was investigated using ground/space-based lidar measurements, passive remote sensing, airport visibility data and a chemical transport model over the recent decade. Various observations almost show the consistent long-term trend. The increasing trend of spherical AOD is conspicuous from 2001 to 2008 over eastern Asia. The decreasing trend of spherical AOD is seen after 2008 in south part of China and downwind region, however the trend of northern part of China is still unclear. CMAQ using constant emission after 2006 couldn't represent the recent observed decreasing AOD trend, therefore anthropogenic emission change might be the major factor of this observed trend rather than meteorological variation.

## はじめに

2000 年以降, 急激な経済発展に伴い東アジア域における大気汚染物質の排出量は劇的に増加した(Ohara et al., 2007). しかし, 2006 年以降, 脱硫装置の普及により, 中国における SO<sub>2</sub> 排出量は減少に転じたと報告されている(Lu and Streets, 2011). 一方, 衛星観測から推定された東アジア域における NO<sub>x</sub> 発生量は増加の一途をたどっていることも明らかとなっており(Lamsal et al., 2011), 東アジア域における人為起源エアロゾルの時空間変動は各国の経済発展と環境政策のバランスによって複雑に時々刻々と変化していると考えられる. しかし, 東アジア域におけるエアロゾルに関する長期地上観測データは非常に限られており, 人為起源エアロゾルの長期トレンドの実態は十分に明らかにされていない. 国立環境研究所(NIES)では, 2001 年以降, 東アジア域の大気環境の連続的な監視を目的として地上ライダーネットワークを展開してきた. 本研究では, 中国国内における空港視程データや NIES 地上ライダーデータ, 衛星搭載ライダー-CALIOP, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)などの様々な観測データと, 領域化学物質輸送モデル CMAQ (Community Multi-scale Air Quality model)を用いて, 2001 年以降の東アジア域における人為起源エアロゾルの長期トレンドについて明らかにする.

## 領域化学物質輸送モデル・観測データの概要

本研究で使用した化学物質輸送モデルは Community Multi-scale Air Quality Modeling System (CMAQ) ver4.4 である(Byun and Ching 1999). アジア域の窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)や非メタン有機化合物(NMVOC)等の人為起源排出量は REAS ver1.1 をもとに 2005 年のエネルギー消費量などをベースにした排出量データを使用した. NIES 地上ライダーデータについては, Fernald のインバージョン法(Fernald et al., 1984)により 532nm におけるエアロゾル後方散乱係数と消散係数を導出し(ライダー比は 50sr), 偏光解消度を用いて球形・非球形成分を分離した(Shimizu et al., 2004). CALIOP データについては Level 2 Ver.3.01 プロダクトに含まれるエアロゾル消散係数と偏光解消度を用いて球形エアロゾルの消散係数を得た. 一方, 中国国内における空港視程データから Che et al. (2007)を参考に消散係数を導出し解析に使用した. 降水, ダスト, 霧, かすみ, 強風などの自然現象による視程低下を除去するため, SYNOP の現在天気を使用した. また, 相対湿度が 90%を超える場合も視程データを除去した. 衛星 Terra に搭載された MODIS による Level 3 550nm におけるエアロゾル光学的厚さ(AOD)と fine mode fraction を用いて fine mode AOD を導出した.

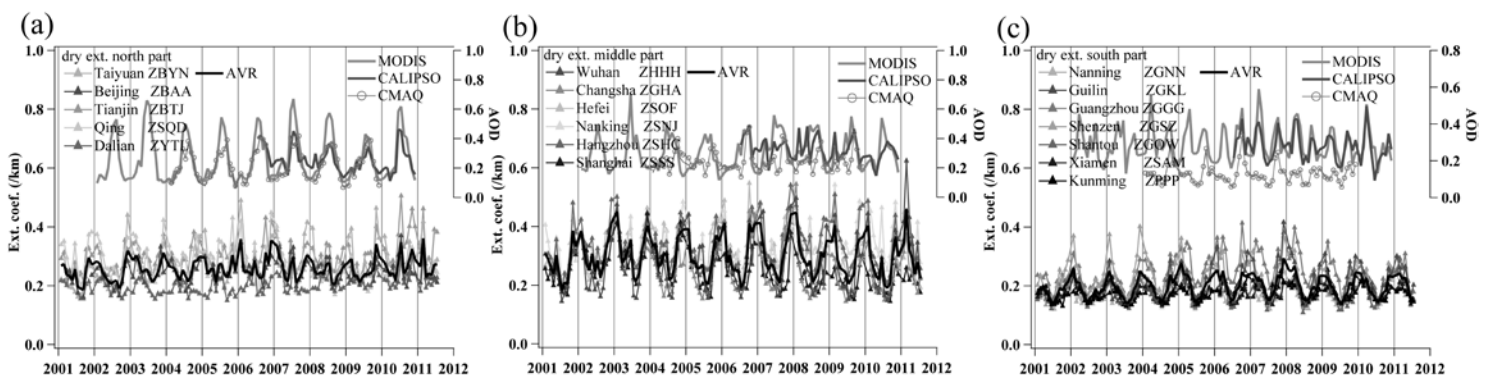
## 結果と考察

図1の下段に中国の(a)北部, (b)中部, (c)南部領域における空港視程データから相対湿度の補正を行い導出した消散係数の月平均値の長期変動を示す. 黒実線は領域平均値を示す. 上段には, MODIS fine mode AOD, CMAQ による球形エアロゾルの AOD(sulfate, nitrate, BC, OC の和), CALIOP による球形エアロゾルの AOD の長期変動を示す. これらの図から, 中国北部においては 2001~2006 年まで, 中部と南部においては 2001~2008 年まで視程ベースの消散係数の長期トレンドは一樣に増加傾向を示す. 一方, 中国南部においては 2008 年以降, 消散係数・AOD 共に減少傾向を示すが, 中国北部と中部では 2010 年以降再び高レベルの消散係数が観測されており, トレンドは不明瞭である. MODIS, CALIOP などの衛星観測による AOD も地上観測とコンシステントなトレンドを示す.

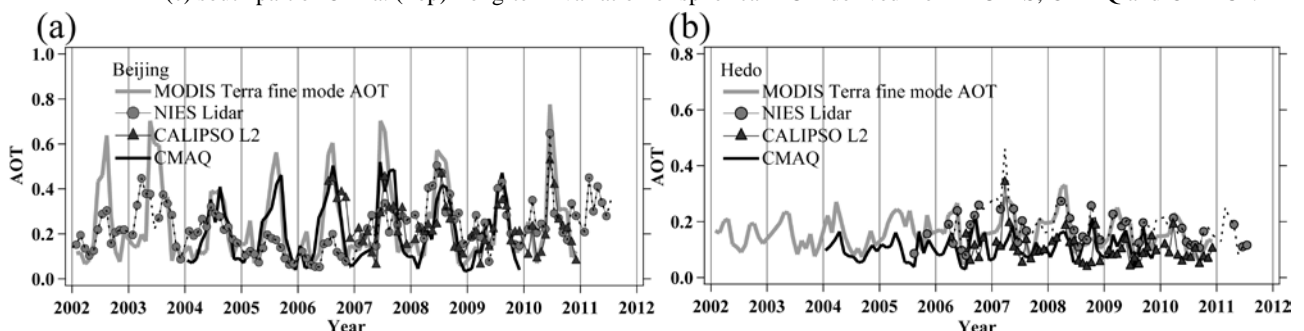
図2に(a)北京と(b)辺戸における地上/衛星ライダーと CMAQ, MODIS による球形エアロゾルの AOD の長期変動を示す. 北京においては, 2008 年まで AOD の増加トレンドが見られ, 2009 年に一旦減少に転じる. しかし, 2010 年以降, 再び高レベルの AOD が観測されており, 空港視程データと矛盾しない. 一方, 風下域である辺戸においては, 2008 年以降 AOD は減少傾向にある. CMAQ では, 2005 年のエミッションインベントリを固定して使用しているため, CMAQ 計算結果に反映される年々変動は気象場の影響によるものである. CMAQ は近年観測された球形エアロゾルの減少トレンドを再現出来ないことから, 観測されたトレンドは, 人為起源エアロゾルの排出量の水平分布と強度の変動によってもたらされていることが明らかである. 東アジア域における球形エアロゾルの主成分は硫酸塩であるため, 前駆気体である SO<sub>2</sub> の発生量の減少が風下域でみられる近年の AOD の減少トレンドの主な要因であると考えられる.

## 参考文献

- Ohara, T., H. Akimoto, J. Kurokawa, N. Horii, K. Yamaji, X. Yan, and T. Hayasaka, 2007: Asian emission inventory for anthropogenic emission sources during the period 1980–2020. *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 4419–4444.
- Lu, Z. and D. G. Streets, 2011: Sulfur dioxide and primary carbonaceous aerosol emissions in China and India, 1996–2010. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11, 20267–20330.
- Lamsal, L. N., R. V. Martin, A. Padmanabhan, A. van Donkelaar, Q. Zhang, C. E. Sioris, K. Chance, T. P. Kurosu, and M. J. Newchurch, 2011: Application of satellite observations for timely updates to global anthropogenic NO<sub>x</sub> emission inventories. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L19803, doi:10.1029/2007GL030135.
- Byun, D. W., and J. K. S. Ching, 1999: Science algorithms of the EPA Models-3 community multi-scale air quality (CMAQ) modeling system, NERL, Research Triangle Park, NC EPA/600/R-99/030.
- Fernald, F. G., 1984: Analysis of atmospheric LIDAR observations: Some comments, *Appl. Optics*, 23, 652–653.
- Shimizu, A. et al., 2004: Continuous observations of Asian dust and other aerosols by polarization lidars in China and Japan during ACE-Asia, *JGR*, 109, D19S17, doi:10.1029/2002JD003253.
- Che, H., X. Zhang, Y. Li, Z. Zhou, and J. J. Qu, 2007: Horizontal visibility trends in China 1981–2005. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L24706, doi:10.1029/2007GL031450.



**Figure 1** (Bottom) Long-term variation of visibility data for (a) north part of China, (b) middle part of China and (c) south part of China. (Top) Long-term variation of spherical AOD derived from MODIS, CMAQ and CALIOP.



**Figure 2** Long-term variation of spherical AOD based on NIES lidar, CALIOP, CMAQ and MODIS at (a) Beijing and (b) Hedo.