

煙霧と黄砂の観測時間の経年変化

山口 慶人*・竹村 俊彦**

1. はじめに

日本では、高度経済成長期の経済活動優先型の産業構造を原因とする大気汚染を含めたさまざまな公害問題が発生した。それを受け、自然環境の改善を目的とした法律の制定や技術開発などが行われてきた結果、大気環境の改善など一定の成果を収めてきた。しかし近年では、中国や韓国、インド、タイ、ベトナムなどのアジア諸国における経済活動が活発化し、大気環境の悪化やそれによる健康影響が重要な課題として認識されるようになった。さらに、排出された大気汚染物質が国境を越えて近隣諸国に影響を与える越境汚染の問題も生じており、大気環境の改善において多国間の協力が必要とされている。日本では、2007年5月に九州から東日本の広範囲に高濃度のオゾン域が形成され、光化学スモッグ注意報が発令される事例があり、社会の注目を集めた。特に、大分県や新潟県では観測史上初めて光化学スモッグ注意報が発令された。この事例は、自国だけではなく近隣諸国、とりわけ中国からの越境汚染の寄与を強く受けていたことが示され(黒川ほか 2008)、越境汚染が我が国の大気環境に大きな影響を及ぼすことが改めて確認された。

本稿では、越境汚染による日本への影響の把握を目的として、日本におけるここ20年間の煙霧と黄砂の積算観測時間の経年変化を示す。さらに、数値モデルの結果を用いて、日本とその周辺における人為起源エアロゾルの割合を解析し、観測データを検証する。

2. 使用データ

2.1 煙霧および黄砂の観測時間

気象庁による自動または目視の気象現象の観測が、全国の気象官署と特別地域気象観測所で行われている。本稿では、気象庁により提供される気象観測統計情報から、煙霧と黄砂が観測された時間を抜粋し、観測時間を積算して経年変化を解析する。観測は分単位で行われており、気象庁ホームページにて閲覧することができる(「気象統計情報」>「過去の気象データ検索」>各観測地点の1時間ごとの値の「記事」欄)。煙霧とは乾燥したエアロゾルにより視程が10 km未満となっている状態を指し、一般的に相対湿度が75%未満を条件としている。定義上は黄砂現象も煙霧に含まれることになるが、気象庁では黄砂と煙霧を分けて観測している。対象期間は1990年1月1日から2009年12月31日までの20年間である。越境大気汚染の影響の経年変化を把握するために、自地点からの大気汚染物質の排出量があまり多くない地方都市として、秋田、松江、長崎、那覇の4地点を対象地域とした。また、比較対象として、自地点における大気汚染の排出量が多い大都市の東京と大阪を対象地域に加えて、合計6地点の解析を行った。なお、気象庁では、煙霧と黄砂の判断を基本的には目視で行っている。そのため、本来は煙霧と判断されるべき時間帯を黄砂と判断してしまうような事例があることを考慮して、ここでは観測者による主観性をできるだけ取り除くように、煙霧と黄砂の両方の観測時間を用いた。

2.2 エアロゾルモデル

日本とその周辺における人為起源エアロゾルの割合を考察するために、本稿では、全球3次元エアロゾル輸送・放射モデル Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species (SPRINTARS) (Takemura *et al.* 2005) によるシミュレーション結果を用いた。

* Yoshihito YAMAGUCHI, 九州大学大学院総合理工学府。

** Toshihiko TAKEMURA, 九州大学応用力学研究所。

© 2011 日本気象学会

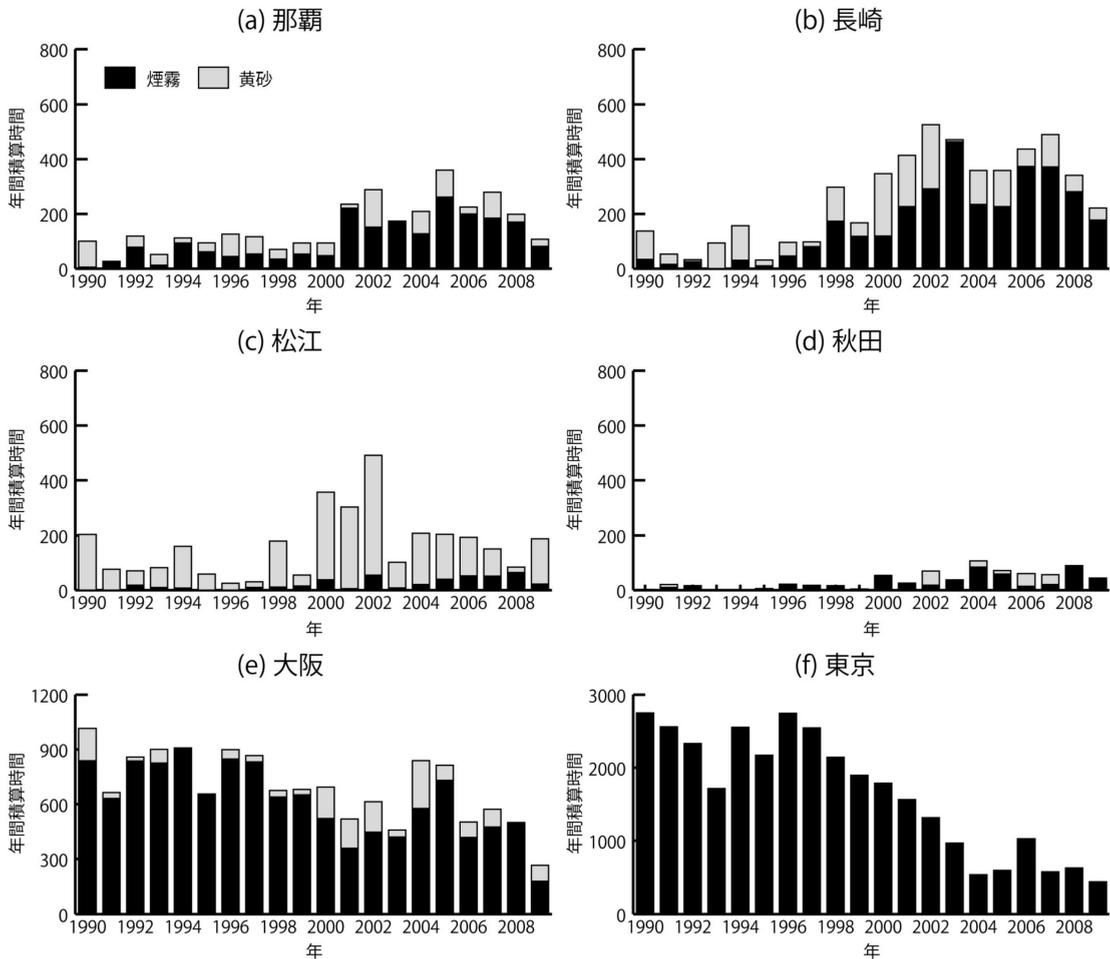
SPRINTARS は、炭素性粒子（黒色炭素・有機物）や硫酸塩・土壌性ダスト・海塩粒子の主要な対流圏エアロゾルの他に、硫酸塩前駆物質の二酸化硫黄と硫化ジメチルの全球分布と気候影響をシミュレートできる。モデル内では、発生、拡散、硫酸塩に関する化学反応、移流、除去（湿性沈着・乾性沈着・重力沈降）に関わる過程を計算する。東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋研究開発機構の大気大循環モデルと結合している。ここでは、水平分解能はT106（経度1.125度×緯度 約1.125度）、鉛直分解能は56層で計算した。

シミュレーションで用いたエアロゾル関連物質排出量データは、Aerosol Model Intercomparison Project (AeroCom) の Phase II 実験の hindcast simula-

tion で使用されたものに準拠している (AeroCom 2008)。このデータは、人為起源（主に陸上からの排出）・森林火災・船舶・航空機・突発的大規模火山からの排出量の経年変化や季節変化が考慮されている。また、越境大気汚染という数日スケールの現象を考察するため、水平風速と気温は、NCEP/NCAR 再解析データ (Kalnay *et al.* 1996) の 6 時間値を用いてナッジングをかけた。

3. 日本における煙霧と黄砂の観測頻度の変化

第 1 図に日本の各地域における年別の煙霧と黄砂の観測時間の積算値を示す。那覇では1990年代において、煙霧と黄砂を合計した観測時間はどの年も120時間未満しか観測されていなかった (第 1 図 a)。それ



第 1 図 気象庁による1990～2009年の年別の煙霧（黒）と黄砂（灰色）の積算観測時間。

に対して、2000年以降では200時間を超えた年が5回あった。また、1990年から1999年と2000年から2009年の煙霧と黄砂の観測時間の合計を比較すると、後者は前者のおよそ3倍であった。さらに、黄砂の観測時間は20年間で大きな変化はみられないが、煙霧の観測時間は大幅に増加していることがわかる。2000年からの観測時間の増加の要因は、黄砂の飛来によるものではなく、煙霧の寄与が大きいことがわかる。ローカルな発生源からの塵や砂ぼこりが風によって舞い上がる自然現象によって視程が10 km 未満になるとは考えにくく、現代の日本で観測される煙霧のほとんどは人為起源であると考えられる（ただし、比較的規模の大きな火山噴火や、沿岸部の波しぶきなどの自然現象が原因である場合もある）。長崎は、那覇よりも数年早い1998年頃から煙霧と黄砂の観測時間が増え始めており、2000年から2002年にかけて黄砂が多く観測されているが、那覇と同様に黄砂よりも煙霧の比率が高い（第1図b）。松江や秋田においても煙霧と黄砂を合計した観測時間の経年変化の傾向は先の2地域と同様の結果を示す（第1図c, d）。しかし、煙霧と黄砂の比率については松江のみ他の地域の特徴とは異なり、ほぼ全期間に渡って煙霧よりも黄砂の観測時間が長く、特に2000年から2002年にかけてはその比率が極端に大きい。

これら4地域とは対照的に、大阪や東京における煙霧と黄砂の観測時間は、徐々に減少傾向にあることがわかる（第1図e, f）。特に東京ではその傾向が顕著に現れており、1990年代には殆どの年で煙霧が2000時間以上観測されていたが、2003年からは2006年を除いて1000時間を下回る年が多くなってきた。また、大阪ではある程度の黄砂の飛来が観測されているが、東京では煙霧の観測時間の割合が殆どを占める。

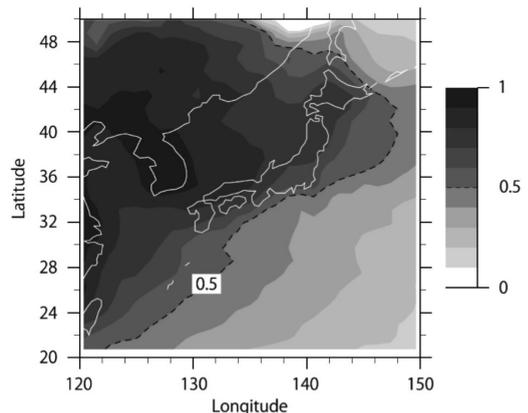
那覇・長崎・松江・秋田の地方都市において、その地域から発生する硫酸塩や炭素性エアロゾルといった人為起源の大気汚染物質の発生量は、1990年から2009年の20年間で著しく増加しているとは考えられない。それにもかかわらず、上述したように、煙霧の積算観測時間が年々増加している。一方、大阪や東京は大都市であるため、その地域を起源とする大気汚染物質の発生量が元々多いが、今回の結果から大阪と東京では煙霧の積算観測時間が年々減少傾向にあることがわかった。東京と大阪の観測時間は、先の4地域よりも非常に多いものの大気環境が改善している結果とは対照的に、地方都市の那覇・長崎・島根・秋田において

は、その地域が発生源ではないとみられる汚染物質によって大気環境が年々悪化している傾向がみられた。これらのことから、おおよそ2000年から現在にわたって、東アジアの大陸を起源とする大気汚染物質による越境汚染が、日本の広い範囲に影響を及ぼして大気環境を悪化させてきたと考えられる。

4. 煙霧と黄砂の判別

先に示したように、気象庁による煙霧と黄砂の判断は目視により行われている。近年では、環境省によるライダーを用いたリアルタイム観測などを参照しながら、気象庁は黄砂であるかどうかを判別している。しかし、数年前までは目視にのみ依存していたため、煙霧と黄砂の正しい判断がなされなかった場合もあることが考えられる。その一例が、第1図cの松江での観測であると考えられる。松江での煙霧の観測時間は、2000年に入って増えているとはいえ、期間全体に渡って黄砂の観測時間が煙霧のそれより著しく多い。この目視観測結果は、松江における大気環境の悪化の要因が、越境大気汚染物質よりも黄砂にあるということを表していることになる。

一方、SPRINTARS による現在における人為起源エアロゾル（硫酸塩・炭素性エアロゾル）の割合を第2図に示す。これは、モデル最下層の消散係数の年平均値に関して、現在の水準における排出量データを用いて計算された2006年のシミュレーション結果と、工業化以前の水準における排出量データを用いて計算されたシミュレーション結果との差を前者で割った値で



第2図 SPRINTARS によるモデル最下層の消散係数の合計に対する人為起源エアロゾルの消散係数の比率（2006年平均）。

あり、2006年における視程に対する人為起源エアロゾルの比率とみなすことができる。第2図によると、日本とその近海に浮遊するエアロゾルのうち、5割以上が人為起源であることがわかる。特に、松江を含む日本海沿いの地域では、人為起源エアロゾルの割合が7割以上であり、越境汚染の影響を強く受けていることを示唆している。また、長崎での黄砂の観測時間（第1図b）と比較して、松江では特に2000年から2002年における黄砂の観測時間が極端に多い。以上のことから、先の松江の観測結果が示していた、黄砂の観測時間が煙霧のそれよりも著しく多い事例では、実際には煙霧とされるべき状況を黄砂と判断している場合があると考えられる。

5. まとめ

日本における越境大気汚染の影響を調べるために、気象庁の気象観測データを用いて、1990年から2009年までの20年間において煙霧と黄砂の観測時間の解析を行い、積算観測時間の経年変化を示した。その結果、大都市を除いた4地域では2000年頃から煙霧の観測時間が増加しており、大気環境が徐々に悪化していることが示された。その要因として、東アジア域の大陸を起源とする大気汚染物質による越境汚染が大きく寄与していることが示唆された。気象庁による目視観測は、煙霧（大気汚染）と黄砂の区別は困難ではあるものの、長期にわたり観測されているため、ローカルな

大気汚染だけではなく、越境大気汚染の経年変化をモニターできる貴重なデータである。

謝辞

気象庁から公開されている気象観測データを使用させて頂きました。

参考文献

- AeroCom, 2008 : AeroCom hindcast aerosol emissions. <http://aerocom.met.no/emissions.html> (2011.9.13閲覧).
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne and D. Joseph, 1996 : The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **77**, 437-470.
- 黒川純一, 大原利真, 早崎将光, 鶴野伊津志, 2008 : ネスト版RAMS/CMAQ連携モデルによる2007年5月8, 9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染の解析. *大気環境学会誌*, **43**, 209-224.
- Takemura, T., T. Nozawa, S. Emori, T. Y. Nakajima and T. Nakajima, 2005 : Simulation of climate response to aerosol direct and indirect effects with aerosol transport-radiation model. *J. Geophys. Res.*, **110**, D02202, doi : 10.1029/2004JD005029.