

1. センサーを用いた越境大気汚染の観測

村尾直人^{1*}、山形 定¹、深澤達矢¹、山口高志²

¹北海道大学大学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）

²北海道立総合研究機構 環境・地質研究本部 環境科学研究センター

* E-mail: murao@eng.hokudai.ac.jp

微小粒子状物質（PM_{2.5}）やオゾンの越境汚染に対する懸念が高まっている。そのような汚染に対して、十分な監視体制を確立して健康影響を評価し、また市民に十分な情報を提供し、有効な対策を構築するためには、越境汚染の監視を含めた測定網の充実が必要であるが、現在のような高価でかつ局舎の設置を必要とするような観測網の大幅な拡充は現実的ではない。本研究では、近年のナノテクとその周辺技術、IT技術の成果を活用して、影響が懸念される地域を「必要な密度で必要な場所に設置できる」センサ・ネットワークの構築を目的として、センサーの利用可能性とともに、北海道で開始したセンサー観測による越境汚染観測例を紹介する。

Key Words : *Atmospheric aerosols, Black carbon, Dry deposition on Forest ,LAI*

1. 背景・目的

北京を中心に中国の諸都市で大規模かつ深刻な大気汚染が発生し、それが大きく報じられることで、微小粒子状物質（PM_{2.5}）による汚染への懸念が高まっている。中国からの越境汚染に関心が向けられがちであるが、都市域で観測される高濃度には地域内の都市汚染の影響も大きく寄与している。一方、我が国における地表付近のオゾン濃度は、近年上昇傾向にあるとともに、汚染の広域化が進んでいる。このような越境汚染と地域汚染が関係すると考えられる汚染に対して監視体制を確立し、有効な対策を構築するためには、越境汚染の監視を含めた測定網の充実が必要である。しかし、現在のような高価でかつ局舎の設置を必要とするような観測網の大幅な拡充は現実的ではない。

そこで本研究では、様々な規模でおこる粒子汚染に関する観測網を整備・拡張できるよう、ナノテクノロジーの成果を広く活用・駆使したセンサー^{1), 2)}を利用した観測システムの構築を行うことを目的として、使用するオゾンセンサー、エアロゾルセンサーの較正と北海道で行った試験的な越境汚染観測の結果についてまとめることとする。

2. 研究方法

(1) センサーとその較正

本研究で使用したセンサーおよびその較正について以下にまとめる。

1. オゾンセンサー³⁾：本研究で使用したセンサーは、半導体型オゾンセンサー(エフアイエス株式会社 SP-61)であるが、「相対的な濃度把握を行う」ものであり、濃度測定器としては位置づけられていない。そのため、センサーの応答に影響を与える環境条件を特定し、その測定と補正方法を考慮する必要がある。2010年8月～2011年1月に札幌市内で、2012年6月より北海道内広域でオキシダント測定が行われている測定局にオゾンセンサーを設置し、同時測定を行なった。



2. PMセンサー⁴⁾：PM濃度の測定には、国立環境研究所で開発され、神栄テクノロジー(株)から販売されているエアロゾルセンサー（AES-1）およびPM2.5センサーを使用した。これらのセンサーは、センサー内に設置したファンにより空気を導入し、試料空気中の粒子が散乱したレーザー光を検出し、粒子個数を計測するものである。したがって、PM2.5濃度を測定するためには、PM2.5測定機との同時測定を行い、センサーの出力値とPM2.5測定機による質量濃度との関係を決定する必要がある。PM2.5センサーの較正を目的として、2013年12月より、北海道、北海道環境科学センター、神栄テクノロジー(株)と共同で、札幌、旭川、千歳において、PM2.5の自動測定機との並行測定を行う実証実験を行っている。



3. エアロゾルの吸収係数：測定には本研究グループで開発したテープ式吸収率計を用いた。エアロゾルの吸収係数は、黒色炭素や土壌粒子などの着色エアロゾル成分によって決まるが、概ね黒色炭素濃度に対応していることがわかっている。

(2) センサーを用いた道内観測

2012年6月より順次、札幌(都市域)および天塩演習林(清浄地域)でセンサーを用いた測定を開始した。なお、札幌では地表(北海道環境科学研究センター、以下、環境センター)での測定に加え手稲山山頂(標高1,023m)でも測定を行ない、バックグラウンド濃度や越境汚染の把握を試みた。

3. 結果・考察

(1) オゾンセンサーの較正

センサーの応答は気温の影響を最も大きく受け、長期間の観測ではその補正が不可欠である。その他、湿度や他の汚染物質の影響を検討したが、図1に示すように、気温のみの補正によりセンサー応答値からオゾン濃度を得ることが可能であることが分かった。

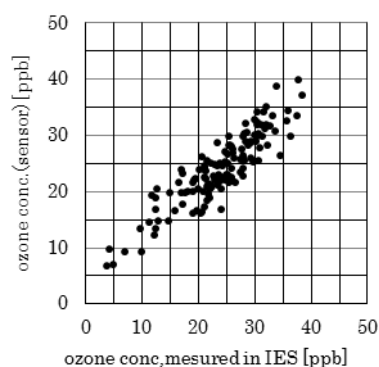


図1 環境センターでのオゾン濃度と北大でのセンサー応答の気温補正值の比較

図2に手稲山と天塩演習林でオゾン計とセンサー応答値の比較を示す。図よりセンサー応答値とオゾン濃度の間に一対一対応がみられ、センサーは、短期間であれば、温度補正なしでもオゾンの変動を概ね捉えることができると考えられる。

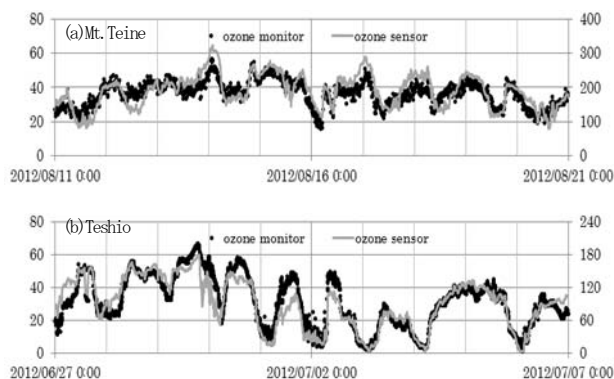


図2 オゾン計による濃度(・)とオゾンセンサー出力(—)の比較 (a)手稲山、(b)天塩演習林

北海道内におけるオゾンセンサーを用いた試験測定では、各地点で概ねオゾンの変動を捉えることができた。日内変動の大きい地点では、1分値でオゾン濃度を得ることが可能な為、一週間以上の平均濃度しか得ることができないパッシブサンプラーなどと比べ、本センサーの利用はより有効であると考えられる。また、日内変動が少なく数日単位で変動する地点においても、オゾン濃度の変動を他地点と比較することで越境汚染や都市内汚染を把握することができると考えられる。

オゾンセンサーの実用化によって、オゾンの影響が懸念される農地や森林域での測定、都市規模での緻密な測定、さらには清浄地域におけるオゾンの長距離輸送の監視が可能になるとともに、大気汚染が著しいにもかかわらず、その実態把握が不十分な途上国での観測網の整備にも多大な貢献が期待できると考えられる。

(2) PM センサーの試験測定

前述した実証実験について、旭川での2014年1～3月の比較測定結果を図3に示す。センサーによる濃度は自動測定機による濃度に対してバラツキがあるものの、一時

間値の増減は一致し、センサーはPM2.5濃度の短時間の増減にも対応していると考えられる。環境基準が設定されている日平均値での決定係数は0.84となり、自動測定機の測定結果に近くなっている。

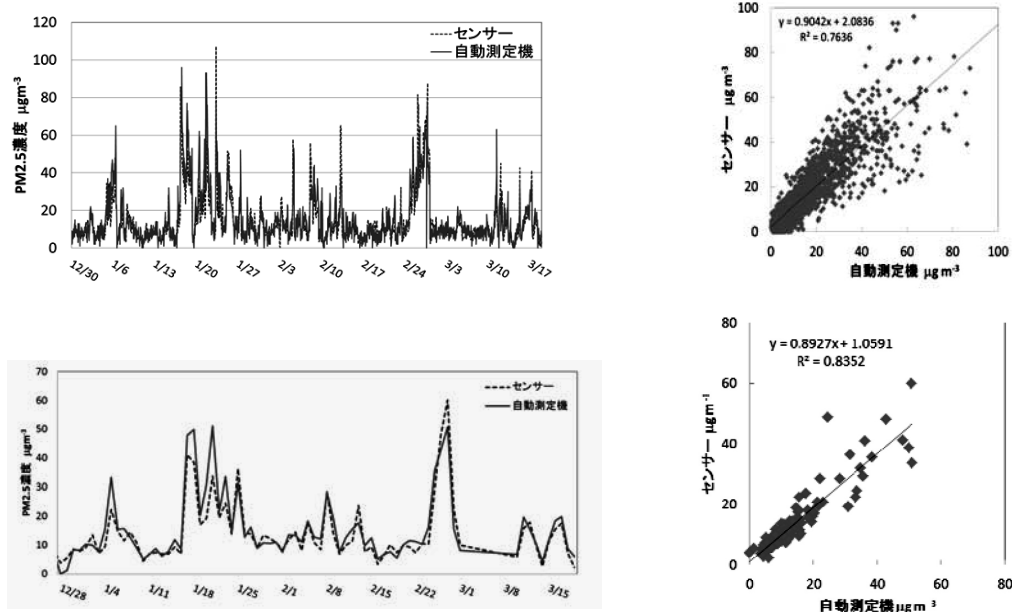


図3 旭川市北門局におけるセンサーおよび自動測定機によるPM2.5濃度の比較
上：一時間値、下：日平均値

(3) センサーを用いた越境汚染の観測

2013年10月30日～31日には、北海道全域にわたってPM2.5濃度が上がる現象が観測された。手稲山山頂での観測結果を図4に示す。実線で示すように、手稲山山頂でも0.5μm以上の粒子数濃度の増加がみられたが、注目されるのは、エアロゾルの吸収係数を粒子数で除した値の変動（図中点線）である。この値は粒子の黒さを表すものであるが、例えば、10月28日日中にこの値が非常に高くなっているが粒子数は非常に少ない。一方、越境汚染が認められた10月31日には、粒子数と粒子の黒さの間に逆の変動がみられる。大陸からの越境汚染では、PM2.5粒子中の硫酸塩の割合が高く、一方、地域の汚染では（濃度は低いものの）相対的に黒色炭素エアロゾルの割合が高くなるため、このような関係が得られたと考えられる。同様の挙動は天塩演習林でも観測されており（図5）、越境汚染の観測からの定量的評価が可能になるかもしれない。

謝辞： 観測に協力いただいた北海道放送(株)、北海道大学天塩演習林の高木健太郎博士に感謝いたします。本論文をまとめるにあたり、科学研究費（2534000103）の助成を受けました。

参考文献

- 1) Emily G. Snyder et al., The Changing Paradigm of Air Pollution Monitoring, Environ. Sci. Technol. 2013, 47, 11369–11377.
- 2) Mark Bart et al., High Density Ozone Monitoring Using Gas Sensitive Semi-Conductor Sensors in the Lower Fraser Valley, British Columbia, Environ. Sci. Technol. 2014, 48, 3970–3977
- 3) 内山政弘, 奥村聡, 河上由行, 中川太郎, 山形定, 村尾直人, 大気中のオゾン測定センサ・ネットワークの開発, 環境科学, 24, pp.19-24 (2014).
- 4) 内山政弘, 奥村聡, 河上由行, 中川太郎, エアロゾル個数濃度エアロゾル・センサによるPM2.5の推定, 環境科学, 24, pp.19-24 (2014)

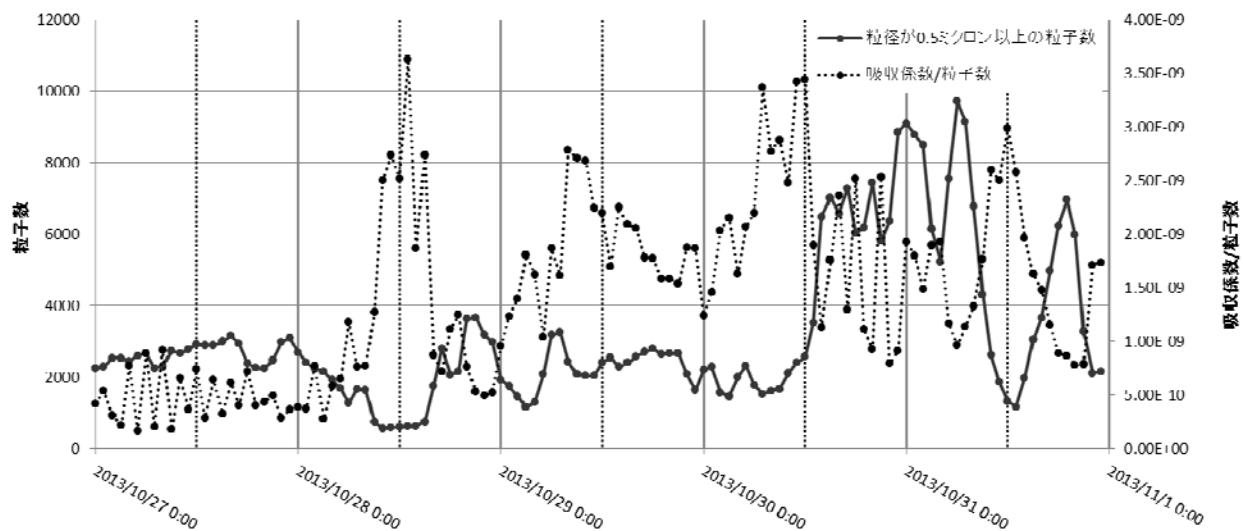


図4 手稲山での粒子数（283ccあたりの個数）と吸収係数/粒子数の変動（2013年11月）

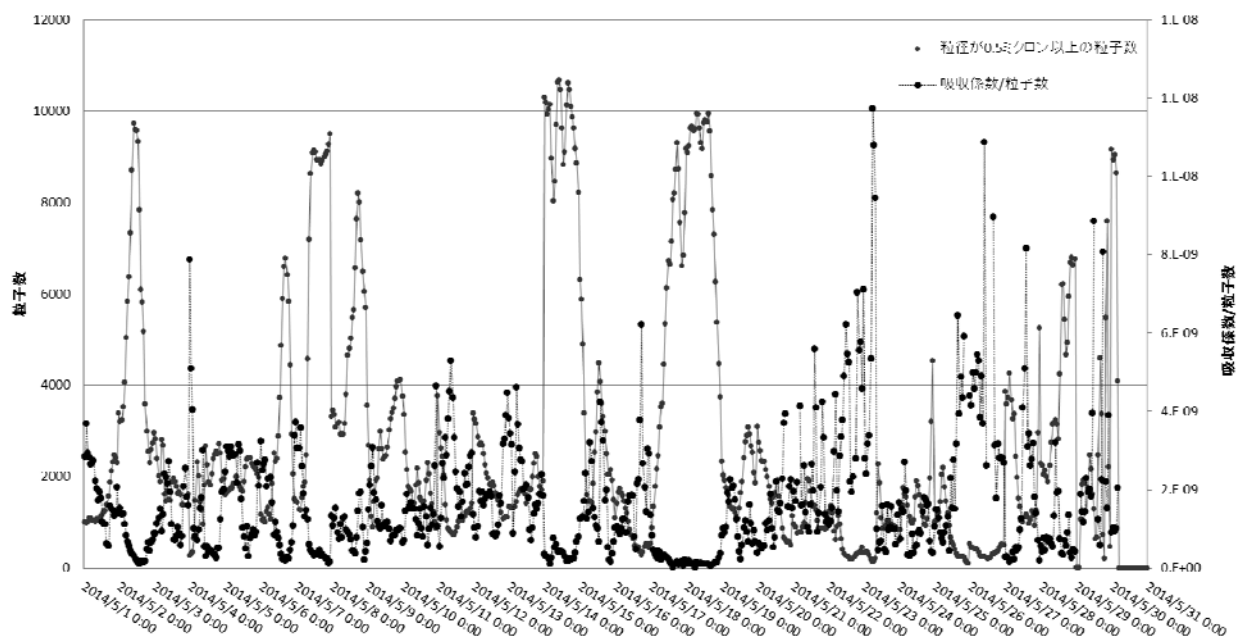


図5 天塩演習林での粒子数（283ccあたりの個数）と吸収係数/粒子数の変動（2014年5月）