

2013 年初頭の中国での重度の大気汚染状況が報告されて以来、微小粒子状物質（PM_{2.5}）に対する国民的な関心が高まった。PM_{2.5} 発生源の一つである自動車排出ガスに関して、本稿では、自動車から排出される PM_{2.5} の特徴や近年の自動車排出ガス規制の推移についてまとめる。次いで、リアルワールドにおける最新の PM_{2.5} 濃度状況についての集計結果を示し、今後の PM_{2.5} 対策として必要な取り組みについて紹介する。

1. はじめに

2013 年 1 月に、中国都市域における重度の大気汚染の発生や、大気汚染物質の国内への流れ込みといった状況について、報道などで大きく取り上げられた。この大気汚染の主要物質として、微小粒子状物質（以下、PM_{2.5}）を挙げることができるが、これらの出来事を契機として、PM_{2.5} に対する国民の関心が大きく高まった。なお、PM_{2.5} とは、大気中に浮遊している粒径 2.5 μm（1 μm は 1/1000mm）以下の小さな粒子のことで（図 1）、その小ささのため、肺の奥深くまで入りやすく、呼吸器系への影響に加え、循環器系への影響が心配されている⁽¹⁾。

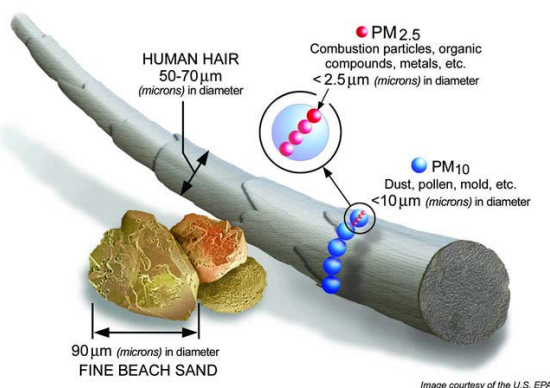


図 1 PM_{2.5} の大きさを示す概念図

出典：US-EPA ホームページ

国内の PM_{2.5} 濃度に影響を及ぼす要因として、一般的には、大陸からの越境輸送による汚染に関心が向きがちではある。しかし、2015 年 3 月に中央環境審議会・微小粒子状物質等専門委員会が公表した、「微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方についての中間取りまとめ（案）」⁽²⁾ では、PM_{2.5} 対策のあり方として、越境対策だけでなく、国内対策の重要性も指摘しており、固定発生源及び移動発生源の排出抑制策として、既存の対策をベースとした短期対策と中長期対策に分けて検討が進められている。東京都の調査によると、都内の PM_{2.5} 濃度に対する関東地方の発生源別寄与割合（2008 年度）は、自動車が 12%、船舶と大規模固定発生源がそれぞれ 7%と推計されており⁽³⁾、他の発生源とあわせて、自動車排出対策も PM_{2.5} 濃度低減の重要な取り組みの一つとなっている。

本稿では、主に自動車に由来する PM_{2.5} 排出について取

り上げる。まず、自動車排出ガスに含まれる粒子成分の特徴や、近年の自動車排出ガス規制の推移についてまとめる。次いで、PM_{2.5} の現況として、一般環境や道路沿道環境における直近数年間の PM_{2.5} 濃度観測結果について、集計した結果を紹介する。

2. 自動車からの PM_{2.5} 排出

1) 自動車排出粒子の特徴

自動車走行時には、燃料の燃焼に伴い排気管から粒子状物質が排出される。自動車排出粒子は、ディーゼル自動車からの排出が多く、ガソリン自動車からの排出は相対的に少ない。図 2 は、自動車排出粒子の粒径について、質量濃度分布と数濃度分布の例を表している⁽⁴⁾。図 2 より、自動車排出粒子は、質量濃度分布で見ると、粒径 0.1~0.3 μm にピークを持つ分布となっているため、PM_{2.5} の定義に照らし合わせると、自動車排出粒子は、ほとんどが PM_{2.5} からなる、とみなす事ができる。

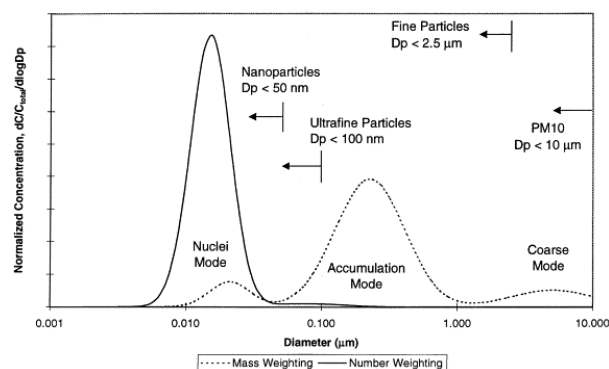


図 2 エンジン排気粒子の粒径別濃度分布

出典：Kittelson、1998

自動車排出粒子に含まれる構成成分は、大部分が元素炭素（Elemental Carbon、EC）であり、その他、有機炭素（Organic Carbon、OC）やサルフェートが含まれている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。EC と OC は、燃料や潤滑油中の炭素成分を由来として発生し、サルフェートは、燃料や潤滑油中の硫黄成分を由来として発生する。

2) 自動車排出ガスの規制および排出ガス低減技術

自動車排出ガスには、燃焼生成物として、二酸化炭素と水が多く含まれているが、それ以外にも微量成分を含む多

くの燃焼由来成分が含まれている。大気汚染防止法では、自動車排出ガスの対象物質として、一酸化炭素、炭化水素、粒子状物質（PM）、窒素酸化物（NO_x）、鉛化合物の5つが指定されており、特に1990年代以降、PMとNO_xの対策を中心に、順次排出ガス規制の強化が行われてきた。図3は、ディーゼル重量車（12トン超）のPMを例に、1994年（平成6年）以降のPM規制値の推移を表している。ディーゼル重量車については、1994年の短期規制以降、長期規制、新短期規制、新長期規制、ポスト新長期規制と順次規制が強化された。

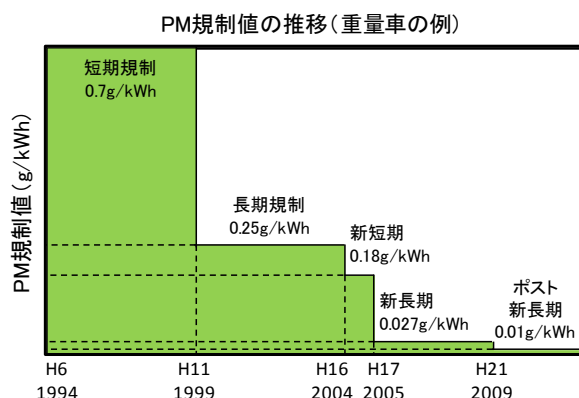


図3 重量車 PM 規制値の推移

このような自動車排出ガス規制の強化に対応するために技術開発が進められた。主な自動車排出ガス対策としては、燃焼の改善、燃料の改善、後処理装置の設置をあげることができるが、PMの低減技術としては、後処理装置である酸化触媒やDPF（Diesel Particulate Filter）を用いた浄化システムが広く採用されている。また、燃料の改善については、PMの原因となりうる物質を除去するという一面もあるが、燃料中の硫黄含有量を低減させることで、後処理装置がより有効に機能するという一面もあり、燃料改善は、自動車排出ガス対策として欠かせない技術である。なお、国内では、世界に先んじて、硫黄含有量の少ない自動車用燃料が製造・流通されている。

3. PM_{2.5} 濃度の現況

1) PM_{2.5} 重量濃度と環境基準達成率

PM_{2.5}の濃度状況については、全国約800局の大気汚染常時監視局（以下：常監局）で濃度観測が続けられており、濃度監視のほか、長期的な大気汚染状況および大気環境基準（例：表1）の達成状況の評価が行われている。PM_{2.5}濃度の測定を行っている常監局のうち、約600局が一般大気環境測定局（以下：一般局）、約200局が自動車排出ガス測定局（以下：自排局）であり、2009年度以降、PM_{2.5}測定局の設置・整備が順次進められてきた。図4に、2010年度以降のPM_{2.5}測定局数と大気環境基準達成局数、および大気環境基準達成率の推移を表している。なお、2010～2013年度は確定値に基づく達成状況であり、2014年度は、濃度

速報データを元に算出した暫定結果である。この結果から、PM_{2.5}の環境基準達成率は、2013年度に一時的に10%台と落ち込んでいるが、期間内を通じて、概ね20～40%程度で推移しており、一般局・自排局ともに、少なくとも全体の半分以上の局で環境基準非達成となっていることが分かった。したがって、現在は、さらなるPM_{2.5}濃度低減に向けた取り組みを継続していかねばならない状況にあることが確認された。

表1 PM_{2.5}大気環境基準

物質名	評価に用いられる環境基準
微小粒子状物質 (PM _{2.5})	1日平均の98%値が $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下 年平均値が $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下

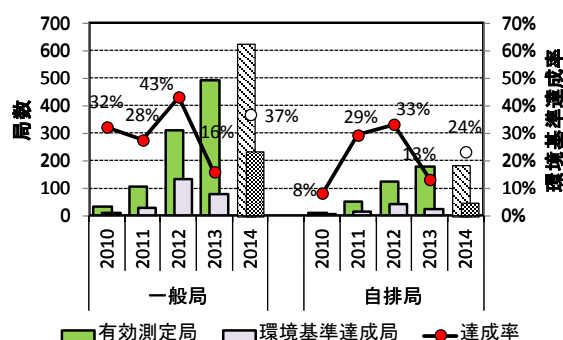


図4 PM_{2.5}環境基準達成率の推移。2010～2013年度は確定値、2014年度は濃度速報データを元に算出した暫定結果。

東京都では、2000年代初頭から現在に至るまで、長期間に渡って継続的にPM_{2.5}観測を実施している。図5は、東京23区内の自排局（日光街道梅島）と、その直近の一般局（足立区綾瀬）で、2002年度から2013年度に測定されたPM_{2.5}年平均濃度と、参考の為に、同じ期間における窒素酸化物（NO_x）年平均濃度の推移を表している⁽⁷⁾。

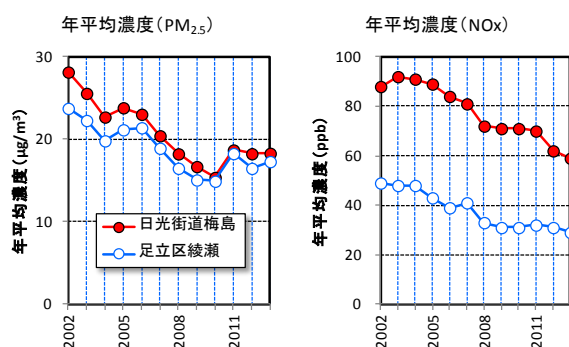


図5 東京23区内の自排局（日光街道梅島）とその直近の一般局（足立区綾瀬）でのPM_{2.5}およびNO_x濃度の推移

これらの図より、PM_{2.5}もNO_xも経年的に濃度が低下していることが分かる。一般に、自動車排出ガスに含まれる成分は、一般環境に比べ道路沿道で濃度が高くなっており、この道路沿道と一般環境での濃度差を、自動車直接寄与濃

度とよんでいる。NO_xの自動車直接寄与濃度は、近年低下傾向が見られるものの、依然として大きな値となっているが、PM_{2.5}については、2000年代前半に、5 μg/m³程度の自動車直接寄与濃度が見られたが、最近では、一般環境と道路沿道ではほぼ同等の濃度となっていることがわかる。よって、自動車排出ガスの規制強化に伴い、自動車による直接的なPM_{2.5}の寄与が低下したことが考えられる。

2) PM_{2.5} 構成成分の濃度推移

PM_{2.5}の環境基準は、表1のようにPM_{2.5}重量濃度で表されているが、PM_{2.5}を構成する主要成分の推移も重要な情報である。図6は、2000年代前半と2012年度に、国内の一般環境および道路沿道にて測定された、PM_{2.5}主要成分の平均濃度を表している⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

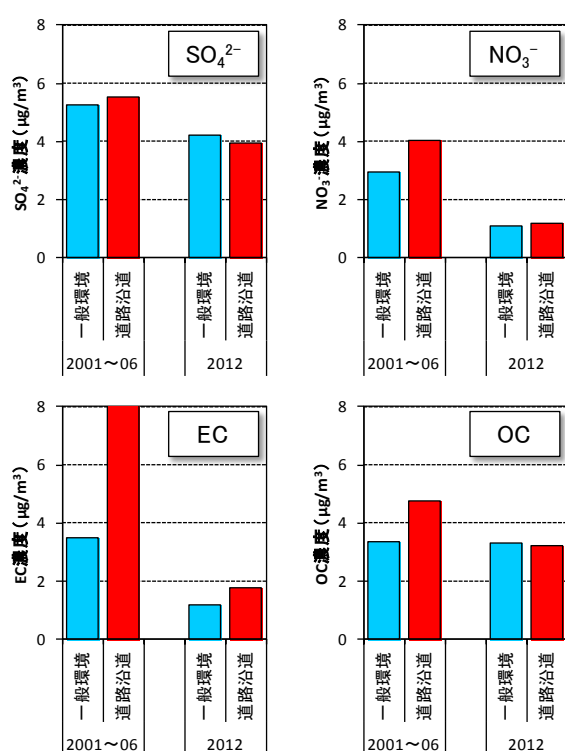


図6 2000年代前半と2012年度のPM_{2.5}主要成分の平均濃度

なお、2000年代前半の測定は、環境省が、微小粒子状物質曝露影響調査の一環で行ったもので、全国の一般環境14ヶ所、道路沿道5ヶ所にて測定が実施された⁽⁸⁾。2012年度の測定は、全国の自治体で実施されたもので、ここでは、一般環境52地点、道路沿道24地点での測定結果を平均している⁽⁹⁾。2000年代前半と2012年度では、測定場所や測定局数も一定ではなく、測定方法に関しても、この期間内に改善が進んでいる。そのため、両者の結果を厳密に比較することは出来ないものの、傾向としては、2000年代前半と比べ、2012年度では、一般局・自排局共に、PM_{2.5}主要成分の濃度が低下していることが分かる。特に、道路沿道でのECの濃度低下は顕著に見られ、2012年度のSO₄²⁻、NO₃⁻、OCについては、一般環境と道路沿道の濃度差がほとんど無い。これらの結果からも、自動車に由来すると見

られる直接的なPM_{2.5}の濃度増加は、以前に比べ大きく低下していることが分かる。したがって、自動車排出ガス規制の強化に伴う排出量低減が、実際の大気環境の改善につながっていることが示唆される。

4. まとめと今後の課題

本稿では、自動車からのPM_{2.5}排出傾向について取り上げた。自動車排出粒子は、ほとんどがPM_{2.5}からなっており、主な成分は元素炭素(EC)である。これらの排出に対する規制は、1990年代以降順次強化されたが、車両側の技術開発及び燃料中の硫黄分の低減技術導入などにより、PM排出の少ない車両が順次投入されてきた。道路沿道でのPM_{2.5}濃度にも低下傾向が見られ、規制強化や技術進化による排出量低減が、大気環境の改善につながっていることが示唆された。

このようにPM_{2.5}に対する直接的な自動車排出の影響は小さくなってきたが、PM_{2.5}の半分以上を占める二次粒子(大気中の化学反応を経て生成される粒子)に対する自動車排出ガスの寄与については、まだ分からないことが多く、大きな課題である。これらを解明するツールとして、大気シミュレーションの活用が大いに期待されるが、PM_{2.5}濃度の再現性向上や入力データの改善など、まだまだ改善の余地が残されており、今後の研究の進展が期待される。また、自動車排出ガスの低減に伴い、排気以外からのPM_{2.5}(たとえば、巻上粉塵やタイヤ・ブレーキ粉塵)の注目が高まっており、今後も検討が必要である。

参考文献

- (1) [United States Environmental Protection Agency \(US-EPA\) ホームページ](#)
- (2) 中央環境審議会大気・騒音振動部会 微小粒子状物質等専門委員会 (2015)、微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方について中間取りまとめ (案)
- (3) [東京都微小粒子状物質検討会 \(2011\)、東京都微小粒子状物質検討会報告書、pp30-32、](#)
- (4) Kittelson, D. B. (1998)、Engines and nanoparticles: a review、Journal of Aerosol Science、 Vol. 29、 pp. 575-588
- (5) 環境庁ディーゼル排気微粒子リスク評価検討会 (2002)、ディーゼル排気微粒子リスク評価検討会平成13年度報告
- (6) 萩野浩之、佐々木左宇介、中山明美、中島徹 (2010) : ディーゼルエンジンならびにガソリン車両からの有機炭素/元素炭素の排出量と性状分析、自動車研究、 Vol. 32、 No. 12、 pp705-708
- (7) [東京都環境局: 大気汚染測定結果ダウンロード](#)
- (8) 環境省: 微小粒子状物質曝露影響調査報告書 (2007)
- (9) [環境省ホームページ](#)