

北京における PM_{2.5} の推移と現状

奥田 知明 ^{1*}

Long-Term Trend and Current Status of PM_{2.5} in Beijing

Tomoaki OKUDA ^{1*}

Received 19 March 2014

Accepted 10 July 2014

Abstract This paper focuses on the long-term trend and current status of air pollution in China. In particular, fine particulate matter (PM_{2.5}) in Beijing city was introduced. The annual number of scientific journal publications regarding PM_{2.5} in China has been increased from zero before 2000 to more than 100 in the past two years. The concentrations of PM₁₀ in Beijing have been decreased from 169 ± 94 µg/m³ in 2001 to 109 ± 73 µg/m³ in 2012. Researchers should note that Beijing is not a representative city of China because it was uniquely developed due to the hosting of the 2008 Summer Olympic Games. The concentrations of PM_{2.5} in Beijing have almost been constant at a level of 100 µg/m³ from April 2010 to October 2013 except in January 2013, showing remarkably high monthly average PM_{2.5} concentrations (200 µg/m³). This highly polluted situation was probably due to a tentative meteorological condition in that period, and this did not cause any elevation of PM_{2.5} concentration in Japan. The chemical composition of PM_{2.5} in 2010 was similar to that in 2000, however, the content of carbonaceous species in PM_{2.5} was likely to have decreased from 2000 to 2010 when compared to water-soluble ionic species. The concentrations of air pollutants decreased by up to 50% in the summer of 2008 due to Olympic Game related environmental control measures, but they increased again in 2009. It seems difficult for many Chinese cities to satisfy the ambient air quality standard for PM_{2.5} even though the standard is not strict when compared to other countries. Since the status of atmospheric environment in China changes abruptly, the continuous monitoring is mandatory.

Keywords : Aerosol, Air Pollution, Beijing, Black Carbon, Chemical Composition, China, Long-Term Trend, Olympic Games, PM_{2.5}, Seasonal Variation.

1. はじめに

近年、微小粒子状物質（「粒子の空気動力学的 50% カットオフ径が 2.5 µm である粒子」、また別の表現では、「大気中に浮遊する粒子状物質であって、粒径が 2.5 µm の粒子を 50% の割合で分離できる分粒装置を用いて、より粒径の大きい粒子を除去した後に採取される粒子」、以下「PM_{2.5}」という）による大気汚染問題が

¹ 慶應義塾大学理工学部応用化学科
(〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1)

Department of Applied Chemistry, Faculty of Science and Technology, Keio University
3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa 223-8522

* Corresponding Author.
E-mail: okuda@appc.keio.ac.jp (T. Okuda)

世間一般に広く知られるようになってきた。特に 2013 年 1 月以降、中国東北部、特に北京における大気汚染問題がたびたび報じられている。しかし、一般の方はもとより、大気環境研究者であっても、北京をはじめとした中国都市域における大気汚染については、その実態を把握できていない方も多いのではないかと思われる。筆者は 2000 年以降、北京をはじめとした中国各地でフィールド観測を行う機会に恵まれた¹⁻⁸⁾。そこで本稿では、2000 年以降の中国特に北京における PM_{2.5}を中心とした大気汚染状況について、おもに文献や利用可能な公開データに基づいて述べる。なお本稿では中国特に北京に焦点を絞ってレビューを行ったが、我が国における PM_{2.5} の現状については既報⁹⁾をご参照いただきたい。

2. 中国の $PM_{2.5}$ を対象とした科学技術論文数の推移

$PM_{2.5}$ を対象とした科学技術論文数の推移について, Thomson Reuters 社の論文データベース (Web of Science [v5.13.1], Science Citation Index Expanded, 2014/2/24 アクセス) による検索を行った。“ $PM_{2.5}$ ” をキーワードに持ち 1900~1999 年に出版された当該データベース上の文献数は 182 報であった。このうち “United States” を含むものは 20 報であったが, “Japan” は 3 報, “China” は 1 報のみであった。また “Tokyo” や “Beijing” を含むものは見つからなかった。同様の条件で 2000~2013 年に出版された “ $PM_{2.5}$ ” 文献を検索した結果, 全世界では 6,602 報となり, AND 検索による結果は “United States”, “Japan”, “Tokyo”, “China”, “Beijing” の順に, 982, 102, 21, 856, 285 であった。“China” または “Beijing” を含む “ $PM_{2.5}$ ” 論文の年ごとの推移を Fig. 1 に示す。これらのデータが示す通り, 2000 年以前では中国において $PM_{2.5}$ に関する科学技術研究はほとんど行われていなかつたが, 最近の論文数で見れば中国は米国とほぼ同じペースで研究が進められているといえる。

中国における $PM_{2.5}$ 研究の先駆けは He *et al.* (2001)¹⁰⁾ であろう。この論文では北京における $PM_{2.5}$ 濃度と化学組成に加えてその季節変動や気象条件との関連まで詳細に調査されており, さらにデータの QA/QC や, ガス状もしくは半揮発性成分によるアーティファクトも考慮された非常に質の高い研究デザインがなされている。その後の論文数は 2008 年頃にやや停滞が見られるが, 最近では再び顕著な増加傾向を示している。論文数の増加に伴い, その研究内容の質には論文によって大きなばらつきが見られるため, データ引用の際には十分な注意が必要である。

3. 北京における大気汚染物質濃度の経年変化, 季節変動, および日変動

中国の公的機関が $PM_{2.5}$ 濃度を公表するようになったのは 2013 年 1 月からである¹¹⁾。これに先駆け 2010 年より北京の米国大使館が $PM_{2.5}$ 濃度を公開している¹²⁾が, それ以前にさかのぼることのできる長期的な $PM_{2.5}$ の観測データはない。そこで本稿では, 中国において 2000 年代初頭からデータが公開されている大気汚染物質 (PM_{10} , SO_2 , NO_2) 濃度の連続的データを示し, 近年入手可能となった $PM_{2.5}$ 濃度の推移と合わせて大気汚染物質の長期的動向と季節変動, および一日ごとの短期的な濃度変動についてまとめた。なお, 中国では大気汚染物質濃度が質量濃度 ($\mu g/m^3$) で表される場合と環境空気質量指数 (AQI: Air Quality Index, 以前は大気汚染指数 API: Air Pollution Index と呼ばれていた) で表される場合がある。AQI もしくは API の定義は「中華人民共和国国家環境保護標準：環境空気質量指標 (AQI) 技術規定（試行）(HJ633-2012)¹³⁾」に示されているが,

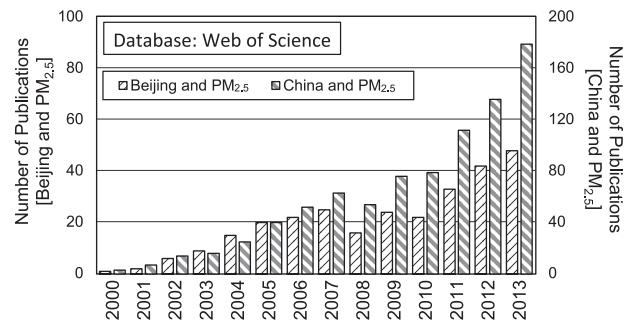


Fig. 1 Number of publications that have {“Beijing” and “ $PM_{2.5}$ ”} and {“China” and “ $PM_{2.5}$ ”} for the keywords since 2000. Database: Web of Science [v5.13.1] Science Citation Index Expanded, accessed on February 24, 2014. Before 1999, no publication was found using keywords {“Beijing” and “ $PM_{2.5}$ ”}, and one publication was found using keywords {“China” and “ $PM_{2.5}$ ”} on that database.

大気汚染物質濃度を 0~500 の間の値で示される指数に変換したものであり, $PM_{2.5}$ 濃度についていえば, その対応関係は, (AQI, $PM_{2.5}$ 濃度 ($\mu g/m^3$)) で表現すると, (0, 0), (50, 35), (100, 75), (150, 115), (200, 150), (300, 250), (400, 350), (500, 500) となり, この値の間は線形に補間することで AQI から $PM_{2.5}$ 濃度が計算できる。中国における API の調査結果については杉本 (2008)¹⁴⁾ もご参照いただきたい。

北京市環境保護局 (BJEPB) が公開していた, 北京における 2001 年以降の大気汚染物質 (PM_{10} , SO_2 , NO_2) 濃度の月平均値 (元データは日平均値¹⁵⁾) の推移を Fig. 2 に示す。 PM_{10} は 2013 年 1 月まで, SO_2 および NO_2 は 2011 年 3 月まで (2004 年に一部欠あり) のデータが入手可能であった。なお BJEPB によるデータと BJEPB 以外の機関による観測データとはおおむね整合性があることが確認されている²⁾。2001 年における北京の PM_{10} 濃度の年平均値は $169 \pm 94 \mu g/m^3$ ($n=364$) であり, 2006 年まではほぼ同程度で推移していたものの, 北京オリンピックが開催された 2008 年には $123 \pm 84 \mu g/m^3$ ($n=361$), その後 2012 年では $109 \pm 73 \mu g/m^3$ ($n=364$) と減少傾向が続いている。 SO_2 には顕著な季節変動が見られるが, もっとも高濃度となる冬季のピークに注目すると, 2002 年 1 月には約 $160 \mu g/m^3$ ($20^\circ C$, 1 atm において約 60 ppb) であったのに対し, 2012 年では約 $70 \mu g/m^3$ (同, 約 26 ppb) 程度と半分以下まで減少している。 NO_2 に関しては, PM_{10} や SO_2 と比較すると明確な減少傾向は見られない。

北京では 2008 年の夏季オリンピック開催に伴い, きわめて大規模な都市改造を行った。国連の調査によれば, 2001~2007 年の間に行われた環境関連投資額は 174 億 USD, すなわち約 2 兆円規模に達する¹⁶⁾。北京市街の変遷を示す一例として, 筆者が市内の開発地域にて 2004 年より定期的に撮影した写真を Fig. 3 に示す。

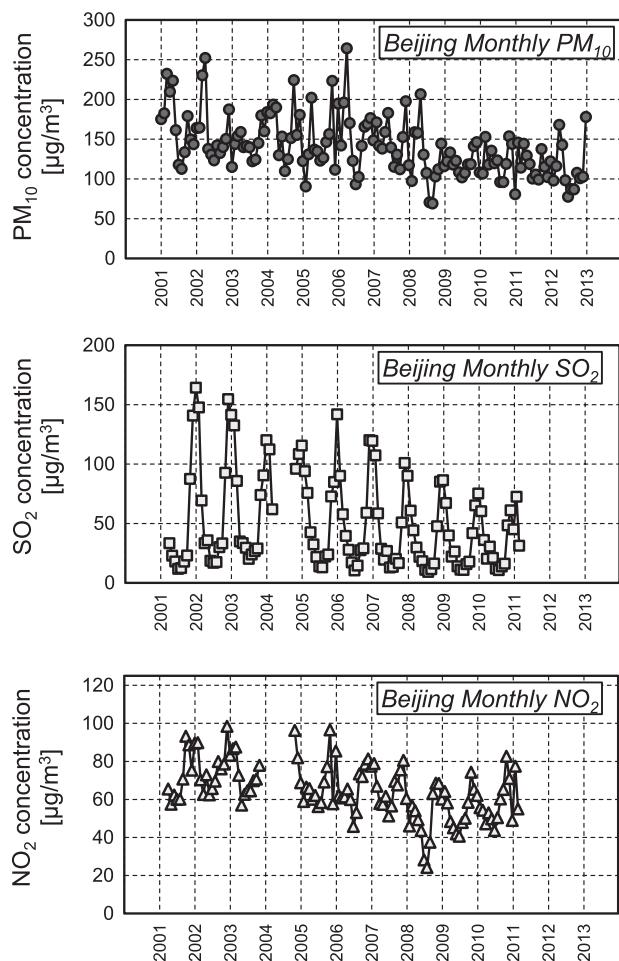


Fig. 2 The monthly averaged concentrations of PM_{10} , SO_2 , and NO_2 in Beijing, China, since 2001¹⁵⁾.

撮影箇所は天安門広場から北に約10kmの地点にある中国科学院地理科学与資源研究所の6階建屋上である。写真はそれぞれの年の8~9月に南東方向を写したもので、数百m先にはオリンピックスタジアムである国家体育场（いわゆる「鳥の巣」）やオリンピックプール（国家游泳中心）がある、北京市内でも特に大規模な都市開発が行われた地域である。2004年の時点では交差点の向こう側に大きな建造物は見えていない。2006年では大規模な建造物の建築中であることが見えるが、この当時は市内の至る所でこのような光景が見られた。2008年では建造物がすべて完成している。なお写真に見えている建造物は、オリンピック開催当時はプレスセンターとして使用され、それ以降はホテルとして稼働している。

このように北京ではオリンピック開催に伴い大規模な都市改造成を行ったため、北京が中国都市域を代表する地点であるかどうかは検討を要する。一例として、北京から南東に約100km離れた位置にある天津（Tianjin）の PM_{10} 濃度の月平均値¹¹⁾の推移をFig. 4に、また北京と天津の PM_{10} 濃度の年平均値の推移をFig. 5に示す。2001年と2012年の時点における両都市の PM_{10} 濃度は

ほとんど違ひがないものの、北京では前述の通り2006年まで横ばい傾向を示した後に現在に至るまで減少傾向が続いているが、天津では2001年から2007年にかけて減少した後は現在まではほぼ横ばいとなっている。広域的な気象条件においては両都市に大きな差はないと考えられることから、ここで見られる PM_{10} 濃度の推移は、都市による違いが現れているのではないかと考えられる。したがって、北京における観測結果を、中国都市域の代表値として扱う際には十分に注意を払う必要がある。

次に、北京と天津における大気汚染物質濃度の季節変動を検証する。Table 1に、両都市における大気汚染物質濃度の月平均値の期間平均値と、夏季（6~8月）と冬季（12~2月）のそれぞれの平均値を示す。北京 SO_2 濃度は大幅な季節変動があり、冬季／夏季の比は6.4倍に達する。一方北京 PM_{10} および NO_2 濃度はその比が1.2~1.3程度であり、冬季に若干の上昇が見られるもののその傾向は顕著ではない。天津では PM_{10} 濃度の冬季／夏季の比は1.8倍と北京よりもやや高く、ここでも両都市間で差異が見られる。Figs. 2, 4に示す通り、全般的に見て両都市における大気汚染物質濃度の季節変動幅は年々小さくなっているように見受けられ、これ以降も継続的な観測データの解析が望まれたが、残念なことに中国では2013年1月に突然 PM_{10} 濃度の公開形式が変更され、特に過去データの利用に関して閲覧者の利便性が大幅に制限されてしまった^{15,17,18)}。中国ではこのように前触れなく各種システムが変更されることが多くあり、たとえばデータを公開しているURLアドレスが突然変更されることもこれまでにしばしばあった。中国関連のデータをインターネットを通じて自動的に取得する際には、このような事象が起こりうることを念頭に置いておきたい。

次に、2010年以降からのデータが利用可能である $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の推移について述べる。Fig. 6には、2010年4月から2013年10月までの期間における、 PM_{10} および $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の、それぞれの月平均濃度を示す。なおBJEPBの PM_{10} 濃度はTEOMにより、また米国大使館の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は β 線吸収法により測定されており、測定原理が異なることには注意を要する。この期間では $\text{PM}_{2.5}$ 濃度はほぼ $100\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 付近、また PM_{10} 濃度はそれよりもやや高い値で推移しており、この状況は我が国と比較すると約5倍の濃度レベルであることから、北京での粒子状物質による大気汚染は深刻な状況であるといえる。 PM_{10} および $\text{PM}_{2.5}$ 濃度はそれぞれ2013年1月にピーク（約 $200\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）を示している。これ以降の PM_{10} 濃度データはないが、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は2013年2月以降にはまたそれ以前のレベルに戻っているように見える。2013年1月以降に、各種メディアにより北京をはじめとする中国国内の大気汚染がたびたび報じられているが、データを見るかぎりは2013年1月だけが特



Fig. 3 Maps of Beijing city, and photographs looking southeast from the rooftop of building of Chinese Academy of Sciences (CAS) in Beijing, taken in every other year from 2004 to 2010. The days when the photographs were taken, and PM_{10} concentrations on the corresponding days¹⁵⁾ were as follows. September 23, 2004, 194 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; September 2, 2006, 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; August 2, 2008, 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; and August 23, 2010, 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

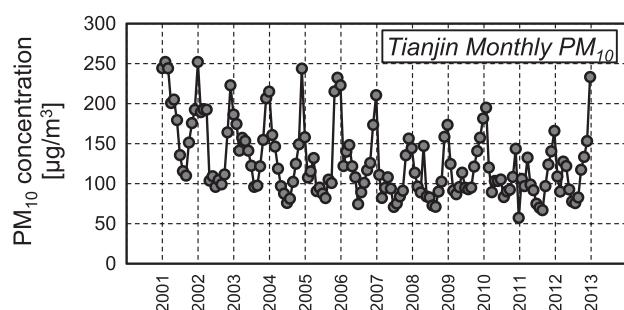


Fig. 4 The monthly averaged concentrations of PM_{10} in Tianjin, China, since 2001¹¹⁾.

異的に高濃度であったといえる。この $PM_{2.5}$ の高濃度現象の主な原因は、例年とは異なる気象パターンによるものだったと考えられている。2013 年 1 月のシベリア域の高気圧強度が例年よりも非常に弱く、さらに高気圧の中心が中国東部に位置していたため、風が弱く大気が安定した結果、北京周辺では $PM_{2.5}$ をはじめとする大気汚染物質が高濃度になりやすい気象条件であつ

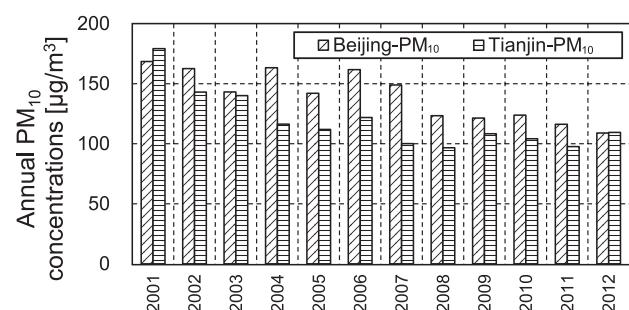


Fig. 5 The annual mean concentrations of PM_{10} in Beijing and Tianjin since 2001^{11,15)}.

たという解析がなされている¹⁹⁾。したがって、北京での $PM_{2.5}$ による大気汚染は深刻な状況であることは間違いないが、2013 年 1 月の高濃度イベントは例外的な現象であり、長期的に見れば少なくとも 2010 年から 2013 年にかけて汚染状況が悪化してきているわけではないといえる。

北京における $PM_{2.5}$ 濃度の一日ごとの短期的な変動

Table 1 The monthly concentrations of PM_{10} , SO_2 , and NO_2 in Beijing, and PM_{10} in Tianjin, for annual mean, summer (June to August), and winter (December to February)^{11,15)}

	Beijing									Tianjin		
	PM_{10}^a [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			SO_2^b [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			NO_2^b [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			PM_{10}^a [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		
	Mean	SD	n	Mean	SD	n	Mean	SD	n	Mean	SD	n
Annual	140.6	36.7	145	50.0	39.5	113	64.7	14.2	109	128.1	46.1	145
Summer	118.7	22.6	36	16.0	5.3	27	53.6	11.3	27	95.5	22.7	36
Winter	142.5	33.2	35	101.9	31.9	30	71.7	13.4	27	171.6	48.3	35
Winter/Summer	1.2			6.4			1.3			1.8		

^a From 2001 to 2013, ^b From 2001 to 2011

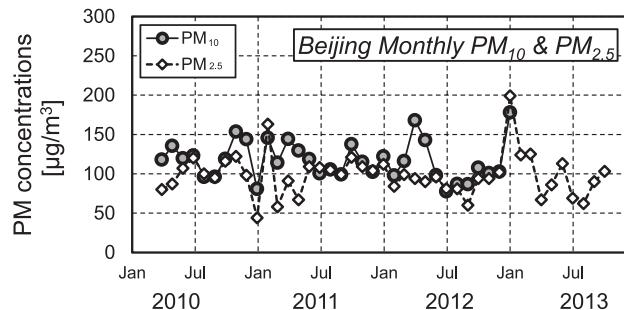


Fig. 6 The monthly averaged concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in Beijing, China, from April 2010 to October 2013^{12,15)}.

の一例として、この2013年1月から2月にかけてのデータ¹²⁾をFig. 7に示す。2013年1月12日には $PM_{2.5}$ 濃度の1時間値が $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える状態が数時間続き、日平均濃度も $550 \mu\text{g}/\text{m}^3$ に達している。これをきっかけに、1月23日や28~29日などといった高濃度日になると、連日のように北京の大気汚染を伝える報道が相次いだ。しかしデータを良く見れば、平時と比較して $PM_{2.5}$ 濃度がきわめて高い状態が数週間にわたり継続して起こっていたわけではなく、数日単位で濃度の増減を繰り返していたことがわかる。このような数日スケールの $PM_{2.5}$ 濃度の変動は我が国においても頻繁に見られる現象であり、その原因是主として、気圧配置の移り変わりや高気圧・低気圧の移動などといった気象条件に起因すると考えられている²⁰⁾。各種メディアによる報道はどうしても高濃度現象の発生時に集中しがちであるが、実測データに基づいた冷静な理解が必要である。

4. 北京における $PM_{2.5}$ の化学組成とその推移

ここまで述べてきたように、北京では2000年以降に大規模な都市改造やさまざまな環境対策が行われ、 PM_{10} 濃度が減少してきた。 $PM_{2.5}$ については PM_{10} ほどの長期連続的な観測データはないが、 PM_{10} と $PM_{2.5}$ の割合がある程度変わらないのであれば、 $PM_{2.5}$ 濃度も長期的には減少してきていると考えることができる。これに伴い、 $PM_{2.5}$ の化学組成も変化してきている可能性がある。本章ではこのことについて検討する。

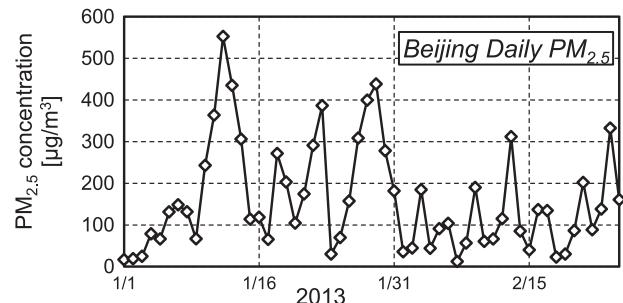


Fig. 7 The daily averaged concentration of $PM_{2.5}$ in Beijing, China, from January 1 to February 25, 2013¹²⁾.

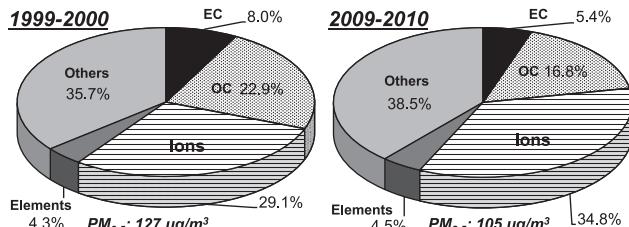


Fig. 8 Representative chemical compositions of $PM_{2.5}$ in Beijing^{10,21-23)}. EC: elemental carbon; OC: organic carbon; Ions: water-soluble inorganic species (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , and SO_4^{2-}); Elements: selected elements (Al, Si, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, and Pb).

Fig. 8に、2000年頃¹⁰⁾と2010年頃²¹⁻²³⁾の時点での、北京 $PM_{2.5}$ の化学組成データを示す。これによれば、2000年当時の $PM_{2.5}$ の主要な化学組成は、水溶性イオン成分、有機炭素(OC)、元素状炭素(EC)であり、その割合は、順に29.1%, 22.9%, 8.0%であった。これに対し2010年頃では、主要構成成分は変わらないものの、その割合については順に、イオン成分34.8%, OCが16.8%，そしてECが5.4%であり、イオン成分が増加した一方で炭素性成分が減少している。割合でなく濃度で見てみると、イオン成分濃度があまり変化していない一方で、OCとECが大きく減少しており、特にECは2000年には約 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのが2010年では約 $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と4割近く減少している。OCについてはさまざまな要因が考えられるためここではこれ以上触れないが、ECが大きく減少したことについては、

人為的な燃焼活動による EC の発生がある程度抑制されてきたことを示していると考えられる。なおここに示した値は年平均値であって、冬季には炭素性成分の割合が大きくなるという季節変動がある^{21,23)}。また東京都が 2008 年度に春夏秋冬それぞれ 2 週間ずつ行った調査²⁴⁾によれば、東京の一般環境（道路沿道ではない地点）における PM_{2.5} 濃度の年平均値は 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、その化学組成は、イオン成分 47%，OC が 18%，そして EC が 7% であった。これらの結果を見ると、北京と東京では PM_{2.5} 濃度としては 5 倍程度の開きがある一方で、その主要な化学組成については顕著な違いは見られず、水溶性イオン成分濃度の割合が東京でやや高い程度であるといえる。ただし、個別の元素や化合物に関しては、北京と東京で大きく PM_{2.5} 中の存在割合が異なるものも多く、これらのトレーサーを用いた PM_{2.5} の発生源推定などが行われている²⁵⁻²⁷⁾。

5. 北京オリンピックと大気環境の変化

前述の通り、北京では 2008 年の夏季オリンピック開催に伴う大規模な都市改造と環境対策を行った。その対策は長期的にはエネルギー消費・交通システム・産業など多方面にわたり講じられ¹⁶⁾、特に実際のオリンピック開催期間には、自動車のナンバープレートによる規制・汚染発生施設の一時的閉鎖・土木作業の禁止・VOC を含む建築用塗料の使用禁止など、さらに厳しい規制が課せられた²⁸⁾。Fig. 2 に示した長期的な大気汚染物質濃度の推移を見ても、2008 年夏頃には北京の PM₁₀ と NO₂ について顕著な濃度の減少が認められる（天津の PM₁₀ ではこの傾向は見られない、Fig. 4 参照）。このオリンピック開催に伴う北京の大気環境状況の変化については多くの論文が発表されているが、その内容としては、2008 年のみを対象期間としてオリンピック開催前後の変化を論じたものが多い。しかしながら、前述の 2013 年 1 月の例のように、ある年のある期間のみを対象とすると、その年のみの特異的な気象条件により大気環境状況が影響を受けてしまっている可能性があることに加え、オリンピック・パラリンピックの開催に伴う環境規制が行われた期間が約 3 ヶ月間に及ぶために、季節的な変動も考慮しなければならないこと

に注意すべきである。したがって、オリンピック開催による影響を議論するためには、2008 年のみならず、その前後数年間にわたり同時期の大気環境状況を調査すべきであると筆者は考えているが、この観点から研究デザインがなされている論文は少ない。その例を以下に示す。

Witte *et al.* (2009)²⁹⁾ は、衛星データを用いて、2005～2008 年の北京を含む中国沿海地域の NO₂、SO₂、および CO 濃度の変化を解析した。その結果、2008 年の夏季（7～9 月）は、2005～2007 年の同時期と比較して、NO₂ で約 40%，SO₂ と CO で約 10% 減少していた。Schleicher *et al.* (2011)³⁰⁾ は、黒色炭素（BC）の地上観測を行い、2008 年の夏季（8 月）は、2005～2007 年の同時期と比較して、BC がおよそ半減した（約 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ → 約 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）と報告している。Okuda *et al.* (2011)⁶⁾ は、地上観測の結果に基づき、2008 年の夏季（7 月 1 日～9 月 20 日）は、2005～2007 年の同時期と比較して、PM_{2.5} 濃度に関しては有意な差は見られなかったものの、NO₂ では約 50% の減少が見られ、さらに PM₁₀、BC、SO₂ では約 30% の減少が見られたと報告している。いくつかの観測は 2009 年まで延長されたが、2008 年と比較するとほぼすべての場合で汚染物質濃度は上昇しており (Fig. 9)，オリンピック期間における大気環境状況の改善は一時的だったことを示唆している^{6,30-32)}。なお、北京における 2005 年から 2009 年の夏季の気象条件としては、2008 年に降水量がやや多かった以外は気温・湿度・風向・風速に特段の違いは見られていない^{6,30)}。

6. PM_{2.5} の越境汚染について⁹⁾

北京で高濃度の PM_{2.5} が観測された 2013 年 1 月頃に、我が国ではどのような状況だったのかを検証する。長崎県福江島（北京から約 1,500 km、東京から約 1,100 km）における PM_{2.5} の観測結果によれば、2013 年 1～2 月の濃度レベルは過去 4 年間のものと同程度であった³³⁾。汚染物質の排出量と化学反応および気象データを統合したシミュレーションモデルによる解析の結果からも、中国から我が国への汚染物質の輸送量が例年と比較して 2013 年 1 月に増加したということはなかったと結論

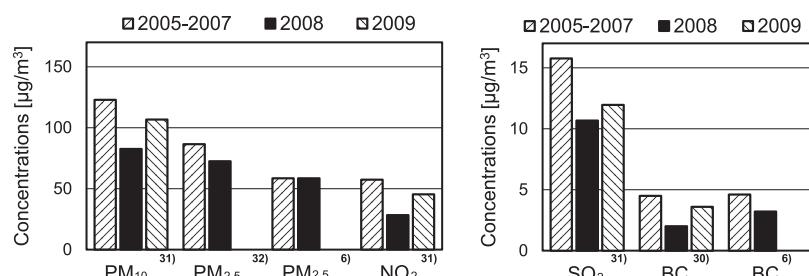


Fig. 9 The concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, and black carbon in PM_{2.5} in Beijing, China, during the Olympic period (July 1st to September 20th, 2008) and the same period in 2005–2007, and 2009^{6,30-32)}.

Table 2 Environmental quality standards for PM_{2.5} in the world³⁷⁻⁴⁰⁾

Country/Region	PM _{2.5} Standards [μg/m ³]		Published	Refs
	Annual	Daily		
China	35	75	2012	37
Japan	15	35	2009	38
United States	12	35	2013	39
EU	20	-	2008	40

づけられている¹⁹⁾。関東地方を見てみても、たとえば千葉県における2013年1月のPM_{2.5}濃度は、2006～2010年の平均的なPM_{2.5}濃度と比較して大きな差は見られない^{34,35)}。すなわちこれらの結果を総合すると、2013年1月においては確かに北京で高濃度のPM_{2.5}が観測されたものの、それが直接我が国のPM_{2.5}濃度を上昇させたわけではない、といえる。

しかしその一方で、九州地方の大都市である福岡と、島内に大規模発生源のない長崎県福江島において年間を通じて大気観測を行ったところ、PM_{2.5}濃度レベルやその変動パターンが年間を通じておおむね同様であったことから、九州地方のPM_{2.5}濃度の変動は大陸からの輸送による影響を大きく受けている、とする最近の研究報告がある³⁶⁾。またシミュレーションモデルにより我が国におけるPM_{2.5}の発生源地域を解析した研究では、年間を通じて自国分が約30%であったのに対し、中国分が約50%であった³³⁾。この寄与率には地域差があるものの、我が国において観測されるPM_{2.5}の主要な発生源地域としては、当然中国を考えなければならないこともまた事実である。

いずれにせよ、中国国内でPM_{2.5}の高濃度現象が観測されたとしても、それが同じ濃度レベルを保ったまま我が国まで到達することは考えられない。我が国においては長期的に見てPM_{2.5}濃度が減少してきたため、近年ではPM_{2.5}の発生源地域として中国の影響が無視できなくなってきたこと、と理解するのが妥当なのではないだろうか。

7. 中国におけるPM_{2.5}の環境基準の現状と今後の対策

中国と日米欧におけるPM_{2.5}の環境基準値³⁷⁻⁴⁰⁾をTable 2に示す。実際にはそれぞれの国や地域で細かい定義が異なっていたり⁴¹⁾、また我が国にはこれに加えて「注意喚起のための暫定的な指針（PM_{2.5}濃度の日平均値70 μg/m³）」が定められているなど基準値の設定が複雑な場合もあるため、ここではおよその目安と考えていただきたい。ここに示す通り、中国におけるPM_{2.5}の環境基準値は他国と比較して非常に緩いものであるが、これまで述べてきた中国国内における大気環境の現状を考えると、この基準を達成するのは容易ではないと考えられる。最近になって中国政府や北京政府は具体的な大気汚染防止計画を次々に発表しており、たとえば北京市大気浄化行動計画では、全市の大気中

のPM_{2.5}濃度を2017年に60 μg/m³程度とすることを目標としている⁴²⁾が、それでも中国におけるPM_{2.5}の環境基準値をはるかに上回るレベルである。いずれにせよ、中国の大気環境状況は今後も大幅に変化することが予想されるため、継続的にその推移を注視していくことが必要である。

References

- 1) Okuda, T., Kumata, H., Naraoka, H. and Takada, H.: Origin of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Chinese Cities Solved by Compound-Specific Stable Carbon Isotopic Analyses, *Org. Geochem.*, **33**, 1737–1745 (2002)
- 2) Okuda, T., Kato, J., Mori, J., Tenmoku, M., Suda, Y., Tanaka, S., He, K., Ma, Y., Yang, F., Yu, X., Duan, F. and Lei, Y.: Daily Concentrations of Trace Metals in Aerosols in Beijing, China, Determined by Using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry Equipped with Laser Ablation Analysis, and Source Identification of Aerosols, *Sci. Total Environ.*, **330**, 145–158 (2004)
- 3) Okuda, T., Naoi, D., Tenmoku, M., Tanaka, S., He, K., Ma, Y., Lei, Y., Jia, Y. and Zhang, D.-H.: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Aerosol in Beijing, China, Measured by Aminopropylsilane Chemically-Bonded Stationary-Phase Column Chromatography and HPLC/Fluorescence Detection, *Chemosphere*, **65**, 427–435 (2006)
- 4) Okuda, T., Katsuno, M., Naoi, D., Nakao, S., Tanaka, S., He, K., Ma, Y., Lei, Y. and Jia, Y.: Trends in Hazardous Trace Metal Concentrations in Aerosols Collected in Beijing, China from 2001 to 2006, *Chemosphere*, **72**, 917–924 (2008)
- 5) Okuda, T., Okamoto, K., Tanaka, S., Shen, Z. X., Han, Y. M. and Huo, Z. Q.: Measurement and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Aerosol in Xi'an, China, by Using Automated Column Chromatography and Applying Positive Matrix Factorization (PMF), *Sci. Total Environ.*, **408**, 1909–1914 (2010)
- 6) Okuda, T., Matsuura, S., Yamaguchi, D., Umemura, T., Hanada, E., Orihara, H., Tanaka, S., He, K., Ma, Y., Cheng, Y. and Liang, L.: The Impact of the Pollution Control Measures for the 2008 Beijing Olympic Games on the Chemical Composition of Aerosols, *Atmos. Environ.*, **45**, 2789–2794 (2011)
- 7) Okuda, T., Takada, H., Kumata, H., Nakajima, F., Hatakeyama, S., Uchida, M., Tanaka, S., He, K. and Ma, Y.: Inorganic Chemical Characterization of Aerosols in Four Asian Mega-Cities, *Aerosol Air Qual. Res.*, **13**, 436–449 (2013)

- 8) Okuda, T., Gunji, Y., He, K. and Ma, Y.: Persulfate Wet Oxidation Method for the Determination of Total Phosphorus in Atmospheric Aerosols and Its Application for a Year-Round Observation in Beijing, *Asian J. Atmos. Environ.*, **7**, 169–175 (2013)
- 9) Okuda, T.: Current Status of $PM_{2.5}$ in Japan, *J. Aviation Environ. Res.*, **18**, 3–9 (2014) (in Japanese)
- 10) He, K., Yang, F., Ma, Y., Zhang, Q., Yao, X., Chan, C. K., Cadle, S., Chan, T. and Mulawa, P.: The Characteristics of $PM_{2.5}$ in Beijing, China, *Atmos. Environ.*, **35**, 4959–4970 (2001)
- 11) Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China: http://datacenter.mep.gov.cn/report/air_daily/airCityMain.jsp (2014) (in Chinese)
- 12) Embassy of the United States, Beijing, China: *U.S Embassy Beijing Air Quality Monitor*, <http://beijing.usembassy-china.org.cn/070109air.html> (2010–2013)
- 13) Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China: Technical Regulation on Ambient Air Quality Index (on trial). <http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqhjhb/jcgfffbz/201203/W020120410332725219541.pdf> (2012) (in Chinese)
- 14) Sugimoto, N.: Atmospheric Environment in China Inferred from the Air Pollution Index (API), *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **43**, 295–300 (2008) (in Japanese)
- 15) Beijing Municipal Environmental Protection Bureau (BJEPB): <http://www.bjepb.gov.cn/> (2001–2013) (in Chinese)
- 16) United Nations Environment Programme (UNEP): *Independent Environmental Assessment: Beijing 2008 Olympic Games*, Nairobi, Kenya (2009)
- 17) The National Urban Air Quality Real-time Publishing Platform: <http://113.108.142.147:20035/emcpublish> (2014) (in Chinese)
- 18) Beijing Municipal Environmental Monitoring Center: <http://zx.bjmcmc.com.cn/> (2014) (in Chinese)
- 19) Uno, I., Yumimoto, K., Hara, Y., Itahashi, S., Kanaya, Y., Sugimoto, N. and Ohara, T.: Why Did a Remarkably High $PM_{2.5}$ Air Pollution Occur over China in the Winter of 2013? *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **48**, 274–280 (2013) (in Japanese)
- 20) Kaneyasu, N., Takami, A., Sato, K., Hatakeyama, S., Hayashi, M., Hara, K., Kawamoto, K. and Yamamoto, S.: Year-Round Behavior of $PM_{2.5}$ in a Remote Island and Urban Sites in the Northern Kyushu Area, Japan, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **46**, 111–118 (2011) (in Japanese)
- 21) Zhang, R., Jing, J., Tao, J., Hsu, S.-C., Wang, G., Cao, J., Lee, C. S. L., Zhu, L., Chen, Z., Zhao, Y. and Shen, Z.: Chemical Characterization and Source Apportionment of $PM_{2.5}$ in Beijing: Seasonal Perspective, *Atmos. Chem. Phys.*, **13**, 7053–7074 (2013)
- 22) Yu, L., Wang, G., Zhang, R., Zhang, L., Song, Y., Wu, B., Li, X., An, K. and Chu, J.: Characterization and Source Apportionment of $PM_{2.5}$ in an Urban Environment in Beijing, *Aerosol Air Qual. Res.*, **13**, 574–583 (2013)
- 23) Zhao, P., Dong, F., Yang, Y., He, D., Zhao, X., Zhang, W., Yao, Q. and Liu, H.: Characteristics of Carbonaceous Aerosol in the Region of Beijing, Tianjin, and Hebei, China, *Atmos. Environ.*, **71**, 389–398 (2013)
- 24) Tokyo Metropolitan Government: <https://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/attachment/1%20Air%20reserch%20report.pdf> (2011) (in Japanese)
- 25) Lim, S., Lee, M., Lee, G., Kim, S., Yoon, S. and Kang, K.: Ionic and carbonaceous compositions of PM_{10} , $PM_{2.5}$ and $PM_{1.0}$ at Gosan ABC Superstation and Their Ratios as Source Signature, *Atmos. Chem. Phys.*, **12**, 2007–2024 (2012)
- 26) Yonemochi, S., Chen, X., Miao, P., Lu, S., Oh, K. and Umezawa, N.: Characterization of High Concentration of $PM_{2.5}$ and PM_1 Collected in Beijing in January, 2013, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **48**, 140–144 (2013) (in Japanese)
- 27) Iijima, A., Tago, H., Kumagai, K., Kato, M., Kozawa, K., Sato, K. and Furuta, N.: Regional and Seasonal Characteristics of Emission Sources of Fine Airborne Particulate Matter Collected in the Center and Suburbs of Tokyo, Japan as Determined by Multielement Analysis and Source Receptor Models, *J. Environ. Monit.*, **10**, 1025–1032 (2008)
- 28) Beijing Municipal People's Government: Public Notice April 4 and June 6 (2008)
- 29) Witte, J. C., Schoeberl, M. R., Douglass, A. R., Gleason, J. F., Krotkov, N. A., Gille, J. C., Pickering, K. E. and Livesey, N.: Satellite Observations of Changes in Air Quality during the 2008 Beijing Olympics and Paralympics, *Geophys. Res. Lett.*, **36**, L17803, doi:10.1029/2009GL039236 (2009)
- 30) Schleicher, N., Norra, S., Dietze, V., Yu, Y., Fricker, M., Kaminski, U., Chen, Y. and Cen, K.: The Effect of Mitigation Measures on Size Distributed Mass Concentrations of Atmospheric Particles and Black Carbon Concentrations during the Olympic Summer Games 2008 in Beijing, *Sci. Total. Environ.*, **412–413**, 185–193 (2011)
- 31) Okuda, T., Matsuura, S., Yamaguchi, D., Umemura, T., Hanada, E., Orihara, H., Tanaka, S., He, K., Ma, Y., Cheng, Y. and Liang, L.: The Impact of the Pollution Control Measures for the 2008 Beijing Olympic Games on the Chemical Composition of Aerosols. *7th Asian Aerosol Conference*, Xi'an, China, pp. 756–763 (2011)
- 32) Guo, S., Hu, M., Guo, Q., Zhang, X., Schauer, J. J. and Zhang, R.: Quantitative Evaluation of Emission Controls on Primary and Secondary Organic Aerosol Sources during Beijing 2008 Olympics, *Atmos. Chem. Phys.*, **13**, 8303–8314 (2013)
- 33) Kanaya, Y.: To Understand the Trans-Boundary Air Pollution Correctly, *Nikkei Science* May 2013, 35–39 (2013) (in Japanese)
- 34) Ishii, K. and Watanabe, T.: *Annual Report of Chiba Prefectural Environmental Research Center* (2010) (in Japanese)
- 35) Chiba Prefectural Government: <http://www.pref.chiba.lg.jp/taiki/joukyou/pm25.html> (2014) (in Japanese)
- 36) Kaneyasu, N., Takami, A., Sato, K., Hatakeyama, S., Hayashi, M., Hara, K.-I., Kawamoto, K. and Yamamoto, S.: Year-round behavior of $PM_{2.5}$ in a remote island and urban sites in the Northern Kyushu Area, Japan, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*,

- 48, 140–144 (2013) (in Japanese)
- 37) Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China: *Ambient air quality standards*, Chinese National Standard GB3095-2012 (2012)
- 38) Ministry of Environment, Japan: *Environmental Quality Standards for the PM_{2.5}*, Notification #33, September 9 (2009) (in Japanese)
- 39) USEPA: *National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule*, Federal Register 78, January 15 (2013)
- 40) European Parliament and of the Council: *Ambient air quality and cleaner air for Europe*, Directive 2008/50/EC, May 21 (2008)
- 41) Takebayashi, T., Asakura, K. and Yamada, M.: Exposure to PM_{2.5} and Effects on Human Health: Implications for Health Risk Assessment in Japan, *J. Jpn. Soc. Atmos. Environ.*, **46**, 70–76 (2011) (in Japanese)
- 42) Hatakeyama, S.: *Ekkyou suru taikiosen*, PHP Institute Inc. (2014) (in Japanese)