

大気汚染物質としての PM_{2.5} PM_{2.5} as air pollution substances

工学院大学 建築学部 教授, 博士 (公衆衛生学, 工学)
Prof., D.P.H., Dr.Eng., Kogakuin University, School of Architecture

柳 宇
U Yanagi

キーワード：大気汚染 (Air pollution), PM_{2.5} (Particulate matter with diameter less than 2.5 μm), 健康影響 (health effect), 汚染実態 (Pollution phenomenon)

1 PM_{2.5} の問題

1.1 大気汚染の問題

大気中の浮遊粉塵は空気中の粒子状物質で、土壌、海洋、火山活動などの自然からの発生以外に、主として工場、自動車などヒトの生産・生活活動に伴って発生する。浮遊粉塵の汚染によるヒトの呼吸系への影響については最初にラマッチーニ (1633~1714, 予防医学の基礎を築いた者として公衆衛生の歴史上に名を残している) が 1700 年に発表した「医事警察」で述べられた。産業構造や、ヒトの生活活動の変化に伴って大気中の浮遊粉塵による汚染の様子も大きく変わってきており、第 1 次産業革命後大気環境は悪化の一途に辿ってきた。

表 1 に大気汚染の代表的な事象を示す。大気汚染の原因は燃焼によるものである点は共通しているが、燃焼源の違いで汚染生成物や人の健康への影響が異なってくる。日本においては、高度経済成長期の 1960 年から 1972 年にかけて政治問題化した四日市コンビナートから発生した大気汚染物質による集団喘息の障害が四大公害病として知られている。

以上のことから、大気汚染には工業活動の活発化などが深く関わることがわかる。次に述べる中国の大気汚染の問題も例外ではない。

表 1 大気汚染の代表事象

| | ロンドン型スモッグ | ロサンゼルス型スモッグ |
|---------|------------|--------------|
| 特徴 | 黒いスモッグ | 白いスモッグ |
| 発生時期 | 冬期 | 夏期 |
| 死者数 (人) | 10,000 | 100 |
| 主な燃焼源 | 石炭系燃料 | 石油系燃料 |
| 主な成分 | 二酸化硫黄, ばい煙 | オゾン・パン・窒素酸化物 |
| 人体影響 | 気管支の刺激 | 眼・鼻・気道への刺激 |

1.2 なぜ PM_{2.5} なのか

大気汚染とそれに起因するヒトの健康への影響の問題は工場排煙由来の硫黄酸化物や、主としてディーゼル車に由来する窒素酸化物などのガス状物質が問題となるものや、ロンドンスモッグ事件に代表される粒径約 45μm 以下の TSP (Total suspended particulate matter, 総浮遊粒子状物質) と SO₂ が問題となるものがあり工場煙突の除塵・脱硫装置などの対応が進められてきた¹⁾。その後粒子径 10μm 以下の PM₁₀ については大気汚染防止法や建築物衛生法でその管理基準値が定められた。

図 1 に大気中のエアロゾルの粒子径分布を示す。近年 PM_{2.5} が問題とされるようになったのは①PM₁₀ の中でも自然由来のものではなく、②肺の奥まで到達する微粒子で、③粒径が小さくなると同じ重量

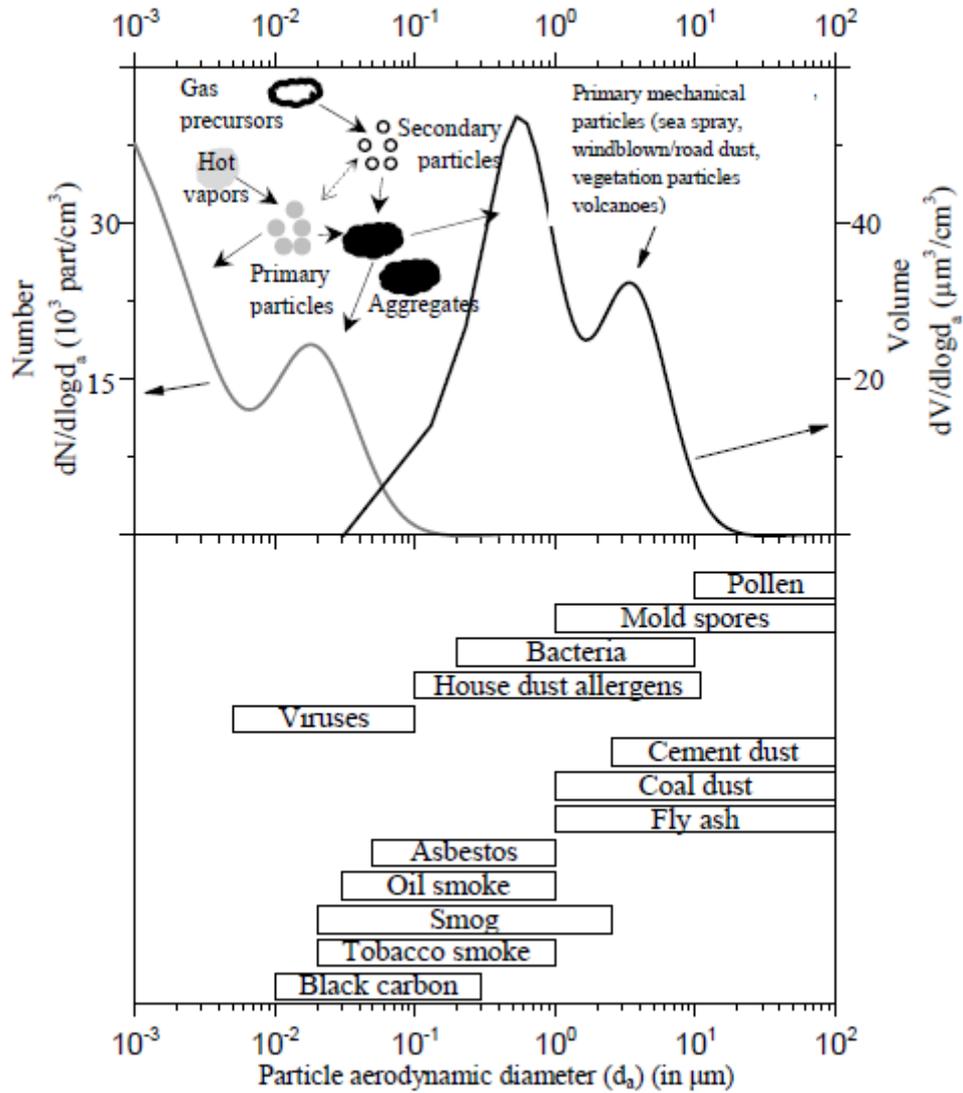


図 1 大気エアロゾルの粒径分布¹⁾

でも個数や表面積飛躍的に大きくなり、肺組織への作用が大きくなるためである。

PM_{2.5}は「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採取される微小粒子」と定義されており、欧米では日本より先に PM_{2.5}の環境基準を定めている。アメリカ EPA は 1997 年に PM_{2.5}の基準を 24 時間平均値 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、年平均値 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と定め、2006 年の改定で 24 時間平均値を 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に改め規制を厳しくした。日本では 2009 年に PM_{2.5}の環境基準値が定められた(基準値そのものは EPA2006 年改定後と同様)。

図 2 に PM_{2.5}の濃度と死亡率比を示す。死亡率比が PM_{2.5}の上昇に比例して増加することが分かる。また、Correia らが 2000~2007 年にアメリカの 545 郡を対象とした測定を行った結果と 1980~2000 年のデータに比べ、PM_{2.5}濃度の低減は 2000~2007 年の平均寿命の延長に関係するとし、PM_{2.5}濃度 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の低減は 0.35 年(SD=0.16 年, P=0.033)の平均余命の増加につながると主張した³⁾。

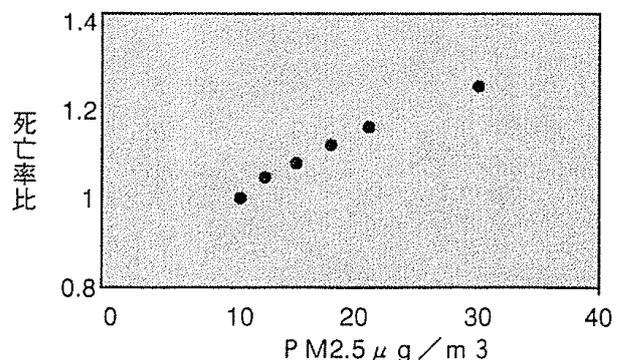


図 2 PM_{2.5}濃度と死亡率比¹⁾

2 世界・アジアにおける PM_{2.5} 汚染の現状

図 3 は東北アメリカ・西ヨーロッパ・東アジアの人口密度と水面上昇の分布図に PM_{2.5} 濃度を重ねて示したものである⁴⁾。PM_{2.5} の濃度は人口密度と地形に関係することが明らかである。また、人口密度と汚染度が高い低地の東中国とイタリア北部の谷の地域の PM_{2.5} 濃度は顕著に高いことがわかる。

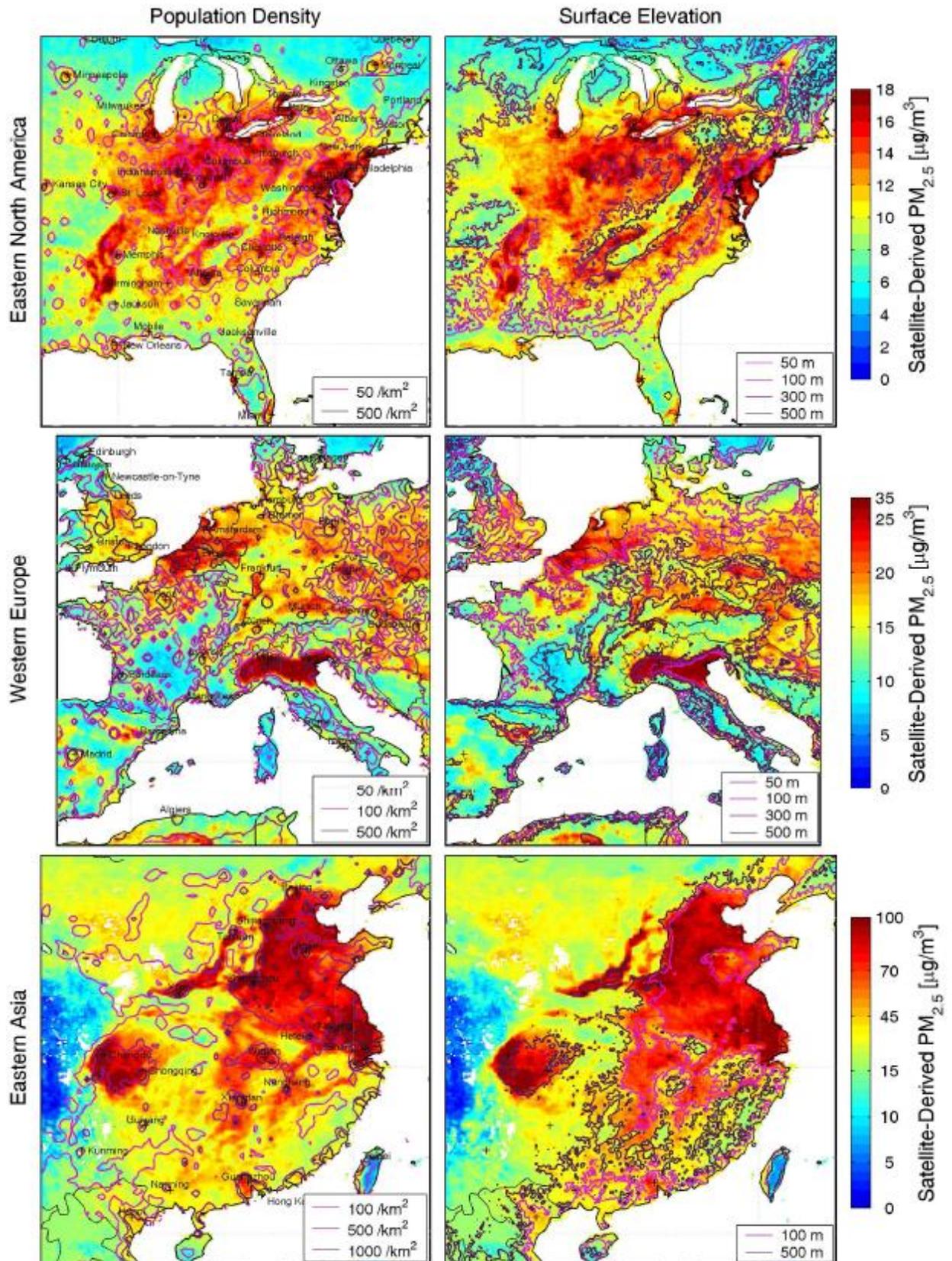


図 3 東北アメリカ・西ヨーロッパ・東アジアにおける人口密度・水位・PM_{2.5} 濃度の分布

図 4 に 2001～2006 年の世界各国の PM_{2.5} 濃度分布を示す⁴⁾。中国，特に中国の北部で PM_{2.5} 濃度が高いことが分かる。前述した通り，大気汚染は経済の発展，とりわけ工業活動に深く関係している。中国は 1980 年代から改革開放政策を取り，経済の発展に力を注いできた。1990 年代に入り，上海をはじめとする都市の近代化が急ピッチで進み，高層ビルが立ち並ぶようになった。一方，中国の北部の多くの地域ではいまだに石炭燃料を多く使用しており，それが北部の PM_{2.5} 問題の深刻さをもたらした一要因となっている。

北京オリンピック，上海万博の開催を契機に環境問題が重視され，一時的に強制的とも言える政策が取られ，大気汚染が一時的には改善されたかのように見えた。しかし，最近では PM_{2.5} に代表される大気汚染とそれに起因するヒトの健康影響の問題が国民の注目を集めている。中国の大気汚染の深刻さは写真 1 を見ればそれ以上の説明を省けるかもしれないが，3 組の写真は同じ場所で撮ったものであり，上 3 枚から大気汚染によって天安門や道路などがはっきり見えなくなっていることが分かる。

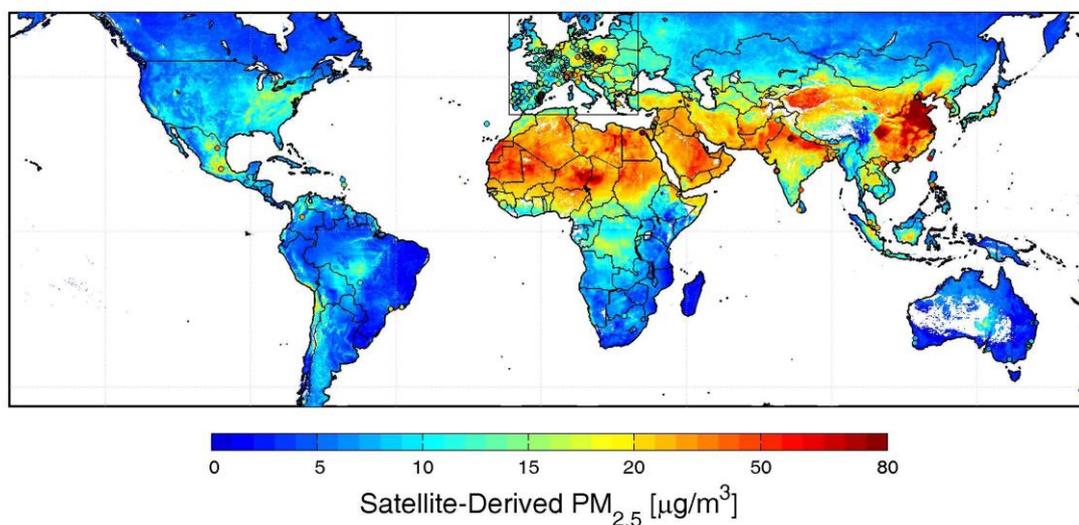


図 4 世界各国・地域の PM_{2.5} 濃度分布



写真 1 大気汚染の状況

中国の大気汚染の概念図

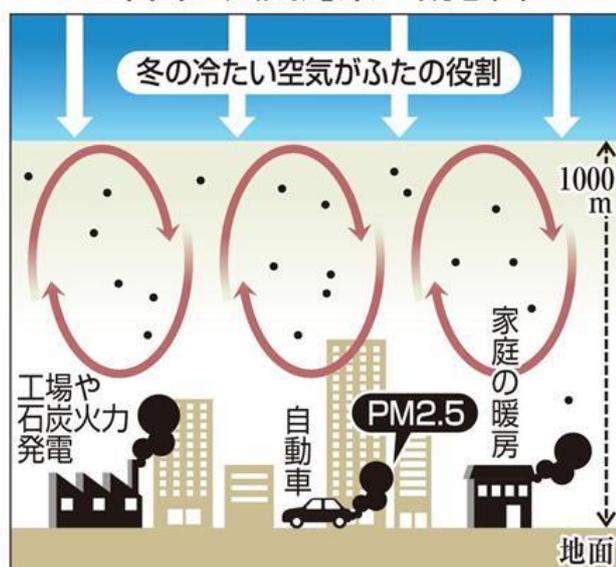


図 5 中国の大気汚染の概念図

図 5 に中国の大気汚染の概念図を示す。活発な工業活動に伴う工場・石炭火力発電、自動車、暖房の熱源として使用する石炭からの排気が大気汚染の原因となっている。北京市では、PM_{2.5}の寄与度について調査を行った結果、自動車 22.2%、石炭燃焼 16.7%、工業用材料 16.3%、いろいろな飛散 15.8%、その他 29%であった（2012 年 6 月 4 日、新華毎日電諮）。

中国で最初の光化学スモッグ事件は 1974 年に蘭州で起きた。それを契機に中国では大気汚染の研究が始まった（2013 年 2 月 21 日、南方週末）。中国の南都週刊の 2011 年度健康報告では、これまで公開された研究論文の調査結果をまとめた。表 2 にいくつかの都市の PM_{2.5}の濃度を示す。

中国の大気汚染による人の健康への問題は深刻である。東京新聞 2013 年 6 月 26 日の朝刊では、次の記事が掲載されている。「中国の大都市の 77%の住民に呼吸器系の異常が見つかったことが、中国医師協会などの調査で分かった。微小粒子状物質 PM_{2.5}が主要な原因とみられる。北京や上海、広州など二十都市の 68 万人を調査したところ、77%の住民がのどの炎症や気管の疾患などの異常を訴えた。このうち高齢者や子どもが三分の二を占めた。また 43%の住民は動悸（どうき）やめまいなど心臓・血液系の疾患を訴えた。北京、上海、広州では、2009 年の調査に比べて明らかに高い値だったという。中国政府は、地方政府が汚染度に応じて企業の生産活動を制限することなど、深刻な大気汚染を解消するための十カ条を定めたが、即効性のある解決策はなく、夏場に入っても大気汚染は続いている。」

3 中国における PM_{2.5}対応の現状

中国の新聞、テレビなどは多くの頁、時間を割いて大気汚染問題について論じている。図 6 に示すように中国では PM_{2.5}の濃度に応じた汚染度合いの評価を行っており、次に示す行動を促している。

[0~50]：状態良好

[51~100]：軽微の汚染・屋外活動はできるだけ控えましょう。

[101~150]：心臓や肺疾患、高齢者、子どもは長時間の屋外活動は控えましょう。

[151~200]：長時間の屋外活動を控えましょう。

[201~300]：中度の汚染 屋外活動は中止しましょう。

[300~]：重度の汚染、人体に影響が出るレベルの汚染状況なので屋外活動は NG。

表 2 中国の調査結果

| 都市 | 調査年月 | 調査場所 | 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|----|--------------------|-----------------|---------------------------------|
| 広州 | 2005/11 | 市内研究所屋上 | 81.7 |
| 太原 | 2005/12~ 2006/3 | 研究所屋上, 交通量の多い場所 | 247.6 |
| 長沙 | 2006/7~8 | 駅, 大学構内 | 72.3 |
| 杭州 | 2006/1~12 | 住宅地域 | 77.5 |
| 上海 | 2008/4 | 市内 | 131.6 |
| 北京 | 2008年オリンピック期間中 | 植物園内 | 70 |
| | オリンピック直後 | | 111 |

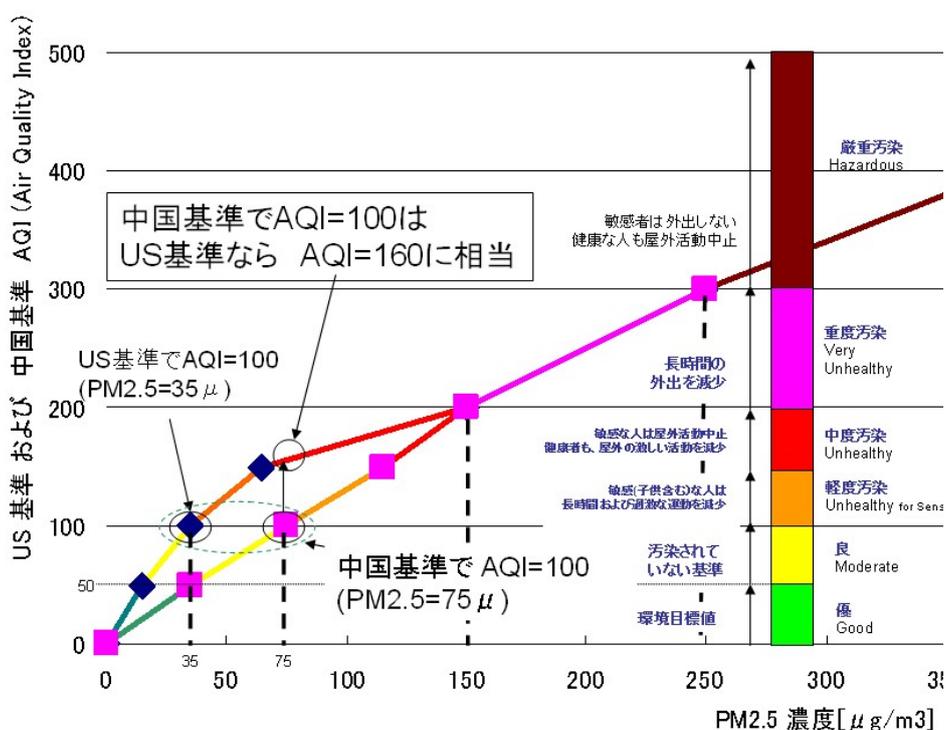


図 6 中国と米国の空気質指数 (AQI)

また、図 7 に示す通り、現在アジア各地の PM_{2.5} の濃度をリアルタイムで公表されており、人々の関心が寄せられている。PM_{2.5} は環境問題であることは疑う余地はないが、その背景にはエネルギー(燃焼源)の問題や、経済発展の方式の問題があると指摘されている。2011 年の中国の GDP は世界 2 位、二酸化炭素排出量は世界 1 位というような経済大国になったが、人間開発指数 HDI^注 は 97 位であった(2014 年トップ 3 はノルウェー、オーストラリア、スイスで、日本は 17 位)。中国は今後生態系・環境を重視した発展を実現することが先進国の仲間入りの条件であり、日本もまたそのように発展してきた。

注：HDI (Human Development Index) は発達状況、先進性を表す指標として、生活の質を計っているので、値の高い国が先進国と重なる場合が多い。

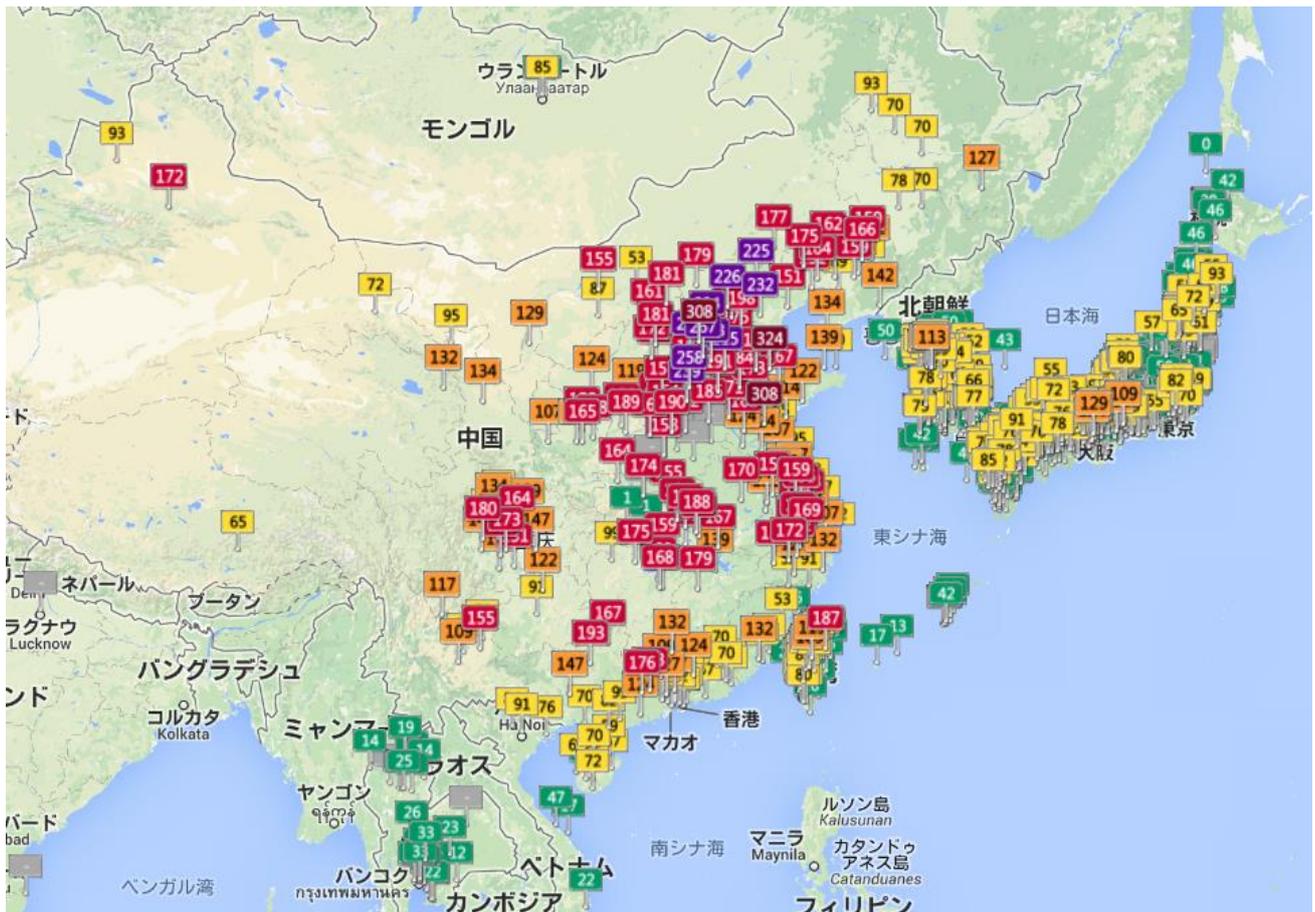


図7リアルタイムの空気質指数表示 (2014年9月7日14:18現在)

参考文献

- 1) 岩井和郎：PM2.5の問題点と今後の課題，大気環境学会特集，環境新聞，1998年9月16日
- 2) Air Pollution and Pollutants, AcademyPublish.org
- 3) Correia AW, et al., Effect of air pollution control on life expectancy in the United States: an analysis of 545 U.S. counties for the period from 2000 to 2007, *Epidemiology*. 2013 Jan;24(1):23-31. doi: 10.1097/EDE.0b013e3182770237
- 4) Aaron van Donkelaar, et al., Global Estimates of Ambient Fine Particulate Matter Concentrations from Satellite-based Aerosol Optical Depth: Development and Application, doi: 10.1289/ehp.0901623