

長崎県における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 濃度の特徴 (2012～2014 年度)

田村 圭

2012 年度から 2014 年度にかけて長崎県内で観測された PM_{2.5} 重量濃度について、経月変動や日内変動、黄砂日や煙霧日の状況をまとめた。長崎県内ではほとんどの観測地点で PM_{2.5} に関する環境基準を達成できておらず、特に春季及び冬季に PM_{2.5} 重量濃度が高くなる傾向があった。日内変動は早朝に低濃度であるという点はいずれの観測地点でも共通であったが、NO_x 濃度との関係が明確ではなく、多様であった。PM_{2.5} と SPM の相関は非常に良く、春季や冬季は O_x と、さらに離島地域は冬季に SO₂ との相関がみられた。黄砂日や煙霧日は、その他の場合に比べ PM_{2.5} 重量濃度は高く、特に黄砂日は日平均値が環境基準値を超過しやすい傾向であった。

キーワード: PM_{2.5}、黄砂、煙霧、SO₂、NO_x

はじめに

健康影響が懸念される微小粒子状物質 (PM_{2.5}) は、米国での疫学調査等により死亡率等との関連性が認められ、米国では 1997 年に PM_{2.5} に関する環境基準が定められた。浮遊粒子状物質 (SPM) よりも粒径の小さい PM_{2.5} は、肺のより深部に達するため、喘息の悪化や肺がんなどの健康被害をもたらす可能性が高いことが報告されている。日本においても環境省により PM_{2.5} に関する疫学調査等が行われ²⁾、2009 年に大気環境基準が告示された。環境基準は 1 年平均値が 15 μg/m³ 以下であり、かつ、1 日平均値が 35 μg/m³ と定められている。

長崎県の離島地域は、最も大陸に近いことから、東アジア地域からの越境移流を標的に、これまで酸性雨、オキシダントの測定など大気の調査が行われてきた経緯がある。長崎県では、PM_{2.5} が大気汚染防止法の常時監視項目に位置づけられたことに伴い、2012 年度より重量濃度の測定を開始した。さらに、県内では 2015 年 3 月までに長崎市や佐世保市を含め全 18 局で PM_{2.5} 重量濃度の観測を行っている。しかし観測開始からこれまで、2014 年度の吉井局以外は短期的にも長期的にも環境基準を達成できていない³⁾。また長崎県では早朝(午前 5 時から午前 7 時)及び午前中(午前 5 時～12 時)の観測情報から日中の平均濃度が 70 μg/m³ を超えると予想される場合に注意喚起情報を発令している(2015 年 3 月現在)。2014 年度末までに、2013 年 3 月 19 日(壱岐・対馬地区)、2013 年 11 月 3 日(本土地区)、2014 年 2 月 3 日(県央地区)、2015 年 3 月 22 日(五島地区、壱岐地区、対馬地区、県北地

区)に注意喚起を行った。

本報では、これまでに得られた県内の PM_{2.5} 重量濃度の特徴と、その高濃度要因を明らかにするため、その他の常時監視項目や気象現象との関連性を解析した。

観測地点及び方法

観測地点の一覧とデータ使用開始時期を示した(図 1、表 1)。観測地点の福石は自動車排出ガスの影響が最も強く表れる道路端またはそれに近い場所で測定された自動車排出ガス測定局(自排局)である。PM_{2.5} の季節変動をみるため、以後春季は 3 月～5 月、夏季は 6 月～8 月、秋季は 9 月～11 月、冬季は 12 月～2 月とした。

また諫早及び五島は、より大きい粒子である PMc(PM_{2.5-10})が PM_{2.5} 重量濃度と区別して同時に測



図 1 観測地点一覧(数字は表 1 に対応)

定可能である。これらの日平均値を、長崎地方気象台による黄砂日、煙霧日に分類した。黄砂日については地点長崎で黄砂と観測された場合、五島も黄砂日とした。また諫早の煙霧日は地点長崎、五島の煙霧日は地点福江の観測結果を用いた。

表 1 観測地点一覧

観測地点	データ使用開始時期
1 諫早	2012年4月
2 壱岐	
3 大塔	
4 福石(自排)	
5 吉井	2014年1月
6 五島	2013年4月
7 時津小学校	2014年1月
8 小浜	
9 松浦志佐	
10 雪浦	
11 川棚	2014年1月
12 対馬	
13 大村	
14 島原	
15 稲佐小学校	2013年4月
16 小ヶ倉支所	2014年4月
17 東長崎支所	
18 村松	

経月変動と日内変動

図2に県内各測定局における経月変動を示した。この期間月平均値は 8.2 ~ 35.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 間を推移し、何れの観測地点においても4月から5月の春季及び1月または2月の冬季に月平均値は高く、6月から7月の夏季は低下する傾向があった。最も長く観測している壱岐や諫早等においても、その濃度上昇幅に違いはあるが、3年間ほぼ同様の傾向を示した。観測地点が増加した2014年は、特に春季にどの地点も同様の月平均の推移を示していた。さらに春季のピーク時は大塔を除くと壱岐や対馬などの離島地域が高い値を示すものの、夏季から秋季にかけては小ヶ倉支所や稲佐小学校などの本土地区がやや高かった。これらは特に大規模発生源がないと考えられる離島地域の濃度レベルが、気象配置に密接な関係のある大陸か

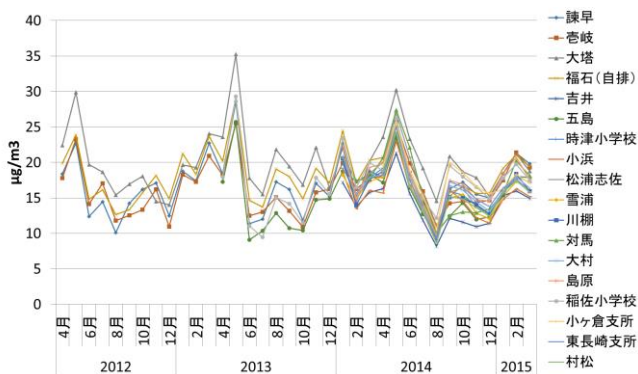


図2 PM_{2.5}重量濃度の経月変動



図3 大塔等の日平均値の推移

らの移流の影響によりほぼ支配されており、本土地域の夏季から秋季にかけては濃度レベルが低いものの、それ以外の要因により濃度変動が生じていると考えられた。また大塔は他の地点に比べ冬季以外最も高かったが、原因は不明である。特に2014年度は年平均値が 20.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を記録し、同年に最も年平均値が低かった吉井と比べるとその差は 6.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった³⁾。大塔、吉井及び離島(五島及び対馬)、本土地区(諫早)の日平均値の推移を、2014年4月から6月、8月から10月、1月から3月を抜粋し図3に示した。大塔のPM_{2.5}濃度ピークは、推移が対馬などの離島地域とよく似ているものの、そのレベルは越境汚染の影響が強いと考えられる離島地域よりも数~数十 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度高く推移しており、特に4月から6月、8月から10月に顕著であった。これらが年平均値に差が生じている原因と考えられた。しかし1月から3月は離島地域と同レベルの濃度推移が観測された。大塔が離島地域に比べ高い濃度レベルを示す時期は、温度や湿度が高く光化学反応の活発な春季から夏季であり、それらがPM_{2.5}濃度に影響していた可能性が考えられた。しかし原因追究のためには、地形や風向き等の気象条件などの詳細な解析と、原因物質特定のための成分分析等を行う必要がある。

年間を通して各地点の日内変動をみると、早朝から午後にかけて濃度が上昇する地点と、午前と午後ややピークのある2山型の地点、日中が一様に高い地点がみられた(図 4)。早朝に最低値が出現することは、どの地点もほぼ一致していた。午前のピーク、午後のピークがある場合は通勤時間帯と関連があるとの報告

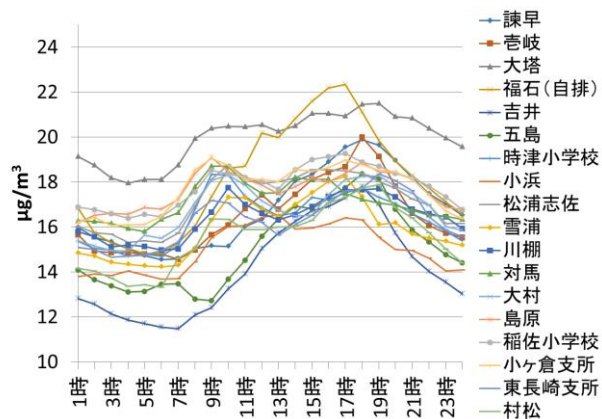


図 4 PM_{2.5}重量濃度の日内変動

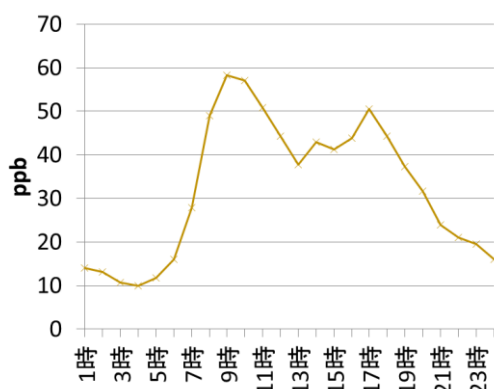


図 5 福石におけるNOxの日内変動

もある⁴⁻⁶⁾。今回の観測地点で最も自動車の影響を受けやすく平日及び休日ともNOx平均値の高かった福石(平日 34.3 ppb、休日 26.9 ppb)は、NOxの日内変動をみると午前と午後の二山型の推移を示したものの(図 5)、PM_{2.5}の日内変動パターンは明確な二山型とはならなかった(図 4)。しかし、午後のピークは他の観測地点に比べ福石が最も高いPM_{2.5}重量濃度を示していた。これらは板野ら⁷⁾により述べられているとおり、PM_{2.5}濃度の上昇には1次生成粒子だけでなく2次生成粒子などの要因が強く影響していると考えられた。

常時監視項目との関連

表 2 に各局のPM_{2.5}日平均値と二酸化硫黄(SO₂)、窒素酸化物(NO_x)及び浮遊粒子状物質(SPM)の日平均値、オキシダント日最高値(Ox.max)との相関係数を、通年及び春季及び冬季について示した。観測地点に測定項目がない場合は空欄とした。

表 2 PM_{2.5}重量濃度との相関係数

通年	SO2	NOx	SPM	Ox.Max
壱岐	0.505**	0.193**	0.920**	0.560**
大塔	0.302**	0.209**	0.948**	0.519**
福石(自排)	0.335**	0.279**	0.832**	
諫早	0.211**	0.277**	0.873**	0.536**
吉井	0.395**	0.201**	0.870**	0.544**
五島	0.532**	0.117**	0.808**	0.555**
時津小学校	0.345**	0.213**	0.922**	0.523**
小浜	0.264**	0.280**	0.938**	0.546**
松浦志佐	0.400**	0.367**	0.900**	0.556**
雪浦	0.427**	0.416**	0.923**	0.592**
川棚	0.398**	0.256**	0.933**	0.536**
対馬	0.596**	0.229**	0.947**	0.566**
大村	0.332**	0.271**	0.919**	0.523**
島原	0.144**	0.453**	0.939**	0.480**
稲佐小学校	0.398**	0.191**	0.841**	0.492**
小ヶ倉支所		0.236**	0.883**	0.546**
村松	0.272**	0.219**	0.911**	0.541**
東長崎支所		0.270**	0.889**	0.513**
春季	SO2	NOx	SPM	Ox(Max)
壱岐	0.414**	0.014	0.969**	0.621**
大塔	0.301**	0.281**	0.966**	0.582**
福石(自排)	0.531**	0.198**	0.935**	
諫早	0.244**	0.241**	0.946**	0.557**
吉井	0.498**	0.191*	0.943**	0.647**
五島	0.342**	0.292**	0.946**	0.595**
時津小学校	0.273**	0.138	0.958**	0.563**
小浜	0.225**	0.173	0.966**	0.654**
松浦志佐	0.428**	0.275**	0.965**	0.671**
雪浦	0.254**	0.269**	0.969**	0.658**
川棚	0.314**	0.096	0.963**	0.691**
対馬	0.559**	0.212*	0.978**	0.683**
大村	0.284**	0.179*	0.972**	0.667**
島原	0.073	0.416**	0.960**	0.502**
稲佐小学校	0.281**	0.199**	0.941**	0.593**
小ヶ倉支所		0.215*	0.937**	0.659**
村松	0.167	0.358**	0.979**	0.620**
東長崎支所		0.187	0.960**	0.598**
冬季	SO2	NOx	SPM	Ox(Max)
壱岐	0.683**	0.294**	0.973**	0.696**
大塔	0.376**	0.384**	0.958**	0.500**
福石(自排)	0.557**	0.366**	0.943**	
諫早	0.306**	0.298**	0.933**	0.431**
吉井	0.411**	0.183*	0.935**	0.685**
五島	0.637**	0.322**	0.895**	0.708**
時津小学校	0.353**	0.324**	0.945**	0.559**
小浜	0.374**	0.494**	0.940**	0.596**
松浦志佐	0.346**	0.350**	0.958**	0.500**
雪浦	0.554**	0.417**	0.973**	0.659**
川棚	0.497**	0.447**	0.939**	0.540**
対馬	0.696**	0.378**	0.968**	0.665**
大村	0.469**	0.395**	0.941**	0.502**
島原	0.469**	0.511**	0.929**	0.538**
稲佐小学校	0.532**	0.161*	0.881**	0.322**
小ヶ倉支所		0.281**	0.889**	0.545**
村松	0.437**	0.112	0.963**	0.455**
東長崎支所		0.299**	0.961**	0.417**

**P<0.01,*P<0.05

年間を通じて、PM_{2.5}とSPMは非常によい相関を示した。その発生源はほぼ同一であり、SPMが上昇する要因のひとつである黄砂の場合も、PM_{2.5}濃度が上昇している可能性を示している。Oxとの相関は、PM_{2.5}の光化学生成に関係すると考えられるが、その相関係数は通年の場合0.48~0.59であった。季節毎にみると、春季の相関が良い結果となったが、特に対馬や壱岐の離島地域では冬季にも良い相関を示した。SO₂は、すでに主に離島地域でPM_{2.5}上昇と同時に上昇することが観測されており⁸⁾、特に冬季に相関がよく、粒子だけでなくガス成分についても同時に移流していることを示していた。PM_{2.5}の発生源のひとつと考えられる自動車に由来するNOxについて、年間を通して相関が良かったのは雪浦や島原であったが、雪浦や島原については自動車排ガス測定局である福石に比べNOxの濃度レベルが低く、どの程度これらがPM_{2.5}の生成に寄与しているかは今のところ不明である。

黄砂と煙霧

表3に2012年4月から2015年3月までに長崎で観測された黄砂日(長崎海洋気象台による)とPM_{2.5}重量濃度の測定局数及びその日平均値が35 µg/m³を超過した測定局数を示した。注意喚起を行った4回の事例のうち2回が黄砂日であった。また、2014年5月の黄砂は、特に5日間にわたって黄砂が観測された事例であり、県内のほとんどの観測地点でPM_{2.5}の日平均値が35 µg/m³を超過していた。

諫早は2012年4月から、五島は2013年3月から各観測地点における2015年3月までの黄砂日(n=16)、煙霧日(諫早 n=78、五島 n=153)、その他の場合におけるPM_{2.5}とPM_cの日平均値から期間平均値を計算した(表4)。この場合のみ、黄砂観測日の関係から五島のデータは2013年3月から使用した。煙霧の主体は硫酸塩とされ、PM_{2.5}の主要な構成成分である^{9~10)}。黄砂は土壌由来の元素等を多く含み、より大きな粒子が含まれる。表4から煙霧日及び黄砂日は、PM_{2.5}濃度がその他の場合に比べ高くなる傾向があり、特に黄砂日はPM_{2.5}濃度が環境基準値の35 µg/m³を超過す

る可能性が高い。粗大粒子であるPM_cは、黄砂日は上昇し、煙霧日は大きな上昇はみられないことが特徴であり、同様の高濃度日であってもその粒子の構成成分には違いがあると推測された。

表4 黄砂日等における平均値

諫早	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM _c (µg/m ³)
黄砂日	36.6	44.2
煙霧日	33.8	14.9
その他	15.8	8.8

五島	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM _c (µg/m ³)
黄砂日	40.2	57.9
煙霧日	24.1	18.3
その他	11.7	14.3

まとめ

2012年度から2014年度の観測結果から、長崎県におけるPM_{2.5}重量濃度は、春季に最も高く、冬季も上昇する傾向を示した。また特に春季のPM_{2.5}重量濃度は県内各観測地点で同様の推移をしており、その季節性や大規模発生源のない離島地域で濃度上昇がみられることから、県内ほぼ全域で大陸由来のPM_{2.5}により強く影響を受けていると推測された。しかし夏季から秋季にかけては、濃度レベルは低いものの、離島地区に比べ本土地区で濃度が高く、今後その原因について調査を進める必要がある。

日内変動はNOx濃度との関係など明確ではないものの、今後他のガス状物質との関係も含め、1次汚染粒子以外の影響も検討を進めることが高濃度化の要因解析につながると思われる。

PM_{2.5}重量濃度が上昇する際は、その相関係数からSPM濃度も上昇しており、冬季の離島ではSO₂濃度も同時に上昇していることを示唆していた。さらにOxとの関係もあることから、光化学反応によるPM_{2.5}粒子の生成についても考慮すべきである。

黄砂や煙霧と発表された日は、短期評価基準値(日平均35 µg/m³)を超過する傾向があり、注意喚起を行う濃度まで上昇する場合もあった。しかし詳細な影響、寄与を評価するには、今後粒子の構成成分を分析していく必要があるだろう。

PM_{2.5}問題の重要点は、その健康影響であり、健康影響を評価するためには、PM_{2.5}の由来を詳細に把握する必要がある。これまでの観測結果から、長崎県のPM_{2.5}重量濃度の環境基準値超過現象は、大陸側からの黄砂及び汚染気塊の移流の影響を受けているも

のと考えられるが、年平均値に影響するであろう PM_{2.5} 濃度上昇は、大陸側からの影響ばかりでは説明できない現象もあり、さらに詳細解析を進めるため、構成成分の把握も含め今後も注視していく必要がある。

参 考 文 献

- 1) Dockery, et al. : An association between air-pollution and mortality in 6 United-States cities *New England Journal of Medicine*, **329**, 1753-1759 (1993)
- 2) 環境省:微小粒子状物質暴露影響調査報告書 (2007)
- 3) 平成 26 年度の大気環境調査結果について (長崎県環境政策課)
- 4) Zhao, X-J., Zhang, X-L., Xu, X-F., Xu, J., Meng, W., Pu, W-W.: Seasonal and diurnal variations of ambient PM_{2.5} concentration in urban and rural environments in Beijing, *Atmos. Environ.*, **43**, 2893-2900 (2009)
- 5) DeGaetano, A. T., Doherty, O. M.: Temporal, spatial and meteorological variations in hourly PM_{2.5} concentration extremes in New York City, *Atmos. Environ.*, **38**, 1547-1558 (2004) .
- 6) Russell, M., Allen, D. T., Collins, D. R.: Daily, Seasonal, and Spatial Trends in PM_{2.5} Mass and Composition in Southeast Texas, *Aerosol Sci. Technol.*, **38**, 14-26 (2004) .
- 7) 板野泰之 他:2011 年度の連続測定結果に基づく全国的な PM_{2.5} 汚染の状況解析,大気環境学会誌,**48**,154-160 (2013)
- 8) 田村圭 他:長崎県における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 濃度の特徴(2012 年度) 長崎県環境保健研究センター所報, **58** (2012)
- 9) 山崎誠:アジア大陸から移流した硫酸塩エアロゾルの煙霧による高 SPM 事例の解析 福岡市保健環境研究所報, **29**, 101~104 (2004)
- 10) 森淳子 他:長崎に飛来した黄砂の実態—最近のトピックスと成分組成— 長崎県衛生公害研究所報 **50** (2004)

Characteristics of PM_{2.5} mass concentrations in Nagasaki (2012～2014)

Kei TAMURA

The levels and temporal variation pattern of PM_{2.5} mass concentrations observed in Nagasaki from fiscal 2012 to fiscal 2014 were summarized. Almost PM_{2.5} mass concentration observed in Nagasaki exceeded the atmospheric environmental standard. In particular, PM_{2.5} mass concentration tended to become high in the spring and winter. Temporal variation pattern of PM_{2.5} mass concentrations was low concentration early in the morning and it was common, but relation with the NO_x concentrations wasn't clear and it was various. The correlation between PM_{2.5} and SPM was very well, and PM_{2.5} and O_x was correlated in the spring and winter. At remote island region, PM_{2.5} and SO₂ was correlated in the winter. The day of yellow sand and smoke fog had high PM_{2.5} mass concentration compared with other cases, in particular, the day of yellow sand was the tendency to exceed 35 μg/m³ (24-hour average air quality standard value).

Key words: PM_{2.5}, Yellow sand, SO₂, NO_x