

沖縄県における微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 質量濃度

城間朝彰・岩崎綾・比嘉良作・田崎盛也・友寄喜貴

Concentrations of PM_{2.5} in Okinawa Prefecture

Tomoaki SHIROMA, Aya IWASAKI, Ryosaku HIGA, Moriya TASAKI and Nobutaka TOMOYOSE

要旨: 一般環境大気測定局の沖縄局における 2013 年度 PM_{2.5} 質量濃度測定結果は年平均値が 15.8 μg/m³, 日平均値の 98% タイル値が 34.3 μg/m³ であり, 環境基準の短期基準は達成したが, 長期基準は超過した. 月平均値の経月変化は 4-5 月, 10-12 月, 3 月に高く, 春季 (4-5 月および 3 月) と秋季 (9-11 月) にピークとなる 2 山型を示し, 過去 2 年間 (2011 年度および 2012 年度) と概ね類似した傾向を示した. 年平均値は微増傾向であるが, 中国大陸における PM_{2.5} 濃度に大きな変動がなかったことなどから, 気象条件の影響によるものと考えられた. 突発的に発生する高濃度ピークは夏季 (6-8 月) 以外で月に 1 回前後, 3 年間 (2011-2013 年度) で合計 20 回みられた. これらのピークは後方流跡線解析や天気図などにより中国大陸由来を示したが, 季節毎の気象条件による違いがみられた. 3 年間の PM_{2.5} 濃度の曜日別平均値の差に規則性はなく, 時間帯別平均値では NOx 濃度と同様, 深夜に低く 9 時および 18 時頃に高くなる 2 山型の傾向を示したことから, 近傍の自動車排出ガスの影響が示唆された. 時間帯別平均値の最大と最小の差から, 自動車排出ガスの影響を見積もると最大で約 1.5 μg/m³ であった. PM_{2.5} 濃度が高くなる春季や秋季において, 湿度が低い日は低濃度から高濃度まで濃度分布幅が大きくなっており, 湿度が高い日は PM_{2.5} 濃度が低いことから, 湿度の影響が示唆された.

Key words: 微小粒子状物質 (PM_{2.5}), 後方流跡線解析, 窒素酸化物 (NOx), 自動車排出ガス

I はじめに

微小粒子状物質 (PM_{2.5}) は非常に小さく肺の奥深くまで入りやすいことから, 健康への影響が懸念されている. 沖縄県では 2013 年 4 月から「微小粒子状物質 (PM_{2.5}) 注意喚起対応マニュアル」を施行しており, 国において注意喚起の新たな判断基準が示されたことに伴い, 同マニュアルを 2014 年 3 月に改正した. なお, 同マニュアルの施行および改正後, 2015 年 9 月現在までに注意喚起を実施した事例はない.

沖縄県では, 環境省の「PM_{2.5} モニタリング試行事業」により沖縄局 (一般大気環境測定局) に PM_{2.5} 質量濃度自動測定機 (PM_{2.5} 計) を設置し, 2011 年 4 月から測定を開始している. 今般, 2013 年度の測定結果と共に, 2011 年度および 2012 年度を含めた 3 年間における測定結果について検討したので報告する.

II 方法

PM_{2.5} 濃度および窒素酸化物 (NOx) 濃度は沖縄局 (沖縄県中部福祉保健所内にあり, 沖縄本島中部の沖縄市に位置する) に設置している PM_{2.5} 計 (東亜ディーケーケー株式会社製 FPM-377-1 型 (β 線吸収法)) および NOx 計 (同社 GLN254 型 (化学発光方式)) のデータをそれぞれ用いた (図 1). また, 降水量データについては気象庁の観測所のうち沖縄局に最も近い胡屋観測所における日平均値を, 湿度については沖縄局付近に観測所がない

ため, 名護および那覇観測所の日平均値の 2 地点平均値をそれぞれ用いた¹⁾.



図 1. 調査地点 (PM_{2.5} および NOx: 中部福祉保健所, 降水量: 胡屋観測所, 湿度: 名護および那覇観測所)

III 結果と考察

1. 環境基準の達成状況

沖縄県における 2013 年度の PM_{2.5} 質量濃度測定結果は, 年平均値が 15.8 μg/m³, 日平均値の年間 98% タイル値が 34.3 μg/m³ であり, 環境基準の短期基準を達成し長期基準を超過した. 2011 年度および 2012 年度は両基準とも達成^{2, 3)}しており, 測定を開始して以降初めて環境基準 (長期基準のみ) 超過となった. 年平均値はわずかでは

あるが 2 年連続の増加となった。

2. 経月変化

PM_{2.5} 日平均値及び月平均値の推移を図 2 に示す。月平均値の経月変動は、4-5 月、10-12 月および 3 月に高く、7-8 月に低くなっており、1 月と 2 月にもやや濃度低下がみられた。4 月と 11 月にピークとなる 2 山型を示し、2011 年度および 2012 年度と概ね類似傾向を示した。

日平均値が 35 μg/m³ を超過した日（以下「高濃度日」という）は 7 日（5/8, 5/20, 11/17, 11/22, 11/23, 12/8, 2/4）あり、全て夏季（6-8 月）以外であった。高濃度日における後方流跡線解析⁴⁾は中国大陸由来を示し、天気図⁵⁾によりそのほとんどが移動性高気圧による影響と示唆された。2013 年度における日平均値が最大となった高濃度日（5/20）は沖縄の梅雨入り（5/10 頃）後であったが、この日の胡屋観測所における日間降水量は 0 mm であり、那覇観測所における湿度はその前後日と比較し、10%以上低い値を記録していた。天気図から梅雨前線の南下が確認でき、中国大陸側の高気圧の影響により乾燥した気塊とともに PM_{2.5} が移流してきたことが示唆された。沖縄では梅雨期でも PM_{2.5} 濃度が高くなることがあるが、梅雨明け後は梅雨前線の北上により太平洋高気圧に覆われるため高濃度にはなりにくいと考えられ、事実、過去 3 年間の梅雨明け後の 6-8 月に高濃度日は発生していない。

3. 越境移流

2011 年度における全日数分（N=365）の後方流跡線解析⁴⁾を実施し、沖縄へ移流する気塊の由来割合を求めたところ（図 3）、日本や朝鮮半島を経由する中国大陸由来も含めると、夏季以外の全ての季節で中国大陸由来が 4 割以上を占めた。その中でも 4 月および 11-3 月は 6 割以上を、さらに冬季（12-2 月）は 8 割以上を占め、中国大陸由来割合は冬季 > 春季（4-5 月および 3 月） > 秋季（9-11 月）、夏季 ≒ 0 であることが示唆された。中国大陸における PM_{2.5} 濃度について、在中国米国大使館公開データ（環境省大気汚染物質広域監視システムからダウンロード）⁶⁾によれば、2012-2013 年度の北京および上海における月平均値は、冬季である 12-2 月に最も高濃度（北京で最大 190 μg/m³、上海で 120 μg/m³）となる。以前、中国における高濃度の PM_{2.5} が話題となり、『PM_{2.5}』が一般に知られるようになったのも冬季である。なお、北京における 2012 年度と 2013 年度の経月変動は類似しており、年平均値はほぼ同じ値を示した。上海でも同様であったことから、中国大陸における PM_{2.5} 濃度の年平均値に大きな変動はなく、季節変動では冬季に最も高濃

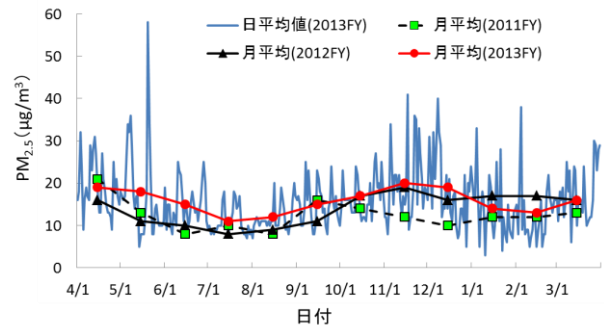


図 2. PM_{2.5} 濃度の日平均値および月平均値の推移。経月変動は春季と秋季に高濃度となる 2 山型で 3 年間の経月変動は概ね類似。

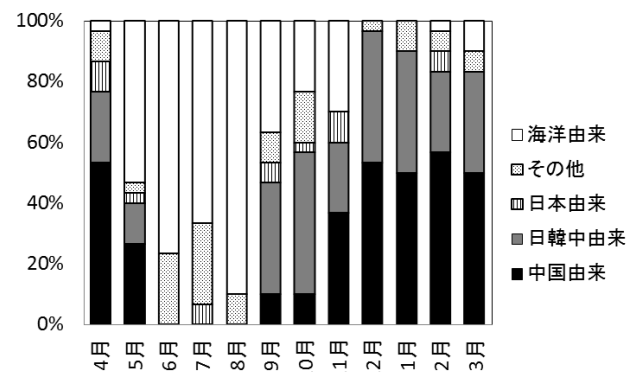


図 3. 沖縄へ移流する気塊の由来割合。2011 年度的全日数分の後方流跡線解析を行い沖縄へ移流する気塊の由来割合を求めた。「日韓中由来」は日本と朝鮮半島を経由した中国大陸由来を、「その他」はフィリピンなどの東南アジア由来を示す。夏季以外では、日韓中由来を含めると、4 割以上が中国大陸由来を示し、冬季では 8 割以上が中国大陸由来を占めた。

度となる傾向を示すと思われる。

これらのことから、沖縄における冬季は、中国大陸由来の移流割合が最も高く、かつ、中国大陸では PM_{2.5} 濃度が最も高くなる季節であるが、沖縄における PM_{2.5} 濃度は春季や秋季に比べやや低い傾向にあることから、沖縄へ移流する間に濃度が大幅に低下した可能性がある。冬季は西高東低の安定した気圧配置となり、季節風により PM_{2.5} が運ばれるが、沖縄へ到達する間に広域拡散し距離減衰が起こったと考えられる。一方、春季および秋季は移動性高気圧による気塊の移流により、その中に含まれる高濃度の PM_{2.5} があまり拡散せず高濃度のまま沖縄へ移流して来たと考えられる。また、沖縄における年平均値は微増傾向であったが、中国大陸における PM_{2.5} 濃度がほぼ横ばいであったことから、気象条件の影響に

よる PM_{2.5} の飛来量に差があったと考えられる。

4. 高濃度ピーク

過去 3 年間 (2011-2013 年度) における高濃度日にみられたピークまたは時間値が 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過したピーク (以下「高濃度ピーク」とする。) の月別発生状況を図 4 に示す。高濃度ピークは 3 年間で 20 回発生し、全てが夏季を除く月でみられ、後方流跡線解析や天気図により中国大陸由来であることが示唆された。前述したとおり、夏季は梅雨前線が北上し太平洋高気圧の影響を強く受けることから海洋由来の気塊がほとんどとなり、中国大陸からの影響はほぼないと考えられる。高濃度ピークの継続時間はその多くがおよそ十数時間程度であり、70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過部分は最大で 8 時間、平均で数時間程度であった。今後も類似した傾向を示す場合、日平均値が 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過することは考えにくい、ピークのタイミングによっては注意喚起を行う判断基準 (日平均値が 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過すると予想される場合 (午前 5-7 時までの 1 時間値の平均が 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過)) に達する恐れがあると考えられる。

高濃度ピークが年平均値に及ぼす影響をみるため、高濃度ピークを削除し 3 年間の年平均値を算出したところ、削除前に比べ約 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度低下がみられた。また、同様に時間値が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過したピーク (後方流跡線解析により中国大陸由来) も削除すると削除前に比べ約 1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の濃度低下がみられ、年平均値に及ぼす中国大陸からの影響が少なくとも 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上であることが示唆された。より低い濃度のピーク (中国大陸由来) も除くと、さらに濃度低下し、夏季の濃度レベルまで低下する可能性もある。

5. 曜日別および時間帯別平均

過去 3 年間 (2011-2013 年度) における PM_{2.5} 濃度および NO_x 濃度について、曜日別および時間帯別平均値を図 5 (a) および図 5 (b) にそれぞれ示す。曜日別平均値は NO_x 濃度では日曜に低くなるが、PM_{2.5} 濃度では規則性がみられなかった。一方、時間帯別平均値は、ともに深夜に低く、9 時と 18 時頃にピークとなる 2 山型の経時変動を示した。PM_{2.5} 濃度についてはピークと深夜の濃度差は小さい (最大と最小の差は 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) が、NO_x 濃度とほぼ類似した経時変化を示したことから、近傍の自動車排出ガスの影響を示唆した。なお、全国 14 地点 (北海道や東京、大阪、福岡など (沖縄は含まない)) における 2002-2010 年度の PM_{2.5} 平均濃度と 2011 年度の NO_x 全国平均濃度の経時変化も類似しており、PM_{2.5} 濃度への自動車排気ガスの影響が示唆されている⁷⁾。また、高濃

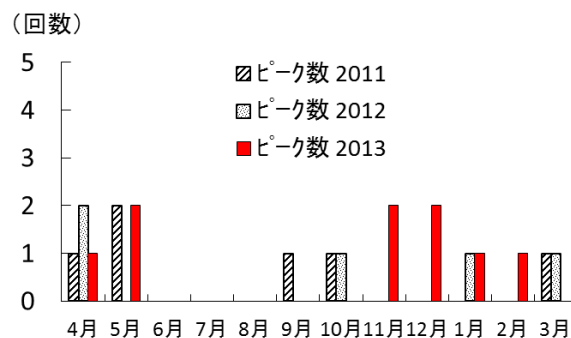


図 4. 過去 3 年間 (2011-2013 年度) における PM_{2.5} 高濃度ピーク (日平均値が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した日のピークまたは時間値が 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過したピーク) の発生状況。夏季 (6-8 月) を除く月で 1 回前後、3 年間で合計 20 回発生した。

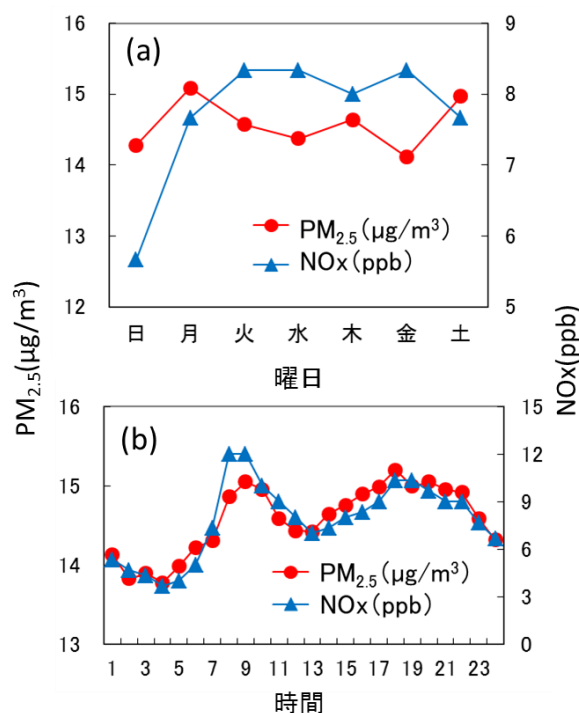


図 5. PM_{2.5} 濃度と NO_x 濃度の曜日別平均値 (a) および時間帯別平均値 (b)。曜日別平均値は NO_x 濃度では日曜に低くなっているが PM_{2.5} 濃度では規則性がみられない。時間帯別平均値は PM_{2.5} 濃度および NO_x 濃度は、濃度差に違いはあるが類似傾向を示し、深夜に低く、9 時頃と 18 時頃にピークとなる 2 山型を示した。

度ピークおよび時間値が 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過したピークを除いた曜日別および時間帯別平均値は、削除前と同様、曜日別平均値は規則性がみられず、時間帯別平均値の経時変化はほぼ同様の傾向を示しピークと深夜の濃度差は 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。このことから、PM_{2.5} 濃度の年平均

値に与える影響は、中国大陸からの越境由来が $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上、自動車排出ガス由来が最大で約 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であることが示唆された。越境汚染由来と地域発生源由来（自動車排出ガス）により、年平均値で約 $2-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の影響を受けていることが示唆された。

6. 湿度の影響

名護および那覇観測所における日平均湿度の 2 地点平均値を用い、湿度に対する $\text{PM}_{2.5}$ 濃度分布を求めたところ（図 6）、高湿度域では $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は低く濃度分布幅が小さくなる傾向を示し、低湿度域ではやや高濃度で濃度分布幅も大きくなっていった。湿度が 90%以上となったのは $\text{PM}_{2.5}$ 濃度が高くなる春季（4月と 5月）および秋季（11月）であり、降雨を含め湿度の影響により $\text{PM}_{2.5}$ 濃度が抑えられたことが示唆される。一方、湿度が 50%以下と

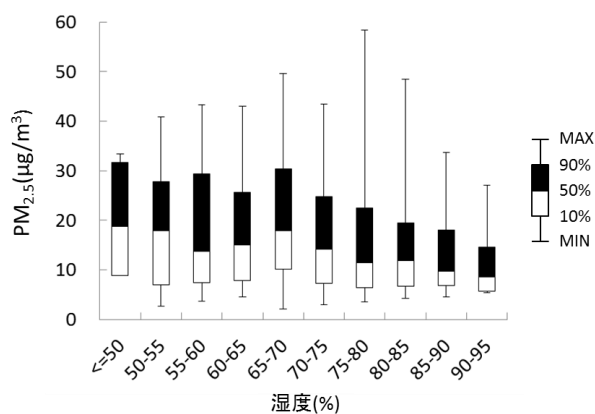


図 6. $\text{PM}_{2.5}$ 濃度と湿度の関係。高湿度域では $\text{PM}_{2.5}$ 濃度が低く濃度分布幅が小さくなり、低湿度域ではやや高濃度で濃度分布幅が大きくなる傾向を示した。

なったのも春季（3月と 4月）および秋季（11月）であり、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度は 3月と 4月にやや高く 11月に低くなるやや大きな濃度分布を示した。この低湿度域では移動性高気圧などの影響で乾燥していたと思われ、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の変動は湿度の影響を受けなかったと考えられる。

IV 参考文献

- 1) 気象庁, 過去の気象データ検索.
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>).
2015 年 8 月アクセス.
- 2) 城間朝彰・岩崎綾・比嘉良作・田崎盛也・渡口輝 (2013) 2011 年度沖縄県における微小粒子状物質 ($\text{PM}_{2.5}$). 沖縄県衛生環境研究所報, 47: 119-122.
- 3) 城間朝彰・岩崎綾・比嘉良作・田崎盛也・友寄喜貴 (2014) 2012 年度沖縄県における微小粒子状物質 ($\text{PM}_{2.5}$). 沖縄県衛生環境研究所報, 48: 50-53.
- 4) NOAA (2013) HYSPLIT-WEB.
(<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>).
2015 年 8 月アクセス.
- 5) 気象庁, 日々の天気図.
(<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>).
2015 年 8 月アクセス.
- 6) 環境省大気汚染物質広域監視システム (通称「そらまめ君」) (<http://soramame.taiki.go.jp>).
2014 年 8 月アクセス.
- 7) 奥村明雄 (2013) 知っておきたい $\text{PM}_{2.5}$ の基礎知識. 一般財団法人日本環境衛生センター, p. 23.