

6) 常時監視測定局データによる PM_{2.5} 濃度の汚染状況解析

山本裕典 豊永悟史*¹ 出納由美子*² 松崎達哉

要 旨

熊本県の PM_{2.5} による大気汚染状況を把握するため、大気汚染常時監視測定局で観測された 2014～2016 年度の PM_{2.5} 質量濃度を用いて解析を行った。

その結果、PM_{2.5} 濃度は減少傾向にあり、大陸からの越境移流の減少が影響していると推測された。ただし、県内において、PM_{2.5} 濃度に差が見られることや地点ごとで濃度の減少割合が異なることから、地域発生源からの排出も影響していると考えられた。

キーワード：微小粒子状物質 (PM_{2.5})，越境移流，地域汚染

はじめに

微小粒子状物質（以下「PM_{2.5}」という。）は、浮遊粒子状物質（SPM）に比べ肺の奥深くまで入りやすく、呼吸器系への影響も懸念されているため、PM_{2.5} に対する大気環境基準が 2009 年 9 月に設定された。これを受けて、「大気汚染防止法第 22 条の規定に基づく大気汚染の状況の常時監視に関する事務の処理基準について」が改正されるとともに環境大気常時監視マニュアルも改訂され、PM_{2.5} の常時監視体制が図られてきた。このため、熊本県では、2012 年から県内の大気常時監視測定局において PM_{2.5} 濃度の自動測定を開始し、2016 年現在では県下 28 地点で監視が行われている。

今回、2014～2016 年度の PM_{2.5} 自動測定機による測定結果を基に、経年変化、季節変動、週内変動、日内変動の特徴を整理するとともに、特に経年変化の要因について解析を行ったので報告する。

解析方法

1 測定地点及び代表地点分類

測定地点は、図 1、表 1 に示すように大気常時監視測定局において PM_{2.5} 自動測定機が設置されている全 28 局である。

また、越境移流の影響を考察するため、「道路沿道」、「都市」、「バックグラウンド」を代表する地点を選定

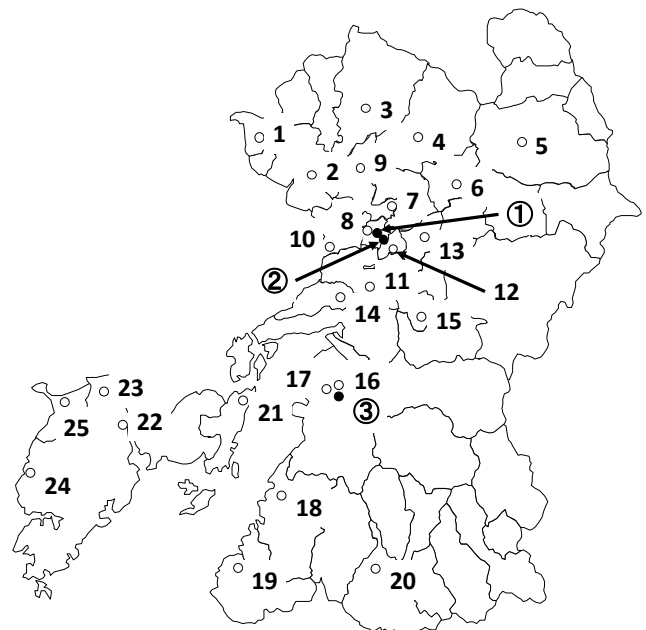


図 1 測定地点 (○一般局, ●自排局)

した。「道路沿道」は、「①水道町自排局（以下「水道町」という。）」及び「②神水本町自排局（以下「神水本町」という。）」の 2 地点、「都市」は、「7 楡木」及び「8 京町」の 2 地点、「バックグラウンド」は、「24 天草高浜」及び「25 苓北志岐」の 2 地点を選定した。

*¹ 環境生活部環境局環境保全課 *² 現（公財）熊本県環境整備事業団

表1 測定地点の一覧

No. 測定局名	No. 測定局名
1 荒尾運動公園	15 甲佐町岩下
2 有明保健所	16 八代八千把
3 山鹿健康センター	17 八代市役所
4 菊池市役所	18 小田浦公民館
5 阿蘇保健所	19 水俣保健所
6 大津町引水	20 人吉保健所
7 楡木	21 上天草合津
8 京町	22 天草保健所
9 北区役所	23 五和手野
10 中島	24 天草高浜
11 城南町	25 苓北志岐
12 秋津	① 水道町自排局
13 益城町役場	② 神水本町自排局
14 宇土運動公園	③ 八代自排局

これらは、土地利用の状況及び自動車排ガス等により地域的に排出される大気汚染物質である NO₂ の年平均値に基づき選定した。各代表地点の特徴としては、「道路沿道」は、主要な幹線道路沿いに位置しており、NO₂ の 2016 年度の年平均値も 0.015～0.017ppm と県内で最も高いため、地域汚染の影響が強い地点と考えられる。「都市」は、市街地に位置しており、NO₂ の 2016 年度の年平均値は 0.009ppm であり、道路沿道に次いで高く、地域汚染の影響は中程度であるといえる。「バックグラウンド」は、市街地から離れており、県の西部に位置している。NO₂ の 2016 年度の年平均値も 0.001～0.002ppm と低く、地域汚染の影響が小さいと考えられる。

2 測定方法

PM_{2.5} の質量濃度の測定は、いずれの測定地点でも環境省により標準測定法と等価性を有すると評価された PM-712（紀本電子工業）、FPM-377（東亜 DKK）、APDA-3750A（堀場製作所）及び FH62C14（Thermo Fisher Scientific）を使用している。なお、これらの機器はいずれも質量濃度の計測法としてβ線吸収方式を採用している。

3 年平均値、日平均値（98%値）、月別平均値、曜日別平均値及び時間別平均値の算出方法

環境基準である年平均値、日平均値（98%値）については、環境省の定める環境大気常時監視マニュアル第6版に準拠し算出した。

月別平均値（季節変動）、測定日数がその月の8割未満の場合は欠測とし、1日の平均値を月別に平均して

算出した。春季は3～5月、夏季は6～8月、秋季は9～11月、冬季は12～2月とした。

曜日別平均値（週内変動）は、1日の平均値を曜日別に平均して算出した。また、月別平均値及び曜日別平均値は、基礎的な解析の結果、全地点で類似の変動を示していたため、全測定局の平均として示した。

時間別平均値（日内変動）は、一時間値を正時刻別に平均して算出した。なお、測定地点はいずれも有効測定日数250日以上の有効測定局であった。

4 クラスタ分析

PM_{2.5} 濃度変動の類似性を統計的に評価するため、時間別平均値に対して次の条件でクラスタ分析を行った。

- ・使用ソフト：エクセル統計2012
- ・解析法：凝集法による階層型クラスタ解析
- ・距離計算： $\sqrt{2 \cdot 2 \times \text{相関係数}}$
- ・合併後の距離計算：ウォード法

結果及び考察

1 PM_{2.5} 濃度の常時監視結果概要

PM_{2.5} 濃度の常時監視結果概要を表2にまとめた。PM_{2.5} の環境基準は、長期暴露による健康影響を防止する観点から設定された基準（年平均値 15μg/m³）と短期暴露による健康影響を防止する観点から設定された基準（日平均値（98%値）35μg/m³）から評価される。

年平均値について、2014年度の基準を達成している測定局は全24測定局中2測定局のみ、2015年度は全28測定局中11測定局で基準を満たし、2016年度は全28測定局中16測定局と過半数以上の測定局で基準を達成していた。日平均値（98%値）についても、2014年度は全24測定局中3測定局のみで基準を達成し、2015年度は全28測定局中19測定局、2016年度は全28測定局中26測定局といずれも過半数を超える測定局で基準を満たしていた。

1日の平均値が35μg/m³を超過した日（基準超過日）の平均日数は、2014年度は17日、2015年度は6日、2016年度は3日であった。

全国におけるPM_{2.5}濃度の平均と比較すると、2014年度、2015年度、2016年度の全てで熊本県の平均の方が高い。九州地域は他の地域よりも大陸からの汚染物質の越境移流の影響を受けやすいとされている¹⁾ため、県内のPM_{2.5}濃度が高くなっていると考えられる。しかしながら、年平均値、日平均値、基準超過日数いずれにおいても、経年的に減少する傾向がみられ、一般局の環境基準達成率も2014年度から2016年度にかけ

表2 PM_{2.5}濃度の常時監視結果概要

	2014年度				2015年度				2016年度			
	年平均値	日平均値	基準	環境基準	年平均値	日平均値	基準	環境基準	年平均値	日平均値	基準	環境基準
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(98%値) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	超過 (日)	の評価	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(98%値) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	超過 (日)	の評価	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(98%値) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	超過 (日)	の評価
1 荒尾運動公園	18.7*	43.6*	25	×	15.8*	34.8	6	×	15.1*	30.9	4	×
2 有明保健所	17.4*	41.0*	18	×	15.4*	32.7	4	×	14.3	30.3	1	○
3 山鹿健康センター	18.3*	42.5*	23	×	17.9*	37.4*	10	×	17.1*	34.1	7	×
4 菊池市役所	17.1*	41.5*	15	×	15.4*	32.7	5	×	14.8	30.8	2	○
5 阿蘇保健所	13.6	33.3	5	○	11.4	27.8	2	○	11.0	25.8	0	○
6 大津町引水	17.1*	38.7*	11	×	15.4*	32.9	4	×	14.7	30.9	3	○
7 楡木	17.8*	45.3*	25	×	16.1*	39.4*	15	×	15.1*	32.9	6	×
8 京町	18.6*	41.7*	24	×	17.1*	36.1*	9	×	16.1*	31.9	4	×
9 北区役所	-	-	-	-	17.2*	37.3*	9	×	16.5*	31.4	6	×
10 中島	-	-	-	-	14.6	32.5	5	○	13.8	30.3	3	○
11 城南町	-	-	-	-	17.8*	36.6*	10	×	17.4*	32.1	6	×
12 秋津	-	-	-	-	15.4*	34.4	6	×	14.2	28.9	2	○
13 益城町役場	20.1*	46.6*	27	×	19.1*	40.8*	14	×	18.1*	36.4*	8	×
14 宇土運動公園	18.0*	41.8*	18	×	16.4*	33.4	3	×	15.1*	30.8	1	×
15 甲佐町岩下	15.1*	33.5	7	×	13.3	27.8	1	○	12.9	26.7	0	○
16 八代八千把	19.9*	44.9*	29	×	18.1*	37.6*	9	×	16.6*	32.6	2	×
17 八代市役所	18.0*	42.8*	15	×	16.0*	35.8*	8	×	14.0	28.9	1	○
18 小田浦公民館	16.7*	38.5*	17	×	14.4	30.4	3	○	13.8	27.9	1	○
19 水俣保健所	16.1*	37.3*	13	×	13.4	28.7	0	○	12.8	28.1	1	○
20 人吉保健所	16.9*	36.0*	11	×	13.8	26.8	1	○	12.9	26.9	0	○
21 上天草合津	14.1	34.3	7	○	11.8	27.1	1	○	12.0	24.4	0	○
22 天草保健所	16.8*	39.5*	12	×	14.7	32.3	5	○	14.3	29.1	2	○
23 五和手野	15.8*	36.5*	11	×	14.0	31.5	3	○	13.4	27.7	1	○
24 天草高浜	15.1*	37.5*	11	×	12.9	30.6	2	○	12.3	26.3	2	○
25 荅北志岐	16.1*	37.8*	11	×	14.5	34.2	7	○	13.4	26.9	2	○
① 水道町自排局	22.0*	47.7*	41	×	20.1*	40.0*	20	×	19.1*	35.3*	8	×
② 神水本町自排局	18.4*	40.1*	17	×	17.1*	34.0	7	×	16.0*	29.8	2	×
③ 八代自排局	18.3*	40.0*	16	×	16.1*	31.3	5	×	15.3*	28.0	0	×
一般局 平均	17.0		17	9%	15.3		6	44%	14.5		3	64%
自排局 平均	19.6			0%	17.8			0%	16.8			0%
一般局 全国平均	14.7**				13.1**				11.9**			
自排局 全国平均	15.5**				13.9**				12.6**			

*環境基準超過 **平成28年度大気汚染の状況(環境省 水・大気環境局)

て、9%から64%まで改善した。

なお、2016年度の各測定地点を比較すると、年平均値は最大で $8.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ の差がみられた。このことから、越境移流による広域的な影響以外に、自動車等の発生源による地域的な影響があることが示唆される²⁾。

2 季節変動

季節変動は県内全域で類似した変動を示していたが、年度ごとでその傾向は異なっていた。月別平均値で作成した年度別の季節変動を図2に示す。

2014年度は、春季(特に5月)の濃度が高く、その後、夏季にかけて濃度が低下した後、冬季～春季にかけて再び濃度が高くなる傾向が見られた。2015年度は、2014年度と同様の傾向は見られたが、2014年5月のよ

うに濃度が著しく高い月はなく、濃度の変動幅が小さくなっていった。2016年度は、2014年度と2015年度に見られた傾向は見られなくなり、濃度の変動幅も更に小さくなっていった。このように、年度ごとで傾向が異なるので、季節変動から地域的な特徴を把握することは難しいといえる。

3 週内変動

週内変動も季節変動同様、県内全域で類似した変動を示していたが、年度ごとの傾向は異なっていた。曜日別平均値で作成した年度別の週内変動を図3に示す。

2014年度は火曜日、水曜日、土曜日に、2015年度は月曜日、土曜日、日曜日に、2016年度は金曜日、土曜日に濃度が高くなる傾向が見られた。全国的には人為

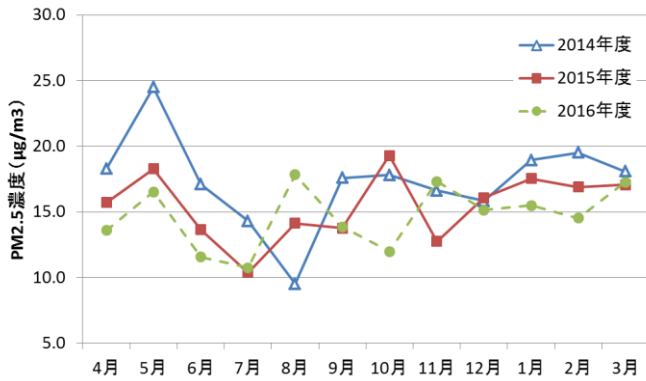


図2 PM_{2.5}濃度の年度別季節変動

活動の影響により平日に濃度が高くなる傾向を示す¹⁾が、本県では異なる状況となっており、特徴的な結果であった。

また、年度ごとに濃度が高い曜日が異なっていることから、人為活動等による地域的な汚染による影響よりも、曜日に左右されない越境汚染等の広域的な汚染による影響が強いと考えられる。よって、曜日別平均値により県内の地域的な特徴を把握することは難しいと考えられる。

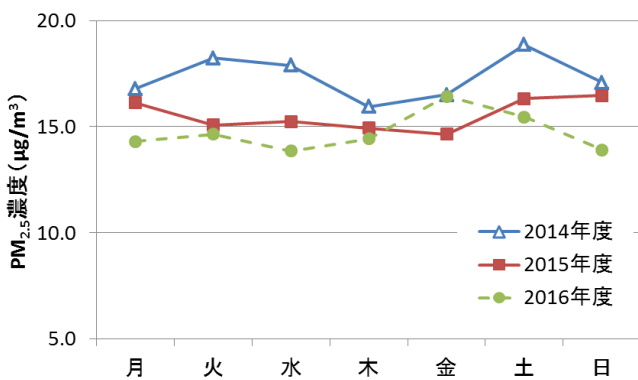


図3 PM_{2.5}濃度の年度別週内変動

4 日内変動

時間別平均値に対するクラスター分析を行ったところ、図4のように4つのパターンに分類できた。パターン別の時間別平均値で作成した各測定局の日内変動を図5～8に示した。日内変動は季節変動、週内変動と異なり、年度ごとの傾向は類似していたが、パターンごとに異なる特徴が見られた。

パターン1は変動幅が小さく日中15～19時頃に幅広いピークが見られた。パターン2は変動幅が大きく昼に大きなピークが見られるのが特徴的であった。パターン3は変動幅は小さいが朝(7～10時頃)と夕方(17～22時頃)にピークが見られた。パターン4は変動幅

が小さく他のパターンに見られるようなピークも不明瞭であった。これらの変動パターンは地理的な関係性があまり見られないことから、局所的な特徴を反映していると考えられる。

パターン2に分類された7地点のうち6地点は同じ自動測定機(Thermo製FH62C14)を用いていた。この機種では、標準測定法と比べて夏季において、日中に高く、夜は低くなる特性が報告されている³⁾ことから、日内変動幅が大きくなる要因の一つが自動測定機の機種と考えられる。

全国のPM_{2.5}濃度データの日内変動を解析した事例では、パターン3のように二山型のパターンに関しては自動車由来の影響の可能性が指摘されている¹⁾。本県においても道路沿道地点である水道町と神水本町い

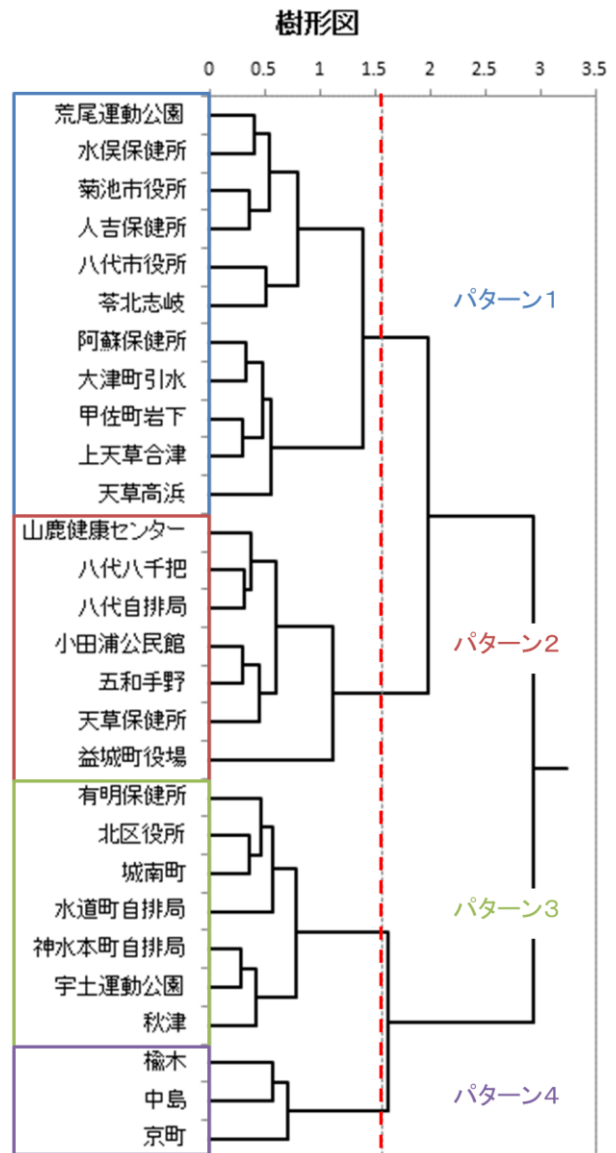


図4 日内変動のクラスター分析

ずれもこのパターン3に分類されており同様の結果が得られている。

5 越境移流の影響に関する考察

PM_{2.5}濃度の常時監視結果概要において、県内のPM_{2.5}年平均値が経年的に減少する傾向が見られ、このとき、中国の北京におけるPM_{2.5}年平均値も2014から2016年かけて97.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ から72.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで減少していた⁶⁾。そのため、大陸からの越境移流の減少により、県内の濃度が減少した可能性が考えられる。

このことについて考察するため、県内の代表地点分類（道路沿道、都市、バックグラウンド）ごとにおける年平均値、日平均値（98%値）及び季節別の経年変化について解析を行った。

1) 代表地点分類ごとの年平均値、日平均値（98%値）の経年変化

図9にそれぞれの代表地点分類の年平均値の経年変化を、図10にそれぞれの代表地点分類の日平均値（98%値）の経年変化を示す。図中の実線は近似直線を表している。

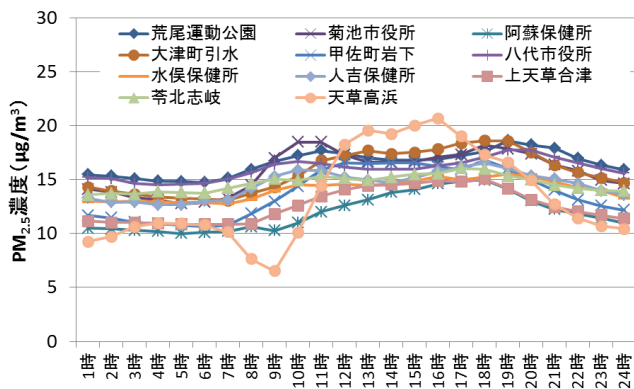


図5 PM_{2.5}濃度の日内変動（パターン1）

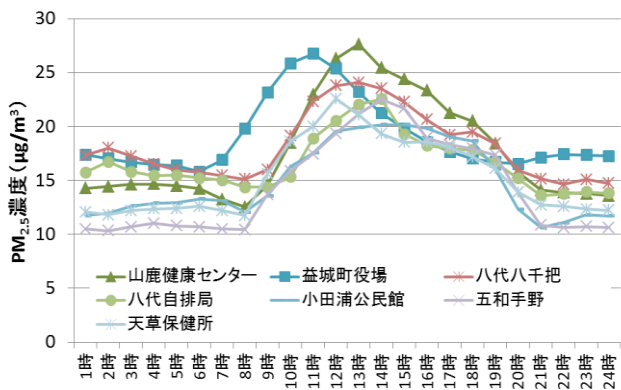


図6 PM_{2.5}濃度の日内変動（パターン2）

都市、バックグラウンドの全ての地点分類で、同程度の傾きで、濃度が減少しているのが分かる。バックグラウンドでは周辺の発生源等の影響をほとんど受けないため、PM_{2.5}濃度は地域汚染による寄与はほとんどなく、越境移流による寄与がほとんどであるといえる。そのため、バックグラウンドでの濃度減少の要因は越境移流の減少によるものであると解釈できる。バックグラウンドの濃度減少の傾きと道路沿道及び都市の濃度減少の傾きが同程度であるということは、道路沿道及び都市においても、濃度減少の要因は越境汚染の減少によるものといえる。つまり、県内の地域汚染による影響はあまり変化していないが、越境移流による影響が小さくなったため、PM_{2.5}濃度が減少したと推測できる。

2) 代表地点分類ごとの季節別経年変化

代表地点分類ごとの季節別の経年変化を図11～14に示す。

全ての代表地点分類で、春季、秋季及び冬季については、PM_{2.5}濃度は減少傾向、夏季については、PM_{2.5}濃度は横ばいの傾向であった。九州地域では、偏西風

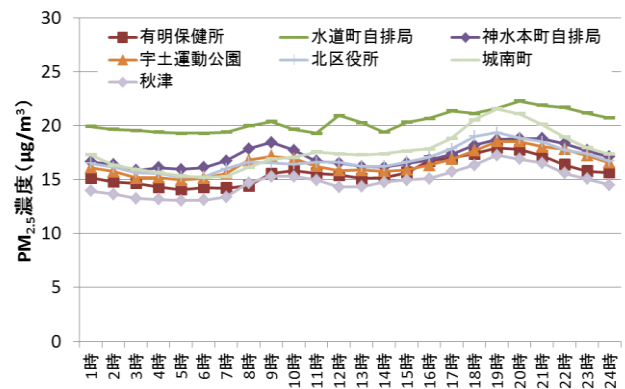


図7 PM_{2.5}濃度の日内変動（パターン3）

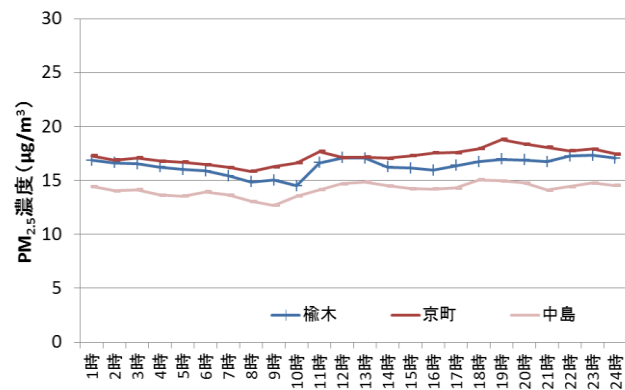


図8 PM_{2.5}濃度の日内変動（パターン4）

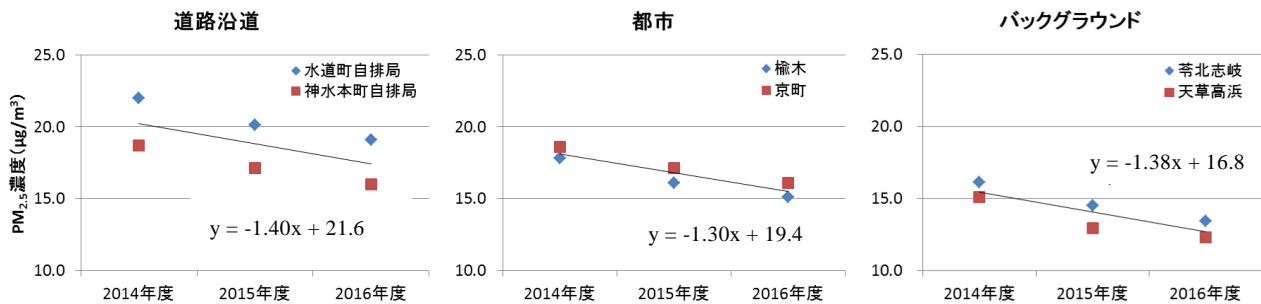


図9 各地点分類のPM_{2.5}年平均値の経年変化

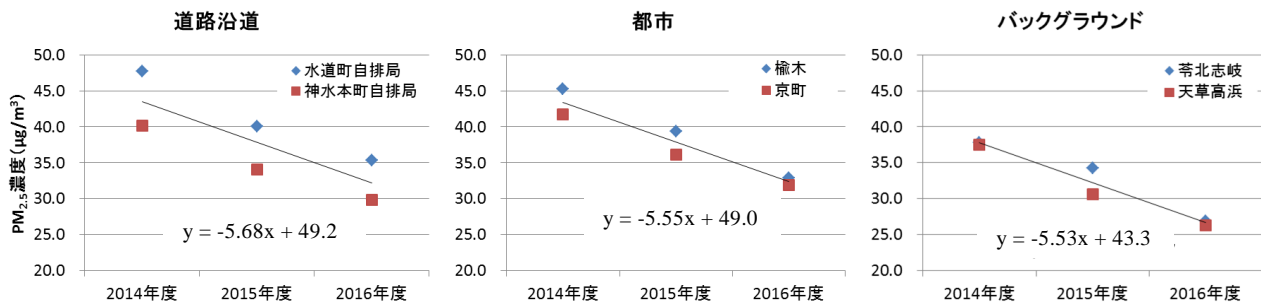


図10 各地点分類のPM_{2.5}日平均値(98%値)の経年変化

の影響が強まる春季および秋季、また北西の季節風の影響を受ける冬季において、大陸からの越境移流によりPM_{2.5}濃度が上昇するといった報告がされている^{4,5)}。つまり、春季、秋季及び冬季は越境移流の影響が大きく、夏季は越境移流の影響が小さい季節と判断できる。

今回、春季、秋季及び冬季と越境移流の影響が大きい季節でPM_{2.5}濃度が減少傾向にあり、越境移流の影響が小さい夏季ではPM_{2.5}濃度が横ばい傾向にあるが、バックグラウンドと道路沿道、都市の傾きを比較すると差がある季節が見られた。これは、地域的な汚染による影響のため、もしくは、経年的な減少幅より気象条件等に起因した月単位の振れ幅の方が大きいために傾きに差が出た可能性が考えられる。ゆえに、本解析から、越境移流の減少を結論づけることはできず、地域的な汚染についての解析や気象条件の違いに着目した解析が必要である。

まとめ

2014～2016年度の常時監視測定局のPM_{2.5}データを用いて、熊本県のPM_{2.5}による汚染状況を解析した。

PM_{2.5}濃度は、中国のPM_{2.5}濃度の減少に伴って減少していたことから、大陸からの越境移流の影響が小さくなったことが要因であると推測された。

地域的な汚染状況の把握は日内変動や週内変動等からは難しいが、代表地点分類ごとの年平均値、日平均値(98%値)及び季節別の経年変化から越境汚染の影

響度合いを判断でき、大陸からの越境移流の影響によるPM_{2.5}濃度の減少を支持する結果が得られた。

しかしながら、県内においてもPM_{2.5}濃度に差が見られることや代表地点分類ごとで濃度の減少割合が異なることから、地域発生源の影響や気象条件の違いを考慮する必要があるため、PM_{2.5}の成分分析等の調査結果と統合して解析を行う必要がある。

文献

- 1) 板野泰之, 大原利真, 山神真紀子, 大野隆史, 長田健太郎, 武直子, 菅田誠治: 大気環境学会誌, **48**, 154 (2013).
- 2) 豊永悟史, 出納由美子, 村岡俊彦, 北岡宏道: 大気環境学会誌, **52**, 150 (2017).
- 3) 長谷川就一, 山神真紀子, 鈴木義浩, 熊谷貴美代, 西村理恵: 全国環境研会誌, **43**, 40 (2018).
- 4) 金谷有剛, 竹谷文一, 入江仁士, 駒崎雄一, 高島久洋, 鶴野伊津志: 大気環境学会誌, **45**, 289 (2010).
- 5) 兼保直樹, 高見昭憲, 佐藤圭, 畠山史郎, 林政彦, 原圭一郎, 河本和明, 山本重一: 大気環境学会誌, **46**, 111 (2011).
- 6) 鶴野伊津志, 王哲, 弓本桂也, 板橋秀一, 長田和雄, 入江仁士, 山本重一, 早崎将光, 菅田誠治: 大気環境学会誌, **52**, 177 (2017).

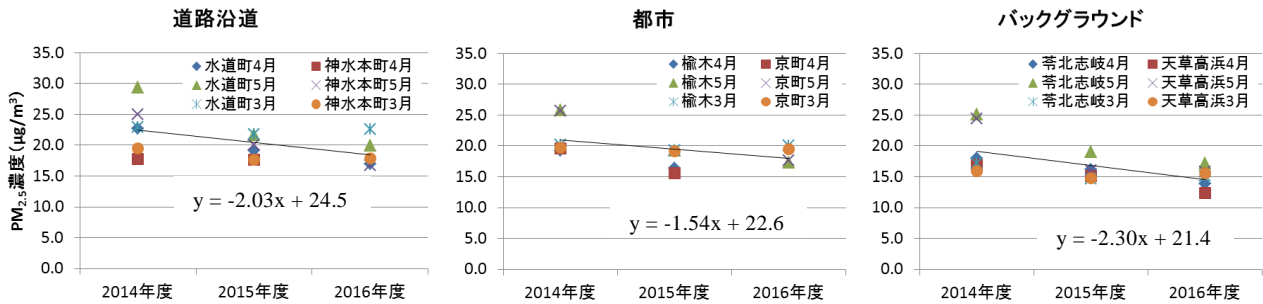


図 11 春季における各地点分類の PM_{2.5} 濃度の経年変化

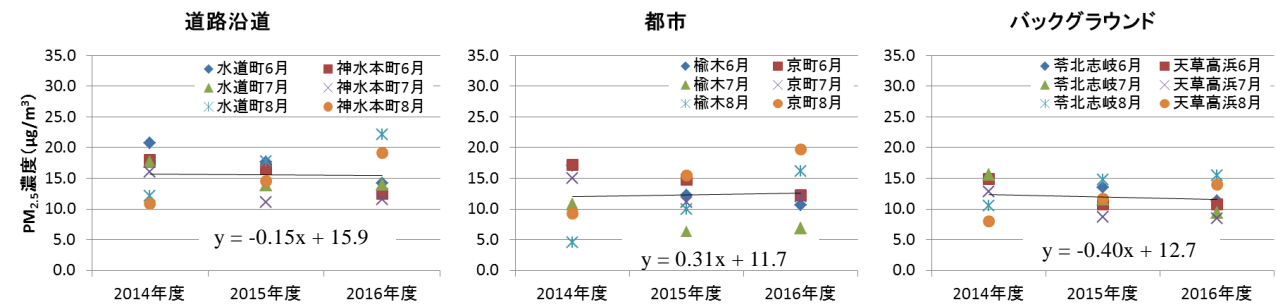


図 12 夏季における各地点分類の PM_{2.5} 濃度の経年変化

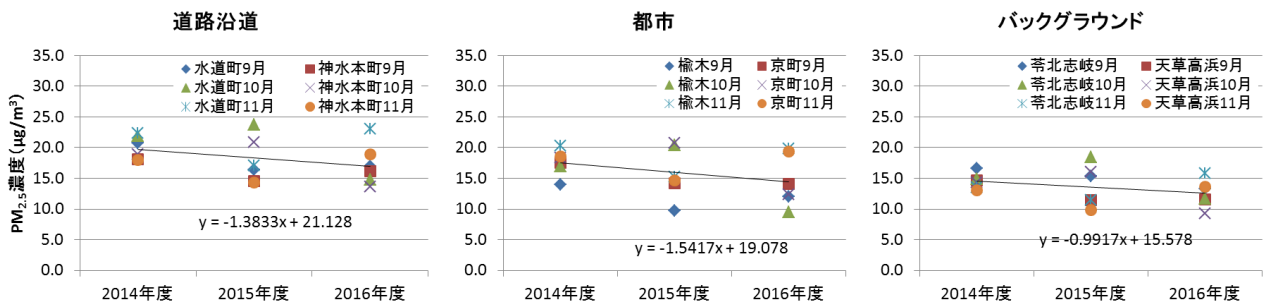


図 13 秋季における各地点分類の PM_{2.5} 濃度の経年変化

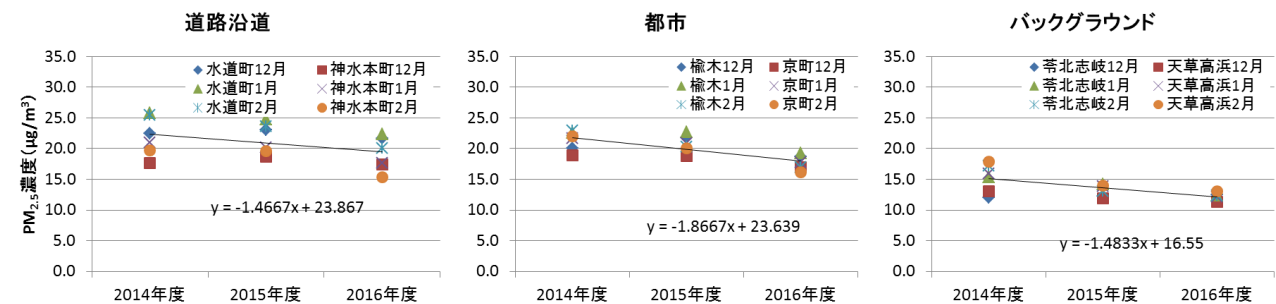


図 14 冬季における各地点分類の PM_{2.5} 濃度の経年変化