

PM_{2.5} 等の大気汚染物質にかかる濃度変動の挙動把握

高取 博哉・三田村 徳子*・瀧野 昭彦・南 真紀・江下 舞

1. 目的

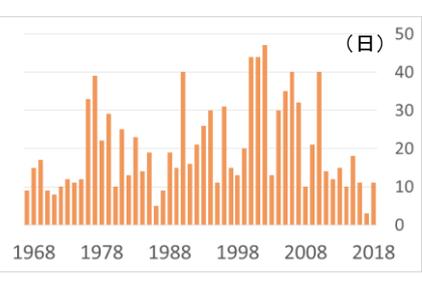
PM_{2.5} の濃度は、越境大気汚染や、国内での自動車排ガスや工場からのばい煙、野焼き等様々な発生源の影響のほか、海陸風や風の収束等の地域的な気象条件にも左右される。この調査解析では、PM_{2.5} の移流経路や濃度変動等の特徴から、県内で濃度差が生じる季節別要因を把握する。また、PM_{2.5} とともに移流する有害物質の実態を把握することにより、「安全・安心な大気環境」に資する知見を提供する。

【現状における課題】

- PM_{2.5} の環境基準達成状況が、県内の各地点で異なっていた
- PM_{2.5} や黄砂粒子とともに移流する有害物質が危惧される

| 地点 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 草津 | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 守山 | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 甲賀 | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 八幡 | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 東近江 | × | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 彦根 | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 長浜 | ○ | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 高島 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 自排草津 | × | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

PM_{2.5} の環境基準 (短期基準) 達成状況

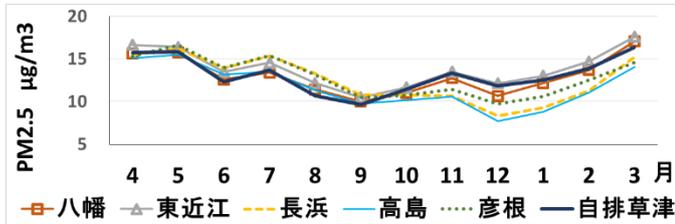


年別黄砂観測日数 (気象庁観測データより)

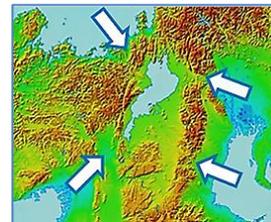
【課題解決に向けた対応】

① 県内で PM_{2.5} 等の濃度差が生じる要因を解明

県内の PM_{2.5} は季節により高濃度となる地点が異なるため、移流経路等の要因を調べる



滋賀県の PM_{2.5} 月別平均濃度 (2012~2018 年度の平均)



汚染物質の主な流入経路

地理院タイル (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>) を利用して作図

② PM_{2.5} と有害大気汚染物質と関連を把握

PM_{2.5} とともに国内外から移流する有害大気汚染物質の調査



ろ紙上に大気中の粒子を捕集

容器に大気を採取

採取した大気試料中の有害大気汚染物質を測定し、PM_{2.5} との関連を調べる

2. 研究内容と結果

滋賀県内の PM_{2.5} 濃度は、滋賀県として測定を開始した 2012 年度以来減少傾向にあり、2015 年度以降は全地点で環境基準を達成している。しかしながら、PM_{2.5} 濃度には地点間で差があり、地点によっては未だ環境基準値付近にある。越境移流影響の強い春は多地点で同時に大きく濃度上昇することが多いが、特に夏と冬は地点間の濃度差が大きくなる傾向にある。夏は県北東部（彦根、長浜局）で濃度が高くなっており、秋～冬は県中東部（東近江、八幡局）で高く北部で低い傾向である。今回は、秋～冬の地域差の要因について解析した結果を報告する。

<自動測定データを用いた冬季の高濃度要因の検証>

県内各地に設置している大気自動測定局（図 1）で得られた 2014～2017 年度の測定データを用いて、7～8 月（夏季）、11～1 月（冬季）の各期間において PM_{2.5} が高濃度となりやすい気象等の条件を検討した。



図 1：大気自動測定局の位置

- ①風速：風速が大きいほど濃度上昇は起こりにくく、冬季においては、環境基準値（短期基準）に相当する日平均 35 μg/m³ を超える高濃度日は、概ね日平均風速 1 m/sec 以下の場合に限られることが示された。
- ②気温（大気安定度）：夏季は、気温が高いほど PM_{2.5} 濃度も高い傾向が見られた。また、大気安定度（鉛直混合の強度）の目安として比叡山局（京都市、標高約 840 m）との気温差を見ると、冬季は夏季よりも気温差が小さい日が多く、比叡山局の方が高温となる逆転が見られる日もあった。冬季の PM_{2.5} 濃度は、気温差が小さい場合に、高濃度となりやすい傾向が見られた。これらのことから、冬季は、弱風かつ大気が安定である（鉛直混合が少ない）場合に地域的な汚染が蓄積し、高濃度となりやすいことが示唆された。

③湿度：冬季は夏季とは異なり、高湿度の条件下で高濃度が出現しやすい傾向が見られた。ただし、降水があった場合は高湿度でも低濃度となる日が多かった。湿度との関係としては、冬季の主要成分である硝酸塩や硫酸塩の吸湿による粒子成長や、硝酸生成反応への水の関与が考えられる。

④他の大気汚染物質：冬季は光化学オキシダント（Ox）とは負の相関があり、二酸化窒素（NO₂）とは正の相関が見られた。夏季は光化学二次生成が盛んなため Ox との正の相関が強いが、冬季に PM_{2.5} 濃度が高い日の場合は、弱風で窒素酸化物（NO_x）濃度も高いため、夜間に NO タイトレーション（Ox の消失）が強く働き Ox 濃度が低下するためと考えられる。

| | 風速 | 気温 | 気温差 (対比叡山) | 湿度 | 湿度 (降水なし) | Ox | NO2 |
|-------|--------|-------|---------------|--------|--------------|--------|-------|
| 11～1月 | -0.453 | 0.239 | 0.569 | 0.159 | 0.418 | -0.486 | 0.600 |
| 7～8月 | -0.113 | 0.387 | -0.033 | -0.287 | -0.113 | 0.566 | 0.323 |

東近江局における各種自動測定データと PM_{2.5} 質量濃度との相関係数

<PM_{2.5} 成分分析による地域差の考察>

八幡局と長浜局では、季節ごとに 24 時間捕集による PM_{2.5} 成分分析を実施している。

①秋・冬季の主要成分の特徴：冬季は他季に比べ硝酸イオンの占める割合が高く、八幡局と長浜局の濃度差に最も寄与していたのも硝酸イオンであった（図 2）。長浜局がある県北部は日本海側の気候に近いため、冬季の降水量が多く、硝酸塩は降水に取り込まれて湿性沈着により除去されやすいと考えられる。

一方秋季の場合は、炭素成分、特に有機炭素 (OC) の比率が最も高かった。八幡局と長浜局との濃度差への寄与も、OC が最も大きかった (図 2)。日射が弱い秋～冬季は光化学二次生成が活発ではないため、OC の起源として野焼き等の燃焼起源の寄与が大きいと考えられる。そこで、同じ試料について、バイオマス燃焼の指標物質であるレボグルコサン (図 3) を測定した。

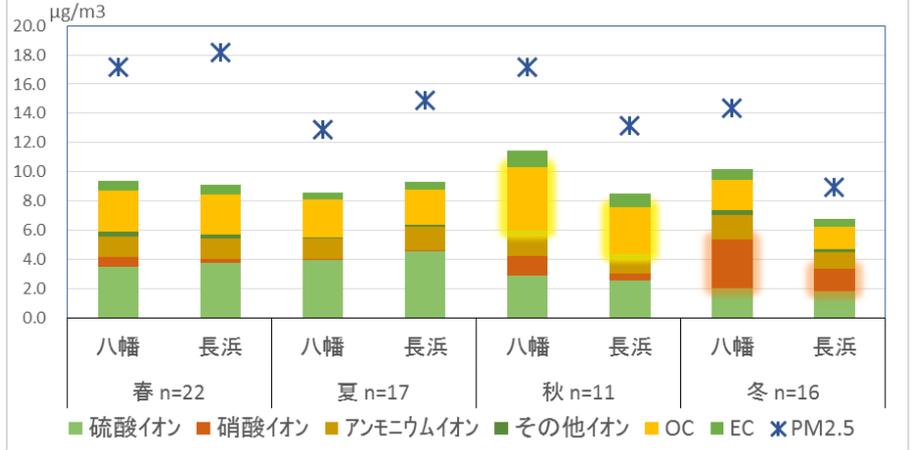
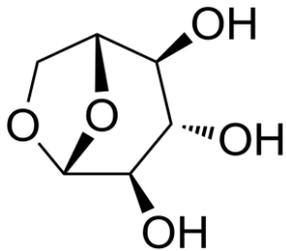


図 2：八幡および長浜局における各季節の PM_{2.5} 主要成分 (2016、2017 年度)

②レボグルコサンと他のイオン：レボグルコサンの濃度は秋と冬、特に秋季に顕著に高く、八幡局では長浜局の約 2 倍の濃度であった (図 4)。これは、同じくバイオマス燃焼により放出されるカリウムイオンの濃度とよく対応する (図 5) ことから、秋季は特に八幡局で野焼き等の影響を強く受けていることが示唆された。なお、他のイオン成分の中では、塩化物イオンについても、秋冬に高く、長浜局よりも八幡局で高濃度となる傾向が見られた。気温の影響を受ける半揮発性の塩化物イオンは、硝酸イオンと同様に秋よりも冬の方が高濃度であるが、冬季においてレボグルコサンとは強い相関を示しており (図 5)、同様にバイオマス燃焼との関連が示唆された。なお、特に八幡局についてはレボグルコサンと硝酸イオンとの相関も強く、硝酸イオンの起源として、野焼きによる NO_x 発生の寄与も考えられる。



Wikipedia より

図 3：レボグルコサンの分子構造

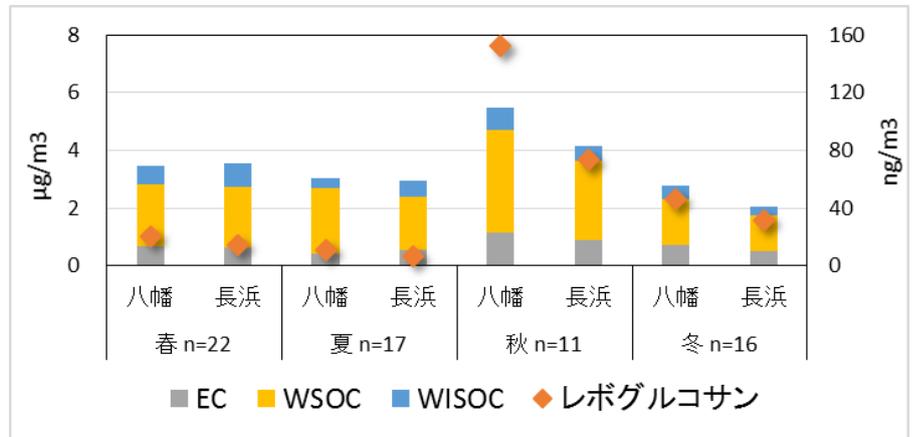


図 4：炭素成分 (左) とレボグルコサン (右) 濃度

(EC: 元素状炭素、WSOC: 水溶性有機炭素、WISOC: 非水溶性有機炭素)

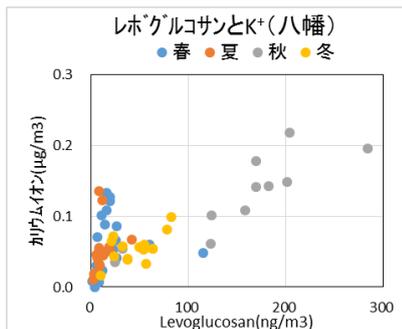
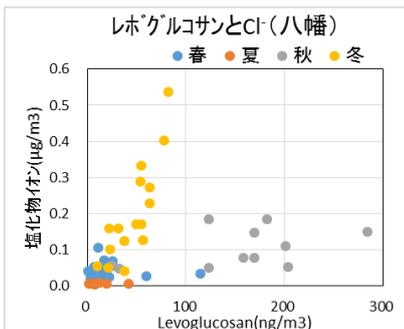


図 5：八幡局におけるレボグルコサン濃度と塩化物イオン (左) およびカリウムイオン (右) 濃度との関係

③地域間の詳細比較：以上は、成分測定を実施している長浜局と八幡局のみの比較だが、県中東部（八幡局と東近江局）の冬季のPM_{2.5}濃度は、西部や南部と比較しても高い。特に、県南部は自動車等の排出源も多く、硝酸塩の前駆物質であるNO₂濃度も県中東部より高いことから、PM_{2.5}濃度の自動測定に用いているテープろ紙（図6）を用いた分析も実施し、南部にある草津局を含めた比較を行った。

比較的PM_{2.5}濃度が高かった2017年12月20日、2017年11月29日および12月23日の三日間を対象とし、草津、八幡、東近江、長浜の4局のテープろ紙からスポットを切り出し、3時間分ごとにまとめて分析を行った。対象とした期間中のPM_{2.5}濃度は八幡・東近江局で高かった。NO₂濃度が最も高かったのは草津局だが、硝酸イオン濃度は八幡局の方が高かった。この要因は、それぞれの地域の気象条件も関係している可能性などが考えられるが、現時点で不明である。八幡局はレボグルコサンの濃度も高く、野焼きなどの影響は、草津局よりも強く受けていると考えられる。一方で、塩化物イオンについては中東部の2地点で特に高く、レボグルコサンとは異なり東近江局の方が高濃度であった。このことから、東近江局では八幡局で推定されるような野焼き以外の燃烧発生源の影響を受けている可能性も考えられる。

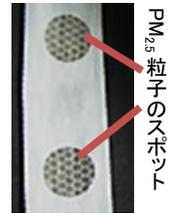


図6：テープろ紙

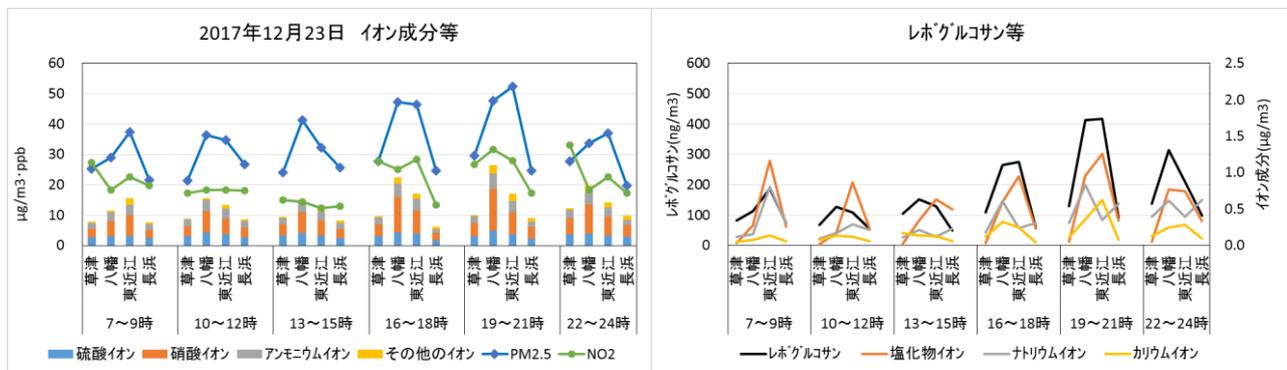


図7：2017年12月23日の測定結果

3. まとめ

本研究の2年目となる昨年度は、秋季や冬季に県中東部においてPM_{2.5}濃度が高くなる要因を解析した。

- 気象条件との関連を検討したところ、冬季に高濃度となりやすいのは、弱風で大気安定度が高く、降水はないが高湿度な場合であることがわかった。このような条件下では、地域的な汚染が蓄積しやすく、また硝酸塩の生成や吸湿による粒子の成長が進行しやすいと考えられる。
- バイオマス燃焼の指標となるレボグルコサンについて、他のイオン成分や炭素成分などとともにPM_{2.5}中の含有量を測定し、季節や地点による違いを解析した。その結果、冬季や秋季は県中東部でバイオマス燃焼の影響が強く、野焼き等による地域的な汚染が蓄積して高濃度となっている可能性が示唆された。

今後は、データを一部追加して地域間比較の解析を深め、最終的には地域差を生む要因を年間通じてまとめる。また、他の大気汚染物質（揮発性有機化合物等）について、主に越境移流するPM_{2.5}との関連性を調査した結果も解析し、とりまとめていく予定である。