

24. PM_{2.5} 汚染ホットスポットの実態把握と要因解明、 および暴露リスクの初期評価

○板野 泰之 (大阪市立環境科学研究センター)

【研究目的】

大阪市では 12 地点にて PM_{2.5} 濃度が常時監視されているが、監視地点以外での高濃度場の存在は否定できない。また、PM_{2.5} 濃度測定は通常は 1 時間毎であり、短時間で生じる高濃度現象は把握できていない。そこで、時間応答性の高い可搬測定器による徒歩調査により、局所的な高濃度汚染「ホットスポット」の実態把握と要因解明を行う。更に、ホットスポットによる暴露影響を調べ、健康被害の低減に資する。

【研究の必要性】

日本における PM_{2.5} 汚染については、大気環境基準 (1 年平均濃度 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、かつ、1 日平均濃度 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下であること) の達成状況が改善傾向にある。一方、2013 年に WHO の国際がん研究機関が、PM_{2.5} などの大気汚染の発がんリスクを、ヒトに対する発がん性を認めた「レベル 1」に分類したことなど、PM_{2.5} 汚染による健康影響に対する社会的関心は極めて高い。

PM_{2.5} 濃度は、発生源の強度に加え、周辺の立体構造などの影響を受け変化する。その結果、PM_{2.5} 濃度が一定の時間に渡って局所的に著しく高濃度となる場 (ホットスポット) が発生する可能性があることが、大気シミュレーションにより確認されている。大都市部は PM_{2.5} の発生源や立体構造が多様であり、PM_{2.5} のホットスポットが発生しやすい可能性がある。

国や地方自治体は、PM_{2.5} を始めとする主要な大気汚染物質濃度の常時監視を実施している。これらの測定結果はほぼリアルタイムで公表されており、誰もが周辺の大気汚染状況を把握することができる。一方、自治体が設置できる PM_{2.5} 濃度の測定地点数には限界があり、ホットスポットのような地域内の汚染分布を詳細に監視することは非現実的である。また、PM_{2.5} は 1 日平均濃度として測定される (自動測定機では参考値として 1 時間平均値が得られる) ため、短時間で生じる高濃度現象の把握は困難である。

ホットスポットにおける暴露は、たとえ短時間であっても大きいインパクトを与えうる。例えば、PM_{2.5} 濃度が周辺よりも 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 高い環境大気に 10 分間暴露されるだけで、1 日平均濃度は 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 増加し、その分健康リスクが上昇する。自動車や固定発生等への対策によって PM_{2.5} 汚染が改善傾向にある中で、一元的な対策が困難なホットスポットは、今後の大気汚染による健康影響を考える上で新たな課題として注目される可能性がある。これらのことから、ホットスポットの実態や成因・その健康影響評価が重要である。

【研究計画】

時間応答性が高く、かつ、可搬型の光学センサによる移動測定を行う。大阪市内の大気常時監視局における PM2.5 濃度測定値と比較することで、測定値を PM2.5 濃度を算出するための係数を得る。このパーティクルカウンタと、測定地点の位置情報および発生源や地形を記録するためのカメラ機能付き GPS センサを用いて得られる位置、濃度、周辺状況のデータセットを解析し、次の 2 点を明らかにする：

①PM2.5 の詳細空間分布調査と要因解明： 大阪市内の様々な環境（交差点周辺、低層住宅地、中高層住宅街、飲食店街などを想定）を調査対象とする。測定の時間間隔を 5 秒程度とし、移動速度や調査地点に対する制約が少ない「徒歩」にて、PM2.5 濃度の詳細な空間変動を調査する。周辺と比べて著しく高濃度となるホットスポット周囲の状況をカメラで撮影する。発生源および周辺の空間構造を解析し、その発生要因を明らかにする。

②ホットスポットの個人暴露濃度への影響調査： ①で調査したホットスポットを含む地域を徒歩または自転車で調査する。調査期間中の PM2.5 平均濃度と、各ホットスポットでの濃度上昇が無かったと仮定した場合の平均濃度の差から個人暴露濃度への影響を推定する。1 日平均濃度への影響を概算し、その影響を評価する。

【実施内容・結果】

1. 公定法との比較： 名古屋大学と株式会社パナソニックが共同開発した PM2.5 センサを用いた。本センサの基本的な性能についてはすでに十分評価されているが[1]、実際に本調査に用いる個体について、大阪市内の大気汚染常時監視局における PM2.5 の自動連続測定器との並行測定を実施した。並行測定を行った期間は 2017 年 9 月 28 日から 10 月 26 日までの約 1 ヶ月間である。センサーは風防に入れた状態で局舎屋上に設置されている自動測定器本体の吸気口付近に設置し、測定局舎の電源から直接電力を供給した。測定値は局舎内部に設置した携帯端末により無線で受信・保存した。測定間隔は 1 分間とし、その 1

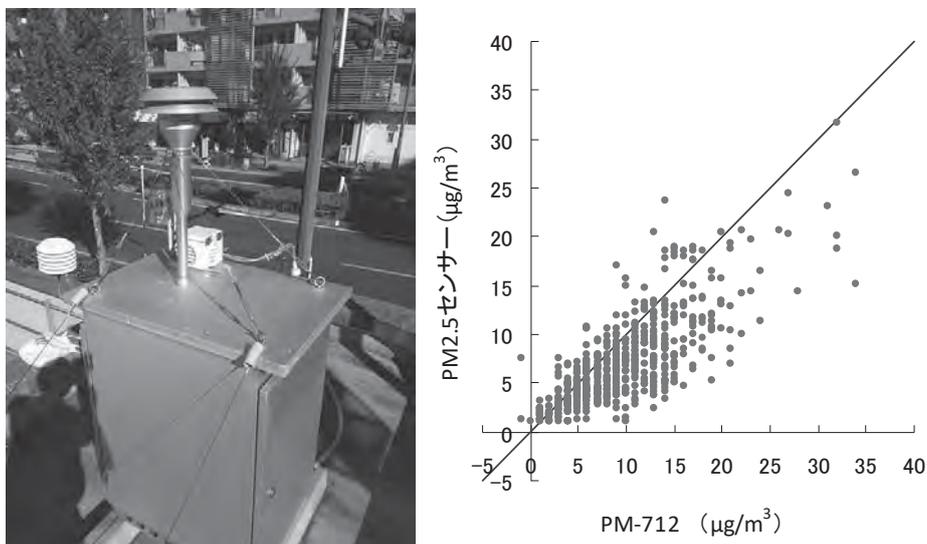


図1 PM2.5 センサーと自動測定器との比較. 設置風景(左)と1時間平均値の散布図(右).

時間平均値を自動測定機による1時間平均値と比較した(図1)。なお、比較対象とした自動測定器は紀本電子工業のPM-712であり、自治体が確定作業を実施する前の「速報値」を環境省大気汚染物質広域監視システム(そらまめくん)よりダウンロードした。自動測定器による1時間平均値は「参考値」であるが、比較の結果、 $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ までの範囲で良い相関が確認できた。

2. ホットスポットの探索(スクリーニング): 本センサにモバイルバッテリーから電力を供給することで屋外に携帯し、市内の様々な場所を移動しながらPM2.5濃度の変化を確認した。図2に調査の一例を示す。この時の調査では、地下鉄で移動した後、地下街ショッピングモールを通過して地下駐車場内に移動した後、地上に出て幹線道路沿いを歩いてショッピングセンターの地上階から地下飲食店街に移動した。更に地上に出て幹線道路沿いを歩き、交通量の多い交差点の歩道橋、近傍施設の駐車場を徘徊し、スーパーマーケットを経て区役所に入った。その後、地下鉄・私鉄を乗継ぎフィットネスクラブのプール見学室を経て自宅に戻った。その間、PM2.5濃度は大きく変動し、局所的な高濃度場の存在が予想された。このような高濃度場の探索(スクリーニング)を繰り返し、ホットスポットの候補となりうる地点を絞り込んだ。

このようにして絞り込んだホットスポットの候補地点と、高濃度にはならなかったもののホットスポットの可能性のある地点についてより詳細な調査を実施した。

3. 自動車排ガスの影響: 自動車排ガスの影響が強いと考えられる、交差点周辺、歩道橋、およびバスターミナルの調査を実施した。特に交通量が多い「梅田新道」や、国道43号線の「深江」など主要な交差点であっても、その近辺や歩道橋部での濃度上昇は見られなかった。また、地下駐車場でも明瞭な濃度の上昇は認められず、PM2.5汚染に対する自動車排ガスの影響は、本手法においては検出できなかった。一方、バスターミナル周辺では

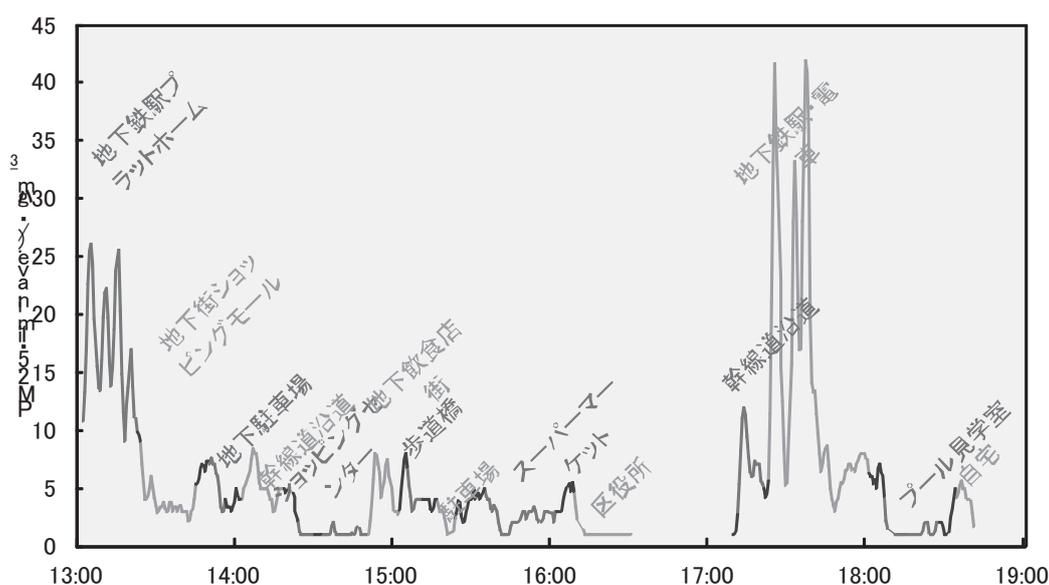


図2 PM2.5センサーによる移動測定(スクリーニング)の例.

バスの往来に伴い PM2.5 濃度の上昇が認められる場合があったが、影響がほとんど見られない場合もあったことから、バスの種類（燃料など）に依存する可能性が示唆された。

3. 閉鎖空間における調査： PM2.5 の発生量が少ない場合であっても、周辺大気との交換が少ない条件であれば高濃度になる可能性がある。そこで、一般家屋、駅前コンコース、喫煙ルーム、および地下鉄駅構内にて濃度測定を行った。一般家屋では LDK にて 1 週間の連続測定を実施したところ、調理時には PM2.5 濃度が 1 分間値で 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることが明らかとなった。また、一般家屋において焼香した際にも極めて高濃度となった。次に、駅前コンコースにおいて連続測定を実施したところ、夕方以降に高濃度となる傾向が認められた(図 3)。この傾向は近傍の一般環境では認められていないことから、周辺の飲食店の活動との関連が示唆された。このため、駅前高架下のトンネル状通路に飲食店が立ち並びいわゆる「ガード下」飲食店街周辺で PM2.5 濃度を調べたところ、1 分間値で 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 近い高濃度となる場合があることがわかった(図 3 下)。

喫煙ルームでは明瞭な濃度上昇が認められたが、その濃度は最大で 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であった。地下鉄駅構内では十 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の幅での周期的な濃度増減が観察され、電車の往来との関係が疑われたことから、電車の走行による粉塵の巻き上げに由来する濃度変動である可能性が考えられた。

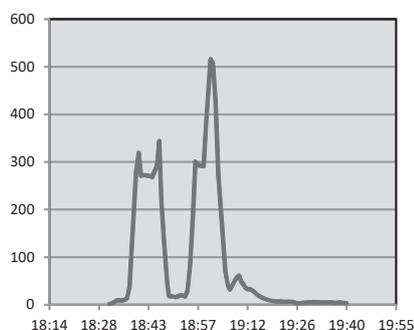
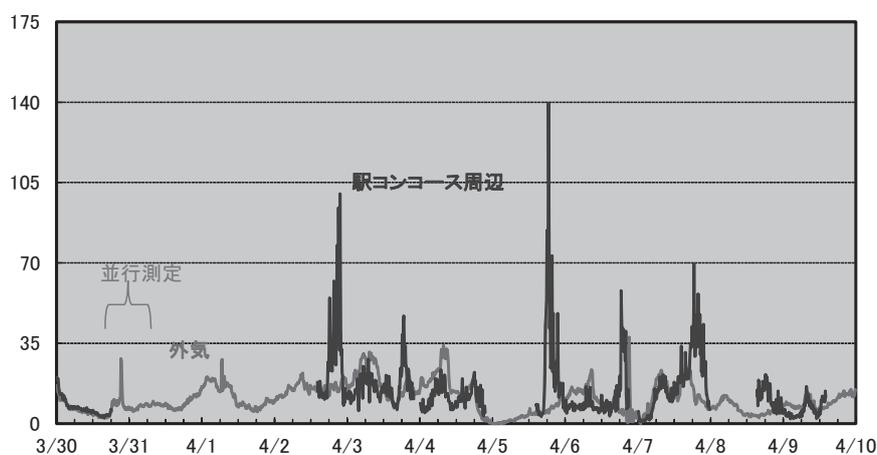


図 3 駅コンコース周辺における PM2.5 濃度 10 分間平均値の連続測定結果(上)、および、その近傍の高架下飲食店街における 1 分間平均値の測定結果。

4. 飲食店： 前節において、調理時や飲食店街の活動に伴い PM2.5 濃度が極めて高くなる可能性が示唆されたことから、飲食店内に滞在中の濃度変化を調べた。利用した飲食店は、焼肉店、牛丼チェーン店、回転寿司チェーン店、ファミリーレストラン、串かつ店などである。焼肉店においては1分間値で $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度が観測された一方、牛丼や回転寿司チェーン店では明瞭な濃度上昇は認められず、また、高濃度が予期された串かつ店でも低濃度であり、その後を訪れたゲームコーナーのほうが高濃度であった。飲食店の種類や換気装置の使用により濃度が大きく異なることがわかった。

5. その他のホットスポット： 上記のほかにも PM2.5 濃度が明瞭に増加する場所が見られたので以下に報告する。まず、電車の駅構内にて設置されているドライミスト（散水機）の周辺では、散水状況と連動した PM2.5 濃度の増減（1分間値で $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度）が認められた。次に、キャンプ場においては、朝、昼、夜の食事時間に1分間値で $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の濃度上昇が認められた。これらは主に BBQ など調理に伴うものと推測され、時折 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるピーク状の濃度増加がみられた。夜中にも継続して濃度上昇が認められる場合があり、これは花火や残り火が原因ではないかと考えている。また、夏祭り（盆踊り）会場においても明確な濃度上昇が認められ、1分間値で $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える高濃度となった。本件については屋台における調理に加え、地面からの巻き上げ粉塵の寄与が疑われる状況であった。さらに、寺社仏閣における法要時にも、線香やろうそくの燃焼に伴うと考えられる PM2.5 濃度の大幅な増加（1分間値で $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度）が認められた。これらの例は何れも完全な開放空間における明瞭な濃度上昇であった。

6. ホットスポットによる個人暴露濃度への影響： 日本の公定法では、PM2.5 濃度は24時間平均濃度として算出・評価される。上述したホットスポットに滞在した人とそうでない人との間では、24時間平均濃度が有意に異なる可能性がある。このような、ホットスポットによる個人暴露濃度に対する影響を見積もるために、各ホットスポットにおける PM2.5 濃度の増加分（ $\Delta\text{PM}_{2.5}$ ）を算出し、各ホットスポットに10分間滞在することにより24時間平均暴露濃度がどれだけ増加するか（Incremental Daily Exposure Concentration by 10 minutes residence: IDEC10）を算出した（表1）。その結果、図8の焼肉店における10分間の滞在だけで個人暴露濃度が約 $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度増加する可能性があることがわかった。本結果は極めて荒い推定ではあるが、ホットスポットが個人暴露濃度に対して無視できない影響を及ぼしうることは明らかと考えられた。

【考察と今後の課題】

PM2.5 の発生源は多岐にわたり、様々な条件によってホットスポットを形成しうるということが明らかとなった。また、ホットスポットにおける短時間の暴露により個人暴露濃度が有意に増加する可能性が示唆された。

表1 ホットスポット滞在による暴露濃度への影響

ホットスポット	$\Delta PM_{2.5} (\mu g m^{-3})$	IDE _{C10} ($\mu g m^{-3}$)*
焼肉店	280	1.9
高架下飲食店街(ガード下)	235	1.6
盆法要	32	0.2
喫煙室	32	0.2
一般家屋(冬季調理時)	23	0.2
キャンプ(屋外BBQ)	21	0.1
夏祭り	21	0.1
バスターミナル	11	0.1
ドライミスト	11	0.1

* Incremental Daily Exposure Concentration by 10 minutes residence: ホットスポットに10分間滞在することにより24時間個人暴露濃度がどれくらい増加するかを示した値。

ホットスポットの多くは生活・文化・娯楽と密接に結びついた活動が要因となっている場合が多く、個別の対策は困難である。一方、ホットスポットの存在を意識することで、不要な暴露を回避することは可能である。近年、今回利用したような小型のセンサが多く開発されており、そのような測定情報を集積・活用してホットスポットの存在を明らかにし、暴露濃度の低減につなげることが期待される。

【参考文献】

[1] T. Nakayama, Y. Matsumi, K. Kawahito, Y. Watabe (2018), Aerosol Sci. Technol., 52:1, DOI:10.1080/02786826.2017.1375078

【経費使途明細】

使 途	金 額
調査器材費	202,056 円
調査消耗品費	62,878 円
解析用消耗品費	30,676 円
調査交通費	4,770 円
合 計	300,380 円
大同生命厚生事業団助成金	300,000 円