

【原著】

受動喫煙防止に向けて —微小粒子状物質(PM2.5)・におい・風の観測をもとに 敷地内喫煙所が屋内環境に与える影響を探る—

森本泰子¹⁾ 山口孝子¹⁾ 池村舞¹⁾ 松井大樹¹⁾ 森本夏実¹⁾ 原田竜一¹⁾ 山崎裕康¹⁾

要 旨

背景・目的： 2020年4月に改正健康増進法が施行されたのを受け、神戸学院大学では建物の出入口付近にあった喫煙場所を離れた場所に移動した。しかしながら、喫煙場所が移動した後もタバコのにおいが感じられることがあったことから、当該出入口付近における受動喫煙の状況を調査した。

方法： 2022年3月19日から4月30日までの期間、当該出入口付近と喫煙所付近および館内の出入口から離れた場所において、微小粒子状物質(PM2.5)、におい、風を同時に観測し、館内環境への喫煙所の影響について検討した。測定にはそれぞれPM2.5デジタル粉じん計LD-5R(柴田化学株式会社)、においモニターOMX-SRM(神栄テクノロジー株式会社)およびデーターロガー風速計AM-4207SD(マザーツール社製)を用いた。

結果と考察： 喫煙所方向からの風が観測された時間帯に出入り口付近と喫煙所付近の両地点で観測されたPM2.5値には相関が認められ、喫煙所付近で発生したPM2.5が風に乗り出入り口まで到達したものと考えられた。また風のない時間帯にも、両地点でにおいの傾向を表す識別値が一致する場合には、におい強度およびPM2.5値に2地点間でゆるやかな相関が認められたことから、PM2.5だけでなく喫煙所付近で発生したにおいも建物にそって、あるいは人の流れに従って出入り口まで到達したものと考えられた。また風の有無にかかわらず、館内の2地点の間ではPM2.5値に強い相関が見られたことから、喫煙所の影響は建物の内部まで及んでいると考えられた。

結語： 今回の結果から、受動喫煙防止のため喫煙所の場所を移動させても、喫煙所で発生したにおいやPM2.5が屋内環境に影響を与えていていることが示唆された。

キーワード： 受動喫煙、PM2.5、におい

緒 言

受動喫煙は重大な健康リスクであることがわかっており¹⁾、望まない受動喫煙をなくすため改正健康増進法が2020年4月に施行された²⁾。受動喫煙の形態としてタバコ

の火を消した後に残留するサードハンドスモークも近年、問題とされている³⁾。神戸学院大学(以下、本学)では2004年から指定喫煙場所以外での喫煙が禁じられており、今回の法改正を受けてはC号館北側の出入口付近にあった喫煙所が東に移動されたが、その後も出入口付近でたばこのにおいが感じられることがあり、風による副

1) 神戸学院大学薬学部

責任者連絡先：森本泰子
E-mail:ymorimoto@jcom.zaq.ne.jp

流煙の流れ込みなどが起きていることが疑われた。

たばこの煙は多くの微小粒子状物質（PM2.5）を含んでおり、自家用車の運転席で紙巻きたばこを吸うことによって、後部座席におけるPM2.5濃度が著しく上昇することが示されている⁴⁾。我々のこれまでの検討でも、移動前の喫煙所付近（屋外）でのPM2.5値の上昇とC号館出入口付近（屋内）でのPM2.5値の上昇に関連が認められている⁵⁾。近年、加熱式たばこの消費が拡大しているが、先の報告⁴⁾ではアイコス®の運転席での使用により粒径25から300 nmの粒子状物質の濃度が急激に上昇したことが示されている。

また、PM2.5の原因とされ、たばこ臭とも関係する揮発性有機物質（VOC）は、紙巻きたばこのみならず加熱式たばこであっても喫煙後長時間にわたって呼出煙中に含まれていることが確認されている⁶⁾。

そこで今回は、移動後の喫煙所付近とC号館出入口付近のPM2.5値に関連があるかを調査すると同時に、においとの関連性や風の影響について検討した。

方 法

1. 測定地点

C号館内のピロティと北出入口付近、および喫煙所付近において測定を行った。ピロティは喫煙所から離れている場所として選定した。北出入口付近はドアの内側の壁に沿った場所とし、喫煙所付近は喫煙所から西南西に2メートルほど離れた場所とした（図1）。

2. 測定内容

（1）PM2.5の測定

PM2.5の測定には、PM2.5デジタル粉じん計LD-5R（柴田化学株式会社）を用いた。本機器は、レーザー光による光散乱を利用した粉じん計で、測定範囲0.001～10.000



図1 測定場所

①喫煙所付近、②北出入口、③ピロティ



図2 喫煙所付近での測定の様子

A : PM2.5デジタル粉じん計、B : においモニター、C : 風速計



左：図3 北出入口での測定の様子



右：図4 ピロティでの測定の様子

mg/m³（標準粒子に対して）、測定精度±10%（標準粒子に対して）、光源レーザーダイオード、測定感度1 CPM=0.001 mg/m³（標準粒子に対して）、吸引流量1.7 L/minである。使用した操作モードはロギング測定で、測定周期を1分に設定し、CPM値を測定した。なお、本機の質量濃度変換係数は 0.52×10⁻³ (mg/m³ / CPM) である。

（2）においの測定

においの測定には、においモニターOMX-SRM（神栄テクノロジー株式会社）を用いた。本機器は、ノズルを通して連続吸引測定し、測定開始前に計測された清浄空気ユニットでの値と比較した際の相対的なにおいの値として数値化している。測定には2種類の半導体センサーが用いられており、それぞれのセンサーで還元性ガスを検知し、2つの異なる感度を縦軸、横軸にとり、その頂点と原点を結ぶときの線の長さをにおい強度、線と横軸との角度をにおい識別情報参考値（以下、におい識別値と略す）として表示する。

（3）風速の測定

風速は、データロガー風速計AM-4207SD（マザーツール社製）を用いて測定した。本機器はSDスロットを搭載したデータロガー風速計であり、測定範囲：0.4～25.0 m/s、分解能：0.1 m/s、精度：±(2.0%+2dgt)である。風車式センサーを屋内測定地点では北出入口の方向に、喫煙所付近では喫煙所の方向に向けて設置した。

3. 測定方法

上記の3カ所において、PM2.5、におい、風速の測定機器を金属ケージに入れ、高さ70cmの机の上に設置し（図2～4）、各機器で測定周期を1分に設定して測定を行った。

4. 測定期間

2022年3月19日（土）12時から4月30日（土）12時まで測定を実施した。測定機器は2日もしくは3日に1度停止して、測定データの取り込みおよび電池の交換を行った。

5. 解析

測定期間中、ピロティ、北出入口、および喫煙所付近の3地点において、電池切れやデータ取り込み作業による中断により、PM2.5、におい、風速のいずれかが測定できなかった場合を除外し、すべての測定項目がすべての測定場所において同時に測定された時点について解析を行った。統計処理・有意差検定にはStat Mate IVを用い、測定値の比較にはMann-WhitneyのU検定を、観測数の比較には χ^2 検定を用いた。いずれの場合も、危険率5%未満を有意とした。

結果

PM2.5、におい、風速のすべての項目がピロティ、北出入口、および喫煙所付近の3地点すべてで同時に測定された時点の数は43,422であった。そのうち喫煙所付近の風速が0（以下、風なし）であった時点の数は39,044であり、風速が>0（以下、風あり）であった時点の数は4,378であった。風なし、風あり、それぞれの場合について、3地点でのPM2.5とにおい強度の中央値と最小値および最大値を表1に示す。両測定項目とも、いずれの地点でも、風なしの場合の方が風ありの場合よりも高い値を示した。

3地点それぞれについて、におい強度値をPM2.5の値に対する散布図として示したもののが図5である。風あり、風なしのいずれにおいても2つの測定項目に明らかな相関は認められなかった。

次に、それぞれの測定項目について、北出入口と喫煙

所、および北出入口とピロティの関係性を図6に示す。におい強度についてはいずれの2地点でも明らかな相関は認められなかった。一方、PM2.5については北出入口とピロティとの間に顕著な相関が見られた。また風ありの場合に喫煙所と北出入口で明らかな相関が見られた。

次に喫煙所と北出入口のにおいの傾向を比較するため、におい識別値の分布を調査した。結果を表2に示す。いずれの地点でも、およそ半分はーであった。これは2つのセンサーで感知した強度が小さく、におい識別値として検出できないことを示す。風ありの場合は、さらにーの割合が増え、7割を超えていた。これを除くと喫煙所では識別値0が大部分を占めていたのに対し、北出入口では他の識別値が1割前後存在していた。喫煙所と北出入口における識別値が一致していたのは、0とー以外にほとんどなかった。

そこで2地点のにおい識別値がいずれも0の場合とーの

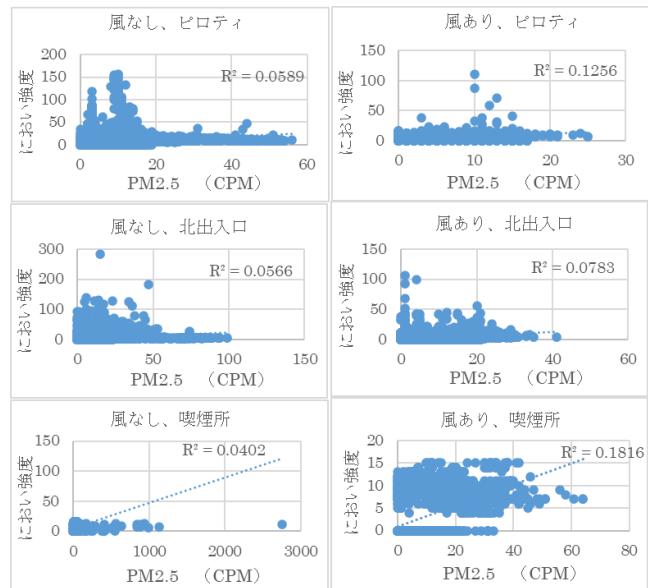


図5 風なし、風ありそれぞれにおける各測定場所でのPM2.5値とにおい強度の関係性

R : 線形近似した場合の相関係数

表1 喫煙所、北入り口、ピロティにおけるPM2.5値およびにおい強度値に対する喫煙所での風の影響

測定地点	測定項目	風なし			風あり		
		(測定時点数:39,044)			(測定時点数:4,378)		
		中央値	最小値	最大値	中央値	最小値	最大値
喫煙所	PM2.5	12	0	2,759	4	0	64
	におい強度	6	0	15	0	0	15
北出入口	PM2.5	8	0	99	3	0	41
	におい強度	4	0	285	0	0	106
ピロティ	PM2.5	6	0	56	2	0	25
	におい強度	9	0	157	0	0	111

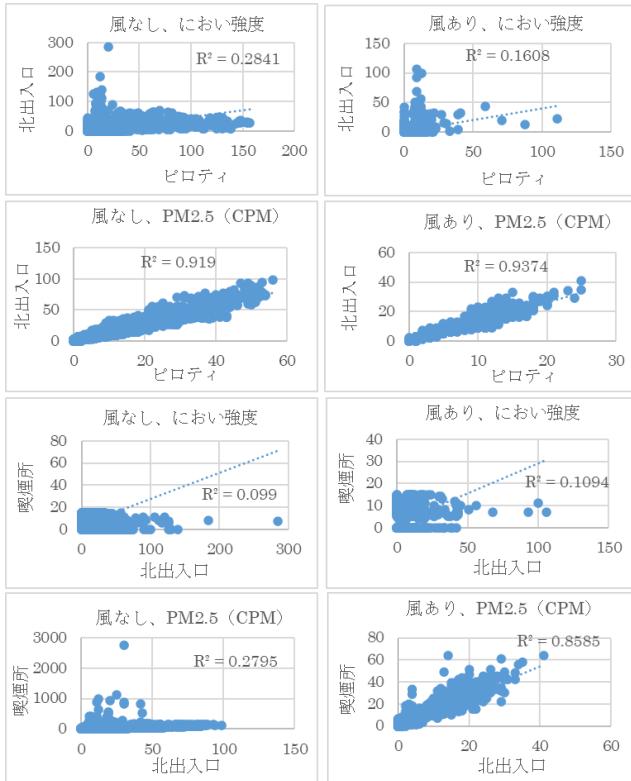


図6 風なし、風ありそれぞれにおける北出入口と喫煙所あるいはピロティの測定値の関係性

R : 線形近似した場合の相関係数

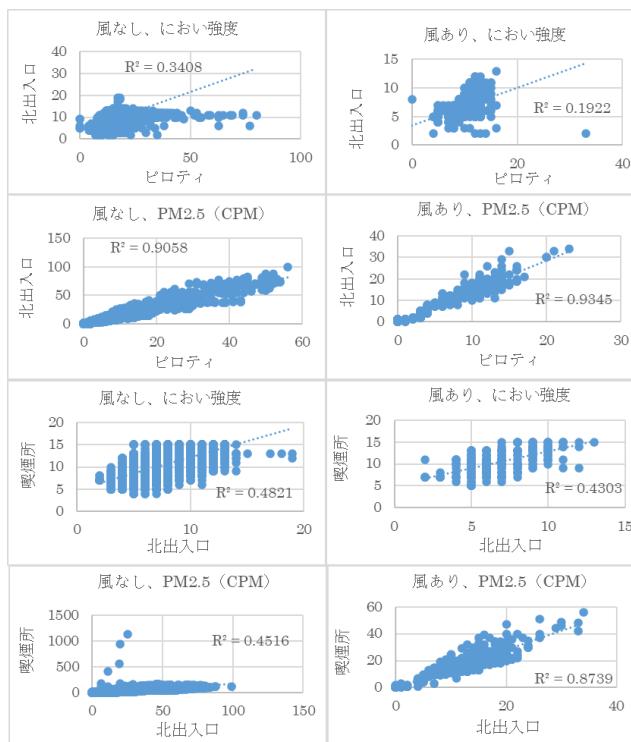


図7 嘸煙所と北出入口のにおい識別値が0で一致している場合の北出入口と喫煙所あるいはピロティの間の測定値の関係性

R : 線形近似した場合の相関係数

場合について、におい強度とPM2.5の中央値を求め、比較した。結果は表3に示すとおり、風あり、風なしのいずれにおいても、いずれの測定地点でも、におい識別値が0の場合に比べて0の場合に、におい強度値が高いだけでなく、PM2.5値が有意に高かった。

喫煙所と北出入口のにおい識別値が0で一致している場合について、各測定項目の北出入口と喫煙所およびピロティの関係性をみると、図7に示すように、におい強度によるやかな相関性が認められ、風ありの場合だけでなく、風なしの場合にも、喫煙所と北出入口のPM2.5値に相関が認められた。図には示していないが、2地点だけでなく、ピロティにおいてもにおい識別値が0で一致しているときには、ピロティと北出入口のにおい強度の相関が強くなり、 R^2 が風なしの場合に0.4581、風ありの場合に0.3642に上昇した。このときPM2.5の相関については R^2 が風なしの場合に0.9062、風ありの場合に0.9371であった。

考 察

喫煙所からの測定場所の方向への風がある場合、各測定地点でのPM2.5、におい強度とも、風がない場合に比べて値が小さかった。喫煙所付近を含む屋外では風によってそれぞれの原因物質が遠くに拡散したため値が低くなつたと考えられ、屋外環境の影響を受けて北出入口やピロティでも風のない時間帯より風のある時間帯の値が低くなつたと考えられる。においについてはPM2.5よりも屋内で滞留しやすいためにピロティで値が高くなつたのではないかと考えられる。またピロティという人の集まりやすい場所であることから、香水などたばこ以外においを感じて強度値が高くなっている可能性も否定できない。

図5に示すように各測定地点で同時に測定されたPM2.5値とにおい強度値の間に明らかな相関性は見いだされなかつたが、これはひとつには原因物質の拡散速度の違いが関係しているものと考える。喫煙所付近で風が検知されない状況でもにおいの原因物質が拡散しにおい強度値が低くなつたのに対し、PM2.5は拡散されにくく極めて高い値を示すことがあつた。

PM2.5については、図6に示すように、風ありの時に北出入口と喫煙所の間で相関が認められた。喫煙所から測

表2 喫煙所と北出入口におけるおい識別度の分布

におい 識別値	風なしでの観測数 (測定時点数=39,044)				風ありでの観測数(測定時点数=4,378)			
	喫煙所	北出入口	χ^2 検定	2地点での一致	喫煙所	北出入口	χ^2 検定	2地点での一致
0	20,579	13,686	$P<0.001$	11,117	1,098	648	$P<0.001$	433
1	12	88	$P<0.001$	0	0	4	ns	0
2	3	19	$P<0.01$	0	0	2	ns	0
3	3	65	$P<0.001$	0	0	0	ns	0
4	4	42	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
5	6	41	$P<0.001$	0	0	2	ns	0
6	1	63	$P<0.001$	0	2	4	ns	0
7	5	51	$P<0.001$	0	1	1	ns	0
8	7	64	$P<0.001$	0	1	1	ns	0
9	5	48	$P<0.001$	0	2	0	ns	0
10	11	49	$P<0.001$	0	1	4	ns	0
11	10	45	$P<0.001$	0	2	3	ns	0
12	6	58	$P<0.001$	0	0	1	ns	0
13	4	55	$P<0.001$	0	1	1	ns	0
14	13	46	$P<0.001$	0	1	0	ns	0
15	12	73	$P<0.001$	0	3	7	ns	0
16	4	72	$P<0.001$	0	0	9	$P<0.01$	0
17	17	78	$P<0.001$	0	0	0	ns	0
18	14	85	$P<0.001$	0	8	2	ns	0
19	29	69	$P<0.001$	0	2	4	ns	0
20	18	80	$P<0.001$	0	3	2	ns	0
21	8	57	$P<0.001$	0	2	4	ns	0
22	14	79	$P<0.001$	0	1	9	$P<0.05$	0
23	12	88	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
24	12	72	$P<0.001$	0	1	5	ns	0
25	14	91	$P<0.001$	0	2	6	ns	0
26	11	97	$P<0.001$	0	2	9	ns	0
27	18	91	$P<0.001$	1	0	6	$P<0.05$	0
28	8	97	$P<0.001$	0	0	4	ns	0
29	12	118	$P<0.001$	0	0	7	$P<0.05$	0
30	3	97	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
31	3	118	$P<0.001$	0	0	8	$P<0.05$	0
32	1	137	$P<0.001$	0	0	7	$P<0.05$	0
33	0	100	$P<0.001$	0	0	7	$P<0.05$	0
34	0	114	$P<0.001$	0	0	8	$P<0.05$	0
35	0	101	$P<0.001$	0	0	4	ns	0
36	0	127	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
37	0	136	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
38	0	116	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
39	0	133	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
40	0	147	$P<0.001$	0	0	8	$P<0.05$	0
41	0	144	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
42	0	148	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
43	0	133	$P<0.001$	0	0	5	ns	0
44	0	120	$P<0.001$	0	0	9	$P<0.01$	0
45	0	103	$P<0.001$	0	0	7	$P<0.05$	0
46	0	90	$P<0.001$	0	0	7	$P<0.05$	0
47	0	87	$P<0.001$	0	0	4	ns	0
48	0	76	$P<0.001$	0	0	9	$P<0.01$	0
49	0	94	$P<0.001$	0	0	7	$P<0.05$	0
50	0	68	$P<0.001$	0	0	4	ns	0
51	0	74	$P<0.001$	0	0	6	$P<0.05$	0
52	0	46	$P<0.001$	0	0	2	ns	0
53	0	48	$P<0.001$	0	0	6	$P<0.05$	0
54	0	33	$P<0.001$	0	0	11	$P<0.01$	0
55	0	46	$P<0.001$	0	0	1	ns	0
56	0	29	$P<0.001$	0	0	6	$P<0.05$	0
57	0	28	$P<0.001$	0	0	8	$P<0.05$	0
58	0	23	$P<0.001$	0	0	6	$P<0.05$	0
59	0	30	$P<0.001$	0	0	2	ns	0
60	0	14	$P<0.001$	0	0	2	ns	0
61	0	7	$P<0.05$	0	0	1	ns	0
62	0	12	$P<0.01$	0	0	3	ns	0
63	0	8	$P<0.05$	0	0	2	ns	0
64	0	7	$P<0.05$	0	0	1	ns	0
65~73	0	19	ns	0	0	10	ns	0
一	18,165	20,564	$P<0.001$	14,109	3,245	3,425	$P<0.001$	2,926
総計	39,044	39,044		25,227	4,378	4,378		3,359

表3 喫煙所と北出入口におけるおい識別値が0の場合と--の場合のPM2.5及び及びにおい強度

測定項目	測定地点	風なし						風あり								
		におい識別値が0で一致			におい識別値が-で一致			におい識別値が0で一致			におい識別値が-で一致					
		(n=11,117)	中央値	最小値	最大値	(n=14,109)	中央値	最小値	最大値	(n=433)	中央値	最小値	最大値	(n=2,926)	中央値	最小値
PM2.5	喫煙所	19	0	1,128	6	0	378	14	0	56	4	0	35			
	北出入口	13	0	99	4	0	26	11	0	34	3	0	26			
	ピロティ	10	0	56	3	0	19	7	0	23	2	0	17			
におい強度	喫煙所	11	4	15	0	0	5	10	5	15	0	0	5			
	北出入口	8	2	19	0	0	5	6	2	13	0	0	5			
	ピロティ	11	0	80	0	0	53	9	0	33	0	0	39			

※ いずれも「風あり」と「風なし」で有意差あり ($P<0.001$)※ いずれも「におい識別値が0で一致」と「におい識別値が-で一致」で有意差あり ($P<0.001$)

定地点に向かう風は、すなわち喫煙所から北出入口の方への風であるため、喫煙所付近において発生したPM2.5が風にのって北出入口に到達したことが考えられる。北出入口とピロティの間ではPM2.5値に相関が見られたことから、屋外の環境が屋内に影響を与えることが窺える。におい強度については北出入口とピロティあるいは喫煙所との間で明らかな相関が見られなかつたが、これはにおい強度が多種の原因物質による反応を感知して得られた値であるためと考えられた。

そこで、においの傾向を表すにおい識別値を調査した結果（表2）、喫煙所ではにおい強度が小さ過ぎて傾向を判定できない場合の一を除いて、0以外ほとんどなかつたことから、におい識別値0が喫煙所付近で発生したにおいの傾向を表すものと考えられた。においモニターの特性上、におい識別値が一の場合、におい強度が極めて低いのは当然であるが、表3に示すように、対応する時点のPM2.5値も、におい強度に呼応して低かったことから、においとPM2.5の間に関連があることが窺えた。

図7に示すように、喫煙所と北出入口の両方でにおい識別値が0で一致している場合、風の有無にかかわらず北出入口と喫煙所あるいはピロティの間でにおい強度に緩やかな相関が認められた。このことから喫煙所付近で発生したにおいが風に乗り、あるいは壁を伝い、あるいは人の流れにそって北出入口、ピロティへと達し、影響を与えると考えられる。PM2.5についても、におい識別値が一致している場合には風がないときにも喫煙所と北出入口の間でゆるやかな相関が認められたことから、喫煙所付近で発生したPM2.5がにおいと同様に北出入口に到達していると考えられた。PM2.5の発生源としては、喫煙以外に自動車や船舶、工場などの排ガスも考えられるが、前述の報告⁵⁾でも示しているとおり、PM2.5値のピークが起きる時間帯などから喫煙の関与が強く疑われる。北出入口とピロティの間ではPM2.5値に強い相関が見られるところから、屋内への影響を避けるには喫煙所から北出入口への影響をさらに抑える必要があると考える。

本研究の限界として、においモニターがたばこに特異的な成分を検出するものではなく、喫煙以外の要因によるにおい強度の上昇の可能性も否定できないことがあげられる。におい識別値はにおいの傾向を知る手がかりではあるが、これによりたばこのにおいと断定することはできない。におい識別値、におい強度およびPM2.5値が喫煙によってどのように変動するか定量的な検討がなされ

ていれば、より確かな証拠が得られた可能性があるが、本研究ではその検証はできなかつた。

結 語

改正健康増進法施行後、喫煙場所がC号館北出入口から離れた場所に移されたが、今回の結果から喫煙所付近で発生したPM2.5やにおいが当該出入口を含め屋内環境に影響を与えることが示唆され、受動喫煙防止に向けたさらなる対策が必要と考えられた。

謝 辞

本研究は、日本禁煙科学会学術総会2022において優秀演題賞を受賞した「敷地内喫煙所が屋内に及ぼす影響の調査～微小粒子状物質(PM2.5)とにおい強度を指標として～」を継承したものであり、PM2.5値の3地点同時測定にあたっては、公益財団法人ひと・健康・未来研究財団より助成を賜りました。この場をお借りして深く御礼を申し上げます。

引用文献

- 1) 片野田耕太：受動喫煙の健康影響とその歴史. 保健医療科学 69, 2020 : 103-113.
- 2) 藤下真奈美：健康増進法の一部を改正する法律の全面施行について. 保健医療科学 69, 2020 : 96-102.
- 3) 野口美由貴、鈴木義浩、山崎章弘：サードハンドスマーケーもう一つの喫煙環境問題－、室内環境 21, 2018 : 51-60
- 4) Schober, W, Fembacher, L, Frenzen, A, et al. : Passive exposure to pollutants from conventional cigarettes and new electronic smoking devices (IQOS, e-cigarette) in passenger cars. Int. J. Hyg. Environ. Health 222(3), 2019, 486-493.
- 5) 森本泰子、山口孝子、山崎裕康：受動喫煙の防止に向けて—神戸学院大学ポートアイランドキャンパスにおける粒径2.5 μm以下の微小粒子状物質(PM2.5)の観測－. 教育開発ジャーナル 13, 2023 : 75-82
- 6) 東山明子：禁煙後の呼出煙についての検討. 禁煙科学6(12), 2022 : 1-10.

Prevention of passive smoking:

Investigation of the impact of on-campus smoking areas on indoor environments based on observations of fine particulate matter (PM2.5), odor, and wind

Abstract

Background and Objective: Following the enforcement of the revised Health Promotion Act in April 2020, Kobe Gakuin University relocated its smoking areas, which were previously situated near building entrances, to more remote locations. However, since tobacco odors continued to be detected even after their relocation, an investigation was conducted to assess passive smoking around the affected entrance areas.

Methods: Between March 19 and April 30, 2022, simultaneous measurements of fine particulate matter (PM2.5), odor, and wind were conducted in three locations: near the building entrance in question, near the smoking area, and inside the building away from the entrance. The instruments used for these measurements were the PM2.5 digital dust meter LD-5R (Shibata Scientific Technology Ltd.), the odor monitor OMX-SRM (Shinyei Technology Co., Ltd.), and the data logger anemometer AM-4207SD (Mother Tool Co., Ltd.).

Results and Discussion: PM2.5 concentrations in the entrance correlated with those in the smoking area during periods when the wind was blowing from the direction of the smoking area, which suggested that PM2.5 generated near the smoking area was carried by the wind to the entrance. Even during windless periods, when odor identification values indicating odor changes were similar at both locations, a moderate correlation was observed between odor intensity and PM2.5 levels at the two sites. These results indicate that not only PM2.5, but also odor from the smoking area reached the entrance, possibly traveling along building structures or through the movement of people. Furthermore, regardless of wind conditions, a strong correlation in PM2.5 concentrations was observed between two indoor locations, suggesting that the impact of the smoking area extended to the interior of the building.

Conclusion: The present results suggest that even after the relocation of smoking areas to prevent passive smoking, odor and PM2.5 generated at smoking areas still affected the indoor environment.