

(2) PM_{2.5}濃度の個人曝露量測定

1. 調査目的

疫学調査において、各対象者の個人曝露量を直接測定することはできないことから対象地域内の一般環境濃度などを曝露濃度の代替としている。その代替濃度が正しく個人曝露濃度を反映しているかを確認するためには、対象者集団からある程度のサンプルを選んで、実際に個人曝露濃度を測定して検討する必要がある。そこで、第3期の秋季調査から、協力可能な者を対象に、家屋内外の測定と同時に個人曝露濃度の測定を実施した。

2. 調査方法

2.1 対象者の選定

平成16年度の第3期秋季の調査開始に当たり、平成14年度の第1期（春季）調査及び平成15年度の第2期（冬季）調査の対象者に、平成16年7月から文書にて継続調査への協力依頼の際に、個人曝露調査追加の協力依頼を行い、協力可能な者全員を対象として個人曝露調査を追加実施した。また、平成17年度の夏季調査においても継続調査対象者のうち個人曝露調査に協力可能な者全員を対象として実施した。

2.2 調査方法

2.2.1 調査期間

個人曝露調査は、家屋内外測定調査の第3期（秋季）及び第4期（夏季）調査期間に実施した。

2.2.2 測定項目

PM_{2.5}濃度のほかPM₁₀、NO₂濃度も測定した。

さらに、個人曝露対象者には、詳細な行動記録表の記載を依頼し、測定期間内の所在場所別の時間や窓の開放時間などを調査した。

2.2.3 測定方法

粒子状物質の測定には、家屋内外の測定に用いた個人サンプラを使用し、移動時に携帯しやすいようにウレタンフォームで囲んで防音効果を高めたウエストポーチを用意して、常時携行するか同じ屋内におくこととした。就寝時などは特にポンプの騒音を低く抑える必要があるため、防音効果の大きい屋内設置用と同じ防音ケースも配布した。

ポンプは携帯するため、充電機で稼働させた。ポンプに内蔵する電池だけでは12時間程度しか稼働しないため、大容量の外部専用充電機を併用し、毎日サンプル交換時に充電済みのものと交換した。その他は、家屋内外の測定と同じである。

3. 調査結果

3.1 対象者数

個人曝露調査の実施者数を表2.2-1に示す。第2期までの調査対象者のうち個人曝露調査参加を

希望して実施した人は、秋季調査は各地域 10 人から 15 人の計 82 人で、家屋内外調査対象者 118 人の 69%、夏季調査は各地域 8 人から 13 人の計 77 人で、家屋内外調査対象者 106 人の 73%であった。また、対象者はほとんど小学生の子供を持つ主婦である。

3.2 個人曝露調査対象者における各測定項目の平均濃度

表 2.2-2 に個人曝露調査実施者に限った PM_{2.5} 濃度と NO₂ 濃度の平均値を示す。(PM_{2.5} 濃度の TEOM 測定値と並行測定値、NO₂ 濃度の測定局及び並行測定濃度は表 2.1-2 と同じである。)

個人曝露濃度の平均値は地域、季節による違いが大きい、いずれも屋内濃度の平均値とほぼ一致していた。地域内の一般環境濃度測定値（並行測定値）と屋外濃度平均もほぼ等しいことから、屋外濃度から屋内濃度の推定が可能であるなら屋外濃度から個人曝露濃度の推定が可能となる。今回の調査結果を見る限り平均濃度では PM_{2.5} に関しては屋外濃度と屋内濃度がほぼ同じ濃度レベルであったことから、この推定は可能であると考えられた。しかし、個人曝露調査の季節が夏季と秋季で、屋内濃度を測定した居間の窓を開放する機会が多いと考えられるため、窓を閉め切るような状況が長期にわたる場合においては、今回の結果が当てはまらない場合があることを考慮すべきである。

3.3 対象者の生活行動と窓の開放時間

対象者の行動記録から計算した 24 時間の対象者の自宅の所在時間と自宅の窓の開放時間、家事時間を表 2.2-3 に示す。

どの地域も平均すると対象者は約 20 時間程度自宅に滞在しており、このうち 8 時間から 10 時間を居間で、7 時間から 8 時間を寝室で過ごしていることが見込まれる。このため、個人曝露測定用のサンプラが居間に置かれている時間は測定時間の 3 分の 1 程度であるが、居間の測定値と個人曝露濃度がよく一致したことから、屋内濃度の測定値としては居間における測定で代表できるものと考えられた。

窓の開放時間は、夏季の方が長時間開放している地域が多かったが、そうでない地域もあり地域差とともに調査期間中の気象条件が大きく影響していると思われる。いずれにしても夏季や秋季においては窓を開放する機会が多いことが確認され、屋外濃度と屋内濃度について強い相関を示した。

3.4 家屋内外濃度と個人曝露濃度との関係

屋内濃度、屋外濃度に対する個人曝露濃度の比と比のばらつきについて、2 期の結果を表 2.2-4 に示す。個人曝露濃度と屋内濃度は非常に強い相関を示し、個人曝露濃度は屋内濃度よりわずかに高い傾向があった。

また、測定日ごとの屋外・屋内及び個人曝露平均 PM_{2.5} 濃度を図 2.2-1 に示す。前節で屋外濃度が高い時に屋内濃度は屋外濃度より低くなる傾向があると述べたが、この図からも屋外濃度が高い日は屋内濃度の方が屋外より低くなる傾向が確認できた。また、測定日単位でもすべての地域で個人曝露濃度が居間の濃度とほぼ一致していることも確認できた。

また、屋内濃度が屋外濃度より高い場合は屋内での何らかの発生が考えられる。暖房期のストーブ使用による NO₂ の高濃度については既に述べたが、PM_{2.5} についても喫煙以外の原因で発生する

ことはあり得る。しかしながら、今回簡易質問票で調理などについても記録してもらったが、来客の喫煙という例を除き、屋内 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度が屋外より高濃度となる理由を明確に探すことはできなかった。

屋内で何らかの発生源があるなら、屋内濃度と屋外濃度との相関が弱くなると予想される。そこで、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度と NO_2 濃度について屋内・屋外濃度比と個人曝露・屋内濃度比を求め、この比と相関係数との関係を図 2.2-2 に示す。左上の図に示すように、屋内の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度が屋外濃度より低い場合（濃度比が 1 未満）は、屋内濃度と屋外濃度の相関係数は平均 0.89 と非常に大きかったが、屋内濃度が屋外濃度より高い場合（濃度が 1 以上）の相関係数は平均 0.69 であり、濃度比が 1 より大きくなるあたりから急に相関係数がばらつくとともに、小さくなる傾向が確認できた。また、右上図に示すように、屋内濃度に対する個人曝露濃度の比が概ね 1~1.1 程度では屋内濃度と個人曝露濃度の相関が非常に強いが、濃度比がこの範囲を外れる場合には相関が弱くなる傾向が見られた。

NO_2 濃度については、屋内濃度に対する個人曝露濃度の比が 1 から離れると屋内濃度と個人曝露濃度の相関が弱いケースが多くなる傾向が見られたが、屋外濃度と屋内濃度の比と屋外・屋内の相関の強さとの関係は見られなかった。

屋内濃度を個人曝露量の代替として用いるためには、屋外濃度より屋内濃度が高濃度となる条件の検討がさらに必要である。

表 2.2-1 個人曝露調査の実施期間と実施数

地 域	第3期(秋季)調査 (平成16年9月～11月)		第4期(夏季)調査 (平成17年6月～8月)	
	調査期間 (7日間)	個人曝露実施数 (家屋内外実施数)	調査期間 (7日間)	個人曝露実施数 (家屋内外実施数)
茨城県取手市	11/5～	11 (17)	7/29～	9 (13)
千葉県市川市	9/8～	15 (16)	6/10～	12 (14)
千葉県浦安市	9/28～	11 (16)	6/24～	10 (16)
新潟県上越市	10/20～	10 (17)	8/19～	8 (15)
名古屋市緑区	9/3～	12 (17)	6/8～	13 (16)
大阪府守口市	10/15～	12 (18)	7/8～	13 (17)
宮崎県日向市	9/30～	11 (17)	7/27～	12 (15)
計		82 (118)		77 (106)

表 2.2-2 個人曝露調査対象者の季節別の測定場所ごとの平均濃度

対象地域	季節	PM _{2.5} 濃度(μg/m ³)					測定局 SPM	NO ₂ 濃度(ppb)				
		TEOM	並行	屋外	屋内	個人		測定局	並行	屋外	屋内	個人
茨城県取手市	夏	26	29	26	24	25	49	13	13	8	8	9
	秋	30	41	45	36	37	50	28	22	21	19	18
千葉県市川市	夏	12	15	14	14	16	23	8	12	11	9	9
	秋	17	19	20	20	22	22	15	12	16	12	13
千葉県浦安市	夏	30	30	27	25	26	38	32	9	15	12	11
	秋	12	15	15	16	18	13	19	9	18	16	12
新潟県上越市	夏	11	11	10	12	13	23	8	9	8	8	10
	秋	13	15	15	18	19	21	8	9	9	15	11
名古屋市緑区	夏	24	28	27	24	25	48	26	16	16	14	13
	秋	24	26	26	25	26	48	28	16	14	12	12
大阪府守口市	夏	27	24	25	24	25	40	24	16	20	19	17
	秋	16	18	18	21	19	21	20	16	14	12	13
宮崎県日向市	夏	22	22	23	23	23	47	5	6	5	5	6
	秋	13	14	15	16	18	10	5	6	7	6	6

表 2.2-3 個人曝露調査対象者の所在場所ごとの平均滞在時間と窓の開放時間
(24 時間での換算時間)

秋季調査

		茨城県 取手市	千葉県 市川市	千葉県 浦安市	新潟県 上越市	名古屋市 緑区	大阪府 守口市	宮崎県 日向市	7地域全体
自宅	居間 (測定場所)	8.0	9.0	8.7	8.1	8.1	7.6	8.4	8.3
	台所	2.9	2.2	2.3	3.3	2.9	4.8	2.3	3.0
	寝室	7.6	7.1	7.8	7.7	7.6	7.5	7.1	7.5
	他の自宅室内	2.1	1.8	3.0	1.2	1.8	1.5	1.8	1.9
外出	近所	2.0	2.0	1.8	1.3	1.5	2.2	3.0	2.0
	遠方	1.5	2.0	0.4	2.4	2.1	0.4	1.3	1.4
居間 (測定場所) の窓開放		4.9	10.7	6.0	1.8	9.2	4.4	6.7	6.2
家事 (炊事、掃除)		0.4	0.1	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.2

夏季調査

		茨城県 取手市	千葉県 市川市	千葉県 浦安市	新潟県 上越市	名古屋市 緑区	大阪府 守口市	宮崎県 日向市	7地域全体
自宅	居間 (測定場所)	8.8	8.9	10.4	8.8	10.2	9.2	8.5	9.3
	台所	2.4	2.0	3.3	2.5	1.6	2.7	2.4	2.4
	寝室	8.2	7.9	6.9	7.8	6.8	6.9	6.5	7.3
	他の自宅室内	1.5	1.9	1.0	1.3	1.6	1.8	2.7	1.7
外出	近所	1.3	1.9	1.7	0.7	1.3	2.3	2.0	1.7
	遠方	1.8	1.4	0.7	3.0	2.5	1.1	1.9	1.7
居間 (測定場所) の窓開放		13.5	7.6	13.1	8.5	8.0	12.0	10.7	10.5
家事 (炊事、掃除)		2.5	2.0	2.2	1.7	2.2	2.1	2.3	2.2

表 2.2-4 屋内濃度と屋外濃度に対する個人曝露濃度比と比のばらつき

	個人／屋内						個人／屋外						
	PM _{2.5}		PM ₁₀		NO ₂		PM _{2.5}		PM ₁₀		NO ₂		
	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	秋季	夏季	
茨城県取手市	平均	1.25	1.24	1.27	1.28	1.05	1.16	0.91	1.25	1.14	1.31	0.95	1.15
	標準偏差	0.32	0.34	0.28	0.33	0.32	0.35	0.29	1.19	0.36	1.37	0.61	0.40
	平均濃度の比	1.04	1.09	1.22	1.13	1.03	1.05	0.83	1.01	1.02	1.06	0.91	1.04
千葉県市川市	平均	1.28	1.36	1.30	1.43	1.22	1.20	1.33	1.32	1.25	1.68	0.94	0.96
	標準偏差	0.43	0.50	0.32	0.48	0.47	0.55	0.67	0.43	0.40	0.55	0.50	0.41
	平均濃度の比	1.10	1.16	1.17	1.27	1.08	1.05	1.07	1.17	1.14	1.49	0.81	0.83
千葉県浦安市	平均	1.24	1.24	1.28	1.23	0.80	1.05	1.42	1.13	1.78	1.16	0.66	0.79
	標準偏差	0.34	0.52	0.44	0.31	0.32	0.32	0.63	0.34	1.05	0.33	0.28	0.18
	平均濃度の比	1.12	1.05	1.31	1.10	0.80	0.98	1.24	0.97	1.59	0.99	0.64	0.76
新潟県上越市	平均	1.21	1.19	1.27	1.25	0.89	1.39	1.31	1.46	1.42	1.55	1.39	1.27
	標準偏差	0.34	0.32	0.31	0.32	0.32	0.30	0.49	0.46	0.44	0.52	0.91	0.45
	平均濃度の比	1.16	1.08	1.17	1.18	0.75	1.27	1.28	1.29	1.26	1.41	1.31	1.10
名古屋市緑区	平均	1.21	1.16	1.38	1.29	1.18	0.99	1.13	1.03	1.17	1.15	0.90	0.88
	標準偏差	0.33	0.23	0.37	0.29	0.50	0.28	0.30	0.26	0.31	0.31	0.32	0.53
	平均濃度の比	0.94	1.05	1.10	1.12	0.93	0.92	0.90	0.92	1.00	1.02	0.79	0.78
大阪府守口市	平均	1.14	1.16	1.18	1.24	1.23	0.95	1.26	1.21	1.59	1.29	0.98	0.98
	標準偏差	0.33	0.36	0.30	0.35	0.33	0.29	0.51	0.39	0.57	0.37	0.42	0.65
	平均濃度の比	0.90	1.02	1.01	1.08	1.12	0.88	1.05	1.03	1.42	1.12	0.82	0.87
宮崎県日向市	平均	1.31	1.19	1.42	1.27	1.26	1.26	1.39	1.18	1.62	1.14	0.98	1.26
	標準偏差	0.59	0.35	0.88	0.37	0.42	0.58	0.35	0.37	0.49	0.33	0.31	0.31
	平均濃度の比	1.05	1.01	1.14	1.08	1.03	1.12	1.27	1.03	1.46	1.05	0.89	1.19

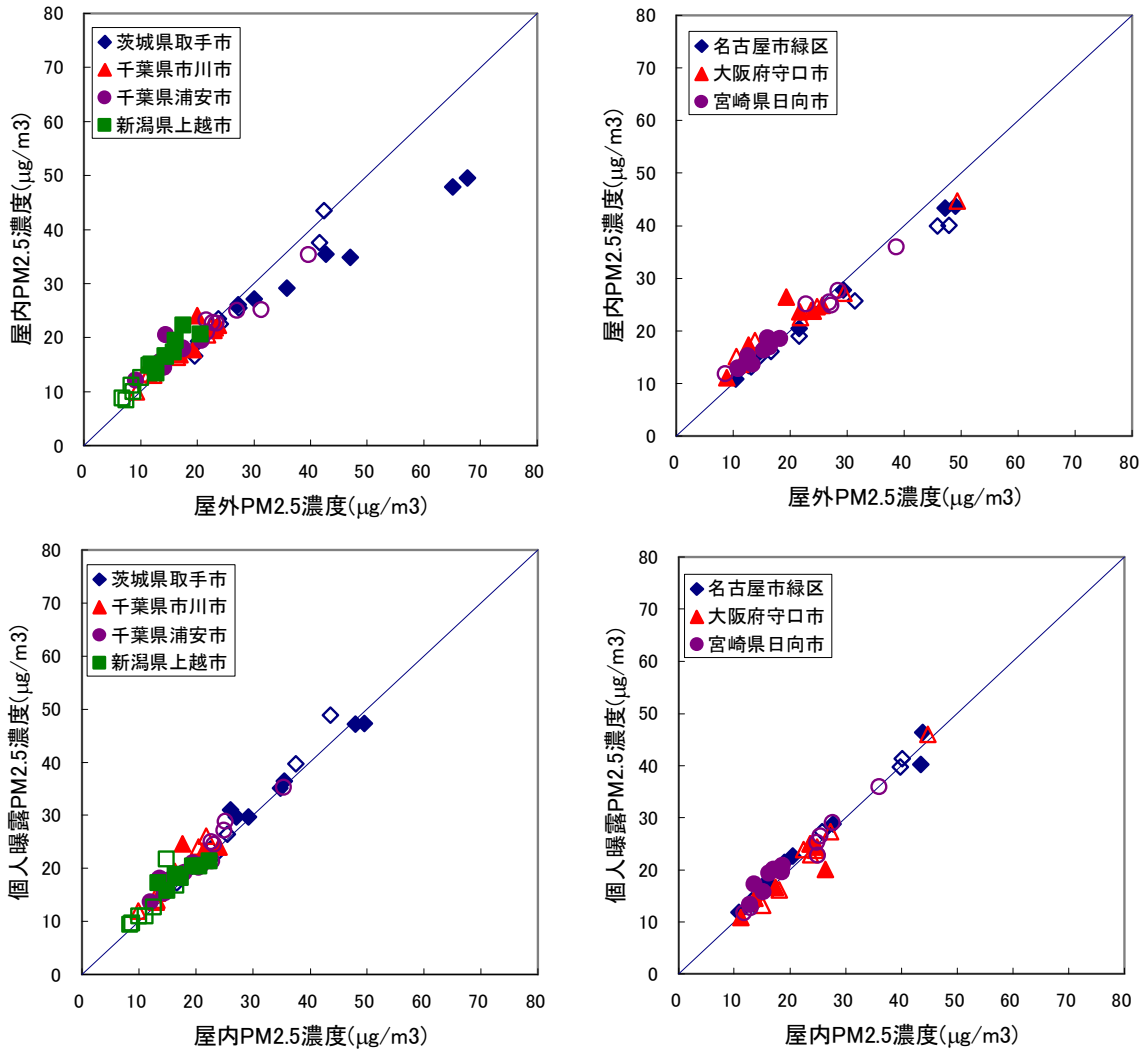
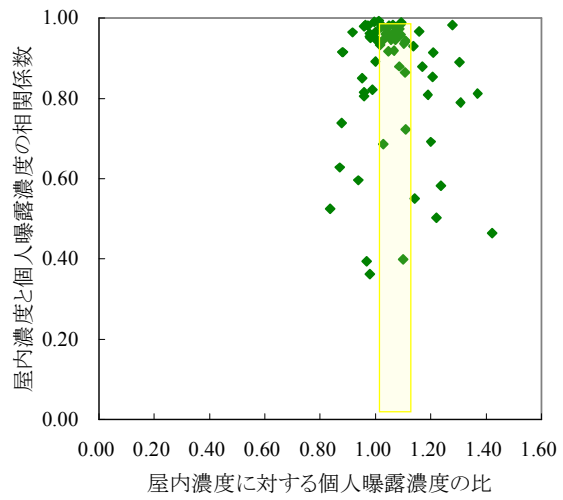
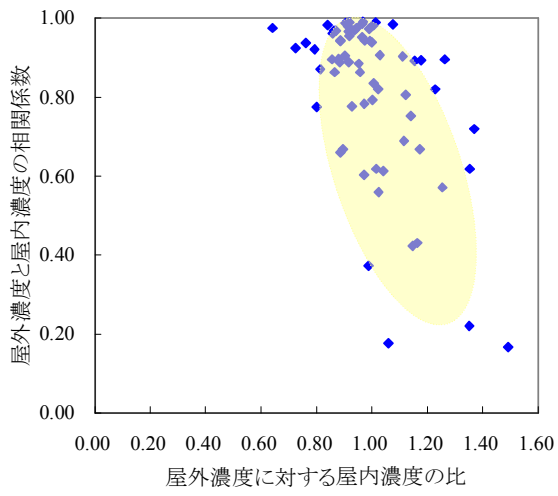


図 2.2-1 測定日ごとの屋外・屋内及び個人曝露平均 PM_{2.5} 濃度

PM_{2.5}



NO₂

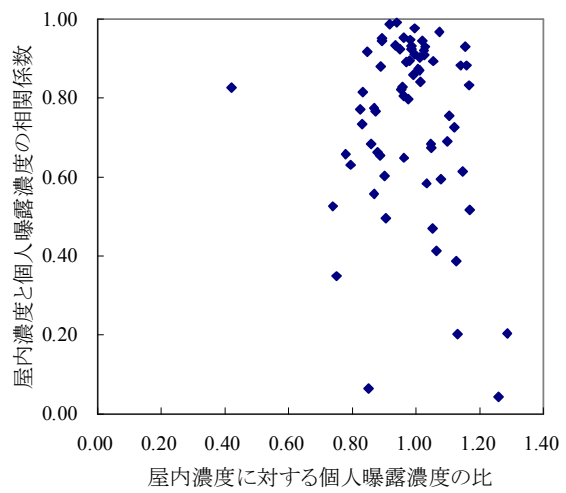
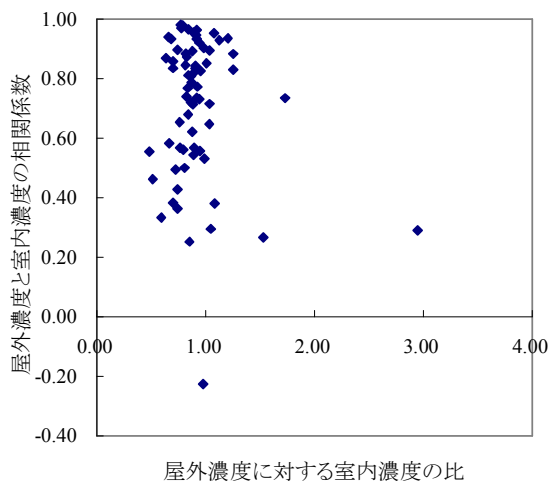


図 2. 2-2 PM_{2.5} 濃度と NO₂ 濃度に関する屋内・屋外濃度比及び個人曝露・屋内濃度比と相関との関係（秋季調査及び夏季調査）

(3) まとめ及び今後の課題

7 地域における家屋内外及び常時測定地点における測定により、PM_{2.5}の屋外濃度については、地域内の一測定地点における測定濃度を地域住民の住宅屋外の環境濃度と考えることはほぼ妥当であると考えられた。各家屋の屋外濃度と屋内濃度の関係は、家屋によっては家屋内外の濃度の相関が弱いケースもあるものの、強い相関を示す例も多く、平均濃度で検討する場合には屋内濃度を屋外濃度とほぼ同じ濃度とみなすことができることが分かった。

ただし、沿道の住宅など屋外濃度が比較的高濃度になる場合や、気象条件で屋外濃度が上昇する場合は屋内濃度が屋外より低濃度になる傾向が認められたため、曝露評価に詳細な検討が必要な場合は、家屋の沿道との位置関係や気象条件の考慮の検討が必要になる。

TEOMの測定結果と並行測定したPM個人サンプラの結果を比較すると、両者のPM_{2.5}濃度は地域により回帰直線の傾きの違いが大きかった。また、ほとんどの地域で個人サンプラの測定値がTEOM測定値を上回り、その測定値の比は冬季が最も大きく、夏季が小さいという傾向が見られた。

今回の個人曝露調査対象者層は多くが常勤の職に就かない主婦であり、対象者数も限定されているため、結果の一般化には注意を要するが、個人曝露濃度は概ね屋内濃度と一致しており、平均濃度の場合、屋内濃度と屋外濃度はほぼ同じ濃度とみなすことができることを踏まえれば、対象地域内で生活する者の曝露評価において地域を代表する環境濃度を指標とする評価は妥当であると考えられた。また、個人曝露濃度は概ね屋内濃度と一致していることを踏まえれば、学童の曝露評価においてもこのことは当てはまる。今回は24時間の平均濃度で評価したが、さらに正確な学童の曝露評価を行うためには、時間分解能のよい測定方法を取り入れ、登校時間帯の屋外濃度や在学中の教室内の濃度を測定するといった調査も今後は必要であろう。