

<報文>

視覚による官能試験を利用したPM2.5簡易測定法の検討*

—地方環境研究所の強みを活かした科学リテラシー向上のための環境学習を目指して—

齊藤由倫**・田子 博**

キーワード ①地方環境研究所 ②環境学習 ③科学リテラシー ④PM2.5 ⑤官能試験

要 旨

PM2.5の環境学習のために、視覚による官能試験を利用したPM2.5質量濃度（以下、PM2.5濃度）の簡易測定法を検討した。地域特性の異なる一般環境、山間地、沿道の3地点で、異なる時期にPM2.5をフィルター捕集し、その視覚的な色の濃淡を官能試験した。3地点とも色の濃淡とPM2.5濃度は比例したことから、PM2.5濃度が既知の標準フィルターの色を指標に、官能試験によって未知のPM2.5濃度を簡易測定できることが考えられた。ただし、PM2.5濃度は同じでも、沿道のそれは他の2地点よりも色が有意に濃いと判定され、自動車排ガス由来の元素状炭素の影響が考えられた。また、同じ地点でも色の濃淡が異なる時期があった。地点別のPM2.5簡易測定法の確度は、日環境基準 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と同等の実測値（公定法）に対して、86～114%（一部151%）であった。時期による影響で一部151%となったことから、標準フィルターの選択（作成）には地点と時期を考慮する必要が考えられた。

今後はこの簡易測定法を体験学習の軸に、環境問題を科学的に考えさせ、現状を客観的に判断させる学習プログラムを作成していく。地方環境研究所が展開するこのような学習プログラムは、とかく感性教育になりがちな日本の環境教育に科学的視点を与えるかもしれない。

1. 研究背景

環境問題は、全体的な構造を科学的に解明し、確かな将来予測を行ってその対策を進めることが理想的である。しかしながら、多くの原因や作用に伴って複雑に発生する環境問題の解明は難しく、さらにその影響もリスクという確率論で議論されることが多く理解が難しい。そのため現実には、政策実務者や研究者などの一部の専門家によって、ある程度の不確かさ（曖昧さ）をもって環境政策が進められるのが実情である。この環境問題の分かりにくさや曖昧さは、時として世論のミスリーディングを招き、風評被害などの社会問題に発展してしまうことがある。これに対し日本では今、環境問題を科学的かつ論理的に理解し、その現状を冷静かつ客観的に判断できる力（本論では環境科学リテラシーと呼ぶ）が国民全体に求められており、それに寄与する教育に期待が寄せられている¹⁾。

わが国では、環境教育を教育および環境政策上の重要な施策の一つに位置付け、これまでに環境教育指導資料の刊行や環境教育等促進法の制定が行われてきた。特に環境教育等促進法では、地域の特性に応じた環境教育の

推進を自治体の責務として具体的に定め、これによって日本各地で様々な教育が展開されるに至った²⁾。しかし、その多くは行政部門主導による普及啓発などの単調な事業が主であるように見受けられる。事実、放射能を巡る風評問題³⁾や、PM2.5に関する非科学的な一連の騒動は、これまでの環境教育が環境科学リテラシーの醸成には十分寄与してこなかったことを明示している。小出⁴⁾が訴えるように、社会全体の環境科学リテラシーを醸成させることは、社会の持続可能な発展にとって重要であり、それを社会に発信していく科学者集団の育成は確かに急務と言えよう。

全国に存在する地方環境研究所（以下、地環研）は、地域の環境問題の中心的な研究拠点として、専門的な技術や知識をもって科学的知見の集積に努めている。そして、研究上の必要性から、日々国内外の動向や最新の学術情報にも注視している。この地環研の強みは、環境教育における地域性の重視と、環境科学リテラシーの向上という今日的な教育目標によく相応するのではないだろうか。また、地環研のノウハウは、高い教育効果が期待できる体験学習の提供にも活かせるかもしれない。

*A Study on a simple method of measuring PM2.5 by visual sensory test

**Yoshinori Saitoh, Hiroshi Tago (群馬県衛生環境研究所) Gunma Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences

2. 研究の目的

自治体が主導する環境教育は、水環境や森林、廃棄物に関するものは多いが、大気環境に関しては極めて少ないのが現状である²⁾。環境教育は行政部門が主導することが多く、目に見えず実態の捉えにくい大気環境は、調査方法も専門的で、技術的に教えづらいことが原因と推察される。また、数年前にPM2.5が社会的な関心事となったが、それにも関わらず教育現場でPM2.5の体験学習が行われていないのは、やはり調査方法の専門性が学習のハードルになっている点は否めない。しかしながら、PM2.5は、世間の注目度と過去の騒動を踏まえれば、科学的に正しい知識を得て、冷静な対応を促すための環境科学リテラシーの重要性を認識する上で適した教育題材と考えられる。

地環研は、公定法に則したPM2.5質量濃度の測定ノウハウを持っている。しかし、これは操作が煩雑で時間もかかるため、受講する者が初学者でかつ時間の限られる環境学習にそのまま活用するのは適当ではない。環境学習では受講者の関心を喚起させることが重要であり、そのための体験学習は、ある程度の正確さを保ちつつも、簡便かつ印象的である必要がある。すなわち、調べる対象物質を目で見て実感でき、それを簡単に測れることが望ましいだろう。この体験をきっかけに、正確な公的データにも関心をもち、現状を科学的に捉え、冷静かつ客観的に判断するといった一連の学習が、環境科学リテラシーの向上に効果的と思われる。この考えのもと、我々は先行研究において、SPMを捕集したフィルターの色の濃淡を指標に、視覚による官能試験によって、SPM質量濃度を簡易測定する体験学習を行った⁵⁾。その結果、このような体験型の環境学習が、受講者の環境科学リテラシーを養える可能性が見出された。本研究での目的は、SPMに関する簡易測定法をPM2.5に適用すること、また、先行研究では未検討であった調査場所や時期の違いがその測定結果に与える影響を明らかにすることとした。

3. 方法

3.1 PM2.5のサンプリング装置

PM2.5のサンプリング装置を図1に示す。柴田科学社製のミニポンプ(ΣMP-500)と個人サンプラー用フォルダー(NWPS-35HS型)を用いて、2.5L/minの大気吸引速度にて、PM2.5を石英繊維フィルター(2500QAT-UP, 東京ダイレック)上に捕集した。電源は付属のアダプターにより商用電源(100AC)から得た。なお、ミニポンプと個人サンプラー用フォルダーは、当研究所既存のものを使用した。雨避けとして、安価な調理用のお玉とビニール袋を利用した。石英繊維フィルターは、ほとんどの

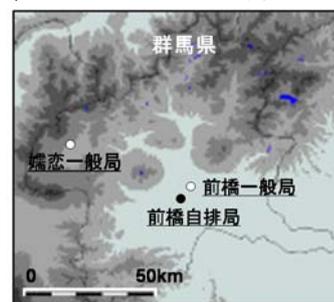
地環研で実施している有害大気汚染物質調査に供しているものの余り(ロットの余り)を活用し、革ポンチ(エスコ社製)を用いてφ35mmにくり抜いて使用した。得られたフィルターは透明なペトリスライド(φ47mm, ミリポア社製)に入れてその後の官能試験に供した。



図1 PM2.5 サンプリング装置

3.2 PM2.5 フィルターセットの作成

PM2.5質量濃度(以下、PM2.5濃度)の簡易測定法は、先行研究⁵⁾と同様に、PM2.5濃度が未知のフィルターの色の濃淡を、PM2.5濃度が既知の標準フィルターのそれと見比べる官能試験を想定している。しかし、PM2.5の成分組成は、地域および季節ごとに異なるため⁶⁾、それに伴って視覚的なフィルターの色調も変わる可能性がある。そこで、本検討では図2に示す地域特性の異なる3地点で、時期を変えてPM2.5濃度が異なるフィルターを複数枚作成した(本論ではPM2.5フィルターセットと呼ぶ)。環境学習の実践では、PM2.5を12時間サンプリング(ミニポンプの乾電池による稼働時間の上限)するが、本研究におけるPM2.5フィルターセットの作成では、サンプリング時間を任意に調整(商用電源使用)した。これにより、環境学習と同じ12時間サンプリングに換算した場合のPM2.5濃度を求めた。サンプリング中のPM2.5濃度は、各地点にある大気測定局のデータ(Web



地点	地域特性	PM2.5フィルターセット作成時期
前橋一般局	周りは住宅と田畑で、北と東に約30m離れて片側1車線の道路が1本ずつ通る。県都。	2014年5月, 7月 2015年1月, 3月
嬭恋一般局	山間地で交通量や工場等は少なく、人口も少ない。	2014年8月, 12月
前橋自排局	片側3車線の国道沿いで、大型車の通行も多い。周辺は近隣商業地域。県都。	2014年7月, 2015年2月

図2 PM2.5 フィルターセットの作成地点と時期

公開済みの1時間値)を利用した。

3.3 PM2.5 フィルターセットの官能試験

PM2.5フィルターセットに対する官能試験は、各フィルターの視覚的な色の濃さが、12階級カラースケール(ラックオフィス社製)のどのスケールに近いかで被験者に判定させた(図3)。被験者は、20代~30代の男女10人(A~J)で、その内5人は当研究所の職員であり、残りの5人は大学の学生であった。なお、このカラースケールはスケール1であっても僅かに色があるため、ブランクフィルターを用意してこれをスケール0とした。官能試験では、PM2.5フィルターセットに関する作成地点、時期およびPM2.5濃度の情報は伏せた。通常の居室において、窓のブラインドを閉じ、太陽光は極力遮って蛍光灯の下で試験を行った。官能試験に要した時間は個人差があったものの、おおむね6分から14分の範囲であった。



図3 12階級カラースケールによる官能試験

4. 結果および考察

4.1 PM2.5濃度の挙動

図4に各地点、各作成期間中のPM2.5濃度の挙動と風速を示した。また、表1には作成期間中のPM2.5濃度と風速の平均値を示した。群馬県環境白書⁷⁾によれば、平成26年度のPM2.5濃度の年平均値と日平均値(年間の98%値)は、前橋一般局が15.0と38.0、嬭恋一般局が10.2と27.9、前橋自排局が13.6と38.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。これに対し、表1の各地点および各時期のPM2.5濃度も同等のレベルであり、また、図4からいずれの地点

および時期においても、PM2.5濃度が突出して高くなるような異常な挙動は見られなかった。それぞれの地点付近で、火災あるいは野焼き等の特別な事象も確認されず、大陸からの黄砂の飛来もなかったことから、PM2.5フィルターセットの作成期間中は、各地点における通常の大気環境であったと考えられた。

作成したPM2.5フィルターセットの写真を図5に示した。前橋一般局は、5月、7月、1月、3月のすべての作成期間において、1日の環境基準(以下、日基準)35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える時間があったように(図4)、比較的PM2.5濃度が高い時間帯を捉えたため、約10~70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のPM2.5フィルターセットを作成することができた。しかし、1月は風が若干強く、風速の高まりに伴ってPM2.5濃度が低下する時間帯が多かったことから、PM2.5濃度が高くなるのを待ったために作成期間はいくらか長くなった。

嬭恋一般局の8月はPM2.5濃度が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後で推移したため、11~61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のPM2.5フィルターセットを作成することができた。しかし、12月はPM2.5濃度が低いまま推移したため、最大10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のフィルターしか作成することができなかった。嬭恋一般局は当研究所から約80kmと遠いことから、都合により各時期の作成期間を連続3日間しか確保できなかった。そのため、追加の作業ができず、12月は十分なPM2.5フィルターセットを作成することができなかった。

前橋自排局の7月と2月は、日基準35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える時間があったように、作成期間中はPM2.5濃度が高い時間帯を捉え、約10~60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ のPM2.5フィルターセットを作成することができた。ただし、2月は前橋一般局の1月と同様にPM2.5濃度の低い時間が多く、作成期間が長くなった。

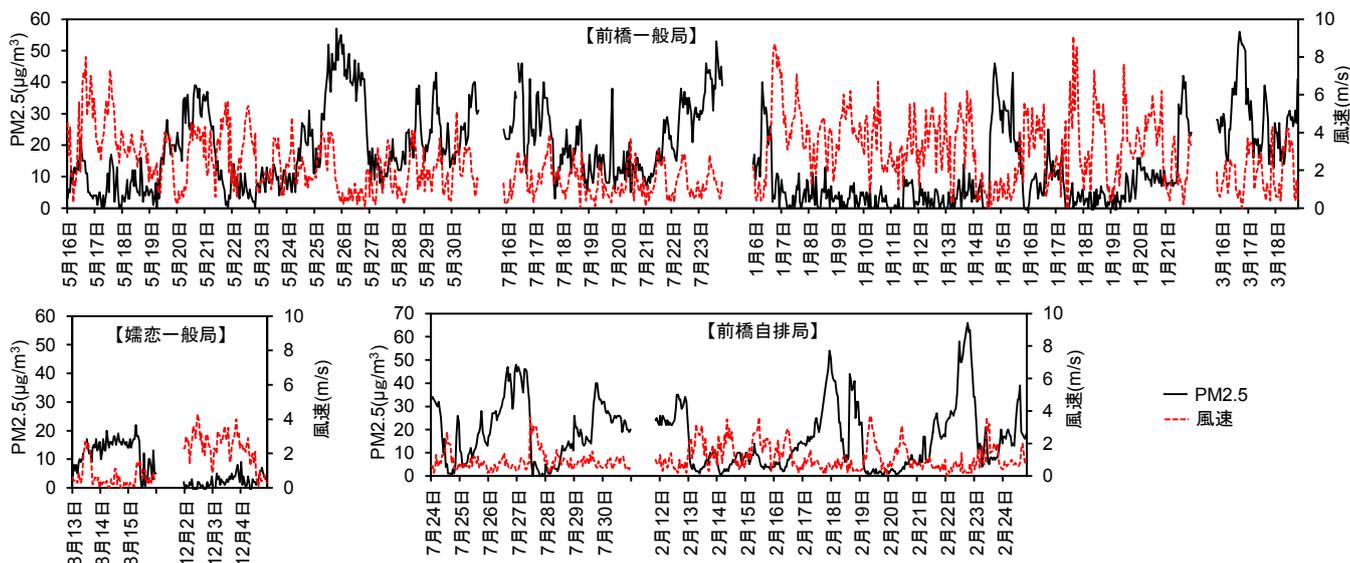


図4 各地点における作成期間中のPM2.5濃度の挙動

表1 PM2.5濃度と風速の平均値

地点	前橋一般局				
	作成時期	5月	7月	1月	3月
PM2.5 (μg/m ³)	18.3	22.1	8.1	28.5	
風速 (m/s)	2.5	1.4	3.3	1.8	
PM2.5と風速の相関係数	-0.31	0.18	-0.36	-0.26	

地点	孺恋一般局		前橋自排局		
	作成時期	8月	12月	7月	2月
PM2.5 (μg/m ³)	12.4	2.2	19.7	15.8	
風速 (m/s)	0.7	2.3	0.9	1.1	
PM2.5と風速の相関係数	-0.02	-0.20	-0.38	-0.51	



数値の単位はμg/m³

図5 PM2.5フィルターセット

前橋一般局の7月を除き、各地点および各時期のPM2.5濃度と風速には負の相関関係が見られ、特に冬季はその傾向が強かった(表1)。これは風がPM2.5の拡散に寄与していることを示している。なお、前橋自排局は、国道と接する北西方向を除き、周囲を学校や団地などの比較的高い建物に囲まれている。そのため、他の地点に比べて冬季においても風は弱く、国道からの自動車排ガスが滞留し、その影響を受けやすい特徴がある。風向に関しては、国道の風下になることが多いことから、風が吹けば排ガスの直接的な影響を受けやすいことが考えられる。しかしながら、前橋自排局は夏季も冬季もPM2.5濃度と風速の負の相関が、他の地点に比べて高いことがわかる(表1)。このことから、この地点はむしろ、風が吹くことで国道からの自動車の影響が増すよりも、滞留していた自動車由来のPM2.5が拡散、希釈される影響の方が強く作用していたことが考えられた。

4.2 PM2.5フィルターセットに対する官能試験

各PM2.5フィルターセットに対する官能試験の結果

を表2に示した。一般に官能試験では、試験値の最大値と最低値を除いて(上下カット)平均値を求めることが多いが、今回のA~Jの10人の結果では、上下カットした場合の平均値は、上下カットをしなかった場合のそれに対して94~107%とほぼ差が無かった。そのため、ここでは上下カットをしない算術平均値(表2の平均値^a)を採用した。各地点および時期のPM2.5濃度と官能試験結果(スケール)の関係を図6(a)~(c)に示した。次以降で各地点について考察する。

4.2.1 前橋一般局

どの時期のPM2.5フィルターセットであっても、PM2.5濃度とスケールには直線的な比例関係($R^2 \geq 0.92$)が見られた。ただし、両者の関係は時期によって異なり、特に2015年1月は他の時期よりも全体的にスケールが大きかった。これはつまり、同じPM2.5濃度であっても他の時期よりもフィルターが濃く見えたことを意味する。この1月の回帰直線の直線性は高く($R^2=0.93$)、極端に外れている点もないことから、サンプリングエラ

表2 PM2.5フィルターセットに対する官能試験の結果

地点	前橋一般局															孺恋一般局				前橋自排局																		
	5月					7月					1月					3月					8月		12月		7月			2月										
PM2.5実測値	11	25	33	49	60	11	25	35	46	68	12	24	35	48	62	15	28	37	45	69	11	25	34	46	61	3	10	12	25	37	47	61	13	26	35	45	64	
試験者	A	1	3	4	5	5	1	2	3	3	4	1	3	4	5	6	1	3	4	4	5	1	2	3	3	4	1	2	3	3	4	4	5	1	4	3	4	4
	B	1	2	4	4	5	1	1	3	4	5	1	4	5	5	7	1	3	4	4	6	1	1	2	3	4	1	2	3	4	5	5	6	2	5	4	5	5
	C	0	1	2	3	3	0	1	2	3	4	0	3	4	5	7	1	2	4	5	5	1	1	2	3	3	1	1	2	3	4	5	7	1	3	3	4	5
	D	1	3	5	6	6	0	2	4	5	5	2	4	6	7	8	3	5	5	6	7	1	2	3	4	5	0	3	4	4	6	6	7	2	5	4	5	5
	E	1	2	3	4	4	1	2	2	3	4	1	4	5	5	7	1	3	3	5	6	1	2	2	3	3	1	2	4	4	5	6	8	2	4	3	4	5
	F	1	2	3	4	5	1	2	2	4	5	1	4	5	5	7	2	3	3	5	5	1	2	3	3	4	1	2	3	4	5	5	7	2	5	4	5	5
	G	1	2	2	3	3	1	2	3	3	3	1	3	4	4	4	2	3	3	3	3	1	3	3	4	4	1	2	3	3	5	5	5	2	4	3	3	3
	H	2	3	3	5	5	1	3	4	5	5	2	3	4	4	6	2	3	3	4	6	2	3	3	4	5	2	3	5	6	7	7	9	3	5	4	5	4
	I	2	3	4	5	5	1	2	4	5	5	1	4	6	7	9	2	4	5	5	6	2	4	5	5	6	1	2	3	5	6	6	9	2	5	5	5	6
	J	1	2	3	5	5	0	1	1	4	5	1	5	6	7	8	1	4	5	6	7	1	2	3	3	4	1	3	3	4	5	5	7	1	5	5	5	5
平均値 ^a	1.1	2.3	3.3	4.4	4.6	0.7	1.8	2.8	3.9	4.5	1.1	3.7	4.9	5.4	6.9	1.6	3.3	3.9	4.7	5.6	1.2	2.2	2.9	3.5	4.2	1.0	2.2	3.3	4.0	5.2	5.4	7.0	1.8	4.5	3.8	4.5	4.7	
感度係数 ^b	10	11	10	11	13	16	14	13	12	15	11	6	7	9	9	9	8	9	10	12	9	11	12	13	15	-	-	4	6	7	9	9	7	6	9	10	14	
[平均値 ^a ±標準偏差]	[10.8±2.5]					[12.0±2.0]					[8.0±2.7]																											
PM2.5推定値	12	25	36	47	50	8	19	30	42	49	12	40	53	58	74	17	36	42	51	60	14	26	35	42	50	-	-	26	32	42	43	56	14	36	30	36	38	
推定値-実測値	1	0	3	-2	-10	-3	-6	-5	-4	-19	0	16	18	10	12	2	8	5	6	-9	3	1	1	-4	-11	-	-	14	7	5	-4	-5	1	10	-5	-9	-26	

^a単位はμg/m³

^b感度係数=PM2.5/平均値^a

一等ではなく、実際に他の時期よりもフィルターを濃く見せるような成分(例えば黒色の元素状炭素(以下、EC))が多かったことが考えられた。このことから、同一地点であっても時期によってフィルターの色の見え方は異なる場合があることが分かった。

4.2.2 孺恋一般局

4.1 で述べたとおり、孺恋一般局の12月は十分な質量濃度範囲のPM2.5フィルターセットが作成できず、官能試験の結果を議論できるだけのデータは得られなかった。8月については、PM2.5濃度とスケールには直線的な比例関係($R^2 \geq 0.99$)が見られた。この回帰直線は、前橋一般局の2015年1月を除く回帰直線と類似した。

4.2.3 前橋自排局

2014年7月は、PM2.5濃度とスケールには直線的な比例関係($R^2 = 0.97$)が見られた。他の地点に比べてスケールは高い値をとっていることから、フィルターを濃く見せる成分(例えばEC)が多かったことが考えられた。自動車(特にディーゼル車)排ガス由来のPM2.5にはEC(一般にすす)が多く含まれるため⁸⁾、自排局では他の地点よりもスケールが高くなったと推測される。

2015年2月の冬も、PM2.5濃度とスケールには比例関係が見られた。ただし、その回帰直線の直線性は悪く($R^2 = 0.57$)、7月のフィルターに比べれば、同程度のPM2.5濃度であっても薄く見える(スケールが低い)ものが多かった。前節で、2月は自動車由来のPM2.5が風によって希釈されやすかったことを考察した。これは単に自動車の影響が希釈されるだけでなく、風に乗って別の発生源由来のPM2.5を含む空気塊が流入する可能性も考えられる。この2月の各フィルターのスケールは、1カ月ずれているが前橋一般局の3月に似ていることから(表2)、2月は空気の入替わりにより、自排局でありながら一般環境に近い大気環境であったことが推察された。

4.2.4 3地点間の比較

PM2.5濃度とスケールの間には、孺恋一般局の12月

を除いて比例関係が見られた。孺恋一般局の12月については、十分なサンプリングができなかったこともあり、この後の計算からは除いて考察を行った。

各地点、各時期のフィルターに対して、PM2.5濃度とスケールの平均値の比(ここでは感度係数という)を求めた(表2)。仮にPM2.5濃度とスケールが完全な比例関係($R=1.00$)にあれば、この感度係数はPM2.5濃度に関わらず常に一定の値をとる。実際には、同一地点であってもPM2.5濃度と時期によって感度係数は異なった。この感度係数について、各地点の年間を代表する値として平均値(表2の平均値^{b)})を求めると、前橋一般局:10.8、孺恋一般局:12.0、前橋自排局:8.0となり、前橋自排局のみ他の局よりも有意($p < 0.05$)に低い結果となった。感度係数が低いということは、同じPM2.5濃度のフィルターでも視覚的には濃く見える(スケールが高くなる)ことを意味する。つまり、官能試験の結果からは、PM2.5濃度が同じであっても、前橋自排局>前橋一般局>孺恋一般局の順(ただし、統計的な有意差は前橋一般局と孺恋一般局の間にはない)にフィルターが濃く見えることが分かった。

フィルターが濃く見えるかどうかは、化石燃料の燃焼等に伴って発生するECが影響している可能性を考えれば、山間部よりも人間活動が盛んな市街地で、さらに市街地でも沿道でフィルターの色が濃く見えることは合理的と考えられた。このように、PM2.5濃度を色で判断する場合には、ECのように同じ濃度でも濃く見える物質の影響を強く受ける地点は、注意が必要であることがわかった。

4.3 簡易測定法の確度

4.2.4で計算した各地点を代表する感度係数を利用して、実測値(公定法)に対する簡易測定法の確度を調べた。感度係数(表2の平均値^{b)})に、それぞれのフィルターのスケール(表2の平均値^{a)})を乗じてPM2.5濃度の推定値を求めた(表2)。すなわちこの推定値は、年

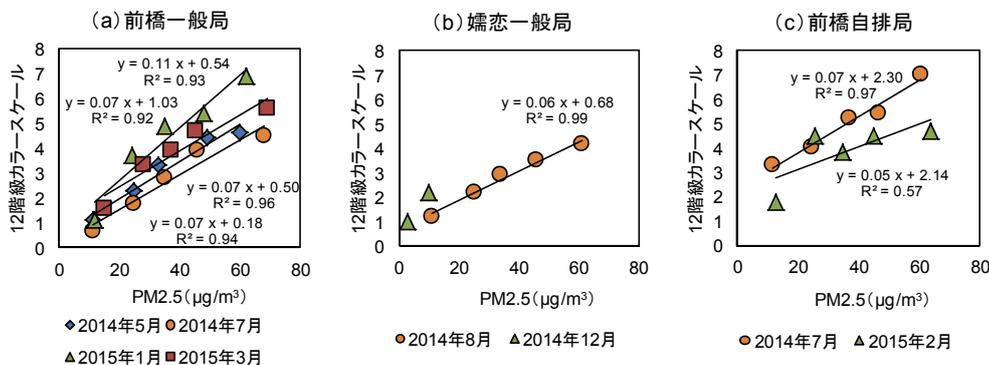


図6 PM2.5濃度と12階級カラスケールの関係

間の代表的な感度係数を1つだけ用いて、それぞれの時期のフィルターを官能試験して、PM2.5濃度を簡易測定した場合の仮の結果とみることができる。

全体的にはPM2.5濃度が高くなると、推定値の誤差は大きくなる傾向が見られた。特にPM2.5濃度が最も高い $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後のフィルターでは推定値と実測値との誤差が大きいが、この傾向は官能試験の特性であり、先行研究におけるSPMの検討でも見られた⁵⁾。つまり、フィルター上のPM2.5やSPMが少ない場合には、その量の違いをフィルターの色の濃淡差として明瞭に見分けることができるが、PM2.5やSPMが多くなってくると、フィルターの色の濃淡差は見分けにくくなり、測定誤差が大きくなるというものである。

一方、日基準($35\mu\text{g}/\text{m}^3$)と同レベルの推定値は、前橋一般局の1月を除いて、実測値に対する確度は86~114%と良好であった。しかし、前橋一般局の1月は推定値が151%と誤差は大きかった。つまり、4.2.1で時期の違いによってフィルターの色に違いがあることを述べたが、これに起因する推定濃度の誤差は50%程度はあるということになる。

以上の結果から、環境学習を実践する際は、その地域の都市規模、周囲の交通状況に加えて、時期も考慮してPM2.5フィルターセットを作成し、標準フィルターとして使用する必要があると考えられた。この対応をとれば、 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の高いPM2.5濃度に対しても、測定誤差を最小限に抑えることができるであろう。ただし、本検討のように、様々な地点や季節における感度係数を求め、その有意差がないことが確認できれば、同一のPM2.5フィルターセットを使っても問題はないと考えられた。

今回の検討結果から、群馬県では標準フィルターとして1つのPM2.5フィルターセットを、異なる地点、時期に共通して使用するのには確度の面で困難なことが示された。したがって、今後は不十分なPM2.5フィルターセットしか作成できなかった嬬恋一般局(山間地)と前橋自排局(道路沿道)について、他の時期のPM2.5フィルターセットを作成する必要があるだろう。

5. 結 言

PM2.5濃度の官能試験による簡易測定法は、細かい数値を論じる正確さはないが、公定法の重量測定法が数日かかるのに対し、視覚的な判断により数分でおおよその質量濃度が測定できる利点がある。また、PM2.5の捕集方法は公定法に基づくものであるから、フィルターの色はまさにPM2.5であり、その存在を視覚的に体感(見える化)できる利点もある。これらの利点は環境学習として適するだろう。しかし、この簡易測定法はサンプリン

グ時間が12時間であることから、PM2.5濃度の日基準と比較する際には注意を要する。ただし、あくまで簡易測定法はきっかけであって、重要なのはここから公的なデータを基に環境問題を科学的かつ論理的に考えさせ、その現状を冷静かつ客観的に判断させる包括的な学習プログラムの開発である。この点は現在検討中だが、これまでに試作したPM2.5の学習プログラムを中学1~2年生に対して実践したところ、定量データに基づいて環境問題を科学的に考え、現状を冷静かつ客観的に判断できた様子がアンケート結果からうかがえた^{9,10)}。途上段階ではあるが、このような学習プログラムが、受講者の環境科学リテラシーの向上に寄与するという知見が得られつつある。

現時点で、測定上の正確さの担保や、これに続く効果的な学習プログラムの開発等、課題は山積している。しかしながら、この方法は地環研にとっては馴染みのある装置や技術だけで可能であり、各地環研が同様の試みをするハードルは低いと思われた。今回はPM2.5が題材であったが、他のテーマでも地環研に既存のノウハウを、環境学習向けにアレンジできる可能性がある。このような学習プログラムは、とかく感性・道徳的に偏りがちな環境教育に科学的視点を与え、我が国の環境教育の深化に貢献するものと期待される。またこの活動を地環研の立場から考えれば、一部でその存在意義が問われる中、閉鎖的になりがちな地環研を、地域と結びつけるための新たなコンテンツとなるかもしれない。

6. 謝 辞

本研究はJSPS科研費26870844により行われました。PM2.5フィルターセットの作成に当たっては、大気測定局の近隣でPM2.5のサンプリングを行わせていただきました。また、官能試験では多くの方にご協力をいただきました。関係各位に謝意を表します。

7. 引用文献

- 1) 環境省総合環境政策局環境教育推進室：環境保全活動、環境保全の意欲の増進及び環境教育並びに協働取組の推進に関する基本的な方針。
https://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=20195&hou_id=15393 (2016年1月時点)
- 2) 環境省総合環境政策局環境教育推進室：(2) 地方自治体における環境教育・環境学習に関する取組事例。
<https://edu.env.go.jp/local/02.html> (2016年1月時点)
- 3) 小山良太：福島県における放射能汚染対策と「風評」被害問題. 学術の動向, 18 (2), 58-65, 2013

- 4) 小出重幸：コミュニケーションの喪失と社会的混乱—日本と英国の福島事故へのアプローチ. 学術の動向, **19** (3), 48-53, 2014
- 5) 齊藤由倫, 田子博, 遠藤庸弘, 小澤邦壽：科学的な環境教育を目指した大気環境に関する体験学習の試み—地方環境研究所を活用したプログラム開発—. 環境教育, **58**, 48-59, 2015
- 6) 熊谷貴美代：群馬県におけるPM2.5汚染の特徴. 安全工学, **52** (6), 401-407, 2013
- 7) 群馬県環境森林部環境政策課：平成27年版環境白書(群馬県). p.95, 群馬県, 2015
- 8) 坂本和彦：大気中における微小粒子状物質 (PM2.5) の動態. 大気環境学会誌, **49** (1), A2-A6, 2014
- 9) 齊藤由倫, 田子博, 松田錦弥：科学的な視点の向上を目指した環境教育—地方環境研究所のノウハウを活用したPM2.5調査—. 日本環境教育学会第26回大会要旨集, p.81, 2015
- 10) Yoshinori Saitoh, Hiroshi Tago, Kunihisa Kozawa : Experience-based Learning with Analytical Perspective about Atmospheric Environment focused on PM2.5 in Japan. 8th World Environmental Education Congress, 543-544, 2015