研究論文 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—

齊藤 由倫*・田子 博*・遠藤 庸弘**・小澤 邦壽*
群馬県衛生環境研究所*・群馬県中部環境事務所**

Trial Study of Experience-based Learning about Atmospheric Environment for Scientific
Environmental Education

— Development of a Program Utilizing a Local Government Environmental Research Institute —

Yoshinori SAITOH*, Hiroshi TAGO*, Nobuhiro ENDO**, Kunihisa KOZAWA*

Gunma Prefectural Institute of Public Health and Environmental Sciences*

Gunma Prefectural Chubu Environmental Affairs Office**

(受理日 2014 年 10 月 5 日)

We developed an experience-based learning program about atmospheric environment focusing on suspended particulate matter (SPM) utilizing the investigation techniques of a Local Government Environmental Research Institute. This program was tested on children and students, and we conducted a questionnaire survey on them before and after this program for evaluating its educational effect.

First, we devised a method for simplified measurement of the concentration of SPM using standard filters (based on known SPM concentrations). The accuracy of this method was considered sufficient for measuring the concentration of SPM for the learning program. Second, we developed an instruction manual and teaching materials, which aimed to allow participants (1) to judge the actual condition of air pollution objectively from measured scientific data, (2) to realize the differences in SPM according to location, and (3) to discuss the reasons for any differences, and spontaneously grasp the relationship between air pollution and human activities.

The participants seemed to judge the state of air pollution objectively by comparing their measurement data with environmental standard and the data measured in different areas. This was reflected in the questionnaire results. Additionally, participants demonstrated a deep understanding by discussing how various factors, such as traffic, wind direction and velocity, might influence SPM. They also seemed to understand the relationship between living activities and air pollution. This understanding probably improved the sense of individual environmental impact, and the improvement was reflected in the questionnaire results. Our learning program will contribute to the development of a scientific view, logical thinking skills and the awareness of environmental conservation.

Key words: environmental standard, logical thinking skills, questionnaire survey, suspended particulate matter

問い合わせ先 〒371-0052 群馬県前橋市上沖町 378 Tel. 027-232-4881 E-mail: sai-yosi@pref.gunma.lg.jp

I 研究の背景

我が国では、1991年に環境教育指導資料(中学・高等学校編)が発行され、2003年には環境保全活動・環境教育推進法が成立し、2011年には同法が環境教育等促進法へ改正される等、環境教育の制度は充実してきたように俯瞰できる。今日では、学校や地域において様々な環境教育(国立教育政策研究所 2007)⁽¹⁾⁽²⁾が行われようになり、児童・生徒が自然に親しんだり、多様な環境問題の基礎知識を身につけたりする上で大いに貢献している。しかしその一方で、教材や機材、或いは環境教育の準備に割ける時間の不足等から、教育現場のみでできる環境教育には限界がある。これを補填するために外部の専門機関の支援に対して期待があるのも現状である。例えば、岸本ら(2010)が兵庫県内の小学校教員に対して行ったアンケート調査では、「環境学習を進める上で必要」とされるものに、「指導・援助者」の回答が12項目中最も多く、次いで「資金」、その次が「専門家の派遣制度」となっている。同様に、全国の学校を対象に環境省が2012年に実施したアンケート調査⁽³⁾でも、「講師等派遣」に対する期待は高い結果が出ている。環境教育は、広範囲で多面的な要素が複合的に介在する環境問題を扱うため、教科横断的で高度な教育スキルが必要とされる(日本学術会議 2008)。広範な専門知識と機材を有する専門機関に期待が集まるのは当然かもしれない。

このような中、2011年に環境教育の基本方針⁽⁴⁾が閣議決定された。それによれば、環境教育は「科学的な視点を踏まえ、環境問題を客観的かつ公平な態度で捉える」べきとされ、そのために「身近な環境の変化に気付く力」と「客観的・論理的思考力と判断力・選択力」を育むという教育目標が明示された。この教育目標に対し我々は、印象や直感をできるだけ排除し、現状を可能な限り客観的に捉えようとする科学的視点を養う環境教育が求められていると考えている。すなわち、数値という具体的な評価基準をもって、環境を論理的に考え、客観的に判断する体験が重要ではないか。もちろん、得られた数値には再現性が求められ、

これには高度なスキルや機材が必要とされる。この場合、教育現場で対応できる現実と環境教育が目指す目標の乖離はさらに広がる懸念がある。その乖離を埋める一つの方法として地方自治体の環境研究所(以下、地環研 という)を活用することが考えられる。

地環研は長年、各地域の大気汚染や水質汚染等の調査研究に従事し、それに関する知識と調査手法を蓄積している。したがって、これを教育資源として地域の環境教育に活用することは、日本学術会議(2008)が提言する「全国各地の(中略)既成の設備や仕組みなどを環境教育の場づくりのためにネットワーク化し、各地域に環境教育の場を確保していくこと」に資すると期待される。

II 研究目的

現在、様々な環境学習が行われているが、その多くは水環境や森林、廃棄物に関するテーマであり、大気環境に関するテーマは少ないのが現状である(国立教育政策研究所 2007)⁽¹⁾⁽²⁾。専門的な大気の体験学習ともなると極端に少ない。大気は性質上その実体を「体感」しづらく、さらに、専門的な体験学習を行うには専用の機材を要する場合が多く、これらの点が環境教育として普及しない一因と考えられる。しかし、多様化する環境問題に応じて、環境教育も多様な学習題材を提供することが望ましく、微小粒子状物質(PM2.5)が社会問題になったことを考えても大気環境に関する学習は必要であろう。また、前述したとおり、科学的に正しい方法で得られた数値から、環境問題を客観的に捉える体験が、特にこれからの環境教育に求められていると考えられる。

そこで本研究では、大気汚染物質の一つである浮遊粒子状物質(SPM: 粒径10 μm以下の大気中を浮遊する粒子状物質)に着目して、大気の学習題材を開発することを目的とした。SPMは一粒一粒を視認することはできないが、そのおおよその量を視程として知覚しやすい特徴がある(図1)。また、環境基準が定められているため、得られた測定値を環境基準と比較することで、現状の大気環境を客観的かつ公平に捉えることができ

図1 視程で捉えるSPM

る。粒径に関係なく大気中の全ての粒子状物質を調査する体験学習としては、ペットボトルを利用した粉じん調査法（伊瀬・横須賀 1999）や、マツの葉裏の気孔（岡本 1999）あるいは屋外に設置した粘着テープ（重森 1998）を顕微鏡観察するといった簡便な手法が既に知られている。しかし、SPMを正確に捕集するには専用装置が必要となり、これを教育現場で揃えることは費用の面から困難である。そこで、大気環境に関する科学的な環境教育の普及を目指し、本研究では地環研の調査手法および専用装置を活用して、児童・生徒向けにSPMに関する体験型環境学習プログラムを開発することとした。本論では、開発した学習プログラムを児童・生徒に対して試行した結果と、学習効果を評価するために行ったアンケート調査の結果を報告する。

Ⅲ 材料と方法

1 SPM捕集装置

SPM捕集装置の全体像を図2に示した。大気中を浮遊する粒子状物質の中からSPMのみを捕集するために、個人サンプラー用ホルダー（NWPS-35HS型、柴田科学（株））を用いた。このサンプラーにφ35 mmの石英繊維フィルター（2500 QAT-UP、東京ダイレック（株））をセットし、ミニポンプ（ΣMP-500、柴田科学（株））で大気を2.5 L/minの速度で吸引することで、フィルター

上にSPMが捕集される。環境学習を行うに当たっては、商用電源が必ずしも確保できないため、ポンプは充電式乾電池により駆動させ、電池容量の上限である12時間でSPMを捕集した。後述するSPM標準フィルターの作成では、商用電源により任意の時間でSPMを捕集した。これらの機材をカメラ用三脚に取り付け、SPMの捕集口を地上140 cmの高さに固定した。屋外での降雨対策として市販のビニール傘をワイヤーで取り付けた。以上のSPM捕集装置は、三脚、傘等の安価で入手しやすい物を除いては群馬県の地環研のものを活用した。また、石英繊維フィルターも通常業務の余剰を有効活用できたため、本学習を実施するための費用はほぼ発生しなかった。

図2 SPM捕集装置

2 SPM簡易測定法と標準フィルターの作成

SPM質量濃度（以下、SPM濃度という）を測定するための重量濃度測定法（公定法）は、フィルターを一定温度・湿度の条件において恒量化するため4日程度を要し、高精度の天秤を使うため作業も煩雑で環境学習には適さない。そこで、予めSPM濃度が既知の標準フィルターを数～百 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度の濃度範囲において段階的に作成し、これらの色の濃さを視覚的に比較することでSPM濃度を簡易測定する方法（以下、簡易測定法という）を検討した。

標準フィルターの作成は、群馬県が前橋市内でSPM濃度を常時測定している大気汚染常時監視測定局の隣で行った。2012年8～9月の期間に、前述の捕集装置でSPMを3～85時間の任意の時

間捕集した。この間のSPM濃度は、公定法に基づく常時監視局の測定データ（群馬県環境保全課から提供を受けた、以下、常監データという）から、12時間捕集した場合のSPM濃度に換算して求めた。例えば24時間SPMを捕集した場合は、その間の1時間平均値を求め、それに2（＝24時間÷12時間）を乗じて算出した。なお、常監データは1時間に1つの測定値が得られる。

この標準フィルターに対して、当研究所職員（20～50歳代の男女9名）の協力のもと12階級カラースケール（ラックオフィス社製）を用いて官能試験を行い、標準フィルターの色の濃さ（12階級）が実際のSPM濃度に比例するかを検証した。また、この標準フィルターを用いた簡易測定法を前述の9名で実施し、その測定結果を常監データと比較することで簡易測定法の精度を検証した。本研究で扱うフィルターは、全て1枚ずつペトリスライド（PD1504700、ミリポア）に入れ、観察しやすいよう太陽光を極力遮った室内の蛍光灯の下で、前述の官能試験や簡易測定法に供した。

3 指導マニュアルおよび教材の作成

環境学習プログラムを進行するため、指導内容を定めた指導マニュアルと、児童・生徒に配付するためのテキスト等の教材を作成した。本学習は、環境問題と人間活動の関連といった初歩的な内容から学習をスタートすることまでは想定していない。そのため、受講者の前提条件としては、環境問題と人間活動の関連を既に学んでいる、あるいはその学年で学ぶ予定があることとし、「環境の保全」や「産業と国民生活との関連」を社会の授業で取り扱う小学5年生（文部科学省 2008a）から上の学齢を基本とした。本学習ではSPMに

影響を及ぼす気象の観測も行うが、小学5年生は理科の授業で「天気の変化」を学ぶ（文部科学省 2008b）ことから、やはり小学5年生以上が適した学齢であろう。

指導マニュアルと教材は小学生用と中学生用をそれぞれ整備した。基本的な学習内容はそれぞれの教材で変えず、学齢に応じて文章や用語解説のみを変えた。ただし、小学生用の教材に関しては、地域のこどもエコクラブが小学4年生以上で構成されている状況を考慮して、小学4年生以上であれば理解できるよう文章表現に注意した。これらの教材の作成においては、群馬県内の小中学校教員の意見を得ながら行った。

4 環境学習の試行とアンケート調査

本学習はSPMの捕集時間の関係から2日間で1単元の構成とし、表1に示す3団体に対して試行した。なお、受講者全員が第1回、第2回とも参加できたわけではなかった。参加団体はいずれも前橋市内が活動拠点であり、調査した場所はそれぞれの団体の活動拠点周辺である。環境冒険隊の第2回では中学1年生が受講したが、1名のみであったため小学生用の教材を使用した。

学習効果を検証するため、25項目の質問による択一式のアンケート調査を学習の前後で実施した。質問内容は学習前後で同一とし、「Ⅰ 環境問題に関する意識（9項目）」、「Ⅱ 環境問題解決に向けた意識（6項目）」、「Ⅲ 環境保全行動（8項目）」、「Ⅳ 大気汚染に関する理解（1項目）」、「Ⅴ 環境問題に対する主体性（1項目）」の質問内容で構成した。この内Ⅰ、Ⅱ（Ⅱ-5は除く）、ⅢおよびⅤの質問項目は、森脇（2010）⁶⁾が無作為に選んだ群馬県内の児童（小学5、6年生）925名とその

表1 環境学習の試行

試行	参加団体	調査場所	第1回		第2回	
			実施日	参加者	実施日	参加者
1	環境冒険隊	前橋児童文化センター内	2012.10.27	小学4～6年 16名	2012.11.10	小学4～中学1年 26名
2	なんきつエコクラブ	南橋公民館周辺	2013.7.6	小学3～6年 10名	2013.7.23	小学3～5年 15名
3	桂萱中学校科学部	桂萱中学校周辺	2014.1.11	中学1,2年 16名	2014.1.18	中学1,2年 12名

教員379名に対して行ったアンケート調査から抜粋した。森脇のアンケート調査は、環境問題に関する意識の実態把握を目的としており、その結果はごく一般的な回答者の意識を反映したものと言える。今回の参加団体は環境への関心が高い団体とも考えられたため、森脇のアンケート結果と比較することで、アンケート対象に偏りがいないか確認した。受講者のうち第1回と第2回とも受講した小学4年～中学2年生延べ30名のアンケート結果を解析対象とした。ただし、桂萱中学校科学部では学習前後の間が1週間と短く、その間に行動パターンは変わらないと推察されたことから、「Ⅲ 環境保全行動」の質問は学習後については省略した。そのため、この項目を解析するにあたっては、環境冒険隊となんきつエコクラブのアンケート結果（18名）のみを扱った。

Ⅳ 結果および考察

1 カラースケールによる標準フィルターの評価

本研究で作成した標準フィルターを図3に示す。標準フィルターは0（ブランク）および10～131 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲（1時間値の1日平均値の環境基準は100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）で合計8段階作成した。このSPM濃度は明かさずに、12階級カラースケールを用いて標準フィルターの官能試験を行った（図4）。12階級カラースケール値とSPM濃度の間には正の相関が認められたが、直線的な比例関係ではなく、カラースケール値はSPM濃度の対数に比例することが示された。Weber-Fechnerの法則によると、感覚強度（この場合、視覚的な色の濃淡）は、その感覚を与える刺激の物理量（この場合、SPM濃度）の対数に比例することが知られている。本研究ではこの法則と整合した妥当な結果となった。

図4 標準フィルターのSPM濃度と官能試験結果

図4から、SPM濃度が低い領域では近似曲線の傾きは大きく、濃度の差に対するフィルターの濃淡差を明瞭に識別しやすいことがわかる。一方、高濃度領域ではその傾きは徐々に小さくなり、その濃淡差が識別しにくくなるとともに個人差も大きくなる。寒川（2007）は、SPMを含むすべての大きさの粒子状物質を対象に、本研究と同様の検討を行っている。それによるとやはりフィルターの色が濃くなるにつれ、その識別が困難になることを指摘している。本研究では特に96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度領域では濃淡の識別精度は劣り、SPM濃度の測定が困難になることが懸念された。しかし、我が国の大気環境ではSPMが1日平均値で96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の高濃度となる事象はほぼ出現せず（環境省 2013）、一般的なSPMの濃度レベルも50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度までである。したがって、この領域であれば標準フィルターの濃淡差は識別しやすく、12時間サンプリングによる簡易測定法により、一般的な大気環境中のSPM濃度は十分に測定可能であると考えられた。仮に環境基準を超過するような高濃度領域の測定を必要とする場合には、サンプリング時間を短縮し、大気吸引量を抑える対応をとれば精度の高い測定が可

図3 標準フィルター

能であろう。

2 簡易測定法の検証

簡易測定法の精度を検証するため、標準フィルターと同様の方法で、SPM濃度が既知の検証用フィルターを4枚作成し、簡易測定法による測定結果と比較した(表2)。簡易測定法の結果は、常監データとほぼ一致し、測定誤差や個人差も小さく概ね正確に測定できることが確認できた。ただし、常監データ54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ に対する簡易測定法の結果は 63 ± 5.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とやや差異が大きくなったが、これは前節で述べたとおりSPM濃度が高くなると測定誤差が大きくなるためであろう。

このように簡易測定法は高濃度領域で、常監データとの差異が大きくなる傾向はあったものの、その他の濃度領域では良い一致が見られ、個人差も小さいことから、大気環境の学習としてSPMを評価する上では十分な精度であると判断した。前述の重量濃度測定法(公定法)は4日程度を要するのに対し、この簡易測定法は数分でSPM濃度を測定でき、且つこれを指標に知覚しづらい大気環境を視覚的に実感(見える化)できる利点があるため、これは環境学習に適した方法であろう。

前述した寒川(2007)の検討では、教室の黒板付近はチョークの白い粉末の影響を受けるため、フィルターの色調が屋外とは異なることが指摘されている。SPMでも同様のことが予想でき、その色調の変化はSPM濃度の測定精度を低下させるであろう。本学習の調査対象は主として屋外環境としているが、前述のような特殊な環境に対しては、改めてその環境に応じたSPMの標準フィルターを作成する必要がある。ただし、屋外環境に関しては、著者らが長年地環研において調査してきた経験上、場所や季節毎にフィルターの色調はほぼ変わらず、それゆえ今回夏季に一箇所で作成した標準フィルターを用いても、一般的な屋外環境のSPM濃度を測定することは可能と考えられる。しかし、群馬県で作成した標準フィルターをそのまま全国に当てはめることができるかは不明である。この場合は、各都道府県の地環研を活

表2 簡易測定法の検証結果

SPM質量濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
常監データ	簡易測定法 (n = 9)
	Ave. $\pm$ SD
6	5.4 ± 1.0
18	15 ± 1.2
26	28 ± 2.1
54	63 ± 5.1

用して、それぞれの地域にあった標準フィルターを作成すれば十分であろう。

3 指導マニュアルおよび教材

指導マニュアルには、講義等の内容をタイムスケジュールとともに定め、指導上特に重視すべき指導ポイントを盛り込んだ(図5)。教材は講義および考察で使用するスライドと、その内容を要約した配付用のテキストを作成した。テキストには体験で使用する野帳も備えた。

第1回はまず、大気汚染に関する歴史や大気汚染物質の健康リスクと環境基準の設定、その他大気汚染に関わる一般的な事項、およびSPMの調査方法に関する知識を習得すべく導入学習を行った。その後、受講者が自らSPM捕集装置を組み立て、屋外等の5か所にSPM捕集装置をセットしてサンプリングする体験を行った。5か所の調査場所は各団体の活動拠点の周辺とし、室内や幹線道路沿い等のSPM濃度が異なると予想された場所を予め著者らが選定した。屋外の調査場所では、その場所の周辺環境(周辺にどんな建物があるか、道路は隣接するかなど)を観察し、風向風速の調査、道路が隣接する場合は交通量調査を体験させ、これらの結果を野帳に記録させた。屋内の場合は、その室内環境(何があるかや臭いなど)について気づいたことを野帳に記録させた。なお、風向風速はビューフォート風力階級表⁶⁾を参考に計測した。交通量調査は数取器を用いて5分間行い、その値を1時間当たりの交通量に換算した。サンプリング終了後の装置回収は著者らで行った。

なお、受講者に科学的視点の重要性を気づかせるねらいから、調査前には、調査場所の汚染順位

図5 指導マニュアルおよび教材

をあえて印象や直感といった主観によって予想させた。予想順位と、調査から得られた科学的な数値に基づく順位を比べ、その違いを認識させることで、現状を客観的に捉えようとする科学的視点の重要性に気づくことを期待した。

第2回は初めに講義形式で第1回の学習内容を復習した。その後、5人程度の班ごとにサンプリングしたフィルターのSPM濃度を簡易測定法により求めさせ、最後に全体の平均値を算出して各調査地点のSPM濃度とした。この測定結果に対して、テキストに設けた「とりまとめノート」の項における「1. どうしてそのような結果になったか考えてみよう」、「2. 環境基準や他の場所の数値と比べて考えてみよう」の設問に従い、考察した内容を記述させた。これにより大気環境の実態を客観的に判断させるとともに、SPM濃度が地点間で異なった原因を周辺環境調査の結果に照らして考察させた。これにより、大気環境と人間活動との関連について自発的な「気づき」を促すことをねらいとした。最後に「3. 自分たちの生活の中や、将来のことで心がけるべきことを考えてみよう」の設問により、環境保全意識を高揚させ、具

体的な環境保全行動へ繋がることを目指した。

4 環境学習の試行と考察の結果

環境学習で得られたSPM濃度等の調査結果を図6に示した。全調査地点を通してSPMは $3 \sim 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲でいずれの地点も環境基準($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)より低い結果であった。なお、本学習の試行を行った前橋市内では、行政(国、県および市)が屋外4箇所でSPM濃度を公定法により常時測定している。これら4箇所のSPM濃度の年間変動は、日平均値としておよそ $1 \sim 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (4箇所の平

均は $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度)の範囲が近年の傾向である。これに対し、我々は前橋市内で異なる季節に本学習を3回試行しており、そこから得られた屋外全12箇所におけるSPM濃度は $3 \sim 41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (平均は $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$)の範囲で、これは行政の測定結果と大きく乖離しない。したがって、本学習で得られたSPM濃度は概ね妥当な値であり、本学習で採用した簡易測定法の精度が担保されたと考えよう。

これ以降に示す児童・生徒の考察の内容は、「とりまとめノート」に記述された内容である。図6の【試行1】および【試行2】の結果からは、どちらも交通量の多い道路近傍でSPM濃度が高く、そこから遠ざかるとSPM濃度が低くなるという傾向が見られた。これに対する考察では、「環境基準に比べて低いのできれい」や「道路沿いはSPMが高いけど、道路から離れると低くなった。車が原因では」、「交通量が多いから結構高い数値になったと思う」というように大気環境を具体的な数値から客観的に捉えようとする様子がうかがえた。また、「車はできるだけ使わない」等の記述があったが、これは車が出す排気ガスが

図6 SPM濃度、交通量および風向風速の調査結果

大気を汚すということを意識した結果と思われる。なお、【試行2】では喫煙の影響を受けることが予想された屋外の喫煙所Dでも調査をした。DのSPM濃度は、たしかに近傍の屋外Aや室内Eよりも高かったが、交通量の多いCよりは低い結果となった。これに対する考察では「たばこを吸う所より、車が通る所の方がSPMが高いので、これからはできるだけ車は使わないようにしたい」という記述が見られた。これは、SPM濃度を介して、たばこに対する汚染のイメージから、車による大気汚染の影響を考察したものと推察される。身近なSPMの発生源の一つとして、たばこを取り上げた本学習の効果かもしれない。すなわち、SPMとたばこの影響を関連づけられる可能性が見い出せたことから、今後は禁煙教育に関連付けた本学習の新しい展開も期待できるであろう。

【試行3】においても「全体的に大気はきれい」、「環境基準に比べてはるかに低い」という考察記述が見られた。一方で、【試行1】および【試行2】の結果とは異なり、【試行3】では交通量の多寡とSPM濃度の関連性は低いという結果となった。

調査前に生徒達に予想させた調査場所の汚染順

位は、 $D > C > B > A \approx E$ と幹線道路沿いが高く室内や道路から離れた川沿いは低いという予想であった。これに対し、実際の調査結果は $B > D > C \approx A > E$ と一部予想に反した。このため、比較的预期通りの調査結果となった【試行1】および【試行2】に比べて【試行3】は、結果の原因に関して複雑な考察を要することとなった。そこで考察の材料を与えるために、既に調査結果が得られていた【試行1】および【試行2】の結果(図6)を受講者に提供したところ、受講者は風向風速に着目して、より高度な考察をする様子が見えた。すなわち、「Dは

交通量が多いが道路に対して風上だったから低く、逆にBは道路に対して風下で近くに線路もあったから高くなったのでは」という考察内容が見られた。また、【試行3】はその他の試行に比べて全体的にSPM濃度が低い、これに対しては「夏に比べて冬は風が強いのでSPMなどが拡散してしまうから」という考察が見られた。確かに秋季および夏季に実施した【試行1】および【試行2】に比べて、冬季に実施した【試行3】は、季節的な特徴である強い風が観測された。つまり地点間の比較や、別の調査結果との比較から、SPM濃度分布の多面的な要因を科学的に考えようとする姿勢が見られた。ただし、【試行3】の受講者は中学生であったため、これと同様の高度な考察が、学齢の低い小学生であってもできるのか、あるいは風向風速に着目するよう誘導する必要があるのかは今後検討すべき課題であろう。

以上述べたとおり、SPM濃度の具体的な数値から大気環境の状態を客観的に捉え、また多面的な環境要因からその理由を科学的に探求しようとする姿勢が見られたことから、本学習は受講者の論理的思考力の向上に資することが期待できた。

5 アンケート調査の結果

本研究で調査したアンケート結果を、先行研究^⑤の結果（Ⅰ、Ⅲの一部、およびⅤ）とともに図7に示した。なお、図7の「先行研究」は、Ⅴの「先行研究-教員」を除いて全て児童の結果であり、前述したとおり、これらの結果は一般的な児童および教員の意識を反映したものと考えられる。なお、先行研究は小学5、6年生を対象にしているのに対し、本研究で扱うアンケート結果は小学4年生8人、5年生9人、6年生1人、中学1年生4人、2年生8人の計30人分と年齢層が広い。本来は学齢を合わせて比較すべきであるが、本研究で得られたデータ数はまだ少なく、学齢を区切ったの解析では統計学上の不確かさが大きくなるため、今回は小学4年生から中学2年生をまとめて受講者の集団と見なし解析を行った。

これ以降に示す有意差の検定にはカイ2乗検定（ $p = 0.05$ ）を行った。はじめに、受講者達の環境問題に関する事前の意識を把握するため、質問Ⅰについて学習前と先行研究を比較した。[A+B]の割合は関心の高さを示すが、学習前と先行研究の結果に差はあまり見られず、有意差も検出されなかった。厳密には対象年齢が異なるものの、本試行の受講者達は、特異的な意識を有したわけではなく、ごく一般的な意識を有していたものと推察された。つまり、後述する本学習に関する教育効果は、今後、この学習を広く普及していった場合の教育効果を予見するものと期待できる。

Ⅰの[A+B]は全体的に学習後に増加しており、環境問題全般に対する関心が高まったように見える。しかし、[A+B]と、関心の低さを示す[C+D]の学習前後における回答割合に、有意差が検出された項目は一つもなかった。一方、先行研究との比較ではⅠ-1の学習後の[A+B]は先行研究のそれよりも有意に高い結果となり、有意差があったのは唯一この項目だけであった。Ⅰ-1は特に学習後のAの割合が高いことから、本学習によって大気（空気）に対する意識が高揚したことが推察された。大気汚染に関する学習後のため、この結果は予想できたが、このような意識が定着することが重要であり、例えば半年後に同じアンケー

トを行うなど、追跡調査が必要かもしれない。先行研究の結果においてはⅠ-6の[A+B]が最も高く、これは本研究の学習前においても同じであった。今や地球温暖化は代表的な環境問題としてメディア等で取り上げられることが多く、子どもたちにもなじみ深かったことが推察された。

ⅡもⅠと同様、全項目で[A+B]の回答割合が学習後に増加したが、学習前後の[A+B]と[C+D]の回答割合の変化に有意差は見られなかった。しかし、A～D全ての回答割合の変化ではⅡ-1のみに有意差が検出され、このⅡ-1では学習後にAの割合が大きく増加していた。本学習を通じて具体的に大気汚染の問題を知ったことで、将来の不安が増した影響が反映されたのかもしれない。

Ⅱ-3は学習後で[A+B]の割合が増加しているが、これは講義の中で「もらったレジ袋がゴミとして焼却されると大気汚染の原因になる」、「家庭の電気を発電するための火力発電も大気汚染の原因である」等と普段の生活行動が実は大気汚染に関係していることを伝えた効果と推察された。つまり、環境負荷の当事者意識が芽生えた効果が、学習後の結果に反映されたのではないだろうか。

この効果はⅤの回答にも見られ、学習前に比べて学習後ではA（自分）の回答が微増していることがわかる。しかしながら、Ⅴの学習前後の回答割合に有意差はなく、いずれもF（国）の回答割合が高かった。先行研究においても児童は「国」と回答する割合が高く、その他の回答割合も本研究の結果と同様であったことから、児童・生徒達は環境保全の最も重要な責任者は国であるという認識を強く持っていることが示唆された。一方、教員では「自分・大人」の回答割合が高いことから、児童よりも環境問題を主体的に捉えている様子がうかがえる。したがって、本学習によって環境負荷に対する当事者意識は芽生えたものの、環境保全の責務に関する主体性までは養われなかったと考えられる。これは子ども達が自らの社会的影響力を認識していない点に起因するのかもしれない。環境教育等促進法に関する基本方針^④では、環境教育によって育成すべき人間像の一つとし

て、環境保全に対し主体性をもつことが重要とされている。将来にわたり係わるであろう環境問題を、子ども達が主体的に捉えられるように、自分達こそが未来の社会を担う重要な責任者であるという認識を持たせる教育が、本学習を含めた環境

教育全般にとって必要なかもしれない。

Ⅲについても、全項目で学習前後における〔A+B〕と〔C+D〕の回答割合に有意差は見られなかったものの、Ⅲ-6とⅢ-7では学習後に〔A+B〕が増加していた。前者については車がSPMの排

＜質問内容＞	
I 世界中で起きている環境問題は、あなたの生活にどれくらいの影響を与えていますか？	
回答	A: とても影響している B: 影響している C: あまり影響していない D: 全く影響していない
I-1	空気のよごれ
I-2	川や海のよごれ
I-3	熱帯雨林や森林が減っていること
I-4	ゴミ問題
I-5	絶滅しそうな動植物がいること
I-6	地球温暖化
I-7	酸性雨
I-8	水不足
I-9	石油資源が無くなりそうなこと
II あなたは次のことを、どのくらいそう思いますか？	
回答	A: とてもそう思う B: そう思う C: あまりそう思わない D: 全くそう思わない
II-1	将来の環境のことが心配だ
II-2	無駄使いやゴミをたくさん出す生活の仕方は変えた方がよい
II-3	自分も環境を悪くさせている一人だと思ふ
II-4	環境のことについてもっと知りたい
II-5	環境問題を解決するには、まずは調査をして状況をよく知ることが大切だ
II-6	環境を守るために進んで行動したい
III あなたは次のことを、どのくらい行っていますか？	
回答	A: いつも行っている B: たまに行っている C: あまり行っていない D: ぜんぜん行っていない
III-1	世界の環境問題について情報を進んで集める
III-2	使わない照明やテレビなどはこまめに消す
III-3	水道の量をこまめに調節したり、トイレの水を大小で使い分けている
III-4	ゴミを資源ゴミとそうでないものに分別する
III-5	地域の清掃活動に参加する
III-6	車はできるだけ使わず、徒歩や自転車を使う
III-7	使い捨て紙コップやペーパータオルは使わない
III-8	紙は裏も使う
IV あなたが住んでいるところの大気(空気)についてどう思いますか？	
回答	A: とてもきれい B: きれい C: 汚れている D: 非常に汚れている X: わからない
V 環境を守っていくために一番重要な責任があるのは誰だと思いますか？	
回答	A: 自分 B: 学校 C: 大人 D: 会社 E: 県市町村 F: 国 G: 民間団体 X: その他

図7 アンケートの質問内容と回答結果

出源であることを本学習で実感した効果、後者についてはゴミが最終的には大気汚染の原因にもなるという因果関係を講義で伝えた効果がそれぞれ反映された可能性が考えられた。一方、先行研究との比較では、Ⅲ-4については学習前と先行研究の差はほぼ無く、一般的な環境保全行動の頻度がうかがえ、学習後においてもその差はあまり見られなかった。しかしながら、Ⅲ-3については先行研究の「A+B」の回答割合が非常に高く、本研究の学習前後いずれに対しても有意差が認められたが、この原因は不明であった。

Ⅳでは学習前後で、「C+D」に対して「A+B」が有意に増加した。これは本学習によって環境基準を理解し、そこから客観的に大気の状態を「きれい」と判断した結果が反映されたものと考えられる。このことは、前節の受講者達の考察内容からも推測された。また、学習後では「わからない」の回答割合が減少していることから、受講者達が本学習を通して大気の状態を客観的に判断できたことが推察された。

以上のアンケート結果から、本学習は大気環境に関する意識を向上させるとともに、環境負荷に対する当事者意識を芽生えさせる効果が示唆された。また、前節で述べたとおり、科学的なSPM濃度の数値から大気環境の現状を客観的に捉え、その状態を公平に判断する体験ができたことがアンケート結果からもうかがえた。したがって、本学習は環境教育の基本方針⁽⁴⁾に沿う教育効果が一定程度期待できるものと考えられた。

V 結論

本研究では、地環研の調査手法を活用してSPMに関する体験型学習プログラムを開発した。これを児童・生徒に対して試行し、学習前後のアンケート結果の比較からこの学習効果を評価した。

事前に標準フィルターを用いたSPM濃度の簡易測定法を開発・検証した結果、環境学習としては十分な精度を有していることを確認した。本学習の指導マニュアルおよび教材は、①SPM濃度の数値に基づき、大気環境の実態を環境基準等から客観的に判断する、②場所によってSPM濃度

が異なることを自らの調査体験をもって認識させる、③SPM濃度が異なる原因を考察させることで大気汚染と人間活動との関連について自発的な「気づき」を促す、というねらいで作成した。

環境学習の試行における受講者の考察からは、調査したSPM濃度と環境基準等との比較から、大気環境の状態を客観的に評価した様子もうかがえ、その様子はアンケート結果にも反映された。また、SPM濃度が、交通量や風向風速等の多面的な要因の影響を受けるということを論理的に考察した様子もうかがえた。この考察は受講者達の論理的思考力の向上に寄与することが期待できた。アンケート結果からは、受講者達の環境負荷に対する当事者意識の向上が示唆されたが、これは本学習によって自らの生活行動と大気汚染の関連に「気づき」を得たためであろう。この「気づき」の効果は、環境保全行動に関するアンケートにおいて、車の使用を抑えるという意識の向上に反映されたものと考えられる。

本学習は、大気環境の状態を科学的に捉え、これを公平な態度で客観的に評価する体験学習の提供になるため、受講者の科学的視点の向上に寄与することが期待できた。

VI 今後の課題

本学習において検討したSPM濃度の簡易測定法は、一般的な屋外環境に対してはそのまま適用できるであろうが、特殊な環境では、その条件に適した標準フィルターを予め作成しなければならないだろう。学習前後におけるアンケート結果については、本学習の実践を重ねてデータを蓄積し、例えば学齢ごとに学習効果を比較する等の検証を深めていく予定である。また、社会問題として高い関心を集めているPM2.5に関して、本研究の手法を応用した学習プログラムを開発することは喫緊の課題と捉えている。

環境教育を大学等で経験した現役の教員が少ないという懸念（日本学術会議 2008）に鑑みて、今後はこのような環境学習を教員あるいは大学生に対しても実施していく必要があると考えている。

謝辞

指導マニュアルおよび教材の作成にあたっては、元前橋市教育委員会児童文化センター（現、前橋市南橋中学校）において環境教育をご担当された渡邊隆志氏、及び群馬県環境政策課においてこどもエコクラブのご担当である近藤豊氏と松村賢一氏の3名から、教育現場を知る教員としての立場から貴重なご助言をいただいた。本研究の企画・進行においては、星野隆昌氏（現群馬県利根沼田環境森林事務所）と近藤尚志氏（現群馬県環境保全課）からご協力をいただいた。試行調査では、前橋環境冒険隊、なんきつエコクラブ、桂萱中学校科学部の皆様からご協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げます。

また、この研究は群馬県新エネルギー推進課の研究開発推進費で行われました。

注

- (1) 環境省,「(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」,
<http://www.env.go.jp/policy/edu//local/02.html> (2014年2月24日アクセス)
- (2) 宮城教育大学環境教育実践研究センター,「環境教育実践事例データベース」,
http://dbec.miyakyo-u.ac.jp/etsuran_j.html (2014年2月24日アクセス)
- (3) 環境省,「環境教育等に関するアンケート調査結果報告書(案)」,
http://www.env.go.jp/policy/suishin_ho/conf/conf1-04/ref01.pdf (2014年2月24日アクセス)
- (4) 環境省,「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 (2014年2月24日アクセス)
- (5) 森脇 剛, 2010,「小学校における「総合的な学習の時間」の改善に係る調査研究－高学年における児童及び教師の意識とESDの理念を取り入れた新しい学びの在り方－」,
<http://www2.gsn.ed.jp/>

houkoku/2010c/10c33/10c33h.pdf (2014年2月24日アクセス)

- (6) 気象庁,「ビューフォート風力階級表(参考)」,
http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/c4.html (2014年2月24日アクセス)

引用文献

- 伊瀬洋昭・横須賀篤, 1999,「ペットボトルで粉じん調査」, 左巻健男・市川智史編,『誰にでもできる環境調査マニュアル』, 東京書籍(株), 東京, pp. 89 - 100.
- 環境省水・大気環境局, 2013,「第3章 浮遊粒子状物質」, 環境省水・大気環境局,『平成23年度大気汚染状況報告書』, 東京, pp.38 - 56.
- 岸本清明, 佐藤祐司, 2010,「兵庫県内小学校における環境学習の現状と障壁: ESD推進のための要件」,『環境教育』, 20: 58 - 67.
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2007,「第3章 環境教育に関する実践事例」, 国立教育政策研究所,『環境教育指導資料目次〔小学校編〕』, 東京, pp. 43 - 96.
- 文部科学省, 2008a,「第2節 第5学年の目標と内容」, 文部科学省,『小学校学習指導要領解説社会編』, 東京, pp. 57 - 68.
- 文部科学省, 2008b,「第3節 第5学年」, 文部科学省,『小学校学習指導要領解説理科編』, 東京, pp. 51 - 63.
- 日本学術会議環境学委員会環境思想・環境教育分科会, 2008,「日本学術会議提言「学校教育を中心とした環境教育の充実に向けて」」,『環境教育』, 18: 60 - 67.
- 岡本弥彦, 1999,「マツの葉で空気の汚れを調べよう」, 左巻健男・市川智史編,『誰にでもできる環境調査マニュアル』, 東京書籍(株), 東京, pp. 162 - 167.
- 寒川 茂, 2007,「小学校環境学習における空气中浮遊粉塵簡易測定法の検討」,『環境教育』, 17: 35 - 43.
- 重森栄一, 1998,「透明粘着テープを使った大気汚染の調査」,『日本環境教育学会第9回大会要旨集』.