

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：82302
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2014～2015
 課題番号：26870844
 研究課題名(和文)PM2.5の見える化と半定量評価による科学的な大気環境学習プログラムの開発と実践

 研究課題名(英文)Development and implementation of scientific experience-based learning program about atmospheric environment with visualization and semi-quantitative measurement of PM2.5

 研究代表者
 齊藤 由倫(SAITOH, Yoshinori)

 群馬県衛生環境研究所・大気環境係・研究員

 研究者番号：30450373

 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：データに基づいて環境問題を客観的、科学的に捉える視点(環境科学リテラシー)を養うために、地方環境研究所が持つPM2.5の専門ノウハウを活用した体験型学習プログラムを作成した。これを児童・生徒に対して実践し、学習の前後でアンケート調査を行った。「環境」に関する自由記述式アンケートを計量テキスト分析した結果、受講者が自ら調査したデータ等に基づいてPM2.5の現状を科学的に理解した様子がかがえた。また、元々高かった環境に関する知的欲求に対して、情報を集めるといふ具体行動が伴うよう喚起されたことが示唆された。この科学的な理解の経験と行動の喚起は、環境科学リテラシーの醸成に寄与するものと期待された。

研究成果の概要(英文)：We made the experience-based learning program for fostering scientific and environmental literacy by applying know-how to investigate PM2.5 of a municipal environmental institute. Questionnaires were carried out to students twice before and after implementation of the program to them. The result of students' free-description questionnaire about "Environment" indicated that the students were able to understand scientifically the status of PM2.5 based on the data investigated by themselves and other data. The students had been already having intellectual appetite about "Environment" before the program, the program might have aroused the concrete action to gather information about "Environment" positively. The scientific and environmental literacy could be fostered by the experience of understanding scientifically and the arousal of concrete action.

研究分野：環境科学

キーワード：環境教育 体験型 地方環境研究所 科学リテラシー PM2.5 アンケート 計量テキスト分析

1. 研究開始当初の背景

かつての公害問題では、原因者と被害者の構図は比較的単純でわかりやすかった。一方、現代の環境問題は、あらゆる人がこの問題の原因者にも被害者にもなり得る複雑性をもつ。これに対処するためには、関わる全市民の総意の下に、合理的な妥協点・解決策を見出すことが望ましい。しかし、環境問題の発生メカニズムやその影響は非常に複雑で、最新の科学的知見であっても未だに一定の不確かさを付随する。そのため、市民がこれを理解するのは難しく、現実には政策実務者や研究者などの一部の専門家がある程度不確かさ(曖昧さ)をもって政策を進めているのが現状である。しかし、このような性質をもつ環境問題に市民が不案内であることは、時として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することがある。このため日本では今、環境問題を科学的かつ論理的に理解し、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によって、環境教育の促進が図られてきた。しかし、多くの環境教育は、知識提供型の普及啓発や自然体験型の感性教育に留まっているように見受けられる。事実、放射能をめぐる風評問題や、PM2.5*に関する一連の騒動は、環境科学リテラシーの醸成に寄与する環境教育が乏しい現状を明示しているのではないだろうか。
* PM2.5は空气中を浮遊する2.5 μm 以下の微小な粒子状物質である。この空气中の質量濃度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)が高いと健康影響があると言われており、環境基準(例えば1日の基準35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)が制定されている。

2. 研究の目的

現在、さまざまなテーマの環境教育が行われているが大気環境に関する教育は少ない²⁾。³⁾その理由は、目に見えない大気は認識がしづらく、それを調べる方法も専門性が求められるためと推察される。しかし、数年前にPM2.5の加熱した報道と、それに伴う騒動があったことを考えれば、PM2.5は環境問題を冷静かつ客観的・科学的に理解する重要性を伝える教育題材として適すると考えられる。

全国の各都道府県には地方環境研究所(以下、地環研)が存在する。それらは、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務めている。PM2.5に関してノウハウと最新の知見を持っているが、これは高い教育効果が期待できる体験学習に活用できるかもしれない。ただし、地環研の調査手法は公定法に則したものであり、操作が煩雑で時間もかかるため、このまま環境教育に活用することは好ましくない。環境教育ではまず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簡便かつ印象的であることが望ましい。すなわち、大気汚染を「見える化」

し、それを簡単に測って数値化できる体験学習が効果的と考えられる。この体験をきっかけに正確な公的データにも着目し、現状を客観的に判断する一連の学習が、環境科学リテラシーの向上に効果的と思われる。そこで本研究では、地環研のノウハウを活用してPM2.5を「見える化」し、それを簡単に半定量測定して、測定結果を考察させる学習プログラムの開発に取り組んだ。

3. 研究の方法

3.1. PM2.5標準フィルターの作成

学習プログラムではPM2.5質量濃度(以下、PM2.5濃度)を簡易に測定することを体験の軸として、この簡易測定法に関する検討を以下のとおり行った。

(1) PM2.5サンプリング装置

PM2.5サンプリング装置を図1に示す。これはポンプで空気を吸引し、そこに含まれるPM2.5を装置にセットしたフィルター上に捕集するものである。PM2.5濃度が高い場合にはフィルターの色が濃くなりやすい。この装置とフィルターは当研究所に既存のものを活用した。



図1 PM2.5サンプリング装置

(2) PM2.5フィルターセットの作成

簡易測定法では、PM2.5濃度が既知の標準フィルターを予め準備し、これとPM2.5濃度が未知のフィルターの色を見比べる官能試験を想定した。ただし、PM2.5は多種多様な化学物質の集合体であり、その成分組成は地域、季節によって異なるため、視覚的なフィルターの色調も地域、季節で変わる可能性がある。そこで、図2に示すとおり空気が清浄と考えられる山間地(嬬恋一般局)、交通量が多く大



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
嬬恋一般局	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

気が汚染していると考えられる国道沿い（前橋自排局）及びそれら2地点の中間的な大気環境と考えられる住宅地（前橋一般局）の3地点で、時期を変えて実際にPM2.5をサンプリングし、PM2.5濃度が段階的に異なるフィルターを作成した（本論ではPM2.5フィルターセットと呼ぶ）。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公開済みの1時間値）を利用した。このフィルターの視覚的な濃さを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（20代～30代の男女10人）に判定させた。フィルターの視覚的な色の濃さと、PM2.5濃度の相関関係を確認することで、PM2.5フィルターセットを標準フィルターとして利用できるか検証した。

3.2. 学習プログラムの開発（教材作成）

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。受講対象者は、社会の授業で「環境の保全」や「産業と国民生活との関連」を学ぶ小学5年生から上を基本とした。指導マニュアルと教材は、小学生用と中学生用を整備したが、基本的な学習内容は変えず年齢に応じた文章表現のみを変えた。これらの教材の作成においては、研究協力者である小中学校教員の意見を得ながら行った。

3.3. 学習プログラムの実践と評価

学習プログラムを実践するため、当研究所ホームページで広報をしたり、群馬県教育委員会を通じて小中学校へ案内をしたりして受講団体を募った。教育効果を評価するために、25項目の択一式設問と自由記述式のアンケート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、択一式は「環境問題に関する意識・知識」や「環境保全に関する行動」、「大気汚染に関する理解」などで構成した。記述式では「環境のことについて思うこと」を自由に記述させる形式とした。

4. 研究成果

4.1. PM2.5フィルターセット

各地点及び時期に作成したPM2.5フィルターセットの中から、2014年5月に前橋一般局で作成したものを一例として図3に示した。丸いフィルターの黒ずんでいる部分がPM2.5が捕集されたところで、その周りの白い縁はPM2.5が付着していない部分である。このようにフィルターの色で、普段は認識しづらいPM2.5の存在を視覚的に体感（見える化）することができる。

フィルターセットに対する官能試験の結果



図3 PM2.5フィルターセットの一例(単位は $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

を地点別に図4に示した。官能試験結果（スケール）は、試験者10人の結果を算術平均したものである。多少ばらつきはあるものの、いずれの地点、時期においてもPM2.5濃度とスケールの間には良い正の相関関係が見られた。なお、嬭恋一般局の12月については、PM2.5濃度が低く、十分な濃度範囲のフィルターセットを作成することができなかった。しかし、他の地点、時期の状況から、嬭恋の12月もPM2.5濃度とスケールは相関するものと推察された。つまり、視覚的な色の濃さを指標に、PM2.5濃度を半定量的に簡易測定しても問題ないことが考えられた。なお、前橋自排局は他の2局よりも、同じPM2.5濃度であっても有意 ($p < 0.05$) に濃く見えることがわかった。これは、化石燃料の燃焼等によって発生する黒色炭素（すす）が影響している可能性が考えられる。そのため、交通量が多い沿道の地点では、前橋自排局のフィルターセットを標準フィルターとして使い、それ以外は、前橋一般局の中間的なフィルターセット（2014年5月、2015年3月）を標準フィルターとして利用すれば良いだろう。

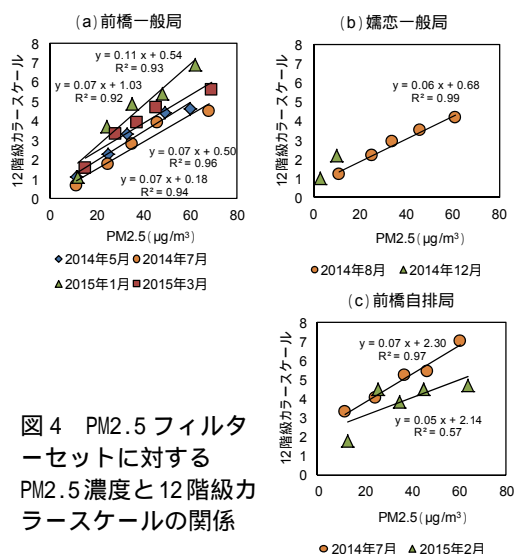


図4 PM2.5フィルターセットに対するPM2.5濃度と12階級カラースケールの関係

4.2. 学習プログラムの概要

学習プログラムには、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も定めた（図5）。教材は講義及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。学習内容は次のとおりである。

第1回はまず、大気汚染に関する歴史や環境基準の設定等の一般的な事項を座学形式で学習する。その後、受講者が自らPM2.5サンプリング装置（図1）を組み立て、周辺の屋外等にこれをセットしてPM2.5をサンプリングする。調査場所では、その場所の周辺環境を観察し、風向風速の調査や、道路が隣接する場合は交通量調査も行う。

第2回は初めに第1回の復習を講義形式で行い、その後サンプリングしたフィルターのPM2.5濃度を簡易測定法で求める。この結果

に加えて公的データも併せ、「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」、「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」の順で考察をさせる。

本学習プログラムは全2回で2日間のスケジュールを基本に設計したが、授業時間の限られる学校では、より短時間で終了する学習内容が受け入れやすいことも考えられた。そこで、1日2時間で終了するコースも設け、便宜上前者を2日コース、後者を1日コースとした。1日コースでは2日コースの第1回で行うPM2.5 サンプルング等の調査を研究所の職員が代行し、あとは2日コースの第2回と同じ内容とした。

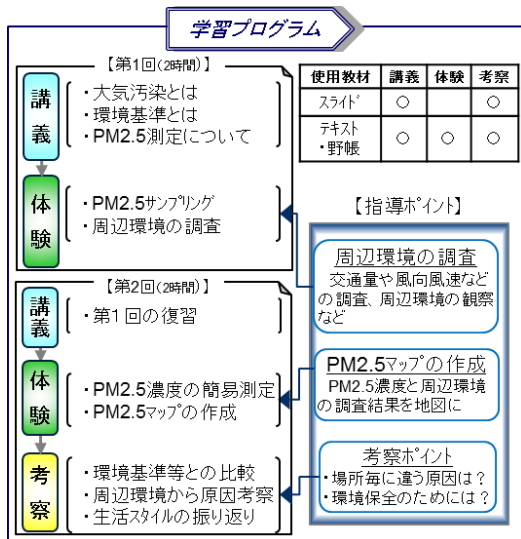


図5 学習プログラムの概要

4.3. 学習プログラムの実践

表1に示すA~Fの6団体に対して学習プログラムを実践した。団体B、D、Fには小学生用の教材を、それ以外は中学生用の教材を使用した。実践の一例として、団体Aの様子を図6に写真で示した。なお、いずれの団体も交通量の多い国道沿いでの調査がなかったため、簡易測定法におけるPM2.5標準フィルターは前橋一般局のフィルターセットを使用した。調査結果の一例として、団体Aに実践した際の結果を図7に示した。調査した5か所のうち、比較的交通量の多い地点Dにおいて1日の環境基準35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を若干超えた。これに対する生徒の考察内容を例示すると、「車の来る数によって差が出る」、「環境基準と比べると4地点は下回ったけれどしのめ信金(D)は越えた」、「屋上(B)とみずき通り(C)は数値が同じなのは場所と発生したPM2.5が高く舞い上がったから。風の強い風速だったから」(いずれも原文のまま)というように、得られたデータに基づき、風にも着目しつつ調査結果を論理的に考察しようとする様子が見えてきた。他の団体の調査結果のうち、PM2.5濃度の結果のみを表1に示した。喫煙所では極端に高いPM2.5濃度が観測されたが、

それ以外はいずれの団体の結果においても環境基準を少し超える地点が1か所存在するといった状況であった。いずれの団体も前述の団体Aと同様の考察内容が出された。

表1 実施団体とPM2.5濃度の調査結果

実施団体	学年	人数	実施時期	コース	PM2.5濃度 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
A	みずき中科学部	中1~3	18	2014年6月	2日	19~41
B	イオン高崎エコクラブ	小5~中1	8	2014年7月	1日	17~28(95)
C	大間々高校	高3	16	2015年7月	2日	30~54
D	元総社北小	小5	34	2015年7月	1日	17~23(46)
E	県内教員研修	教員	11	2014年10月	1日+a	23~46
F	夏休教室	小5~中2	12	2015年8月	1日+a	16~48

PM2.5濃度の()内の数値は、喫煙所における測定結果である



図6 団体Aにおける実践風景



図7 PM2.5調査結果(団体Aの事例)

4.4. 学習プログラムの評価

6 団体中、教員の団体 E にはアンケートを実施しなかった。また団体 F ではアンケートを実施したが、通常の 1 日コースよりは学習内容を大幅に拡張させたため、この団体とその他の団体のアンケート結果を同列に扱うのは好ましくないと考えられた。そこで、本報告では主として団体 A~D のアンケート結果を解析して教育効果の評価を行った。2 日コースは第 1 回と第 2 回の学習の間が 1~2 週間程度あいたため、その分学習前後のアンケートの間隔も同程度あいた。しかし、1 日コースの場合は当日中に学習前後のアンケートを取ったため、「環境保全行動」の回答は基本的に変わらないと考え、集団 B と D に対しては学習後のアンケートからこれを除いた。

択一式アンケート結果の一部を表 2、3 に示した。表には比較のために小学生エコクラブ(団体 Z(学習内容は同一だが、別の大気汚染物質を調査))の結果も示した。表 2 からは、いずれの団体でも多くの者が環境について知りたいという意識を持っていたことがわかる。これは学習の前後であまり差はない(平均して学習後は 6%増加)。しかし、表 3 のと

表 2 「環境のことについてもっと知りたい?」の Yes 回答率 (%)

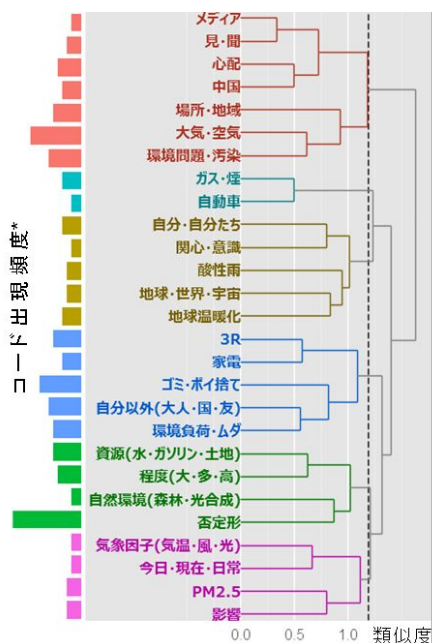
集団	回答総数(人)	学習前	学習後
A	15	80%	100%
B	8	100%	88%
C	16	83%	88%
D	33	88%	94%
Z*	18	83%	94%

*小学生エコクラブ：別の大気汚染物質を調査したが教育プログラムは同一

表 3 「世界の環境問題について情報を進んで集めてる?」の Yes 回答率 (%)

集団	回答総数(人)	学習前	学習後
A	15	27%	53%
B	8	50%	-
C	16	0%	25%
D	34	35%	-
Z*	18	39%	56%

*小学生エコクラブ：別の大気汚染物質を調査したが教育プログラムは同一

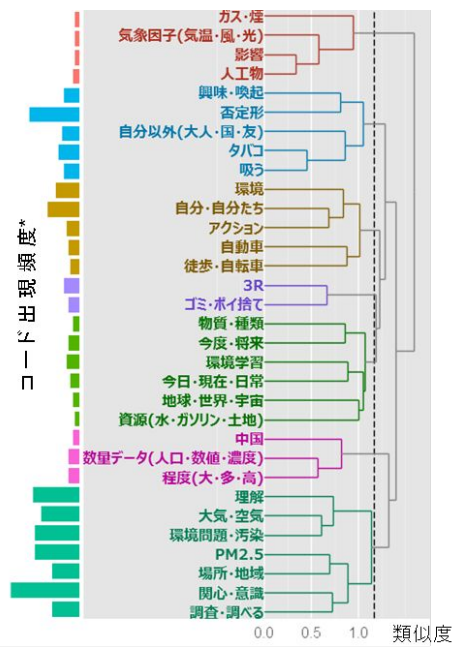


*最小の横棒グラフが出現頻度2回を意味する

図 8 抽出語コードのデンドログラム【学習前】

おり情報収集という実際の行動をとっていた者は、学習前ではいずれの団体も半分以下と少なかった。それが学習後にはアンケートをとった団体全てで増加した(平均して学習後は 23%増加)。学習後はアンケートを実施しなかったが、この点は団体 B と D の受講者も増加していたかもしれない。元々興味・関心はあったが、環境の情報を調べるハードルが高かったか、あるいはそのような視点が無かったのが、本プログラムで一度経験したことで、ハードルが下がり実際の行動に移った可能性が考えられる。つまり、環境の情報という点において、意識に行動が伴うようになることが本教育の一つの効果かもしれない。

自由記述式アンケートの解析では、計量テキスト分析によって文章から抽出された単語一つ一つが解析対象のデータとなる。そのため、選択肢が限られた択一式アンケートに比べて扱うデータ量が豊富となる分、出力される結果も増える。そこで、自由記述式アンケートの解析では各団体毎ではなく、比較的学齢の近い団体 A(中学)、B(小・中学)、D(小学)の記述内容をまとめて計量テキスト分析を行った。文書数は、学習前が 49 文に対し学習後は 82 文で、総抽出語数も学習前が 674 語に対し学習後は 1318 語と増加した。抽出語を、それが意図する事柄に応じて 40 のコードに分類した(コード化)。たとえば抽出語の「自分」「私」「一人ひとり」「一人」「一人一人」「全員」は、【自分・自分たち】にコード化した。一方、抽出語「大人」「国々」「友達」「妹」「人」「国」は、【自分以外(大人・国・友)】にコード化した。コード同士の関連性を見るために、クラスター分析(類似度: Jaccard 係数、クラスター化: ward 法)を行った(図 8、9)。学習前(図 8)では、【メディア】、【見・聞】、【心配】、【中国】、【場所・地域】、【大気・空気】、【環境問題・汚染】の関



*最小の横棒グラフが出現頻度2回を意味する

図 9 抽出語コードのデンドログラム【学習後】

連が強かった。またかつて環境問題の代表例であった【酸性雨】や、今や世界の環境問題として共通認識となった【地球温暖化】が、【関心・意識】と関連が強かった。これらのことから窺い知れる受講者たちの意識には、メディアを通じた中国での深刻な環境問題に対する懸念や、知名度の高い環境問題に対する関心があったことがわかる。一方、学習後（図 9）は、【中国】、【数量データ(人口・数値・濃度)】、【程度(大・多・高)】の関連が強く、またその隣のクラスターには【理解】、【大気・空気】、【環境問題・汚染】が含まれていた。このことから、数量データをもとに大気汚染の状況、中国の状況を理解した様子がうかがえた。また、【PM2.5】、【場所・地域】、【関心・意識】、【調査・調べる】が繋がったが、この原文の一例を見てみると、「家の PM2.5 を知りたい!」(原文のまま)というように、今回の調べ学習を契機に、他の場所の PM2.5 のデータについても関心が芽生えたことが推察された。

団体 A、B、D の択一式アンケートの「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?」について、「わからない」の回答割合が学習前の 35%から学習後は 16%に低下した。前段の自由記述式アンケートの考察を踏まえると、これは本学習プログラムによって大気環境の状態をデータから客観的に判断する経験ができたことを示唆する結果と考えられる。このような経験は、科学的な情報を基に、冷静かつ客観的に環境の状態を判断する環境科学リテラシーの醸成に寄与するのではないだろうか。

<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) 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月時点)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

1. 齊藤由倫, 田子博, 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 -, 全国環境研会誌, 査読無, 41(1), 28-34, 2016, <http://tenbou.nies.go.jp/science/institute/region>

/journal.php

2. 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, 査読有, 58, 48-59, 2015.

〔学会発表〕(計6件)

1. 齊藤由倫, 田子博. 環境問題の科学リテラシー向上を目指した環境学習における地環研ノウハウの活用, 第31回全国環境研究所交流シンポジウム, 茨城県つくば市, (2016年2月).
2. 齊藤由倫, 田子博, 松田錦弥. 科学的な視点を養う環境教育 - 研究所のノウハウを活用して生徒自らが調べる PM2.5 -, 平成27年度全国環境研協議会関東甲信静支部大気専門部会, 静岡県・静岡市, (2015年11月).
3. 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, 愛知県・名古屋市, (2015年8月).
4. Yoshinori Saitoh, Hiroshi Tago. Kuniyoshi Kozawa. Experience-based Learning with Analytical Perspective about Atmospheric Environment focused on PM2.5 in Japan. World Environmental Education Congress 2015, Gothenburg(Sweden), (2015年6月).
5. Yoshinori Saitoh, Hiroshi Tago. Development of Experience-based Learning about Atmospheric Environment with Quantitative Viewpoint aimed at Education for Sustainable Development. American Geophysical Union FALL MEETING 2014, San Francisco(U.S.A.), (2014年12月).
6. 齊藤由倫, 田子博, 小澤邦壽. 大気環境に関する新しい体験型学習の開発と評価 - 地方環境研究所の活用 - 日本環境教育学会第25回大会, 東京都・千代田区, (2014年8月).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.pref.gunma.jp/07/p07100039.html>
<http://www.pref.gunma.jp/07/p07100033.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤 由倫 (SAITOH Yoshinori)

群馬県衛生環境研究所・大気環境係・研究員

研究者番号: 30450373