

# 大気汚染を題材とした環境化学教材の開発

## 及び探究活動での実践



実施担当者

国立大学法人奈良女子大学  
附属中等教育学校  
教諭 松浦 紀之

### 1 はじめに

子どもたちに地域の自然に興味を持たせることは、環境教育の第一歩である。しかし、現代の中学・高校生に対して、自然と主体的に関わらせることは容易ではない。そこで、「大気環境・大気汚染」を題材にすることで、生徒に身近な自然現象に興味を持たせ、知識・技能の活用を実感させることを目的とした。

大気汚染物質の性質と特徴について、その発生源、生物への影響、気象や地形、歴史、健康等と関連させた授業を設計した。また、生徒の探究活動として、モデル住宅を想定した室内大気環境の可視化、疑似光化学オキシダントの合成などに取り組んだ。

生徒にとって身近であり、かつ水環境に比べ教材が少ない大気環境を題材とすることで、自然を総合的に理解し、学んだ知識を次の学びへつなげるとともに、環境保全に主体的に働きかける能力の育成につながる。大気環境の教材は、多くの教科・科目に関連付けることもできるため、「生徒の学びの在り方」を踏まえた授業改善の視点からも有効である。

本報告では、生徒が設定した大気汚染を題材とした課題研究、及び成果普及について記載する。

### 2 実践内容

#### 2-1 大気汚染を題材とした課題研究のテーマ設定

本校サイエンス研究会化学班（課外の理科クラブであり、前期課程1～3年・後期課程4～6年の希望生徒が所属する）では、これまでも大気、水質、土壌等の環境調査に必要な簡易の測定法や測定装置の開発を行ってきた。生徒たちは、大学などにある高価な装置ではなく、手作りの装置により環境中の化学成分の定量分析を行い、市販の測定装置に劣らない結果を得ることで、研究に対する自信を深めてきた。

今回の助成で大気汚染を題材とした題材として生徒研究を進めるにあたり、化学班では以下の取組を行った。

<窒素酸化物測定の実験（4月）>

代表的な大気汚染物質の一つである窒素酸化物  $\text{NO}_x$  は、水に溶解させると亜硝酸イオン  $\text{NO}_2^-$  と

なる。この  $\text{NO}_2^-$  の量をザルツマン法により求めることで、大気中の窒素酸化物の濃度を見積ることができる。

光化学スモッグの生成や室内における大気汚染物質の循環等をテーマに研究に取り組もうとする生徒（前期課程1～3年）に対して、本校理科教員がザルツマン法の測定実習を行った。実習で身に着けたスキルを、生徒自身の研究に活用させることを意図したものである。



#### <新入生対象の体験会（5月）>

新入生（1年生）を対象とした実験体験会を開催した。化学班の2年生以上の生徒が講師役となり、事前に準備した演習実験の紹介（新型コロナウイルス感染防止対策として、器具の共有等について配慮した）や昨年度の生徒自身の研究紹介を行った。

#### <研究テーマ設定と研究活動（5月～）>

化学班生徒の個人またはグループにて、大気汚染をテーマとして、自身の興味や疑問点等を整理し、顧問教師や化学班生徒同士とのディスカッションの機会を設けた。必要に応じて大学教員や研究所の研究員等、専門家へのインタビューなどを行うことで、自身の研究に対する知識を深めていった。

生徒から提案された研究構想、及び実際に取り組んだ実験を紹介する。

### (1)大気中のアルデヒドの簡易定量

中学理科や高校化学では、ベネジクト液やフェーリング液を用いて還元糖を検出する実験を行う。これは、ベネジクト液やフェーリング液中の銅(II)イオン  $\text{Cu}^{2+}$  と還元糖中のホルミル基  $-\text{CHO}$  との酸化還元反応により、酸化銅(I)  $\text{Cu}_2\text{O}$  の赤色沈殿が生じる反応を利用している。そこで、大気中に含まれるアルデヒド（例えば、ホルムアルデヒド  $\text{HCHO}$  はシックハウス症候群の原因物質とされている）の検出や定量ができないか検討した。 $\text{HCHO}$  を含む模擬汚染大気を作成し、食品中の糖類の定量測定に用いられるベルトラン法やソモギー法を応用することで、大気中のアルデヒド濃度を求めようというアイデアである。



練習実験として、様々な濃度のグルコース水溶液にフェーリング液を加え加熱し、生じた  $\text{Cu}_2\text{O}$  を回収して硫酸鉄(III)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  水溶液に溶かし、この溶液を濃度既知の過マンガン酸カリウム  $\text{KMnO}_4$  水溶液による酸化還元滴定を行うことで、もとのグルコース濃度を見積もった。今後、模擬大気中の  $\text{HCHO}$  の定量のために、吸引ポンプによりフェーリング液を吸収させ、同様の操作により定量できるかを確認する予定である。

（補足：大気中のアルデヒド濃度の測定には、パケットテストによる方法、アセチルアセトン吸光度法、ジニトロフェニルヒドラジン(DNPH)－高速液体クロマトグラフ(HPLC)法などがある。）

### (2)可燃性気体の燃焼実験

中学理科や高校化学では、水素  $\text{H}_2$ 、メタン  $\text{CH}_4$  やアセチレン  $\text{C}_2\text{H}_2$  などの燃焼（爆発）実験が扱われる。そこで、爆発範囲が狭い酢酸  $\text{CH}_3\text{COOH}$  やアンモニア  $\text{NH}_3$  についても空気や酸素  $\text{O}_2$  との混合気体とすることで燃焼させることができないか検討した。

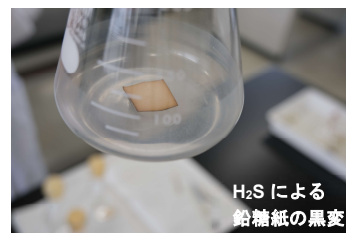


ペットボトル内に  $\text{CH}_3\text{COOH}$  や  $\text{NH}_3$  と空気（または  $\text{O}_2$ ）を様々な割合で混合し、自作したステンレス電極を取り付け、高圧電源装置により放電することで点火した。文献<sup>2)</sup>で示されている燃焼範囲内では、燃焼することが確かめられた。生徒らは、燃焼後に生じた生成物に興味を持っており、その成分分析を行うことが今後の課題である。

（補足：燃焼実験の際には、燃焼容器周辺をアクリル板で多い、顧問教員の立会いにより実施した。）

### (3) 室内大気の流れの可視化

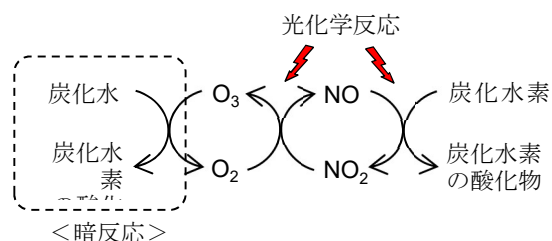
鉛糖紙（酢酸鉛(II)  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  水溶液を浸み込ませて乾かしたろ紙）を水で湿らせ、硫化水素  $\text{H}_2\text{S}$  に触れさせると黒変（ $\text{PbS}$  の生成）する。これより鉛糖紙は、硫化物の検出に用いられる。そこで、学校の教室や住宅の部屋などの 100 分の 1 スケールの模型を製作し、気体の  $\text{H}_2\text{S}$  を発生させ、模型の部屋内に複数置かれた鉛糖紙の変色の具合から、室内の空気の流れ（換気の様子）を可視化することを計画した。これにより、窓の開閉による化学物質を扱う安全性にどの程度の差がでるか実感できる。感染症対策手法の視覚化・啓発にも活用できる。



集気瓶内（容量約 300 mL）で、気体の  $\text{H}_2\text{S}$  と鉛糖紙を反応させると、鉛糖紙は黒変した。しかし、部屋の模型のように容積がさらに大きくなると、大気中の  $\text{H}_2\text{S}$  の拡散速度が制御できずに、空気の流れの可視化までには及ばなかった。 $\text{H}_2\text{S}$  は危険であるため、他の気体とその検出紙との組み合わせによる実験を検討している最中である。

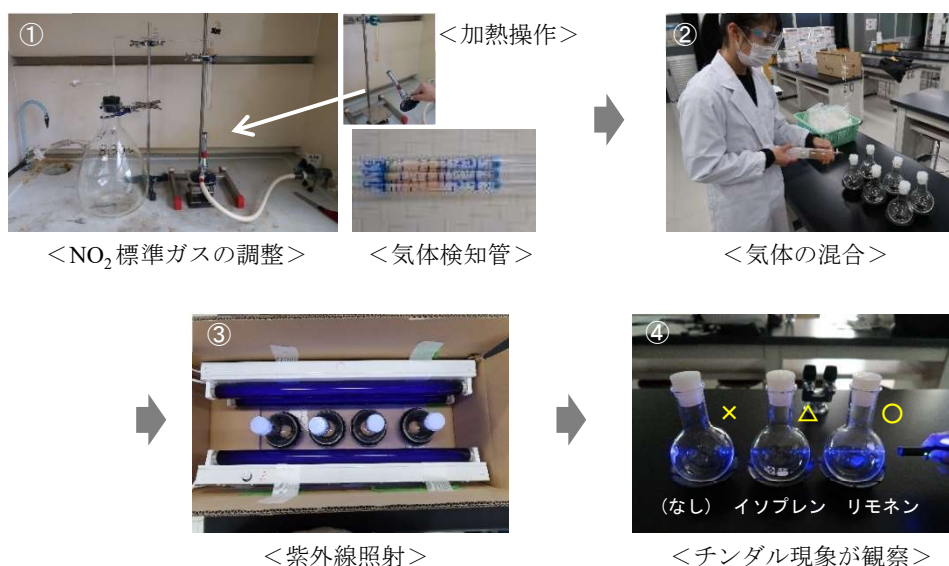
### (4) 疑似光化学スモッグの生成（12月成果発表会で発表）

大気中の光化学オキシダントは、自動車や工場から排出される汚染物質の二酸化窒素  $\text{NO}_2$  や炭化水素  $\text{C}_x\text{H}_y$  が混ざり、紫外線が当たることで生じる。そこで、この光化学反応をフラスコ内で再現する実験を計画した<sup>3)</sup>。



硝酸鉛(II)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  を加熱することで  $\text{NO}_2$  を発生させ、一定体積の大型容器内に入れ空気で希釈し、 $\text{NO}_2$  の濃度を決定した（写真①）。気体検知管による確認の結果、0.344 ppm であった。

一定量の  $\text{NO}_2$  と揮発性の有機化合物（ブタン、イソプレン、リモネン等）をフラスコ内に入れ（写真②），段ボール箱内で 365 nm の紫外線を一定時間照射した（写真③）結果、のフラスコ内は曇って見えた。このフラスコ内にレーザー光を当てると、光の通り道が明るく見えた（写真④）。これよりエアロゾル（疑似光化学スモッグ）が生成したことが分かった。現在、フラスコ内で発生したエアロゾルの定量化に取り組んでいる。



他にも、窒素酸化物（ $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ）が水に溶解することによる模擬酸性雨の生成について、空気や酸素との混合比を変えることで、水溶液中に生じる化学種（硝酸イオン  $\text{NO}_3^-$ ：亜硝酸イオン  $\text{NO}_2^-$  の比など）に違いがあるかを調べる実験などが提案された。



## 2-2 成果普及

生徒の課題研究の成果は、本校の学園祭化学展（10月2, 3日）、中谷財団成果発表会（12月26日）、本校「公開研究会」（2月18, 19日）において、発表・公開した。また、昨年から継続している他校の理科クラブ生徒とのオンライン交流会を開催し、相互に生徒研究活動の交流を行うことができた。

実施担当者が講師を務める奈良女子大学の教職科目「中等教科教育法理科Ⅰ」（理学部の学生23名）において、生徒の課題研究の取組や開発した教材等を講義教材として活用した。さらに、奈良女子大学の「教育実習」（6月）及び「教職実践演習」（12月集中講義）を履修する学生（中学校・高校化学選択者）を対象として、気体に関する実験・実習方法の紹介、サイエンス研究会の活動紹介（見学）、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する質疑応答を行った。

昨年度は新型コロナウイルス感染症対策として中止となった京都府精華町の小中学校新規採用者及び理科教育推進委員の教員を対象とした「夏季理科実験研修会」を、今年度は対面にて開催することができた（8月3日、会場：精華町立精華中学校）。ここでは、小中学校の理科の授業で利用する実験器具や薬品の取り扱い、廃液の処理方法などについての説明、金属の性質を題材に、性質の確認実験や無電解めっきの実習を行った。また、助成テーマである「大気汚染物質」に関して、中学生向けに開発した教材を実際に体験し、各校での授業にどの様に活用できるかについて考える機会とした。校種を超えた情報交換の場となった。



## 3 まとめ

これまで、実験や観察を通じて自然科学の現象を生徒自身で確かめることに重きを置いて、理科の授業や探究活動の指導を行ってきた。今回の助成により、(1)生徒自身が授業や探究活動の中で必要な主体的な学びの獲得し、考えるプロセスの楽しさを実感でき、(2)生徒の考えた研究構想には、高校化学の教科書に記載されている様々な反応（無機物質、有機化合物、酸化還元反応等）が利用されており、生徒が横断的に知識を身に付け、活用する力が育成され、そして、(3)本実践はSDGsの観点から、環境・持続可能性を意識した啓発教材となった。

生徒アンケートの結果からも「目的がはっきりして分かりやすい」「私たち一人一人が環境保全を意識し、問題の原因を低減させることが大事」等、活動に対する肯定的評価が多かった。これより、知識・技能の探究活動での活用、様々な大気環境課題を俯瞰し、課題発見・解決へとつなげる教材・実践モデルへと導くことができた。

## 謝 辞

本研究は、公益財団法人中谷医工計測技術振興財団の助成を受けて実施することができました。得られた成果は、課題研究における実践モデルとして教育現場に還元していきたいと思っております。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 石津丹勇, 化学と教育 2003, 51, 261.
- 2) 柳生昭三, 安全工学 1965, 4, 36.
- 3) 埼玉県立蕨高等学校化学部, 第52回日本学生科学賞作品集, 2008.