

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」  
平成29年度 研究活動報告書

## 大気中の化学汚染物質測定法の開発

国立大学法人奈良女子大学附属中等教育学校  
サイエンス研究会・化学班

## 1. 研究の背景と目的

大気汚染について、日本国内では対策が進んでいるため話題になることは少ないが、世界に目を向けると、大気汚染は深刻な問題として取り上げられている。

高校生が大気や水質の調査を行うときは、パックテストや気体検知管などを用いることが多い。これらは誰にでも簡単に取り扱いができ、測定自体が短時間で終了するといったメリットがあるが、測定法の測定精度は高くはない。一方、イオンクロマトグラフのような高価な装置を用いると、高精度の測定が可能であるが、このような設置している高校はほとんどない。

本研究では、高校で学習する「酸化・還元反応」や「有機化合物」を利用して、精度よく大気成分の検出・測定装置の製作や測定方法を開発することを目的とする。

## 2. 活動の内容

## (1) 出前講義

① 日時：平成29年10月21日(土) 10:00～12:30

場所：奈良女子大学 G棟

内容：(1)アゾ染料の合成、(2)塩素および二酸化硫黄による脱色反応、(3)市販のシャンプーおよびリンスに含まれる界面活性剤に関する定性実験、(4)奈良女子大学理学部「サイエンス・オープンラボ」受講の大学生との懇談

講師：奈良女子大学大学院自然科学系

教授 三方 裕司先生、准教授 竹内 孝江先生

准教授 高島 弘先生

奈良女子大学学生(3, 4回生) 19名

参加：サイエンス研究会・化学班、及び、5・6年「化学」選択希望者 計13名



## (2) 見学

① 日時：平成29年8月9日(水)、10日(木)

場所：神戸国際展示場

見学の目的：「平成29年度スーパーサイエンスハイスクール生徒研究発表会」の見学。他校の生徒がどのような科学研究を行っているのかを聴いて、自分の研究に活かしたり、刺激を受けたりするため。

② 日時：平成29年9月23日(土)

場所：京都大学 北部構内 理学研究科6号館

見学の目的：研究発表会「京都大学への架け橋」の見学。京都大学と奈良県との連携協定に基づく高大連携事業。奈良県の他校の生徒の研究発表を聴いて、互いに刺激を受けるため。

③ (今後の予定) 環境の学習を行うために、春休み中に博物館などを見学する予定。

### (3) 研究成果の発表

① 日時：平成30年2月17日(土) 12:15～13:30 (予定)

発表の場：奈良女子大学附属中等教育学校 公開研究会

発表題目：「サイエンス研究会・ポスター発表」

中性KI法およびインジゴ法による大気中のオゾン濃度の測定の紹介

発表者名：山口 華佳(5年), 大野 華子(5年)

### 3. 研究の成果

私たちは、まず大気中に含まれる汚染物質の一つである窒素酸化物について、生成実験と検出実験を行った。

#### (1) 二酸化窒素および一酸化窒素の生成実験

実験室で窒素酸化物( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ )を生成させる方法を検討した。一酸化窒素  $\text{NO}$  の生成では、教科書に記載されている方法(銅と希硝酸との反応, 窒素雰囲気下)では、水に溶けにくい無色の気体( $\text{NO}$ )の他に、少量の赤褐色の水に溶ける気体(二酸化窒素  $\text{NO}_2$ )も発生することが分かった。

#### (2) ザルツマン法による大気中の二酸化窒素の定量測定

自動車の排気ガスなどに含まれる二酸化窒素は、ザルツマン法<sup>1)</sup>と呼ばれる比較的簡単な方法により、高校生でも手軽に測定できる。この方法はザルツマン試薬とトリエタノールアミンを利用した方法である。トリエタノールアミンと大気中の二酸化窒素の反応からトリエタノールアミンの亜硝酸塩を生成させ、ザルツマン試薬のスルファニル酸や *N*-1-ナフチルエチレンジアミンと反応させた。このときに生じる赤色のアゾ色素より、二酸化窒素の存在を確認することができた。

次に、光化学オキシダントの主成分であるオゾンに注目した。

#### (3) オゾンの生成実験

オゾン  $\text{O}_3$  は酸素  $\text{O}_2$  の同位体で毒性が強い。実験室では、オゾンを無声放電によって発生させることができるが、今回は、簡易放電装置を用いて発生させた。

簡易放電装置は、文献の方法<sup>2)</sup>を参考にして製作した(図1)。試験管内に空気(または酸素)を充填してから、安全ピン2本とプラスチック注射器(60 mL)の針を差したシリコンゴムで栓をした。2本の安全ピンは、高圧電源装置(高圧電源装置:東京コネット SWH-6028(DC 9V, 出力 DC 5kV, 50  $\mu\text{A}$ ))に接続した。注射器のピストンを引いて試験管内を減圧することで、2本の安全ピンの間で放電させた。放電後の試験管の口にヨウ化カリウムデンプン紙を近づけると青色になったことから、オゾンの生成が確認できた。 $\text{O}_3 + 2\text{KI} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{KOH} + \text{O}_2$

生じたオゾンと様々な色素(メチルオレンジ(橙), インジゴカルミン(青), ブリリアントグリーン(緑), チモールブルー(青))の0.5%水溶液とを反応させると、これらの色素は脱色した。



図1. 作成した簡易放電装置

#### (4) 模擬大気実験装置の製作と中性KI法およびインジゴ法によるオゾンの半定量実験

大気中のオゾン濃度測定を行うために、オゾンを含む模擬大気をつくり、この大気中のオゾンの定量測定を行うことにした。まず、模擬大気実験装置を製作した(図2)。塩ビパイプで45 cm × 45 cm × 135 cmの直方体にポリエチレンシートをかぶせたチャンバーを用意した。気体乾燥塔の内部に設置したオゾンランプ(セン特殊光源(株), 低圧水銀ランプ SL5DH, 3 W)を点灯して、オゾンを発生させた。このオゾンを含む空気を観賞魚用のエアープンプで送り込み、このチャンバー内の小型扇風機で気体を攪拌して濃度を均一にしてから、気体取り出し口に付けたチューブからオゾンを含む模擬大気を吸引した。気体の吸引は、観賞魚用のエアープンプを改造(排出ポンプを吸引ポンプにした)したものを利用した。オゾンの発生はオゾンランプをアルミホイルで覆うことで調整した。

吸引したオゾンを含む模擬大気は、緩衝液を含むヨウ化カリウム水溶液に通じた(中性KI法<sup>3)</sup>)。ヨウ化カリウムとオゾンとの酸化還元反応によって生じたヨウ素は、分光光度計(352 nm)により比色定量した。また、ヨウ化カリウム水溶液をインジゴの水溶液に代えて同様の実験を行った(インジゴ法)。青色のインジゴがオゾンによって分解して退色するため、退色の程度を分光光度計(600 nm)を用いて測定した。公定法である中性KI法と色素の退色反応を利用したインジゴ法には相関があったことから、色素を利用した方法がオゾン濃度の検出に使えることが確認できた。

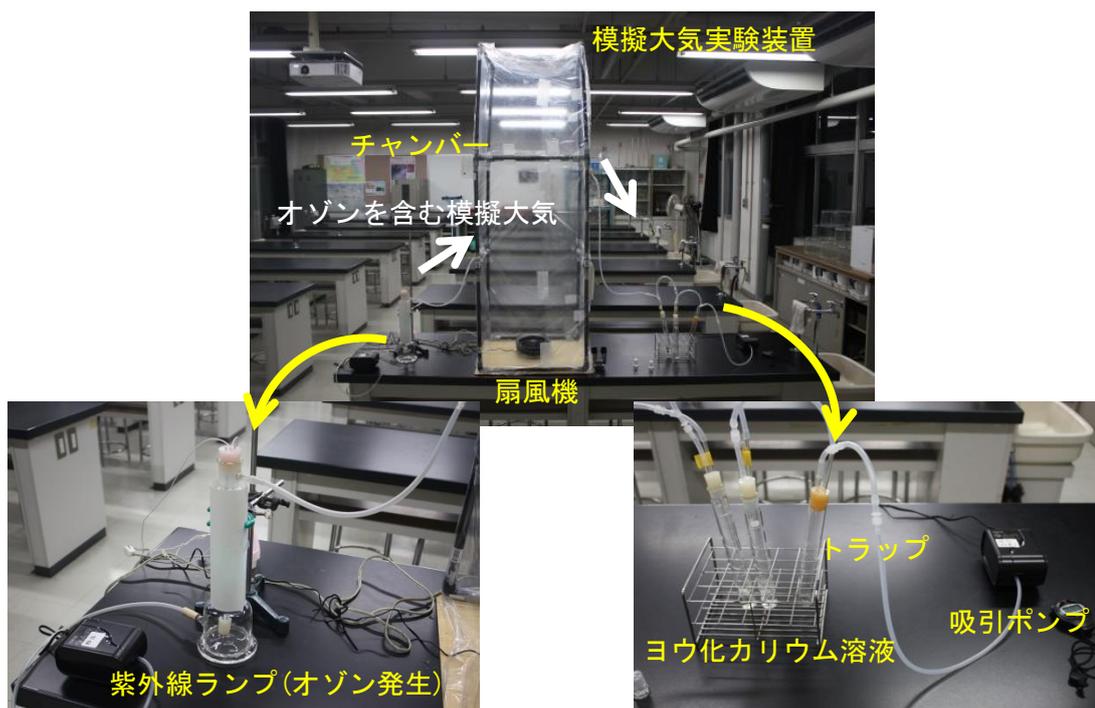


図2. 模擬大気実験装置(紫外線ランプで発生させたオゾンをチャンバー内に導入する。チャンバー内の小型扇風機で攪拌された模擬大気を、吸引ポンプで吸引し、比色管内のヨウ化カリウム水溶液に一定時間通じた。生成したヨウ素は分光光度計で測定した。)

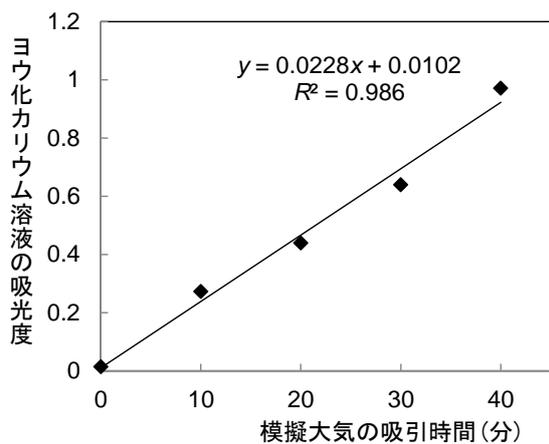


図 3. 中性 KI 法 (352 nm の吸光度と模擬大気吸引時間の関係)

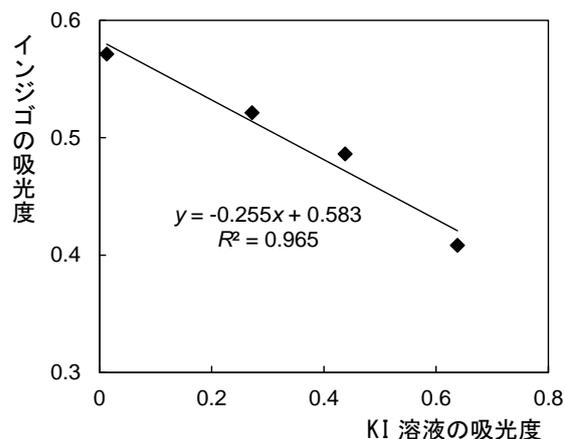


図 4. 中性 KI 法 (352 nm の吸光度) とインジゴ法 (600 nm の吸光度) の関係

#### 4. まとめ

本研究では、(1)窒素酸化物の生成と検出について、(2)オゾンの生成と検出について 検討を行った。

##### (1) 窒素酸化物の生成と検出について

- ・一酸化窒素 NO の生成では、教科書に記載されている方法（銅と希硝酸との反応）を用いると、微量の二酸化窒素も同時に発生することが分かった。
- ・ザルツマン法により、二酸化窒素が検出できることを実験により確認した。

##### (2) オゾンの生成と検出について

- ・簡易放電装置を自作し、オゾンが発生させた。生じたオゾンと様々な色素とを反応させると、色素がオゾンにより酸化(分解)されて、脱色することが分かった。
- ・模擬大気実験装置を製作した。オゾンを含む模擬大気中のオゾンの定量を行うために、中性KI法（公定法）とインジゴ法（青色色素がオゾンにより酸化されて退色する反応を利用）を行った。これら2つの方法は相関があり、インジゴを利用したオゾン濃度測定が可能であることが分かった。

#### 5. 今後の課題

純粋な一酸化窒素を得るために、亜硝酸ナトリウムをアスコルビン酸で還元することで得る方法を試してみたい。

模擬大気中のオゾン濃度を測定について、ポンプを用いて強制的に空気を吸引し、空気中の化学成分を集める方法であるアクティブ法によりおこなった。次は、パッシブ法（測定場所に捕集剤を放置しておき、大気中の測定物質と反応させる方法）で測定について検討していきたい。

## 6. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

研究を初めて行った私たちにとって、最も学びになったことは、実験計画を立て、器具や装置の準備に時間をかけなければならないということでした。大気中のオゾンの測定実験では、市販の観賞魚用エアープンプを吸引可能なポンプへの改良することや模擬大気実験装置の製作など、失敗を繰り返しながらその度に改善や工夫を凝らさなければなりませんでしたが、このことが研究の質の向上や独自性の確立につながるのだと、活動を通じて感じました。また、普段意識しない大気中の成分を身近に感じることで、大気汚染物質に対する知識や、環境保全への意識が芽生えました。(山口, 大野)

## 参考文献

- 1) 化学実験テキスト研究会, 環境化学, 産業図書, 1993.
- 2) 西田哲也, 東レ理科教育賞受賞作品集, 2013, 25.
- 3) 宗宮功, オゾンハンドブック, サンヨー書房, 2004.