

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」

2023年度 研究活動報告書

大気中の化学変化を理解するー模擬光化学スモッグの生成実験ー

学校法人立命館 立命館高等学校 サイエンス部化学班

1. 研究背景・目的

大気汚染対策の強化により大気中の窒素酸化物、硫黄酸化物等は減少傾向にあるが、光化学スモッグ（原因物質は光化学オキシダント）は減少していない。大気（対流圏）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二酸化窒素と揮発性の有機化合物（炭化水素など）とが混ざり、紫外線が当たることで生じる。私たちは、この光化学反応について興味を持った。そこで、フラスコ容器内で実験可能な模擬大気の反応条件を検討し、模擬光化学スモッグの生成過程を再現する。模擬光化学スモッグ中に含まれるアルデヒドや窒素酸化物、オゾンについて、簡易な確認方法を開発する。実際の大气中では、複雑な化学反応が起こっているが、目的の反応だけを切り離して実験・検討するので、大気中での反応について理解しやすい利点がある。

2. 活動の内容

2. 1 出前講義

①「タンパク質の先端科学」

日時：2023年7月27日(木) 10:00～12:00

場所：大阪大学蛋白質研究所

講師：栗栖源嗣先生（大阪大学蛋白質研究所教授）

内容：本校が JST のさくらサイエンスプログラムにより招聘したタイの高校 Chitralada School, Chulalongkom University Demonstration Secondary School の生徒 8 人と一緒に、タンパク質の化学について学んだ。タンパク質の発見の歴史や仕組みと役割、タンパク質の特定の仕方などについて学んだ。研究室の見学や大型の機器（NMR や単結晶 X 線構造解析装置）も見学した。



②「Introduction to atmospheric science and chemistry－Behaviors of nitrogen compounds in the atmosphere in Japan, Vietnam, and Antarctica－」

日時：2023年11月4日(日) 16:30～17:30

場所：立命館高等学校 大会議室

講師：竹中規訓先生（大阪公立大学大学院現代システム科学研究科教授）

内容：本校が毎年 11 月に開催している国際サイエンスフェア Japan Super Science Fair (JSSF) のアクティビティの一つ、Science Talk の 1 講座として実施。JSSF に参加する海外 20 か国・地域の高校生と一緒に、大気化学について学んだ。特に微量の物質が大気化学において重要な役割を果たしていることが分かった。



③REHSE メンターによる研究の指導

日時：2024年1月19日(金)16:30～17:30

場所：立命館高等学校 課題研究室 (Zoom ミーティング)

講師：原田敬章先生 (名古屋大学環境安全衛生推進本部環境安全衛生管理室准教授・REHSE メンター)

内容：REHSE 研究の報告。研究や最終成果発表会に向けてのアドバイスを頂いた。

2. 2 見学

①日時：2023年8月1日(火)

「サイエンス部夏季研修」

場所：大阪市立科学館 (大阪市)

見学の目的：展示物を見て自分の研究との関連について考えるため。来場者に対する分かりやすい展示の方法に興味深かった。

②「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

日時：2023年8月9日(水)、10日(木)

場所：神戸国際展示場 (神戸市)

目的：全国のSSH指定校の生徒がどのような研究を行っているのかを見学して、自分の研究に活かしたり、刺激を受けたりするため。



③日時：2023年11月18日(土)9:00～16:45

「けいはんなサイエンスフェスティバル」の見学

場所：奈良県立奈良高等学校 (奈良市)

見学の目的：本校の先輩や他校の生徒の研究発表を見学し、自分たちの研究の参考にするため。

④「2023年度大気環境学会近畿支部研究発表会」の見学

日時：2023年12月26日(火)12:15～17:30

場所：地方独立行政法人 大阪健康安全基盤研究所 (大阪市)

目的：大学や地方環境研究所で行われている研究について知り、最新の大気環境について学習するため。地方環境研究所の研究員の方と意見交換することができた。

2. 3 その他の活動

①日時：2023年9月17日(土)、18日(日)

発表の場：立命館中学校・高等学校文化祭「立命祭」

場所：立命館高等学校 理科演習室

内容：「サイエンス部クラブ体験」来場者に実験体験を行った。

発表者：サイエンス部員



②日時：2023年9月17日(土)、18日(日)

発表の場：けいはんなアイデアソン 2023

場所：奈良県立奈良高等学校 (奈良市)

内容：次のテーマのワークショップ (アイデアソン) に出場した。

「伝統×革新：発酵食品の未来」「XR×五感：2030年のヒューマンインターフェース」

チームで限られた時間内でたくさんのアイデアを出しその中から良いアイデアを絞り込んでいく手法(アイデアソン)を体験した。

参加者：サイエンス部を含む有志チーム7名



3. 研究成果の発表

①日本化学会近畿支部 第40回高等学校・中学校化学研究発表会

日時：2023年12月25日(月)9:50~17:30

場所：大阪大学豊中キャンパス 大阪大学会館(豊中市)

発表題目：「模擬光化学スモッグの発生条件に関する研究」

発表形態：口頭発表

結果：奨励賞



第40回高等学校・中学校化学研究発表会

②集まれ！理系女子 第15回女子生徒による科学研究発表交流会

日時：2024年2月3日(土)13:00~17:00

発表題目：「模擬光化学スモッグの生成実験」

発表形態：オンライン発表

結果：奨励賞

4. 研究内容

大気汚染の対策強化により、全国的に窒素酸化物、硫黄酸化物等は減少傾向にあるが、光化学スモッグ(原因物質は光化学オキシダント)は減少していない(図1)。そこで、本研究ではスモッグチャンバーとしてフラスコ内で大気反応の模擬実験を行い、疑似光化学スモッグの発生条件を検討した。生成したスモッグ中には、アルデヒドやオゾンが含まれるため、これらの簡易に確認する方法を考え、大気反応を理解することを目的とした。

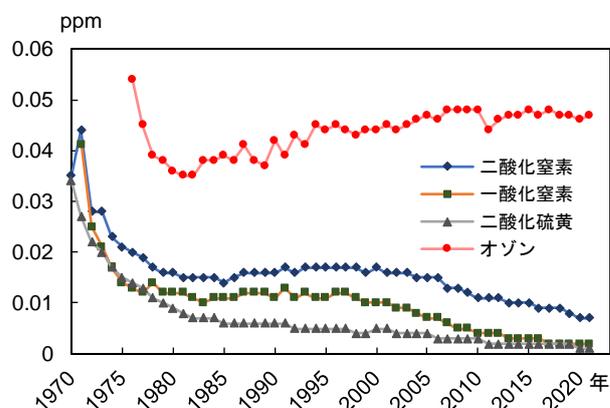


図1. 日本の大気汚染物質の経年変化(気象庁のデータを用いて作成した)

4.1 フラスコ内での模擬光化学スモッグの生成

大気中(対流圏)の光化学オキシダントは、自動車や工場から排出される二酸化窒素と炭化水素が混ざり、これらに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ことにした。

空気で希釈した二酸化窒素(図2①)を一定量入れた200mL丸底フラスコに、カセットコンロ用ボンベのブタンを1滴(約0.05mL)入れ(図2②)、すぐにシリコンゴム栓をした。このフラスコを室温で紫外線を照射した(図2③④)。ブタンの代わりに他の炭化水素でも実験を行った。

炭化水素として、揮発性であるブタン、イソブレン(植物に含まれる)、リモネン(柑橘類に含まれる)を用いた。紫外線照射を30分行くと、いずれもフラスコ内が薄く「もや」がかかったように見えた(表1)。これより、模擬光化学スモッグが生成していると考えた。確認のためにレーザー光をフラスコに照射すると、チンダル現象が観察された(図3)。

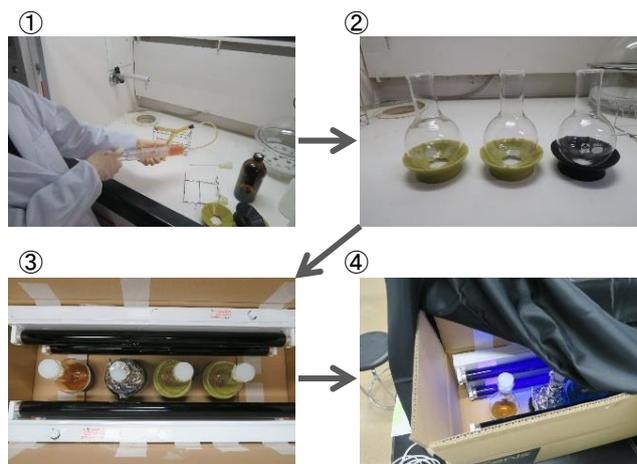


図2. フラスコ内での模擬光化学スモッグの生成

表 1. NO₂ と炭化水素の混合物に紫外線を照射したときの変化 (○チンダル現象観察, ×観察されず, ?判別不能)

加えた炭化水素	紫外線照射時間		
	1分	5分	30分
ブタン	×	×	○
イソプレン	×	?	○
リモネン	×	?	○
なし	×	×	×



図 3. チンダル現象

4. 2 模擬光化学スモッグ中の成分の検出

(1)の反応では、炭化水素は酸化されてアルデヒド類になっていると考えられる。そこで、フェーリング液(銅(II)イオンを含む)の還元反応を応用した方法でアルデヒドが検出できないか、実験を行った(図4)。

フェーリング A 液と B 液を同体積混合して、フェーリング液を調製した。この溶液を、実験(1)の操作後のフラスコ内に 1~2 mL 加え、シリコンゴム栓をしてよく振り混ぜた。この溶液を試験管に移して、ガスバーナーで加熱して、変化の様子を確認した

実験の結果、フラスコ内のアルデヒドの量が少ないためなのか、明らかな赤色の酸化銅(I)が生成を確認することができなかった。次に、ホルムアルデヒド HCHO の敏感な検出法であるアセチルアセトン法を用いて検出を試みた。(1)のフラスコ内にアセチルアセトン法の発色試薬を加えると、わずかに桃色に変色した。しかし、ブタンやイソプレン、リモネンが酸化することで生じるアルデヒド類は、ホルムアルデヒドではない。これより、フラスコ内にアルデヒドが生じたという確かな証拠とは言えない。

4. 3 研究のまとめ

模擬光化学スモッグの生成は確認することができた。大気中のアルデヒド類は、自動車のエンジンの排気ガスからの一次的なものだけでなく、光化学反応により二次的に大気中の炭化水素からも生成する。実験で用いたフラスコでは容積が小さく、生成物の量も微量であるため分析が困難であった。

5. 「環境安全とリスク」に関する意見と感想

- 実験を行うにあたって、薬品の取り扱い方や実験結果の分析手法などを学ぶことができた。また、世界的に問題視されている環境問題についての理解を深めることができ、様々な原因が重なり合うことで人体に危険が及ぼされることを改めて理解した。
- 光化学スモッグなどの大気汚染に関わる課題は、身体にどのような影響があり、過去にどのような被害をもたらしてきたかなどの知識を得られた。また、高校化学で学ぶ光化学反応などの知識を再確認することができた。

6. 今後の課題

繰り返しの実験や容器を大きくするなどの工夫により、アルデヒドが生成している証拠を得たい。また、食品中の還元糖の定量法であるベルトラン法やソモギー法になどより、容器内のアルデヒドの定量にも挑戦したい。

謝辞

本研究は、特定非営利活動法人研究実験施設・環境安全教育研究会「2023年度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」の支援を受けています。ありがとうございました。



図 4. 実験の様子