

日本学術振興会科学研究費 基盤研究 B 課題番号 14380066

「グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思  
決定能力育成に関する調査研究」中間報告書

# グリーンケミストリーに関する 学習教材、実験教材の開発

平成 16 年 (2004 年) 3 月

研究代表者 松原 静郎

(国立教育政策研究所 教育課程研究センター 基礎研究部 総括研究官)



# はしがき

平成 14 年度から平成 16 年度の 3 か年にわたる科学研究費補助金を受けて、「グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力育成に関する調査研究（略称：化学教材）」を実施している。この報告書は 2 年次目の平成 15 年度に実施してきた学習教材や実験教材の開発、そしてその実践などについての途中経過を報告するものである。したがって、ここに示す教材は完成したものではないことをお断りしておく。

今年度は昨年度に引き続き、研究代表者、分担者、県教育センター指導主事、中・高等学校教諭で月 1 回の定例研究会と 3 か月に 1 回の拡大研究会を開いて研究を進めてきた。

今年度は第一に、中学生及び高校生を対象とした、グリーンケミストリー（以下 GSC と記す）の学習教材として実践してきた環境対策技術教材をさらに修正していくことと、第二に、GSC の考え方を具体的に示す実験教材を開発するため、可能な限りいろいろな角度から実験教材の開発研究を進め、GSC の観点から検討していくこととした。

研究計画に従って、炭酸ナトリウム工業や石油工業での大気汚染とその対策に関する学習教材については、さらにいくつかの中・高等学校で実践していくことができた。また、中学校を主な対象とした学習教材として、新たに電気に関する内容を中心とした教材等の開発を進めた。これについての実践はこれからの課題である。

一方、実験教材の開発としては、学習教材の炭酸ナトリウム工業と対応させ、ルブラン法、アンモニアソーダ法に関する実験、それから電池や光触媒、生分解性高分子など新素材として話題を集めている実験を中心に検討していった。

また、第三に、学習教材による論理的な判断・意思決定能力の育成を図るため、社会における科学的な事象の問題解決に必要な論理的な判断・意思決定能力の育成を図るのに適した教材として、その効果の中・高等学校の協力校で実践し調査することについては、昨年度に引き続き一枚ポートフォリオ評価法を用いて、学習履歴シートを評価に利用した。

この 2 月には、全国の教育センター指導主事等の方 12 名にお集まりいただき、学習教材の実践結果及び開発した実験教材についてご意見をいただくことができ、本研究の推進に役立つものとなった。

最後に、これらの活動を進め、この報告書をまとめるにあたっては、小川友子さんの助力があった。ここに記して感謝したい。

平成 16 年 3 月

研究代表者 松原 静郎

## 研 究 組 織

- 研究代表者 松 原 静 郎 (国立教育政策研究所 教育課程研究センター  
基礎研究部 総括研究官)
- 共同研究者 有 元 秀 文 (国立教育政策研究所 総括研究官)
- 石 川 朝 洋 (新潟県立吉川高等学校 教頭)
- 臼 井 豊 和 (東京都立新宿高等学校 教諭)
- 大 平 和 之 (新潟県立新潟向陽高等学校 教諭)
- 大 谷 龍 二 (群馬県総合教育センター 指導主事)
- 鎌 田 正 裕 (東京学芸大学 教育学部 助教授)
- 蒲 原 正 憲 (佐賀県教育センター 研究員)
- 清 田 三 郎 (東京都立第四商業高等学校 教諭)
- 久 保 博 義 (東京都立西高等学校 教諭)
- 高 坂 智 (青森県総合学校教育センター 指導主事)
- 後 藤 顕 一 (埼玉県立浦和高等学校 教諭)
- 笹 尾 幸 夫 (国立教育政策研究所 教育課程調査官)

重 藤 英 一 (大阪府門真市第二中学校 教諭)

高 野 裕 恵 (四天王寺高等学校・中学校 講師)

竹 山 哲 司 (東京都立芝商業高等学校 教諭)

野 内 頼 一 (茨城県立伊奈高等学校 教諭)

鳩 貝 太 郎 (国立教育政策研究所 総括研究官)

深 野 哲 也 (大阪府立三国丘高等学校 教諭)

藤 原 大 (大阪府立平野高等学校 教諭)

堀 哲 夫 (山梨大学 教育人間科学部 教授)

宮 内 卓 也 (東京学芸大学附属世田谷中学校 教諭)

村 松 啓 至 (静岡県森町立旭が丘中学校 教頭)

山 本 勝 博 (大阪府教育センター 主任研究員)

# 目次

はしがき	i
研究組織	ii
研究目的	vi
本年度の研究結果概要	viii
I. 大気汚染教材の実践	1
1 GSC 教材の学習指導要領での位置づけ	2
2 試行授業実践報告－高等学校「総合学習」での実践	6
3 GSC 教材実践報告－高等学校化学Ⅱ課題研究での実践	20
4 アンモニアソーダ法の実験を取り入れた GSC 教材の実践	28
5 GSC 教材の試行授業の実践－中学校選択理科における導入	36
II. 中・高等学校実験教材の開発	55
1 二酸化硫黄から石膏をつくる	56
2 バラの香りがレモンの香りに変わる	60
3 生分解性プラスチックに関する化学教材の検討	64
4 光触媒を用いた実験教材の開発	68
5 洗剤の歴史におけるグリーンケミストリー	78
6 グリーンケミストリー生徒実験教材の 試行とその展開	84

III. 中学校学習教材の開発	95
1 GSC 中学校教材の開発	96
2 中学校におけるグリーンケミストリーの基礎となる 原子・分子の考え方を育成する教材開発	110
IV. グリーンケミストリー教材の開発、実践、評価	119
1 グリーンケミストリー教材の開発ー大気汚染問題とその解決策ー	120
2 グリーンケミストリー教材の実践とその評価（1）	124
3 グリーンケミストリー教材の実践とその評価（2）	132
4 中学生の化学実験教材に対する意識 ーグリーンケミストリーの観点からー	142
5 化学実験における廃棄物処理について	154
V. グリーンケミストリー学習教材	157
メニュー	158
ワークシート	164
学習履歴シート	180
参考資料	182

## 研究目的

第 15 期中央教育審議会の答申の「生きる力」にも示されたように、社会生活の中で我々は様々な課題について判断や意思決定を行わなければならない。このような社会生活の必要性に対応するため、理科教育の分野においても、科学知識の学習にとどまらず、判断と意思決定の過程を取り扱うこととその育成をはかることが必要である。

これまで原子力や放射能を題材とし、そのリスク評価について、中学・高校生を対象とした調査を行った結果では、利害両面からの見方を身につけるなど科学的な判断・意思決定での有効性は認められた。しかし、リスクがたとえ 100 万分の 1 の確率であろうともその「1」にはなりたくないという意識を持つ場合には、安全なレベルについて納得していても、下す判断は学習以前と変わらないことが多く、「安心」のレベルとの乖離が認められた。しかし、グリーンケミストリー（環境にやさしい化学、以下 GSC と記す）では暴露量を減らしてリスクの確率を小さくすることよりも、その危険性を減らしていくとする考えであり、GSC の考えを学ぶことにより、安全レベルと「安心」レベルが近づくことが期待され、社会における科学的な判断・意思決定能力の育成に寄与するものと思われる。

また、これまでの化学や自然科学に対する子どもの意識を調べてみると、理科の好き嫌いや面白いなどの意識についてはこの 10 年間変化はないが、科学を重要なもの、役立つものとする価値意識は徐々に減少し、科学が害をもたらすとする意識は増えているなど、科学に対するイメージが変化していることが認められる。GSC の考えは、基幹産業でありながら環境問題でイメージダウンしている化学工業において、環境に対する努力が払われている方向を示す好例と考えられる。

何をどこまで明らかにしようとするか：

第一に、中学校理科及び高等学校化学、総合的な学習の時間における、グリーンケミストリー（環境にやさしい化学；Green and Sustainable Chemistry、以下 GSC と記す）の教材を開発する。この GSC とは環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことで、欧米や日本の化学会で汚染を防ぐ画期的な手段として、現在ナノケミストリーとともに注目を浴びている分野であり、化学教育においても環境教育の観点からも学習すべき内容であると考えられる。例えば炭酸ナト

リウム工業での塩化水素や石油工業での硫黄酸化物による大気汚染とその対策に関する教材を開発してきたが、その経緯は汚染が発生してからの処理から、汚染そのものが発生しない工程へと切り替わってきており、従来の化学工業から GSC への移行と同じ向きへの変化である。この教材を GSC の視点から見直し、化学工業が歩んできた道程と現代の主要な原理である GSC の考え方を対応させ、新たな教材として開発し実践していく。

第二に、GSC の考え方を具体的に示す実験教材を開発する。上記教材での実験ばかりでなく、独立した場面においても、例えば、以前に実験の際に使われてきた試薬がその後他の試薬に取って代わられた場合、なぜ取って代わられたかを考えさせる場面や、環境にやさしい化学物質の合成を試みる場面などを取り込んだ実験教材を開発して、その時々により GSC を考える場とする。

第三に、開発する教材により論理的な判断・意思決定能力の育成を図る。この教材では、新しい情報を得ることにより多くの生徒に判断・意思決定の変更を迫る内容を含んでいる。これまで開発してきた論理的な表現力・思考力を育成するための定型文やリスク評価の考え方を教材に加味し、社会における科学的な事象の問題解決に必要な論理的な判断・意思決定能力の育成を図るのに適した教材とする。その効果の中・高の協力校で実践し学習履歴シート等により調査する。

学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義：

(1) 現在注目されている GSC の考えを扱う教材を作成すること自身が特色の一つである。開発する教材は、中・高等学校での学習と先端化学との接点になる。また、定点調査で科学に対するイメージが徐々に悪化しつつあることが見出されているが、現在の化学者の環境に対する考えが具体的に示されている教材を扱うことにより、その改善につながるものと考えられる。

(2) GSC 教材を体験的な活動と結びつけるため、実験教材を開発するのも本研究の特色である。生徒が取り扱える試薬には制限があるものの、いくつかの実験教材は開発可能であり、それらの実験活動を通して GSC の考え方をより身近なものとしてとらえられるようになると思われる。

(3) GSC 教材を使って、論理的な判断・意思決定能力を育む教材の有効性について調査することは本研究の最も独創的な点である。これまで進めてきた実験活動を通じた表現力や思考力の育成に関する研究から、実験レポートを文章で記載できない生徒に思考を整理し考察する定型文指導が有効であることとともに、意見を述べるべき内容が含まれているとまとまりのある記述ができることがわかった。一枚ポートフォリオ評価法を使って判断・意思決定能力の育成への有効性を調査する。

## 本年度の研究結果概要

### 学習教材の開発および実践

中学校理科及び高等学校化学、総合的な学習の時間におけるグリーンケミストリーの学習教材として開発した大気汚染とその対策に関する教材を検討し、今年度は2高校と1中学校においてワークシート1から5までを通して授業実践した。また、1高校では45分1校時でワークシート1,2と5を中心に実践した。

A高校では昨年度に引き続いて第2学年の総合的な学習の時間に本教材に関する授業を実施した。昨年度より時間数が9校時から7校時へ減少したが、生徒は本教材に興味を示し、まじめに取り組んだ姿は変わらなかった。また、記述も学習後は人間の関わりや問題解決についての内容を具体的に記載した生徒が増え、学習効果が認められた。現在、生徒の記述から教材及び生徒の評価をいかに客観的にしていくか検討中である。

他の実践校のうち10校時を使ったC高校では、学習後9割に近い生徒が長年環境に対する努力が払われてきたことを記すなど、学習効果が見られた。また、1校時で実施したD高校でも学習の意義を感じ、積極的に学習を進める様子が見られた。E中学校では、夏休み前であったにもかかわらず、ワークシートを全員が最後まで終え、生徒が課題意識を持って集中して取り組んだ様子がうかがわれる。

しかし今回、時間的な制約により、デジタル教材として試すまでに至らなかった。その一方、実践しやすいように3校時程度で学習していく方法についても考えていきたい。また、電気に関する教材など新しい教材についても検討中である。

### 評価方法の開発および実践

学習教材の効果を高等学校等で実践し調査したが、その際一枚ポートフォリオ評価法に準じた学習履歴シートを作成し、新たな評価方法として利用した。この評価方法による生徒の回答内容から教材の妥当性を検討する手がかりを得られた。実践して得られたデータを使って、より適切な分析方法を現在検討中である。

### 実験教材の開発および実践

大気汚染とその対策に関する学習教材に対応させた実験教材として、アンモニアソーダ法と二酸化硫黄から石膏をつくる実験について開発検討した。これらの実験に関しては、学習教材の前後でも実施可能であるが、学習教材の中で実施できればより効果があるものと考えられた。

また、環境にやさしい物質に関する実験教材として、生分解性プラスチックと酸化チタンを用いた光触媒の実験教材を開発検討した。さらには、洗剤の歴史と関連付けた教材や中学校における酸・アルカリ指示薬として身近な素材を用いた教材などを開発検討した。これらの教材では実践したものとまだ開発段階のものもあるが、いずれにしてもさらに検討を重ねていく予定である。

# I. 大気汚染教材の実践

1	GSC 教材の学習指導要領での位置づけ・・・・・・・・・・	2
2	試行授業実践報告－高等学校「総合学習」での実践・・・・・・・・	6
3	GSC 教材実践報告－高等学校化学Ⅱ課題研究での実践・・・・・・・・	20
4	アンモニアソーダ法の実験を取り入れた GSC 教材の実践・・・	28
5	GSC 教材の試行授業の実践－中学校選択理科における導入・・・	36

## GSC 教材の学習指導要領での位置づけ

松原 静郎

学習指導要領での位置づけを見る前に、グリーンケミストリーという用語と経緯について簡単に説明したい。「グリーンケミストリー」は環境に配慮した化学合成について用いた用語であるが、1993 年ごろから米国環境保護庁 EPA が使いだした（渡辺正，2000）。1996 年からは毎年「大統領賞」の表彰が行われており、何件かの研究者や企業が受賞している。

わが国では 1999 年 3 月に日本化学会が環境と化学推進委員会を発足させたが、その活動の 2 本柱の一つがグリーンケミストリーであった。2000 年 3 月には、日本化学会、化学工業会、科学技術戦略推進機構など 10 団体により、グリーン・サステイナブル ケミストリーネットワーク GSCN が発足し、2001 年度よりグリーン・サステイナブルケミストリー賞が授与されている。第 2 回の 2002 年度からは GSC 賞経済産業大臣賞、同文部科学大臣賞、同環境大臣賞となっている。

わが国でのグリーンケミストリーに対する正式な呼称は「グリーン・サステイナブルケミストリー-GSC」であるが、米国ではグリーンケミストリー、一方欧州ではサステイナブルケミストリー（持続可能な化学）と呼ばれている。

このグリーンケミストリー（以後 GSC と記す）は、廃棄物を出してからの処理を、廃棄物ができないようないわば予防をしようとする考えである。この考え方を教材に取り入れ、生徒に知らせるとともに科学の在り方について考えさせる機会をつくることは、化学の学習に対する意味づけからも大事であると考えた。そして、化学工業における工程が GSC に対応した工程へと移行していることを題材とした大気汚染に関する教材を開発した。

この大気汚染に関する教材はそれぞれの学校において実施可能な範囲で実践をお願いし、大気汚染に関する学習教材では 5 校延べ 7 回の実践をしてきた。表 1 に示すとおり、それぞれ、高等学校の総合的な学習の時間や化学Ⅱの課題研究、中学校での選択教科としての理科など、GSC の内容を扱うことが可能な時間に位置づけて実践をしてきている。

表 1 学習教材実践校における教材の位置づけ

実践校	対象学年	実施時間	実施年度	実施時間	対象生徒	大学・短大進学率
公立 A 高校	2 年	総合的な学習の時間	2002 年度	9 校時	20 名	10 割
			2003 年度 1 期 2 期	7 校時	10 名 17 名	
公立 B 高校	3 年	化学Ⅱ+家庭学習	2002 年度	5～8 時間	6 名	6～7 割
公立 C 高校	3 年	化学Ⅱ課題研究	2003 年度	10 校時	16 名	2 割
公立 D 高校	3 年	文系化学「4 単位」	2003 年度	1 校時	22 名	10 割
国立 E 中学校	3 年	選択理科	2003 年度	6 校時	9 名	—

昨年度、本教材を実施した公立 A 高校での生徒の記述の一部を示し、学習指導要領での位置づけを考えてみたい。まずは、学習後に『大気汚染』という語を使って文を三つ書きなさい」に対する回答である。

昔は塩化水素や硫黄酸化物、窒素酸化物、粉塵、ばい煙などの大気汚染物質が大量に放出されたが、現在は回収、再利用などの技術が進んでいる。  
 まだ対策の遅れている大気汚染物質もある。  
 大気汚染対策として、拡散希釈を行っても解決せず、やはり、原因となる汚染物質の除去をする必要がある。

この回答では、大気汚染に対してその対策がなされてきたこと、未解決の問題もあること、原因物質を取り除くとした GSC の考えが入っていること、の三つを答えている。これは、学習指導要領の中学校理科第 1 分野、高等学校理科基礎、理科総合 A、化学 I などにある「合成された有用な物質が人間生活を豊かにしてきたことを扱うこと。その際、合成物質などの利用には自然界に対する配慮が重要になってきたことにも触れること。(理科基礎)」などの記述に対応していると思われる。また、利害両面について考えることの重要性は、本教材を学習しての感想として書かれた以下の文章などに表れている。

大気汚染や公害問題など、新聞やテレビ、学校で散々見たり、聞いたりしてきたが、実際具体的に何が原因で何をどうすればよいかほとんどわからない状態だったが、それについて学べて理解を深められた。また、科学技術についてよい点ばかりを聞いてきたが、今回はその逆の悪い面を考えることが出来た。同時に、その欠点が克服される過程を知ること、今はその悪い面しか見られていないようなものについても可能性を考えることができたし、科学技術の更なる発展の可能性も考えることが出来た。今回の学習では今までとは違う視点で科学技術というものを見れたし、違う意味で考えることが出来た。

それらの考えとともに、扱っている物質や反応、化学工業との関連なども考慮し、以下に示す表 2～4 の学習指導要領での内容及び内容の取扱いにおける記載から、それぞれの部分においてこの大気汚染に関する GSC 教材を扱うことが可能と考えられる。

表 2 新課程中学校理科における位置づけ

第 1 分野	<p>(7)科学技術と人間          エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術の利用と人間生活とのかわりについて認識を深めるとともに、日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養う。</p> <p>イ 科学技術と人間          (7) 科学技術の進歩による成果として新素材などの利用が行われ、日常生活</p>
--------	---

	が豊かで便利になったことを知るとともに、環境との調和を図りながら科学技術を発展させていく必要があることを認識すること。
選択教科としての理科	6 選択教科としての「理科」においては、生徒の特性等に応じ、多様な学習活動が展開できるよう、第2の内容その他の内容で各学校が定めるものについて、課題研究、野外観察、補充的な学習、発展的な学習などの学習活動を各学校において適切に工夫して取り扱うものとする。

表3 新課程高等学校理科における位置づけ

理科基礎	<p>(2) 自然の探究と化学の発展</p> <p>自然への疑問や興味に基づく客観的な観察と新しい発想が化学を発展させ、自然の見方を大きく転換し、展開させたことについて理解させる。</p> <p>ア 物質の成り立ち</p> <p>(イ) 物質の合成への道 (内容の取扱い)</p> <p>(イ)については、物質の合成についての簡単な実験を通して、物質を構成する元素の組成の組替えにより、天然にしかないと思われてきた物質も合成でき、合成された有用な物質が人間生活を豊かにしてきたことを扱うこと。その際、合成物質などの利用には自然界に対する配慮が重要になってきたことにも触れること。</p>
理科総合A	<p>(4) 科学技術の成果と今後の課題について考察させ、科学技術と人間生活とのかかわりについて探究させる。</p> <p>(内容の取扱い)</p> <p>内容の(4)については、生徒の興味・関心等に応じて、物質や資源の利用、エネルギーの変換や利用など化学技術に関する身近な課題を取り上げ、化学技術と人間生活とのかかわりなどを平易に扱うこと。</p>
化学I	<p>(1) 物質の構成</p> <p>化学の役割や物質の扱い方を理解させるとともに、物質に対する関心を高め、物質を探究する方法を身に付けさせる。また、物質の構成粒子を観察、実験などを通して探究し、基本的な概念を理解させ、物質について微視的な見方ができるようにする。</p> <p>ア 物質と人間生活</p> <p>(ア) 化学とその役割 (内容の取扱い)</p> <p>内容の(1)のアの(ア)については、化学の成果が人間生活を豊かにしたことを具体例を通して扱うこと。その際、有害な物質については適切な管理が必要であることにも触れること。</p>

	<p>(2) 物質の種類と性質</p> <p>無機物質と有機化合物の性質や変化を観察、実験などを通して探究し、物質に関する基本的な概念や法則を理解させるとともに、それらを日常生活と関連付けて考察できるようにする。</p> <p>ア 無機物質 (内容の取扱い)</p> <p>内容の(2)のアについては、第3周期までの元素や日常生活とかかわりの深い元素が関係する物質及びイオンを中心に扱うが、羅列的な扱いはしないこと。金属イオンの系統的分離は扱わないこと。代表的な無機物質については、化学工業との関連にも触れること。</p>
化学Ⅱ	<p>(2) 生活と物質</p> <p>日常生活と関係の深い食品や衣料、プラスチック、金属、セラミックスを観察、実験などを通して探究し、それらの性質や反応を理解させ、身の回りの物質について科学的な見方ができるようにする。</p>
	<p>(4) 課題研究</p> <p>化学についての応用的、発展的な課題を設定し、観察、実験などを通して研究を行い、科学的に探究する方法や問題解決の能力を身に付けさせる。</p> <p>ア 特定の科学的事象に関する研究 (内容の取扱い)</p> <p>内容の(4)については、内容の(1)から(3)まで及び「化学Ⅰ」と関連させて扱うこと。</p>

表4 総合的な学習の時間における位置づけ

高等学校	<p>2 総合的な学習の時間においては、次のようなねらいをもって指導を行うものとする。</p> <p>(2) 学び方やものの考え方を身に付け、問題の解決や探究活動の主体的、創造的に取り組む態度を育て、自己の在り方生き方を考えることができるようにすること。</p> <p>3 各学校においては、上記2に示すねらいを踏まえ、地域や学校の特色、生徒の特性等に応じ、例えば、次のような学習活動などを行うものとする。</p> <p>ア 国際理解、情報、環境、福祉・健康などの横断的・総合的な課題についての学習活動</p> <p>ウ 自己の在り方生き方や進路について考察する学習活動</p>
------	---

# 試行授業実践報告－高等学校「総合学習」での実践

後藤 頭 一

昨年度に引き続き、試行授業を行ったので報告する。

## 1. 調査について

本年度は3期にわたって同じ内容で調査を行った。現在は3期目（11月～3月）に入っているが、終了している2期分についてまとめた。

1. 調査対象生徒： 公立 A 高等学校 2年次「総合学習」において実施された。  
調査対象となった生徒数は約10名程度である。（1期：10名、2期：17名）

2. 調査期間：総合学習1期 平成15年4月16日から平成15年6月18日まで。  
総合学習2期 平成15年6月25日から平成15年11月5日まで。

3. 調査時間：2年次 水曜日 6時限 総合学習 『総合小論文』

## 4. 調査内容と方法

開発した本教材を用い、昨年度と同様に試行授業を行った。学習の方法は、生徒の主体的な調査研究を中心としたものである。ワークシートを完成し、学習履歴シートを完成させるのが1回の授業となっている。3期制になったので学習時間は7時間と限定されたために、以下のような方法で授業を行った。

回	日時	内容	詳細
第1回	4/16、6/25	登録・調整、顔合わせ、内容紹介	グリーンケミストリーの基本的な考え方、学習の目的を講義形式で伝える。 学習履歴シートの記入方法についての説明、学習前の3文を記入したものから終了。
第2回	4/23、7/9	ワークシート1	ワークシート1を見渡して、最初に学習の仕方を説明した。
第3回	4/30、9/24	ワークシート2	ワークシート2を完成させた。 特に2学期生は夏休みをってしまったので十分にフィードバックを講義形式で行った。
第4回	5/7、10/1	ワークシート3	ワークシート3を完了させた。

第 5 回	5/14、10/8	ワークシート 4	ワークシート 4 を完成させた。学習後の 3 文、学習の振り返り、感想までを行った。
第 6 回	5/28、10/29	ワークシート 5	グリーンケミストリーについてまとめた。論文のテーマ内容を紹介し、締め切りを設定した。
第 7 回	6/18、11/5	論文、感想	学習履歴シート 2 を完成させ、論文を提出できるものは提出させた。

## 5. 活動の様子

昨年度、2 期制、10 回で行っていた実践を、3 期制にしたため、1 つの講座回数が、7 回となったためにかなり生徒は時間が厳しかったようだ。

一番初めの授業で、講義形式で授業を行い、説明等をするが、そのあとは、生徒個人の学習にゆだねた。その中で生徒は、特に無駄話をするわけでもなく、黙々とワークシートの作業活動、調べ学習に勤しんでいた。

総合学習 1 期生徒、総合学習 2 期生徒ともに第 5 回には  $\text{SO}_2$  の発生、 $\text{NO}_2$  の発生を観察させ、鉛室法による硫酸の発生の実験を観察させた。

なお、途中で生徒、個々人に対する指導はしていない。

## 資料 学習履歴シートの記載

総合学習 1 期 (合計 10 人)

<N>

学習前の 3 文

大気汚染が地球を取り巻いている。嫌な大気だ。北浦和は大気が汚い。

ワークシート

- ① 塩化水素は人間界に益と同時に害ももたらす。いわば諸刃の剣である
- ② 19 世紀なかばにアンモニアソーダ法ができ、ルブラン法に代わって  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  生産の主流となった。両者の共通点としていえることはその過程で生じる副生物を上手に利用していることである。前者のほうが生産効率が高く、汚染物質を出すこともないので環境保全に役立った。
- ③ 硫黄酸化物は我々の人体、生物などに悪影響を及ぼす。排煙や、原油に含まれる硫黄分を取り除くために排煙脱硫や原油脱硫などがなされ、石膏  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  など無害な物質をつりだしている。これは HCl と同じ。
- ④ 窒素酸化物は光化学スモッグを発生させるなど人体に及ぼす影響が大きい。  
 $\text{NO}_2$  の色は赤褐色で悪臭を放つ。 $\text{HNO}_3$  の利用を考えれば大気汚染の問題も解決されるのではないか。

学習後の 3 文

科学の発展に伴って大気汚染などの環境問題が生じた。大気汚染により生物および人体に多大なる被害を受けた。大気汚染を防ぐためには有害な物質をいかにして利用するかが鍵となる。

学習の振り返り

大気汚染に対するもの見方が学習前より深くなった。

感想

化学という教科を勉強する意義に気づかされた。よりよい環境の中で生活するために化学との上手なつきあい方を考えなければならない。

論文後の感想

グリーンケミストリーの学習を通して大気に対するもの見方考え方が大きく変わった。

<ST>

学習前の 3 文

大気汚染がひどい大気中にはいろいろな物質がある。大気圏に内に突入した。

ワークシート

- ① 環境への影響をよく調べてみてから使用しないと人体に害を及ぼしてしまうと言うこと。
- ② 同じものを作り出すためにも環境や人体に悪影響を及ぼす方法とそうでない方法など

何通りかの方法があるので作る前によく考えるべきだと思う。

- ③ 工場の移転をただで根本的な解決にはならない。
- ④ 化学反応の過程で工夫することが必要。

学習後の 3 文

大気中には環境問題の原因なる物質が含まれている。大気中に放出すると手がつけれない。大気中に環境問題の原因なる物質を放出する前に手をうたないといけない。

学習の振り返り

学習前に比べて大気汚染の原因やそれによる害、また対策などの知識が多くついたと思う。

感想

$\text{SO}_x$  や  $\text{NO}_x$  が原因の大気汚染はまだ解答されていないが、HCl のときのように何か手があると思うのでうにかしてもらいたい。

論文後の感想

-

<Y>

学習前の 3 文

私たちは大気があるから生きていける。大気は酸素、窒素、二酸化炭素などからできている。大気は宇宙からの有害な光線から私たちを守っている。

ワークシート

- ① ルブラン法により炭酸ナトリウムの生産は 19 世紀に入り急速な拡大をした。しかし、大気汚染の原因である HCl が出てきてしまった。その後塩素やさらし粉として利用することができるようになり HCl 公害はほぼ解決した。
- ② 19 世紀半ば、アンモニアソーダ法が確立し、ルブラン法にとって代わって炭酸ナトリウムの生産の主流になった。アンモニアソーダ法は生産効率が高く製品をやすく作ることができる。だがルブラン法での公害問題の解決過程は現在でも参考にされるべきである。
- ③ 足尾銅山や別子銅山では硫黄酸化物の対策をとってかえって被害を拡大させてしまった。四日市ではばい煙により多くの被害が出た。現在排煙脱硫や原油脱硫が行われているが、完全にイオウを取り除くのは難しい。
- ④ NO は空気中で酸化され、 $\text{NO}_2$  になる。人間の活動の中では工場・ボイラーなどの固定発生源と、自動車、航空機エンジンなどの移動発生源の 2 つがある。これらで発生する窒素酸化物の量は自然界で発生するのより少ないが、それでも環境汚染として問題になる。

学習後の 3 文

大気は塩化水素、イオウ酸化物、窒素酸化物などにより汚染されてきた。

塩化水素や硫黄酸化物による大気汚染は過去に解決されてきた。

化学物質から大気を守るには人間活動を制限するのが一つの方法だがそれも行かない。私たちは、別の方法を考えるべきだ。

学習の振り返り

自分が今まで学習したことを見直すことができた。学習前と後で大気に対するイメージがずいぶん変わった。

感想

公欠で一回休んだためその後の授業が大変だった。

論文後の感想

なんだかまとまりの無い文章になってしまった。テーマが非常に大きいものなので難しかった。

<I>

学習前の3文

地球には大気汚染がある。大気中には水分が少ないとどがからからになる。大気も分子で作られている。

ワークシート

- ① 炭酸ナトリウムの製造のためにHClが発生してしまった。炭酸ナトリウムは作らないわけには行かないので塩酸の解決法を探し、塩酸をさらし粉の原材料とすることで公害を解決した。
- ② 一見公害の元であるルブラン法も副産物の使い方を考えれば暮らしに役立つということ。公害対策が確立してもまだアンモニアソーダ法が開発できたように追究すればするほどいい結果を生むこと。
- ③ 弱い酸性雨でも植物は枯れること。硫黄酸化物で山は簡単にはげになること。
- ④ 家庭の暖房はCO<sub>2</sub>だけだと思っていたが、NO<sub>x</sub>も出していたことがわかった。NOがいったん作られるとすぐにHNO<sub>3</sub>にまで行くことがわかった。NO<sub>2</sub>の色はかなり恐ろしかった。

学習後の3文

大気は工業で汚される。汚された大気はしっぺがえしを起こす。大気中の無害な8割のNと有害な数%にみたないNO<sub>x</sub>からなる。

学習の振り返り

学習の前と後では、いくらか環境についての意識は高まったように思う。ワークシートでは今まで知らなかったことをいろいろ学習できた。4の家庭の暖房については知ってよかった。

感想

公害が発生してもさらに新たな技術によって抑えることができることには感心した。ただNO<sub>2</sub>などはとても恐ろしいのでできれば出たくないと思った。

論文後の感想

ここでグリーンケミストリーについて学習する事で、具体的例を知ってより身近に考える事ができたり、公害の解決ということで希望が持てた。

<U>

学習前の3文

大気がないと生きられない。大気が汚染されると気持ちが悪い。大気中にはいろいろなものがたくさんある。

ワークシート

- ① 昔は塩化水素が化学工業に使われ、いろいろな面で役立つ。しかしその反面人体への影響（気管支炎、のど、目、鼻などの炎症）が問題となった。ルブラン法という製法で炭酸ナトリウムの生成が楽になり大量生産が可能となったが、副生物としてHClが発生した。問題対策として、拡散や塩酸にして回収するという手段がとられたが、失敗した。しかしさらし粉の製造によりほぼ解決された。
- ② ルブラン法と異なり副生物が害でないものであるアンモニアソーダ法が考え出されたことにより公害問題が解決された。また、生成過程が簡略化したことや原料が得やすかった事により世間に広まった。合成法を変えることで公害問題が解決できたことがあるのを学べて良かった。
- ③ 工場の発展により硫黄酸化物の公害物質が大量に発生するようになり公害問題が深刻化した。これに対し、足尾銅山や別子銅山、四日市ではいろいろな対策をとったが、課題が残ってしまった。現在では排煙中の硫黄酸化物を除く排煙脱硫法や原油から硫黄分を除く原油脱硫などが行われている。
- ④ 窒素酸化物は酸性雨の原因となり植物をはじめ多くの生物の影響を及ぼす。N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>は常温では反応せず、高温状態でなければ反応しない。硝酸の工業的製法にオストワルド法がある。また窒素酸化物は人類活動で発生するよりも自然界で発生することの法が多い。

学習後の3文

大気中には多くの種類の気体が存在し、それらは一歩間違えば公害を及ぼす物質となることがある。大気汚染を考えずに工業化を進めると地球に大きな害をもたらす。大気は生存するために必要不可欠なものであるから常に大気のことを考えた化学合成などを目指さなければならない。

学習の振り返り

自分なりに一生懸命できた。

感想

初めて学習履歴シートを書きながら学習を進めていって自分が学び始めてから終わりまでどう考えていたのかがわかって良かった。昔も公害に悩まされ、それを解決するために人々は努力してきたんだと実感できた。

<S>

学習前の3文

地球上の大気は汚れている。大気汚染の原因は人間である。大気を構成している物質は何？

ワークシート

- ① 役立つものを製造したりするとどうしても公害を引き起こす物質が副産物として出て

きてしまうのでいかにその副産物などを出さないようにするかを考える。出てしまったのならそれを回収し環境を汚染したりしないようにすることが大切であるということ。

- ② 前回では出てしまう有害物質を有効活用することが大切だと思っていた。しかし今回は確かにそういう努力も必要だと思ったがはじめから有害物質を出さないように製造過程を考え出すことがとても大切でそれをいかに普及させ、実用化していくかが重要だと思った。
- ③ 空気汚さないように水を汚して有害物質を出すのではなく、有害物質をいかにださないかということが大切だと思った。一方が汚れなければ一方を汚してもいいなんていうことはないのだからちゃんと処理することが大切。
- ④ NO<sub>2</sub>、NO を生じるものをあまり使わないようにするべきだと思う。また、アンモニアソーダ法を考えついた人はすごいと思う。自分は今日の学習で考えたが、結局ろくなことも思いつけなかった。

学習後の3文

大気汚染をするような物質をださないような化学反応をすることは大切だ。大気汚染をするような物質を取り除く化学はとても難しい。大気という化学というよりは生物っぽいイメージがあったが、これを学びいかに大気が化学において重要かがわかった。

学習の振り返り

学習前は大気について知っているつもりになっていただけだったが、「グリーンケミストリー」を学習したことによって大気がなんたるか、大気の大切さなどがよくわかった。また、大気だけでなくそれを汚染する物質その生産されてしまう過程そしてそれをいかに副産しないで「化学」するかがわかった。

感想

グリーンケミストリーは地球、人間の未来にとってかなり重要だと思った。また環境問題は自分とは無縁だと思っていたが結構身近なところにあるんだということを知った。

<O>

学習前の3文

大気は地球を覆っている。大気の外側にオゾン層がある。空気と大気の違いがよくわからない。

ワークシート

- ① 19世紀頃 HCl の大気汚染が問題となっていた。その HCl は漂白などに伴う炭酸ナトリウムの発生過程で発生。(ルブラン法) 現在はほぼ解決されている。
- ② 炭酸ナトリウムの生産の際、少しでも公害を減らせるような方法を使用するようになっていった。また副産物も無駄にせず、新たな原料として利用。
- ③ 硫酸酸化物が酸性雨の原因。石炭・石油の使用の際、金属精錬の際に硫酸酸化物が発生。非煙脱硫や原油脱硫によって硫酸酸化物を取り除ける。
- ④ 二酸化窒素は有害で雨に溶けて酸性雨となる。土中のバクテリアや稲妻のほう人間より NO<sub>x</sub> をだしている。窒素酸化物が光化学反応を起こして生成するオキシダントが

酸性雨の原因になる。

学習後の3文

19世紀頃から塩化水素、硫酸酸化物、窒素酸化物が工場から排出され大気汚染の原因となった。ルブラン法などで大気汚染が減った。現在も大気汚染は問題となっている。

学習の振り返り

毎日きちんと要点が書けて学習前後で、大気汚染についての知識量がかなり増えた。

感想

グリーンケミストリーという言葉を知ったのは初めてだったが内容は有害物質による汚染でいろいろ考えさせられた。大気汚染などの言葉はよく聞くが、その内容についてはよく知らなかったのもとても良い勉強になったと思う。

論文後の感想

-

<K>

学習前の3文

大気は英語でいうと atmosphere である。大気は窒素や酸素などからできている。地球に生命が存在するのはいいたい気があるからだ。

ワークシート

- ① 工業の発展はよいことだと思う。しかし、そのデメリットやそれによる問題の発生を予想した対策を立てずに工業を進展させるのは愚かだと思う。化学で発生したミスで化学で解決したのはいかに化学が役立つか、すごい技術であるかの証明になると思う。漂白剤やセッケンなどの生活用品の原料製造過程で公害が発生しているということはやはり環境汚染は自分の生活に密着した問題であるということを考えなければいけないと思う。
- ② アンモニアソーダ法ははじめから公害問題を起こさないように工夫された素晴らしい方法である。起こした問題を解決するよりもあらかじめ環境に配慮をしたほうが良いと思う。人類の公害問題に関する考え方の進歩は確かにあると思った。
- ③ SO<sub>2</sub> というイオウを燃やすだけで発生する気体がこんなにもやっかいで危険なものとは思わなかった。間違った対策をとるとかえって被害地域が広がってしまったりするので対策を練るのもとても重要だと思った。
- ④ NO<sub>2</sub> なんて見るからに危険なものは必要以上に発生させるべきでないと思う。HCl や SO<sub>2</sub> の時と違って解決が書かれていなかったのでもし見つかっていないならば早く見つけてほしいと思う。

学習後の3文

大気には思った以上に怪しい物質が混ざっている。人間が汚した大気を自らの手できれいにする努力をしよう。普段気にしない大気にも汚染の歴史やそれを解決しようとして努力の歴史がある。

学習の振り返り

「学習前」と「学習後」のシートの内容を見比べると明らかに「大気」のイメージが変わ

っているので自分の意識に変化があるのがわかる。HCl、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>問題の概要を学習してこのような環境問題が身近に感じることができた。ワークシートからもそのことが感じられるので結構良かった。

感想

上にも書いたけれど環境問題がとても身近に感じることができた。問題を起こしてしまう原因は便利を追求したということだから一概に批判ばかりできないと思う。そして問題解決に至るまでの試行錯誤、努力には感動した。

<S>

学習前の3文

大気汚染が今問題となっている。大気の中で生活する。大気汚染を引き起こす。

ワークシート

- ① 便利なものを作り出す過程で有害なものが出てきてしまうのはしょうがないかもしれないけど大切なことはその有害なものをいかにして無害なものに変えるかということだと思うし、有害なものが出ないようにすることが一番だと思う。
- ② ワークシート1, 2を通じて公害問題の解決のためにはもう一度使うというリサイクルが大事なんだなあと思った。
- ③ 対策を打つのはいいのだけれどその後の問題を考えなければならない。
- ④ 窒素酸化物の対策を考えるのはとっても大変だった。自然界からも出ているもの対策には大変だろうけどとにかくいろいろなことを考えるのが大切だと思った。

学習後の3文

大気汚染はぜん息や気管支炎の問題となる。二酸化窒素を大気中に放出する。大気汚染が問題となる。

学習の振り返り

思っていたよりも学習内容が難しくわからない部分があったが、今の科学技術公害のことも何となくわかった気がするので良かったと思う。

感想

少ない時間だったけれどいろいろなことがわかったので良かったと思う。

<T>

学習前の3文

大気の状態が不安定になっている。大気がふるえている。大気中には酸素が含まれている。

ワークシート

- ① 炭酸ナトリウムを得ることで人類に豊かさを与えたがその発生過程でHCl等の有害物質を放出し、様々な環境汚染や人体への影響を及ぼした。上手に利用していくことが大切だとわかった。
- ② アンモニアソーダ法の導入で有効な副産物を獲得し、有害な副産物を発生させないことに成功。その結果、Cl<sub>2</sub>による大気汚染の拡大を抑えることにつながった。技術は簡単

でかつ無害なものが一番良いと感じられた。

- ③ 硫黄酸化物は工業発展の副産物として人体や環境に大きな影響を与えている。硫黄酸化物の発生を抑えるためにもイオウの少ない燃料を利用するべきであると思う。
- ④ 硫黄酸化物、特にNO<sub>2</sub>は危険であることがわかった。また、塩化水素や硫黄酸化物とは違って解決策がないことがまた恐ろしい。かなり日常生活に関与しているので無視することはできないし、早急に対策を考えなければならないと思った。

学習後の3文

大気汚染の解消とその対策を考える。大気中の窒素酸化物無害化するにはどうすべきか。大気汚染物質を工業的に利用できればいいと思う。

学習の振り返り

学習前の3文と学習後の3文を比較すると今までの大気という考え方は変わっていることがよくわかる。大気と工業は大きな関連を持っているということも読みとれる。

感想

最初は無知だったので不安もあったが、学習してみて人類の工業化と大気汚染は密接であり上手釣り合いがとれないと自らの首を絞めてしまうことになることがよくわかった。

<U>

学習前の3文

大気は地球上生きるすべてのものが必要とし、最も重要なもの。大気が無害か有害かで大きく生物の活動や進化に影響を与えるため保全を真っ先にしなければならない。もっと大気についての問題を身近に考えるようにしたい。

ワークシート

- ① 都合のいいものを生み出すとどこかに大きな問題がついてくるのがわかった。結局有害の物質が出てきてしまうので限りなく少なくできるなら出てこないような技術が必要だと思った。
- ② 都合の良い技術だけでも有害なものが出てきてしまうという大きな問題を見て見ぬふりをせず受け止め考え解決させていく努力が必要だと思った。目的物の生成過程の中でまた生成のための展開を生み出すという合理的な変化に新しい技術が使われているということを知って感心した。どんどん現代に取り入れるべきだと思う。
- ③ やはり有害な物質自体を取りのぞかなければ、被害がおさまることはないんだなと思った。遠ざけようが地下に隠そうがかからないのである。そういった意味で原発から出る放射線廃棄物についての対策ももっと真剣に考えるべきだと思う。
- ④ 今回は実験でその物質の恐ろしさを生々と体験できた。窒素酸化物については現在あまり対策がないように感じた。だが、これからクリーンエネルギー開発が進むにつれ、それも減少すると思う。自然からのNOxのほうが多いということにはおどろいた。

学習後の3文

大気は地球上の人間達が都合のいいように汚染してしまったものだが、今人間は自らを反省し、少しずつ汚染を改善している。大気汚染は放っておくとどんどん広範囲に広がるためその汚染のある地域だけでなく、地球規模の問題である。大気汚染を改善することがその他の環境問題の解決につながっていく。その為には物質の循環がある。害のある物質が残らない改善方法を見つけなければならない。

学習の振り返り

この講座を受ける前と後では地球環境問題に対する考えが変わったように思います。資料をもとにまとめもできているようだが自分で考える部分がもう少しあっても良かったと思います。簡潔に資料がまとめられていればなお良かったと思います。

感想

大気汚染についての歴史的やそのときどきな対処をして改善していったかという知識が入りとても勉強になりました。今回学んだことは、とても専門的なことが多いですが自分でも何か取り組めることあったら今回の講座を参考にしたいと思います。

論文後の感想

学習前はたくさんの環境汚染の問題が発生して多大な被害を残していったことは良く知っていましたが、どうもその解決方法まではわからずなんとなく解決したんだなと思っていました。ですが、学習をして昔の化学者たちの開発した画期的な方法や失敗を繰り返さないよ

うに改良した方法などで多くの問題が解決したことがわかりました。毎回とても得るものが多くあったように思います。やはり、これから必要なことは、まず、汚染物質を出さないこと。そして反応の行程をサイクル化して無駄なものを出さないことだと思います。原子力発電など今の段階ではこの条件と正反対の事を行っている技術がたくさんあり、また多用していると思います。地球にも寿命はあると思いますが、だからといってそれを早めることは絶対にしてはならないことではないでしょうか。そのために必要なことを今回の学習で理解することができたように思います。

<K>

学習前の3文

地球は大気で包まれている。大気は空気と水だ。大気は圧力を持っている。

ワークシート

- ① 新しい方法を発見してもその方法がどの様にすれば害の内容にできるかを考えねばならないと思った。また加工次第で危険な物質も安全になることがわかった。少し不思議な気分になった。
- ② 過去に悪いところがわかったならその悪い部分を無くした技術で次に見つければならないと思った。化学反応も起こし方によっては有害なものも無害なものになってしまうし、工夫を重ねれば突破できることも多いと思った。
- ③ 原因を遠ざけたりするだけでは意味がないと思った。
- ④ 局所的な有害物質を発生させるのは危険だということがわかった。NO2はすごい気体だということを知った。

学習後の3文

大気は汚れやすい。大気に問題が起きると人に害が出る。大気の害は人間が汚した分は元に戻さなければならない。

学習の振り返り

それぞれの授業でいろいろ学んだことを具体的に書いていないがさまざまな問題の悪かったところや改善点、解決策についてはある程度まとめてあると思う。

感想

化学反応などの力で害のあるものが無害なものになったりまたその逆もあるのは不思議に思った。同じ物質でもくっついたりはがれたりするだけで効果が変わるのすごい。

論文後の感想

環境には興味があったが具体的な例をここまで深く見たのは初めてだった。たくさんの新たな知識が得られて良かったと思った。あと実験のときはとても楽しかった。心なしか先生もとても楽しそうに見えた。

<Ku>

学習前の3文

地球の周りには大気の層がある。大気汚染が問題になってきている大気とは人にとって重要である。

ワークシート

- ① ルブラン法のような便利な方法の裏には塩素のような有害な物質を発生させるという大きな落とし穴がある。塩素が大気中に拡散することで人体に深刻な影響を及ぼす。ルブランは身近なものでソーダ灰を製造した。
- ② 便利な方法であったルブラン法の弱点は大きかったがその弱点を打開したのがアンモニアソーダ法である。アンモニアソーダ法は副産物をそのまま有効に活用することができ、発生したアンモニアや CO<sub>2</sub> はそのまま用いることのできる効率の良いものであった。低コストで効率の良いアンモニアソーダ法の出現でルブラン法は次第に消滅していった。
- ③ 足尾銅山と別子銅山の事件、それから四日市ぜん息の発生は無知な人間の過ちである。有害物質の発生はゆゆしき問題である。これを軽視してはいけない。原油脱硫はすばらしいがそれだけではまだ完璧とはいえず少なからず問題点が残っているのであれば自然環境と向き合ってさらにより方法を見いだして行くべきである。
- ④ 窒素酸化物は赤褐色で有害な物質である。窒素酸化物の発生によって苦しむ人々や破壊されていく自然に対して深刻な問題ととらえてたゆまず解決策を見いだしていく努力をするべきである。人の手が増えらることで発生した有害物質は数知れない。

学習後の3文

大気は人間にとって不可欠であるので汚染されると人に与えられる影響は大きい。大気を常時清潔に保つため様々な対策が施行された。大気の中に人は生きている。

学習の振り返り

シートを完成していく中ではじめは自分は文系だし難しいと思っていたけれど段階を追って学習していく中で興味をもてて良かった。大気の中で人や植物は生きているということはこれは必要不可欠な存在であるわけだからこのシートの学習が終わっても大気のことを考えていかなければならないだろう。その手がかりとしてこのシートの完成はとても自分にとって有意なものであると思う。

感想

大気汚染に対する人々の努力はすばらしいと思った。かといって問題が皆無になったといえそうではなく、これからも生じるであろう多くの問題へ人は立ち向かっていかなければならないだろう。

<S>

学習前の3文

大気汚染の問題は深刻だ。大気のおかげで生活ができる。日本の大気は汚い。

ワークシート

- ① 人類の作り出した問題を自然任せに解決するのではなく人類自身の手で再利用再開し、なるべく無駄の少ないようにしないとけないということ。
- ② 原料を再利用できるものにし、副産物を無駄にしないようなしっかりとしたサイクルを作ることによっていいものをやすくそして環境に優しくできる。
- ③ 原因物質をなくす方向ではなく人から遠ざければ安全という安易な考え方によってよ

けい被害が拡大するように思う。「くさいものにはふた」ではなく原因を究明し、有害なものを無害なものへと変える努力が必要だと思う。

- ④ 環境問題の原因となる物質は人工的な副産物だけで無く自然界からも発生している。

学習後の3文

利用のしかたで大気はきれいになる。大気の自浄作用にも限界がある。人間の手でも大気汚染の問題を解決できる。

学習の振り返り

苦手な化学の分野であったが自分なりにしっかりと取り組めたと思う。

感想

化学の分野のことなのではじめは抵抗があったが意外と身近なこともあったのでちゃんとできたと思う。

論文後の3文

今まで環境問題があだこうだといつつ自分で考えたりせずに科学技術のせいにしてきた。でも今回の講座のおかげで科学技術が身近に感じる事ができ、普通に生活していたらわからないことも分かった。参加してよかった。

<T>

学習前の3文

人間が生きるのに必要な大気。今問題になっている大気汚染。ロケットが大気圏へ突入する。

ワークシート

- ① ルブランのソーダ灰製造法は人々に良い生活をもたらしたが一方大気汚染を引き起こした。またゴッソーによって河川まで汚染されたがさらし粉によって解決された。生活水準の向上ばかり重んじないでリスクを考えることも大切。
- ② アンモニアソーダ法は公害もなしに利点が多かったように見えるが価格は高かつきルブラン法の法が需要もあって経済的にも採算が成り立っていた。つまり公害対策の万全なルブラン法が優勢だった。
- ③ 硫酸酸化物が人や草に与える被害は大きく多くの問題をもたらした。まだ全部とは行かないが大部分は解決できた。
- ④ 実際にゴトウ先生が出した気体を見てやばいと思った。文系理系に関わらず大切な問題である。

学習後の3文

人類の生活を脅かす大気汚染。人類の利己的な営みで発生した大気汚染、一部は解決したが数多くの問題が未解決である。大気汚染から様々な汚染へと派生していく。

学習の振り返り

最初のほうは要点がよく見えていたけれど夏休みを挟んで2学期になるとようやく短くなってしまった。

感想

人間達が自分たちで発生させた公害を自分たちで解決するという矛盾がそもそもおかし

い。とは言っても放っておけないことだからみんなでどうにか取り組んでいきたい。

論文後の感想

文系の立場でアドグルを選んだことは自分にとってすばらしい経験と知識を与えてくれた。いま自分太刀に直面している問題でもなんとも思わない今の社会。その中で住んでいる僕たちってなんだろうと思う。よりよい未来に向かっていかなきゃと実感させられる時間だった。

<N>

学習前の3文

大気汚染が進む。地球は大気に囲まれている。大気圏を突破する。

ワークシート

- ① 塩酸はイオンの実験とかでも使ったことのある身近なものだが過去には公害のもとになっていたのかと驚いた。産業革命が成り立った直後からやはり公害は付き物だったのだなあと知った。
- ② 現在我々の生活を支えるものを作る過程で副生物として出る公害物質を無害なものにして処理しているものが多いと思うが、「目的物のみとれ公害のもとになるような物質を全く副生しない方法」を過去に考え出したのだから現在のものでもそういったことを理想に開発研究してほしいと思う。
- ③ 足尾銅山の公害というのは聞いたことがあるが原因がSOxだったとは知らなかった。HClの被害の時と同様、問題がおきたとき最初にとらえた対策はやはり高煙突にしたりなど根本からの解決ではなくさらに被害の拡大を招いていて歴史は繰り返すというのが本当なんだなあと思った。これから科学の進歩と共に新たな公害物質が出てきたらごまかしではなく最初から根本解決になる対策をすべきだと思う。
- ④ SOx以上にNOxが危険なものだと実験を見て思った。

学習後の3文

大気汚染は解決された問題もあった。(HCl) 現在大気汚染のもとになっている主な物質SOx以上とNOxだ。大気汚染の解決には原因物質をださないのが一番だ。

学習の振り返り

最初は大気汚染について何も知らなかったが回を追うごとにだんだんと過去の歴史とかも知れてためになった。

感想

グリーンケミストリーって何をやるのがよくわからなかったが、何となくわかった。

論文後の感想

「グリーンケミストリー」を勉強して、その考え方や過去の歴史とかもわかり、とてもためになった。元素の周期表を日本では「水兵リーベ・・・」とか暗記するが、アメリカや韓国など世界の他の国でも同じような暗記をしているらしい。ただ、周期表発祥の地(?)ドイツではそういった覚え方は存在しないらしい。そこではどんな教育が行われているかは知らないが、日本も今回自分たちが学んだ「グリーンケミストリー」のような内容こそ授業でやるようにすれば、科学(化学)に対する意欲やモチベーションもあがり、「水兵リーベ・・・」

なんて覚え方を教えなくても周期表ぐらい覚えているような時代がくるかもしれないと思った。

<Na>

学習前の3文

宇宙船は大気圏に突入した。大気は主に窒素と酸素からなっている。大気は徐々に汚染されている。

ワークシート

- ① ルブラン法の中の「回収した塩化水素を水に溶かして塩酸として処理する。」というのがあった。が、その塩酸がまた新たな汚染の原因となっていた。これでは意味がない。やはり問題を解決するときは後のことをよく考えてから取り組むべきだと思う。
- ② アンモニアソーダ法は有害物質をださない、で優れている。また、再利用することが可能になり、これは今の時代も見習うべきだと思う。
- ③ 原油脱硫のようにこれから公害を発生させないような原料を開発したり使用して公害の根元をなくす取り組みも必要であると思う。
- ④ 今日は実際に実験でSOxやNOxを発生させた。環境破壊の原因物質となるものを実際に目で確認しておくことは大切なことであると思う。

学習後の3文

産業革命以後、ヨーロッパの大気はルブラン法の廃物として出るHClによって汚染されていたが、アンモニアソーダ法の開発によりHClによる大気汚染は解決された。

大気中でSOxやNOxは化学変化し酸性雨となる。地球上すべての生物の宝である大気をこれ以上汚染してはならない。

学習の振り返り

過去に発生し現在では解決された大気汚染から現代の大気汚染までその原因や解決法などを一気に勉強でき充実した学習ができたと思う。

感想

上にも書いたが大気圏をこれ以上汚染しては必ずまた浄化につとめるべきだと思う。

論文後の感想

グリーンケミストリーという名前に興味を持ち、この講座を選んだが、内容はとてもへビーなものだった。だが、自分なりに精一杯頑張ってグリーンケミストリーについて学ぶことができた。とても有意義なものになったと思う。このような機会ではないとグリーンケミストリーを知ることができないと思う。これからの人生に直接的な影響はないかもしれないが、進路洗濯や就職の際に参考の材料にできれば良いと思う。

<I>

学習前の3文

近年大気汚染が問題になっている。大気圏に入る。大気が悪い。

ワークシート

- ① ルブラン方では炭酸ナトリウムを作る過程で生じる HCl が原因の大気汚染が拡大→対策①食う空气中に拡散×(汚染地域が広がる。)②水で希釈し塩酸で回収×(塩酸の用途が少なく川に流して川の汚染が発生)③回収して塩酸をさらし粉漂白剤にする。○
- ② ルブラン法からアンモニアソーダ法にかわって汚染物質が出なくなる。副生物を肥料として使えるし原料の NH<sub>3</sub> に変える事も可能にしたなど現在は違う方法で合成された NH<sub>3</sub> をたいてい使用。HCl の環境問題が解決。
- ③ SO<sub>x</sub> の被害→ばい煙→森林農作物への影響→ロンドンでも 40 人死亡。  
→銅山→足尾銅山別子銅山周辺で被害。ばい煙が川にも拡大。  
→四日市→呼吸器障害  
対策 火力発電上では排煙脱硫原油脱硫をしているが、完全とはいえない。
- ④ NO<sub>x</sub> は人工より自然界で発生することのほうが多い。NO<sub>x</sub> は炭化水素などがあるところで紫外線に当たるとオキシダントなりこれがロサンゼルスや東京で大きな環境問題となる。  
窒素酸化物は常温では発生しない。

学習後の 3 文

大気汚染には大気汚染に繋がる窒素酸化物や硫黄酸化物などの大気汚染が含まれている。1936 年英国で大気浄法ができた。ルブラン法は副生物として塩化水素を出し大気汚染が著しくなった。

学習の振り返り

学習の重要なところをわかりやすく書ける。特にどのようにして解決していったのかがしっくりわかる。

解読不可

論文後の感想

環境問題というあまり解決していないイメージが強かったのが学習を通じて出てしまった汚染物質を減らすことから出る物質を減らそうというグリーンケミストリーの考えがわかった。特に今まで自分が知っていた知識は一部に過ぎなかったことを実感した。少し短く間が飛び飛びだったのは残念だったが、今の大人や次の世代の私たちが努力を怠らなければ自然を回復させることはできなくても環境悪化を防ぐことができると思う。このためにも様々なことを学ぶべきだと考えさせられた学習だった。

<K>

学習前の 3 文

大気が汚染される。大気が悪い。大気がない。

ワークシート

- ① 公害物質を利用する事が如何に難しい事であるとわかった。
- ② 同じ製品を作るにしても公害物質を発生する方法やしない方法がある。より簡単でより安全な方法を見つけていくことが、大きな進歩になると思った。
- ③ 公害物質に対してどのような対策をとってみても常に問題が付きまってしまう。

- ④ 自然界からも発生してしまう物質だからこそ、人為的に出す事は極力避けるべきであると思った。

学習後の 3 文

大気汚染物質を取り除く。SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> が発生し、大気中に放出される。大気汚染の発生しない方法を開発していく。

学習の振り返り

資料を参考に良くまとまったと思うが内容不足というところも多少見られた。

感想

授業が少なかったがグリーンケミストリーの本質は少なからず理解できたと思う。

論文後の感想

過去に起こった公害問題とその対策について学ぶことでグリーンケミストリーの本質を少しずつ理解することができた。これまで学んできたことは、地球規模の大きい問題であるが、意外に身近な問題であると思った。興味深いことで学べてとても充実したものだった。ただ授業数が少なかったのが非常に残念である。

<Ko>

学習前の 3 文

大気圏に突入する。大気圧が大きい。大気は窒素などからできている。

ワークシート

- ① 炭酸ナトリウム製造時に発生する HCl は喘息や気管支炎などを起こし酸性雨の原因ともなる。さらしこの製造などによりルブラン法の公害対策はほぼ完成。生産する上で環境への影響を考える事は必ず必要である。
- ② アンモニアソーダ法はルブラン方よりも単純であり副生物の問題も解決し、ルブラン法にとって変わった。
- ③ 硫黄酸化物はとても危険なものである。日本でも過去に多くの公害を残して排煙脱硫や原油脱硫で解決している。
- ④ 人間の活動によって発生した有害物質は地域が一定され被害を大きくする。NO<sub>2</sub> はとても嫌な色をしていて不気味。

学習後の 3 文

高煙突により塩化水素を拡散させたため大気汚染地域が広がった。窒素酸化物が大気中に増加すると気管支炎や酸性雨の原因となる。窒素酸化物は土中のバクテリア活動が空中放電などによって大気中に自然と発生するものである。

学習の振り返り

毎時間大変だったが良く取り組めたと思う。

感想

環境汚染の歴史はどの問題も似たようなところを持っていて高煙突による拡散が水に溶かして捨てるなど失敗をしていた。しかし化学反応を利用し、新たな技術を用いて解決していく過程がとても興味深いものであった。

### 論文後の感想

とにかく毎時間大変だったが元々興味はあったものなので意欲的に学習できたと思う。

### <Kb>

#### 学習前の3文

地球は大気によって覆われている。自動車の排気ガスによって大気が汚染されている。大気が不安定です。(by 木原さん)スペースシャトルが大気圏に突入する。

#### ワークシート

- ① HCl による公害はルブラン法という炭酸ナトリウムの大量生産の過程で起こった。解決法としては発生した塩酸を回収しそれを原料としてさらし粉(漂白剤)を作った事が挙げられる。
- ② ルブラン法に変わってから19世紀半ばアンモニアソーダ法という生産方法が考案された。これは有害物質を発生させず生産効率価格の両面でも優れていたため普及した。しかし、一方のルブラン法も  $Cl_2$  やさらし粉の需要から20世紀はじめ頃まで生産が続けられた。
- ③  $SO_x$  (硫黄酸化物) は酸性雨、大気汚染、水質汚濁などの原因となる。少量で多くの被害をもたらす有害物質である。かつて日本でも足尾、別子の銅山から出る  $SO_x$  による被害が実在している。最近では四日市喘息も引き起こしている。
- ④  $NO_x$  は  $SO_x$  とともに酸性雨、大気汚染の原因物質であること、また、光化学スモッグを引き起こし、気管支炎を引き起こす。HCl や  $SO_x$  にくらば環境に対して無害にする有効な方法が知られていない。

#### 学習後の3文

$SO_x$  と  $NO_x$  は大気汚染の直接的原因である。 $SO_x$  の大気中の濃度は環境基準で一日平均0.4ppm以下とされている。大気汚染防止法公布。(1968年)

#### 学習の振り返り

資料をもとにして自分なりに詳しく調べ上げる事ができた。化学図表などを使う事によって深い学習ができたと思う。

#### 感想

週に1回の授業だったので各回各回の問題点の結びつき流れが悪かった。しかし、全体を振り返ってしまっても単語としてしか知らなかった大気汚染について経緯、原因、物質など細かく知ることができて、とても学習になった。

#### 論文後の感想

学習を始める前、用語としてしか知らなかった四日市喘息、足尾銅山などの公害問題、公害の経緯、原因物質など、社会的視点だけでなく、科学的な視点で学ぶ事ができた。今まであまり身近に感じ無かった公害という者を身近に考える事ができた。今回の学習をいかし、将来仕事をもつようになったらグリーンケミストリーを思い出し、環境にやさしい人間でありたい。

### <S>

#### 学習前の3文

大気汚染を食い止める。大気圏に入ったんですか。どこまでが大気？

#### ワークシート

- ① 炭酸ナトリウムは工業界にとって重要な物質であるからそれを生成する過程で発生してしまう有害物質をどう処理したらよいかと言う事を直ちに解決する事が必要である。
- ② 発生した副産物を有効に活用した発生してしまった有害物質の処理が大切だと思った。
- ③ 金属の精錬によりできてしまう硫黄酸化物等の有効な処理法ができたがまだ完全ではなくいくつかの問題があるからその解決が必要だと思った。
- ④  $NO$ 、 $NO_2$  の発生によりさまざまな被害が出てしまうということが分かった。このような物質をどのように処理するかが大切だと思った。

#### 学習後の3文

汚染物質の処理。大気汚染の問題解決。窒素酸化物の大気中の増加。

#### 学習の振り返り

ワークシートを通して大気汚染について詳しく知り、理解する事ができたので良かったと思う。

#### 感想

難しい事もあったが全体の流れをつかむ事ができたので今回の学習を何か実生活に生かすことができればいいと思う。

#### 論文後の感想

科学技術のこれまでの発達というのはとても急激であったのを知り、また、環境とのかかわりがとても難しいということも分かりました。今まで考えた事の無い物ばかりでとても自分にとって良い勉強になりました。今回このような問題について考えるいい機会がもてとてもよかったです。

### <N>

#### 学習前の3文

大気汚染が進む。大気中には窒素が最も多く含まれる。大気中の二酸化炭素濃度が上がる。

#### ワークシート

- ① イギリスの炭酸ナトリウム工場が目先の利益を見て行動した結果、公害が発生し、解決までかなりの時間がかかった。ルブラン法の塩化水素の発生による公害の発生はさらし粉の製造と言う形で幕を閉じた。
- ② 複雑なものをより簡単に作る事が大切であるがそれにおいてもやはり公害のことを考えなくてはいけない。その点においてアンモニアソーダ法はルブラン法より優れていた。そのためルブラン法の工場はなくなっていった。
- ③ 先を急いで銅山や向上を推し進めたためさまざまな公害起きてしまった。被害の出してしまう前にもっと先を読んで行動する事や根本的な解決を見出す事が必要だと感じ

た。

- ④ 化石燃料の使いすぎのためにNO<sub>2</sub>が大量に発生し、そのために光化学スモッグなどの問題が発生

学習後の3文

大気汚染は工業の推し進めにより起きた。地球を覆っている大気は 大気汚染を食い止めていく事がこれからの人類の課題のひとつである。

学習の振り返り

振り返って読んでみると昔やった事が思い出される。でも読んだだけでは意味がわからなかったり言葉足らずの所がけっこうある。スペースがたくさん空いているのもっとたくさんの事を書いておくべきだったのではないかと思う。

感想

いままでは大気汚染という単語しか知らなくて、どう起きるのか何が恐ろしいのかなどは全く知らなかった。この授業のなかで化学の歴史、公害の発生とその解決を学んでいくにつれて実現見を帯びてきてこれからの地球が心配になってきた。とてもためになるし何よりも楽しい授業だった。

<H>

学習前の3文

大気が汚染される。大気が浄化される。大気が乱れる。

ワークシート

- ① 炭酸ナトリウムを作るにはHClなどの有害な物質が多く出てくる。それを解決するために水に溶かしたり拡散させたりしたが一番効果のあったのはHClを回収しそれを塩酸としてそれをもとにさらし粉を作る方法だった。この結果、HClなど有毒な気体の問題は解決した。
- ② ルブラン法に変わってアンモニアソーダ法という炭酸ナトリウムの生産方法が見つかった。アンモニアソーダ法では副産物として出てくるNH<sub>4</sub>Clが農産物の肥料となった。ルブラン方は副産物の需要が高いためアンモニアソーダ法が発見されてからも続いたが、食塩水を電気分解する方法が見つかったためにルブラン法はほとんどなくなった。
- ③ 銅の鉱物の精錬過程で硫黄酸化物が生まれ、あの有名な足尾銅山事件が生まれた。また、重油を燃やす時に出る硫黄酸化物で四日市喘息が起こった。重油からH<sub>2</sub>Sとして硫黄が除去できるが完全に除去するためには複雑で大規模な装置が必要になる。
- ④ 二酸化窒素は水に溶けると3NO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O→2HNO<sub>3</sub>+NOとなる。NO<sub>x</sub>は喉や鼻から入って人体に害をもたらす。すったNO<sub>x</sub>が高濃度だった場合は肺に障害が起きる。まだ完全にNO<sub>x</sub>を除去する方法は発見されていない。

学習後の3文

一番最初に起きた大気汚染は炭酸ナトリウムで作る副産物の塩化水素が元になっておこった。大気汚染の解決法は直接大気を浄化するのではなく、まず汚染物質を出さないような装置を作ったり、その後自然の浄化作用で解決するのが多かった。汚染物質を大気に出したら

それが雨に溶けてさらに害が広がる。

学習の振り返り

毎回シートの要点を書くはずだったけれどあまりうまくいかなかったと思う。後で見直す時に自分がやってきた事がしっかりと理解できるようにするのができなかったのが残念だった。

感想

硫黄や窒素の大気汚染の前に塩化水素の汚染があったことは知らなかった。硫黄や窒素も塩化水素のような解決法があると思うのではやくそれを見つけれられたらと思う。大気の恐ろしさがよくわかった。

論文後の感想

毎回プリントからそれらの気体の危険性を予想していたけれど前回本当の気体を見せてもらって改めてそれらの気体の危険さが分かった。ちょっとプリントばかりで飽きてしまう部分もあるのでもっと浄化反応とかももっと見せてもらいたかった。でも楽しいアドグルだった。

<F>

学習前の3文

大気を汚す。地球は大気に覆われている。大気をきれいにする。

ワークシート

- ① Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (炭酸ナトリウム) の古い製造法により HCl の公害が問題になっていた。(ルブラン法) 水に HCl ガスを溶かし、塩酸として回収し、塩酸を原料とする。さらし粉 (漂白剤) の製造により (ウェルドン法) 解決した。
- ② 炭酸ナトリウムの新しい製法 (アンモニアソーダ法) が開発された。これは HCl や H<sub>2</sub>S などの汚染物質を排出しない。また副産物の NH<sub>4</sub>Cl を農産物の肥料として利用できる。
- ③ 硫黄酸化物は化石燃料を燃やしたり金属精錬すると大量に出る。排煙脱硫や原油脱硫などの方法がとられているが、まだ完全に除去することはできず、問題点が多い。硫黄酸化物は酸性雨の原因となり人体にも大きな害を与える。
- ④ 窒素酸化物はスモッグや酸性雨の原因となる。また、化石燃料を燃焼させる事で発生する。

学習後の3文

大気が窒素酸化物によって汚染される。大気中に多量の硫黄酸化物が排出されると酸性雨の原因になる。HCl による大気汚染は解決した。

学習の振り返り

だいたいが空いてしまうことが多かったが、真剣に取り組めたと思う。ただまだ雑な点が多かったのでそういう点をもうちょっとしっかり調べる必要があると思う。

感想

知らない事が多く、すごく勉強になった。特に人類が既に解決した問題があったということとは全然知らなかったので面白かった。

<M>

学習前の3文

大気圏に突入する。大気が汚染される。大気圏を脱出する。

ワークシート

- ① 炭酸ナトリウム（漂白剤）を量産するためにルブラン法が作られたがHC1が発生するため大気汚染が起きた。HC1を拡散や水で溶かして回収する方法も発明され最終的には水に吸収して得た塩酸を用いてさらし粉（漂白剤）の製造をする（ウェルドン法）が発明され大気汚染は解決された。この際でCl<sub>2</sub>も飲料水の消毒に使われた。
- ② ルブラン法がすぐになくならなかったことから必ずしも新しい方法がいいとは限らないと思った。あと、発想を転換すればよりよい方法ができたりもっとよい商品を作る事ができるんだと言うのも感じた。
- ③ 石油が大量に使われるようになったり、銅を使ったり、利益を優先するようなことがあると公害が起るようだった。原油脱硫の方法がもっと良くなって欲しい。
- ④ NO<sub>2</sub>が黄緑の液から変な茶色の気体になっていくのを見てやばいなと思った。早く自動車がZLEVになって欲しいと思う。

学習後の3文

HC1が大気に拡散した。アンモニアソーダ法によってHC1による大気汚染が解決した。排煙脱硫、原油脱硫によって硫酸化合物を減らす。

学習の振り返り

元々環境問題に対して興味関心があったが、その歴史について触れたことはなかったので良い勉強ができたと思う。後ちょっと字が汚いと思うので字からこの世を浄化したいです。

感想

たった4回分しか調べる時間がなかったのが不満だった。大気汚染だけじゃないほかのものも交えて10回ぐらいやりたかった。NO<sub>2</sub>の実験が見れて良かった。

<Y>

学習前の3文

大気中には窒素が最も多く含まれている。大気中の温室効果ガスの上昇によって地球の温暖化はさらに促進された。大気圏を抜けた。

ワークシート

- ① 大量生産の過程で出た環境汚染物質を他のものに利用することで環境汚染を止める事ができた。自然界にわずかに存在しない物質を大量に発生させるには危険が伴うのではないかとする疑問もあった。試行錯誤の末、ようやく解決できた。
- ② かなりひどくなってしまった公害でも人の手で解決できる可能性があることを知った。しかしアンモニアソーダ法を用いてもなお、ルブラン法が廃棄されなかったのは経済的に採算が成立していたからなので環境汚染をなくすには新しい方法と古い方法に対する経済的対策も必要になるのではないかとする。
- ③ 人間の工業発展には常に公害がついてくるように思う。それに対してさまざまな対策

が行われているが、完全な解決はできていないのが現状である。またその対策法にも問題がある場合もある。

- ④ 窒素酸化物による公害や大気中の化石燃料を使い尽くせばなくなるかもしれない。しかし、そのときにはこの環境は救い様がなくするにちがいない。一刻も早く解決策を立て実行に移さなければならないだろう。

学習後の3文

人類はHC1による大気汚染を解決した。現在の大気汚染の原因として、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>が挙げられる。この大気汚染に対する対策は未だに完全ではない。

学習の振り返り

学習前に比べてずいぶんときさまざまな事を知ることができた。大気汚染に対する認識を再確認、あるいは改善する事ができたと言えると思う。

感想

一言で言うならば、「楽しかった。」元々このようなものにはかなり関心があったので大変有意義な時間を多く過ごせたといえるだろう。大学へ行ってこの切り口でこの問題を見ようという気にもなった。

論文後の感想

この学習を通して環境問題はやはり化学で解決できるのもであると確認する事ができた。化学に関わる問題はエネルギー問題や資源など環境のほかにも様々なものがあるがここで学んだ事を活かして将来これらの問題解決の一端を担っていけたら良いと思う。

ワークシート4 解決法の記述

<N>

何らかの物質と反応させて無害な物質にして取り出し、効率よく利用する。

<Y>

工場や自動車から窒素酸化物がばらまかれないう煙突やマフラーの改良やそれについての法律を作る。

空気中の窒素酸化物を水で洗ってHNO<sub>3</sub>をつくる。

<I>

車については排気口の水を流すなどしてガソリンスタンドなどで硝酸として回収する。暖房を使わず、厚着して過ごす。

<U>

発生した二酸化炭素をアンモニアに変える。常温では発生しないのだから反応が促進されるような高温状況を作り出さないようにする。

<S>

水に解かし硝酸にし、アルコールを加えダイナマイトにする。(できるかな?)

<K>

硝酸はアンモニアの形で有効な使い道があるので水に吸収させて硝酸にする。または何とかして還元してOをなくす。何とかアンモニアに戻す。

<Si>

HNO<sub>3</sub>の使い道があれば良い。

<T>

窒素酸化物の発生は抑えることが難しいので発生源が集中しないような道路などの建設を行う。かなり抽象的だが窒素酸化物の発生過程を逆にたどる方法を考える。(N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>にもどす。)

<U>

今までのように排出された窒素酸化物を何だかの物質に結合させて無害にする。またそれをリサイクルして次の異なる作業の材料とする。人工的な発生源をたつそのため化石燃料から新たなエネルギー資源へと転換する。無論そのエネルギー資源も同じことにならないようにクリーンなものにする。

<K>

対策の工夫として有用なもので無害なものへの化学変化を起こさせるほういう方法で行われたため受け入れやすかったと思う。

副産物が原料として使うことができるものというのも良かったのだと思う。簡単な反応で無害なものを作り出す方法は効率も良かったのだと思う。

<Ku>

すばらしいといわれる方法は大体落とし穴があり多くの副産物を作り出したり有害な物質を発生させたりする可能性がある。HC<sub>1</sub>やSO<sub>x</sub>などに対する対策を考えたり思いついたならすぐに実行に移すことなく、十分熟考し、マイナスの点を発見してから大規模に行うなどの方法を取るべきである。

<SD>

化学反応させて比較的無害な物質にする。

<Ka>

発生源を断ち切るために化石燃料に頼らないエネルギーの生産法を考える。(ソーラーカーとか風力発電など)

なかいばやし

水などに溶かして硝酸として取り出し、何だかの形で利用する。

<I>

有益のものに変える化学反応などを考える。

<Ko>

NO<sub>x</sub> 無害の固体や液体にして回収する。自動車などを電気か他にとって代わるエネルギーを使って動かす。集めて宇宙に捨てる。

<Kb>

有益な副産物は取り出し、有害なNO<sub>2</sub>、NOを取り除く脱窒法を開発すべし。

<N>

NO<sub>2</sub> をそのまま空気中に排出するのではなく、いったんそれを中和もしくは無害で有用なものに作り変えるような工場を作る。

NO<sub>2</sub> 濃度が一定の場所で高くならないように広い範囲で拡散させる。

<H>

工場などで発生するNO<sub>2</sub>などをそのまま大気中に排出せず水などに溶かして硝酸として回収する。

<M>

NO<sub>x</sub>が発生する固定発生源には中和装置をつけ、車はEV化する。燃料電池車や電気になれば排ガス自体が発生しない。

<F>

化石燃料を燃やすのに使う空気から窒素を完全に除去すれば化石燃料の発生源では窒素酸化物は出なくなる。

<Y>

化石燃料を他のエネルギーに切り替える。

NO<sub>2</sub>からNH<sub>4</sub>Clをつくれれば。

# GSC 教材実践報告－高等学校化学Ⅱ 課題研究での実践

大 平 和 之

## 1 調査について

- (1) 調査対象生徒 公立 C 高等学校 3 年生 「化学Ⅱ」 選択生徒 16 名
- (2) 調査期間 平成 15 年 12 月 6 日（金）～平成 16 年 1 月 29 日（木）
- (3) 調査時間 週 3 時間の「化学Ⅱ」 授業内の「課題研究」として 10 時間行った。
- (4) 調査内容と方法

以下の内容で授業を実践した。なお、各時限で机間巡視によって生徒の進捗状況を確認した。作業速度が遅い生徒には、ワークシートの順序を飛ばさず、すべての項目をワークシート 1 から順に記入するよう指示した。

回	期日	授 業 内 容	実 践 内 容
1	12/6	今回の学習の目的、流れ、 学習履歴シートについて 説明 WS1	導入 WS を「大気について考える意味」を黙読、 輪読させ、これを解説。 WS 記入に際しての注意点を指示。 学習履歴シートの意味・目的について説明し、学 習前の「3つの文章を書きなさい。」を記入。 その後、WS 1 を学習。
2	12/19	WS 1 つづき	各 WS が終わったら、直ちに学習履歴シートの 「要約」を行うこととした。
3	1/9	WS 2	
4	1/13	WS 2 つづき	
5	1/14	WS 3、4 を始める前に WS 3	「WS 3、4 を始める前に」を説明し、記入。 WS1、2 が終わっていない生徒には、あせらず自 分のペースで行い、家庭学習でも取り組むように 伝えた。
6	1/16	WS 3 つづき	
7	1/20	WS 4	
8	1/21	実験 (SO <sub>2</sub> と酸性雨)	SO <sub>2</sub> を実験室で発生させ、その水溶液の性質 (生 物や金属、大理石への化学的効果) を観察した。
9	1/23	WS 4 つづき 学習履歴シート 1 の完成	WS 4 まで終わっていない生徒のための時間。 WS 4 まで終わった生徒は学習履歴シート 1 の学 習後の「3つの文章を書きなさい。」を実施。 この時間で終わらなかった WS は家庭学習で完 成するよう指示。
10	1/29	WS 5	WS5 を黙読、輪読させ、これを解説。
	2/6 締切	学習履歴シート 2 をレポ ートとして提出	学習履歴シート 2 を学習し、完成後提出させた。

## 2 学習履歴シートを用いた実践

今回の授業実践では、1枚ポートフォリオ評価法を基にした「学習履歴シート」を用いた。学習履歴シートの記述から、今回の実践が本教材の目的を達成できていたかどうかを検討する。

### (1) 学習前後の変容の明確化について

本教材では学習の前後で『「大気汚染」という語を使って文を3つ書いてください。』という課題を与え、これにより生徒が学習前後の変容を把握できることを狙っている。表1では、この課題に対して生徒が書いた3文の文字数を示してある。学習の前後ですべての生徒の文章が長くなっている。学習により知識が増加し、自らの考えも深化、発展しているからだと思われる。

3つの文の内容について、本教材のねらいである以下の2点に注目してみる。

#### ①化学工業において、長年環境に対する努力が払われてきたこと

学習前は「これまでの大気汚染に対して科学者が対策を講じてきた」という記述をする生徒はまったくいなかった。代わりに「工業的活動などによって大気汚染は広がる」（生徒N）「大気汚染は人が生み出した」（生徒E）という悲観的記述が目立った。

一方学習後は「公害を取り除くために、いくつもの解決策を生み出している」（生徒I）といった苦労の歴史を記述した生徒が14名にのぼり、本教材のねらいを生徒が理解し、考察していることが分かる。また科学が未来の環境をよりよくすることを期待する文章も出てきた。「大気汚染は今後私達の努力しだいでとめることができるはずだ」（生徒L）

#### ②GSCの考え方(出してから処理ではなく、汚染物質そのものを出さない)の重要性

学習後には、3名の生徒がこれに触れていた。「発生する有害物質を回収し、利用価値の高いものに変えるなどが考えられるが、それよりも有毒物質を出さないようにすることのほうがよい。」（生徒C）のように、GSCの考え方を元に自分の考えをしっかりと記している生徒もいた。

### (2) 可視的に変容を自己評価、変容による学習の意味の感得

「学習履歴シート」の一番下に「学習前－学習中－学習後を振り返って、あなたはどのように思いますか。自由に書いてください。」という欄がある。これが自己評価であるが、本教材ではこの自己評価が目に見えるようになっている。

生徒名	使用した文字数		文字数の変化 (学習後/学習前)
	学習前	学習後	
A	16	99	619%
B	29	156	538%
C	69	229	332%
D	91	298	327%
E	49	154	314%
F	63	170	270%
G	70	174	249%
H	66	156	236%
I	60	137	228%
J	46	100	217%
K	81	143	177%
L	47	82	174%
M	59	99	168%
N	89	136	153%
O	103	156	151%
P	92	115	125%
平均	64.4	150.3	233%

表1 使用した文字数の変化

この「ふり返り」欄の記述を大まかに分類したものが表2である。「感心した」「勉強になった」「学力がついた」と感じる生徒が多かったが、注目したいのは「視野が変化した」という生徒である。勉強によって自分が変化したことに気が付き、「もっと勉強したい」「勉強は大切だ」という感情につながっていく始まりになるであろう。

内 容	人 数
感心した・勉強になった・学力がついた	7
自分の視野が変化した	3
まとめる力が身についた	2
その他	4

表2 「ふり返り」欄の記述内容

### (3) 学習履歴に基づく授業評価

学習途中で生徒の書いた内容を確認し、指導計画を変更できるのもこの評価法の重要な点である。WSの要約を記入する際に小さな字でWSのすべてを書き込もうとした生徒が数名いた。その生徒は記述の途中で欄がなくなり、最も学ぶべき内容まで到達しないまま、次のWSに進もうとしていた。また、大気汚染の被害のみ強調しているなど、論点がずれている生徒もいた。また、歴史事実の羅列、WSのキーワードの羅列(箇条書き)という、要約の意味を理解していない生徒も数名いた。つまり、このWS要約作業とその評価により、教員の意図と反する(意図しない)記述をチェックできた。

そこで生徒がWSをこなすだけでなく、「本教材で学ぶべきポイント」を絞り、それを強調する指導に切り替えた。具体的には(1)で示した2点(化学工業における長年の努力と改善、GSCの考え方)をポイントとした。その後のWS内容の要約や、表1の結果を見ると、指導方法の切り替えがうまくいったといえる。このように機動的に授業計画、指導方法等を切り替えられることは、この評価法の大きなメリットであると実感した。

## 4 今後の課題

今回の実践授業では、SO<sub>2</sub>の発生と酸性雨の性質について、生徒実験を行った。WS3の内容に関連した実験であったため、生徒は皆意欲的に取り組んだ。実験後に酸性雨についての記述が増えていることは、生徒自らが触れた酸性雨の印象が強かったからであろう。

今後の改善点として、

- (1) SO<sub>2</sub>以外にもHClやNO<sub>2</sub>を用いた実験(大気汚染物質の測定実験も含む)
- (2) 大気汚染を防ぐ対策法に直接触れられる実験

を本教材に組み入れていきたい。

また今回の生徒の記述では、大気汚染問題に対する自らの主張を述べた生徒が少数ながら存在した。また、自らの進学する学科との関連を記述した生徒もいた。このようなことから、本教材と小論文指導との連動を図っていきたい。

学習履歴シート (1) の生徒の記述

生徒	学習前「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい	前語数	学習後「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい	後語数
A	身近な大気汚染 地球規模の大気汚染	16	昔からの課題とされてきた大気汚染は、現在でも解決の困難な問題となっている 大気汚染は人間に悪いばかりでなく、自然界にも大きな影響を与えている 私たちの考え方、やり方しだいで、大気汚染はなくすることができる	99
ふりかえり	始める前から思っていた通り難しく、内容が多かった。その結果細かなところまで詳しく知ることができた。			
感想	自分には余り向かない作業だと思った。			
B	有毒ガスでの大気汚染 酸性雨での大気汚染 生活廃水での大気汚染	29	一番初めに日本で大気汚染が問題になったのは別子銅山での煙害 世界各国でも大気汚染が問題となり、1789年にはルブランが「ルブラン法」を発明するなどして、対策が取られてきた。 大気汚染は人々に影響を及ぼすだけではなく、生物などにも深刻な影響を与える。中でも代表的な「酸性雨」は木々を枯らしたり、建築物を溶かしたりする。	156
ふりかえり	学習前まではそれほど深い内容は勉強していなかったのでよくわからなかったけれど、公害問題についてのことをこの化学で勉強したら、結構歴史があって「そんな前からあったのかあ」と思い、とても感心しました。これからは、自分もこういう問題を起こさないようにがんばろうと思いました。			
感想	今回、この課題を学習してとてもためになったなあとおもいました。僕も今年から東京の近くまで行くので身近なところで起こったらイヤだなとつくづく思いました。			
C	大気汚染は、車の排気ガスによっても起こっている。 大気汚染は、人間や植物にとって有害である。 大気汚染は日本より外国のほうが問題になっている。	69	大気汚染物質には、塩化水素 (HCl)、硫黄酸化物 (SOx)、窒素酸化物 (NOx) があり、それらは人間や生物にとって有害で、酸性雨の原因にもなる。 大気汚染対策として、発生する有害物質を回収し、利用価値の高いものに変えるなどが考えられるが、それよりも有毒物質を出さないようにすることのほうがよい。 大気汚染は、日本でも外国でも多くの被害が見られ、自然界よりも人間活動で発生する大気汚染物質のほうが問題になっており、これからも人間の手で解決していかなければならない。	229
ふりかえり	最初は、大気汚染について真面目に考えたこともあまりなく、よく分からなかった。学習していき、大気汚染対策についてみると、結局は同じような問題が起こったりしていて、解決するのは大変なんだと思った。でも、まず有害物質を出さないと言う考えが大切だと分かった。人間活動が活発になった事により、大気汚染は増えているので、生活が豊かになる反面、大気汚染についてしっかり考えていかなければならないと思った。			
感想	大気汚染物質や酸性雨の怖さや大気汚染による被害の様子などを知り、これからは大気汚染の事をもっと考えていかなければならないと感じた。 車と言う身近な物からも、大気汚染が発生していると改めて考えると、怖いと思った。			

D	<p>今、大気汚染の影響で空気中の二酸化炭素の濃度が高くなり、地球温暖化が進行している。 大気汚染のせいで公害病が発生し、人々を苦しめた。 人が生きるための活動によって大気汚染が行われている。</p>	91	<p>ルブランなどのおかげでいろいろな産業の発達という工業的なメリットを残したが、それとは別に、色々な課題を私達に作り上げた。大気汚染もそのひとつである。 大気汚染は、人々に課題を与え、それとともに人々はさまざまな考えや対策を考えましたが、初めはうまくいかなかったが段々技術が進歩したため現在は解決されつつある。 大気汚染の原因物質とされた硫黄酸化物は、人体や地球環境へ多大な影響を与える。日本でも色々な公害をもたらした。そのひとつが四日市ぜんそくである。その時代の、行き届かないばい煙対策と、日本という利益主義が招いた結果である、認定者1000人という数は、日本の公害被害の中でも、大きかった方だと考えられる</p>	298
ふりかえり	<p>学習前はあまり大気汚染の原因物質はよく分かっていなかった。しかし学習中、大気汚染の分からなかったことが次々と出てきたとき、僕は大気汚染を認識する目が少し変わったような気がした。学習後、僕はめったに学ぶことがない、大気汚染の知識を学べてよかった。</p>			
感想	<p>今まで僕にとって大気汚染は人が生きるためにはやむをえないことだと思っていた。しかし学習中資料を見ると色々な解決策または改善策があったので、この大気汚染は僕達人に課題を与えるために必要なものではないかと僕は思った。昔の人たちの努力によって今の世界があることを知れて、とてもいい経験だった。</p>			
E	<p>大気汚染とは全人類の問題 大気汚染とは人が生み出した 大気汚染とは防ぐことよりも直すことのほうが難しい</p>	49	<p>大気汚染を防ぐために昔からさまざまな努力があったのだとわかった。 大気汚染は環境だけでなく人体にも大きな影響を与えることは知っていたが、人が死亡することもある毒性の強い薬品等が空気中などに捨てられていたことに驚いた。 便利な生活を続けていると、大気汚染が拡大していつてしまう。それを防ぐのは難しいことだと思った。</p>	154
ふりかえり	<p>今は学習前と比べると環境問題について少しは化学的に見るようになったのではないかと思う。</p>			
感想	<p>今まではただ「有害な物質を出さなければいい」と安易な気持ちで思っていたが、今回の学習でそれが簡単なことではないことがわかった。</p>			
F	<p>大気汚染によってオゾン層が破壊されている。 車のガスやCO<sub>2</sub>が増加し大気汚染が進行している。 大気汚染によって温暖化が進んでいる。</p>	63	<p>19世紀頃から科学が進んでいくと同時に有害物質の処理が遅れ、大気汚染が広がっていった。 工場や車の排気ガスに含まれる塩化水素や窒素酸化物などが原因で、今でも大気汚染が進行している。 有害物質の増加により酸性雨が降り森林が枯れている。それが原因で二酸化炭素が増え、温室効果によって地球の温度が上昇し、大気汚染の中でとても深刻な問題とされている。</p>	170
ふりかえり	<p>学習前は大気汚染などを引き起こす物質や過去に起きた有害物質問題はほとんど知らなかった。 でもそのことについて調べてみると、現代に残されている問題やそれに対して現在どんな対策がとられているかなど、自然環境について知ることができたと思います。</p>			
感想	<p>温暖化や森林伐採など、まだ深刻な問題が残されているけれど、私が思ったのは、工場や車の排出ガスを少なくすることだけでなく、一人一人が環境について深く考え、身の回りを見直すことが大切なことなのかもしれないと思いました。</p>			

G	大気汚染はその名の通り空気が汚れることである 大気汚染により赤外線など直接肌に当たるようになった 大気汚染をなくすには自然を大切にすることである	70	結局、人が工場から有毒なガスを発生させて、大気汚染を発生させている。 けれど人は大気汚染に対策もしていた。アンモニアソーダ法など塩化アンモニウムを副産物として利用でき、農産物の肥料ともなった。 大気汚染は自然界にも影響した。主なものが酸性雨だ。足尾銅山や別子銅山などで被害が広がった。人間界でも自動車先進国でスモッグが発生し、酸性雨の原因になっていた。	174
ふりかえり	工場では有毒ガスを出さないことも大事だけれど、もっと世界が平和であるよう、化学実験などをやめるべきだと思う。地球を大切にしようと思った。			
感想	酸性雨などの原因やそれに対する対策などを知ることができたのでよかった。			
H	汚れた空気が、大気中を汚染する。 大気汚染はよくニュースで工場など、化学薬品を上空にばらまく？ 大気汚染は環境問題として取り上げている。	66	大気汚染は人間が作り出して人間が使う。地球に害だと気づくのが遅くて、空気を汚染して、病人が出たり、それで苦しむ人が出てくる。 ルブランがやっていたことは大気汚染になるかもしれないけれど、後々自分の間違いに気づき、改善していった、しかも人間の生活に欠かせないものなどをつくり、環境を害しないように研究を行ってくれた。	156
ふりかえり	学習前に比べるとたぶん成長している			
感想	自分に難しすぎたけれど、いい勉強になったと思うし、少しでも頭に入ってくれたので、良かった。			
I	大気汚染は酸性雨を及ぼします。 工場の排気ガスなどのせいで大気汚染になります。 大気汚染のせいで地球の温暖化が進んでいます。	60	大気汚染の原因は、人間が作り出すものの方が多く、しかしその公害を取り除くために、いくつもの解決策を生み出している。 大気汚染により人体への影響がかなり多かった。 今まだ、数々残された大気汚染問題があるが、今まで何度も解決してきたのだから、そのうち新しい解決策が出るだろうと思う。	137
ふりかえり	学習前は本当に大気汚染について何も知らなかったと思う。 学習中は次々に出てくる環境問題に人々がどう対処してきたのかがわかって、勉強になった。 学習後、いまだになくなることのない大気汚染問題で、自分が環境問題について解決策を考えてみたけれど、やっぱり難しかった。			
感想	難しかった。自分がどれだけ環境問題について知らなかったかを思い知らされました。今後はもっと考えていきたいですね。いずれ自分も車を運転するようになるので、排気量などを気かけたいです。			
J	大気汚染によってぜんそくが出る 大気汚染は工場から出る煙からだと思う 大気汚染は酸性雨を降らせる	46	大気汚染は、窒素酸化物、硫黄酸化物によって起きている 大気汚染は、木を枯らし洪水を起こし、米や麦に被害を及ぼす 大気汚染は、化石燃料を燃焼させたりすると起こる 大気汚染によってリサイクルという技術が生まれた	100
ふりかえり	大気汚染というものについて、かなりの学力がついたと思う。			
感想	人間が楽をしよう、楽をしようした結果だと思った			

K	大気汚染は、ぜんそくなどを起こす原因 大気汚染は人間社会に害が及ぶだけでなく、酸性雨による自然環境にも被害をもたらす 大気汚染を発生させる物質は化石燃料などからできる	81	大気汚染の問題は 20 世紀にはいつてから起こったと思っていたが、18 世紀前半頃から発生していた。 大気汚染を発生させる原因は、化石燃料を燃やすというだけでなく、精製するときにもできる。 大気汚染の原因のひとつの NOx は人間活動より自然界のほうが多く発生し、なぜ少なくとも大気汚染が発生するのか	143
ふりかえり	学習前は浅い知識でした。しかし学習していく中で、今まで知っていたことがより深くなり、新しいことを発見することができました。学習したことで環境問題だけでなく、自分自身の考えをまとめるという力が少しは身についたと思いました。			
感想	環境問題の奥深さだけでなく、問題乗り越えていくといったさまざまな人間の面を見ることができたと思います。楽しい授業でした。でも脳みそフル回転でしたが。			
L	大気汚染は地球を殺す 大気汚染は動・植物までもだめにする いまや大気汚染は地球にとって大問題である	47	大気汚染は今後私たちの努力しだいでとめることができるはずだ 大気汚染は命あるもの、ないもの関係なしに被害を加える 大気汚染はグリーンケミストリーの方法で減ってくるはずだ	82
ふりかえり	学習前、大気汚染という言葉はただ地球に悪いとだけ思っていたけれど、学習してみて大気汚染にはいろいろな物質でできているんだと学び、初めよりは大気汚染について詳しくなった気がする。良い方向へ進むといいな。			
感想	ワークシートを行って見て、今までの授業と違って自分で調べて自分で聞いてと何もかも自分でやったので、調べる力がついたと思う。			
M	大気汚染とは、生物にとって有害なものである。 どの国でも大気汚染は深刻な問題である。 人間活動によっても大気汚染が起こる。	59	大気汚染はこの地球上で生きている人々、全員の問題。 大気汚染をなくすには、時間はかかるが、出来る事を確実に、コツコツやることだと思った。 大気汚染の原因になる物質を出さない方法をつくるのが一番大切だ。	99
ふりかえり	小、中学校と環境問題についての学習はしてきたけれど、今回の「自分でやる」というのは初めてだった。みんなで考えるのもいいが、自分で学習していくのも違った良さがあると思った。			
感想	今まで環境汚染について、こんなにくわしく勉強したことはなかったので、初めはとまどったけど、とても勉強になった。これからの自分の考えにも生かしていきたい。			
N	大気汚染の代表的なものは四日市ぜんそく 工業的活動などによって大気汚染が広がる 大気汚染はさまざまな公害の原因。 例えば大気が汚染され、酸性雨が降り、森林が減少し、温暖化が促進される。	89	大気汚染についてさまざまな被害や対策を学んだ。 特に興味深かったものは、四日市ぜんそくのことだった。自然界より発生率が少ないのに問題になるのに驚いた。 一般の人も、もっと大気汚染について真剣に考えるべきだ。大気汚染はさまざまな公害の原因だからだ。 最後に、これをやってよかった。	136
ふりかえり	これからどういう風にしていけばいいか考えさせられる。			
感想	たまには、こういうレポートを書くのもいい。			

O	<p>大気汚染とは、車の排気ガスなどで出された汚い気体などで空気を汚すこと</p> <p>森林伐採をして木を切り倒して車から出された二酸化炭素などを増やすことによって起こることが大気汚染大気汚染されたことで人間の体が触まれること</p>	103	<p>塩化水素が世の中に出回ったことから大気汚染が始まった。いろんな対策をしたがすぐには直らなかった。硫黄酸化物によってもまた大気汚染は広まった。硫黄酸化物によって森林は枯れ果てるといった問題も起こった。</p> <p>車の排気ガスや工場の煙など人が多く集まるところに起こる大気汚染として、窒素酸化物が人体に影響を及ぼしたりしている。</p>	156
ふりかえり	<p>学習前はそんなに考えたことはなかったけれど、もっと大気汚染について考えたほうがいいんじゃないかなあと思った。すごく勉強になった。</p>			
感想	<p>ずっと自分の住んでいる地球だから、もっともっと大切にしていけばいいと思った。</p>			
P	<p>大気汚染は地球環境に悪影響を及ぼすことをいう。</p> <p>大気汚染は大気中の硫黄酸化物や窒素酸化物が雨に取り込まれ、そこに住む生物に影響が出る。</p> <p>大気汚染には外国の酸性の霧やちりなどが含まれている。</p>	92	<p>大気汚染対策にルブラン法とかアンモニアソーダ法の2つがあることがわかった。</p> <p>大気汚染の物質により、のどや鼻が刺激されて、気管支炎やぜんそく等の被害がある。</p> <p>人間が窒素酸化物や硫黄酸化物を多く使っているから大気汚染になることがわかった。</p>	115
ふりかえり	<p>学習前では深く考えていなかったけれど、学習中や学習後を振り返ったら大気汚染は人間が作っていると思う。</p>			
感想	<p>環境のことが少しわかってよかったと思う。</p>			

# アンモニアソーダ法の実験を取り入れた GSC 教材の実践

深野哲也、山本勝博

1. 調査対象生徒 公立 D 高等学校 3 年文系化学「4 単位」選択生徒 22 名

2. 調査日時 9 月 2 日 (火) 2 時限目 文系化学の授業時間

3. 調査の目的

実際の現場では化学の授業時間に余裕がなく、GSC の教材を実践するゆとりがない場合が多い。そこで、1 時間だけの授業でも有効な GSC 教材はできないかと考え、アンモニアソーダ法の演示実験を取り入れたコンパクトな教材の開発とその試行を試みた。

また、調査校は 45 分 7 時間制をとっているが、このような短時間で本 GSC 教材に取り組むことで、生徒の理解が得られるのかを併せて調査した。

4. 調査の方法

(1) 教材・・・「グリーンケミストリー教材の開発研究」報告書よりの抜粋

主な抜粋箇所 学習を始める前に：～大気汚染について考える意味～

資料 11 炭酸ナトリウム工業の発達 (ルブラン法)

資料 12 ルブラン法の化学反応式

資料 13 塩化水素による大気汚染の対策 (ルブラン法の改良)

資料 21 炭酸ナトリウムの新しい製法 (アンモニアソーダ法)

グリーンケミストリーとリスク評価

・教卓上に準備したアンモニアソーダ法の演示実験<sup>1)</sup> (写真 1)

・演示実験の説明プリント (資料 1)

・学習履歴シート 1 時間での展開を考え、履歴シートは内容を精選した。

学習前 大気汚染という言葉を使って 3 つの文を書く

学習中 ワークシート 1 ルブラン法についてまとめる

ワークシート 2 アンモニアソーダ法についてまとめる

学習後 大気汚染という言葉を使って 3 つの文を書く

振り返り 学習前、学習中、学習後を振り返って、今どう思うか

以上の内容にとどめ、学習履歴シート 2 は扱わなかった。

(2) 授業の位置づけ

前時・・・第二回校内模擬試験を振り返り、無機各論の復習

本時・・・無機各論の中でも重要な位置をしめるアンモニアソーダ法登場の背景やその意味を学び、アンモニアソーダ法の実験を観察する。

以上を通して GSC の考え方を理解する。

(3) 展開

1) 履歴シート「学習前 3つの文を書きなさい」記入。

2) ルブラン法およびアンモニアソーダ法の解説。

3) 演示実験の説明（実験は授業開始約 10 分前から始めておいた）

4) リスク評価と GSC の考え方の紹介。

5) そのうちに、反応容器内に白色結晶が沈殿を始める。

(写真 2,3)

6) 履歴シートの記入。

(写真 4,5)

ワークシート 1 にはルブラン法についての、

ワークシート 2 にはアンモニアソーダ法についての要約を記入させた。

その後、「学習後 3つの文を書きなさい」、「学習を振り返って」記入。

5. 生徒の記入した学習履歴シートの様子

(写真 6)

(1) 「学習前 大気汚染という言葉を使って 3つの文を書きなさい」に書かれた主な内容

1. 無記入、あるいはそれに近いもの	16%
2. フロンガス、ダイオキシン、車の排気ガス、プロパンガス、 四日市喘息、光化学スモッグ、などの単語の羅列で終わっているもの	26%
3. 温室効果が進んでいる。オゾン層が破壊されている。車の排気ガスで	
4. 大気が汚染される。工場の煙は大気汚染の原因である。など、 単純な短文がとりあえず 2つないし 3つ書いてあるもの	53%
5. 歴史的な事象に触れたり、原因などに言及したもの	5%

この時点では、文にならない単語 3つ書いた生徒が大半で、何の説明も無い段階での問いかけに、少々戸惑いを感じている雰囲気が見て取れた。

マスコミによる報道や、今まで受けてきた様々な授業等で人類の負の遺産としての知識はある程度持っているため、とりあえず単純な短文は多数の生徒が書ける。

登場する単語が「公害」に関する単語に集約されているのも特徴的であった。

また、無記入の生徒が 16%いるが、これらの生徒にはこれまでの環境の授業にやや食傷気味な様子もあるように感じられた。

(2)「ワークシート 1 ルブラン法についてまとめなさい」の記入例

例・

NaCl から炭酸ナトリウムをつくるのに、

$2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$  ...塩化水素が大気汚染の原因に

$\text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{C} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + 2\text{CO}_2$

$\text{Na}_2\text{S} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaS}$  ...残滓から  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$  が発生(大気汚染の原因)

また、捨てる物が多いことが問題である。そこで塩化水素から塩素などを取り出し殺菌剤に使ったりして対策は立てられている。

例・

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  をつくる過程で、塩化水素が発生し残滓として  $\text{CaS}$  が発生してこれが  $\text{H}_2\text{S}$  や  $\text{SO}_2$  となる。これらは大気汚染の原因となる。また、再利用できる発生物もない。要するに、環境に悪くムダが多い。

(3)「ワークシート 2 アンモニアソーダ法についてまとめなさい」の記入例

例・

アンモニアソーダ法は、NaCl から炭酸ナトリウムをつくる方法として、

$\text{NaCl} + \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} \dots$

$2\text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \dots$

・で得られる  $\text{CO}_2$  は・の材料として再利用できる。また、・で得られる  $\text{NH}_4\text{Cl}$  は肥料としても利用することができるので環境にやさしい。

例・

19 世紀半ば以降、ルブラン法に代わり、アンモニアソーダ法が主流に。

原料の  $\text{NH}_3$  が安く供給され、 $\text{NH}_3$  や  $\text{CO}_2$  を回収し、再び原料として使用するので、生産効率が高く、製品を安く作ることができる。また、 $\text{HCl}$  や  $\text{H}_2\text{S}$  などの汚染物質を排出することもないので、安全である。

ワークシート 1,2 とも、ほとんどの生徒が上の例・、・に近い内容を書いた。

履歴シートのワークシート 1,2 の記入は、授業後半での学習内容となるが、こちらがルブラン法やアンモニアソーダ法の要約を求めたに過ぎなかったにもかかわらず、GSC の視点を取り入れた説明が多く見られるようになった。

(4)「学習後 大気汚染という言葉を使って3つの文を書きなさい」への記入例

- ・人間活動において大気汚染は起こりやすい。
- ・しかし、人間の知恵次第で大気汚染の弊害はかなり軽減することができる。
- ・今後も人間が地球上で文明を営む限り、常により大気汚染を軽減できる方法を模索し、実践していかなければならない。
- ・この方法に見られるように、今、大気汚染が起こらないように汚染の発生を断つ方法、グリーンケミストリーが注目を浴びている。

(5)「学習前‘ 学習中‘ 学習後を振り返って、あなたは今どう思いますか」への記入例

例・

何気なく覚えていたアンモニアソーダ法の歴史、すばらしさを初めて知った。アンモニアソーダ法が大気汚染の問題と関係があるなんて考えたことがなかった。この大気汚染の発生しない方法を考えるのは地球にとって大切なことである。排気ガスや工場から出るガスには、まだ有害なものもあると思うけれど、グリーンケミストリーの考え方に基づいてよりよい方法、汚染の発生しない方法が見つけられてほしい。

例・

産業の発達や技術革新の中で、大気汚染などの環境問題が生じることは仕方のないことだ。ルブラン法は、その過程で大気汚染につながる物質が多く発生し、その対策に手間取る。アンモニアソーダ法は、環境にも経済的にも優れる方法だ。ソルベールは偉大である。

例・

化学は工業のために必要とされ、人間の利益を求めて研究されてきた。そのため、地球の環境への配慮を怠ってしまった。今、私たちは過去の発明の結果、破壊された地球の環境の再生も考慮に入れる必要がある。だから、この学習は日本の将来のためにとっても有意義なものになるだろう。

授業時間 45 分では、大半の生徒が後半の「3つの文」や「振り返り」の記入まで至らなかったが、生徒のルブラン法とアンモニアソーダ法の要約を見ると、ほぼ全員の生徒が大気汚染に対する負荷の違いや、資源の再利用のことまで触れており、学習の目的がほぼ達成されたことがわかる。

時間的な制約から、「振り返り」まで到達できたのは3名だけだったが(16%)、他の生徒についてもワークシート1,2の記入内容を見ると、アンモニアソーダ法の登場したことの意義やGSCの考え方の理解はかなり進んだといえよう。

## 6. 生徒の学習の様子と本学習の意義

次の生徒はこれまでの授業で無機各論を学習しているときには、学習の目的が希薄で、今一步興味関心を示さなかった生徒であったが、本時の展開の中では学習の意義を感じたようで、極めて積極的に学習を進める様子が見られた。これまでの学習の意味を再確認できた様子も見て取れた。「学習の振り返り」で以下のように書いている。

何気なく覚えていたアンモニアソーダ法の歴史、すばらしさを初めて知った。アンモニアソーダ法が大気汚染の問題と関係があるなんて考えたことがなかった。この大気汚染の発生しない方法を考えるのは地球にとって大切なことである。排気ガスや工場から出るガスには、まだ有害なものもあると思うけれど、グリーンケミストリーの考え方に基づいてよりよい方法、汚染の発生しない方法が見つけられてほしい。

また、学習前の 3 つの文を記入しなかった生徒や、単語の羅列に終わっていた生徒であるが、その全員がその後の「ワークシート」に積極的に取り組んでいる点が注目される。中でも次の生徒は「学習の振り返り」まで進み、次のように書いている。

化学は工業のために必要とされ、人間の利益を求めて研究されてきた。そのため、地球の環境への配慮を怠ってしまった。今、私たちは過去の発明の結果、破壊された地球の環境の再生も考慮に入れる必要がある。だから、この学習は日本の将来のためにも有意義なものになるだろう。

これらの例は特に特別なものでなく、生徒が学習の意義を掴みやすい教材であったことを良く表すものと言える。グリーンケミストリー教材そのものが持つ、未来への展望や希望が感じられる明るさと、学習者自らが、学習による自らの変化を自覚しやすい 1 枚ポートフォリオ形式の「学習履歴シート」の効果が現れている。

そしてこれらを効果的にするのが実物の与えるインパクトの大きさである。

実は、予備実験では実験開始後約 30 分で析出が始まり、約 40 分で結晶が多量に析出するのが確認できた。ところが実際の授業では、おそらくレクチャー中や板書中に二酸化炭素の供給が止まる場面が何回かあったせいで、結晶の析出が始まったところに時間切れとなり、授業終了後になって多量の析出が生じるというハプニングに見舞われた。

しかたなく昨日予備実験で作った炭酸水素ナトリウムを保管していたのでそれを見せることになったのだが、それでもその量の多さに驚きの声があがった。

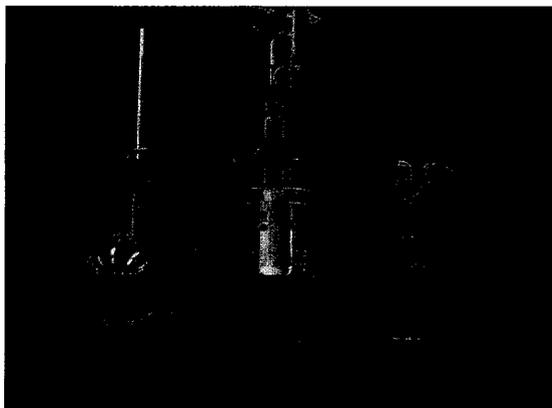
## 7. 今後の課題

履歴シートの記入が、ゆとりを持ってできるような時間の捻出が課題である。本調査では、45 分という限られた時間で、コンパクトなグリーンケミストリー教材を展開し、その効果を高めるために演示実験を導入した。そのため、学習履歴シートを時間内に完成させ提出させたが、持ち帰りも含めてもう少し時間の余裕を持たせることが望ましい。

「6. 生徒の学習の様子」でもふれたように、生徒は学習の意義を感じ積極的に学ぶ意欲を示すので、学習履歴シートをぜひ最後まで完成させたい。

また、今回省略した、「学習履歴シート2」に取り組みせることも有意義だと思う。

演示実験に関しては、休憩時間内に実験を始めておきさえすれば、必ず時間内に多量の結晶が生じる場面が見られるよう、条件等の設定に工夫をする必要がある。



(写真1) 演示実験装置の様子



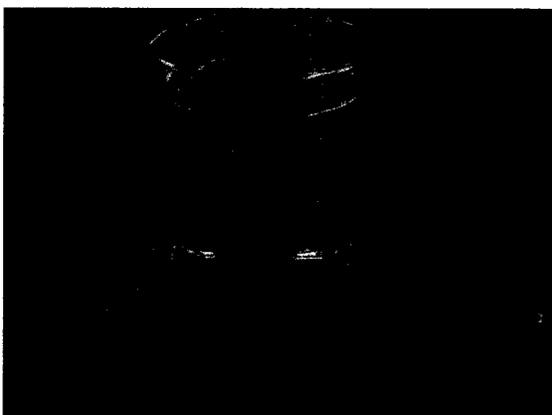
(写真4) 履歴シート記入の様子



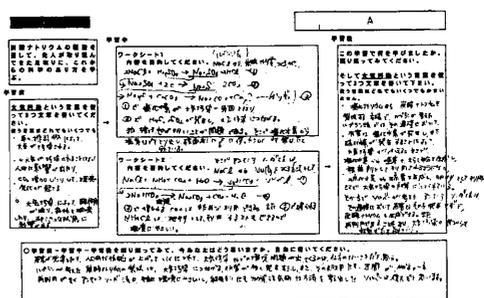
(写真2) 結晶の析出がはじまった様子



(写真5) 履歴シート記入の様子



(写真3) 析出の進んだ段階の様子



(写真6) 記入された履歴シートの様子

参考文献 1) 大阪府立大和川高等学校化学科「化学学習の手引き(上)」(1986)

(資料1)

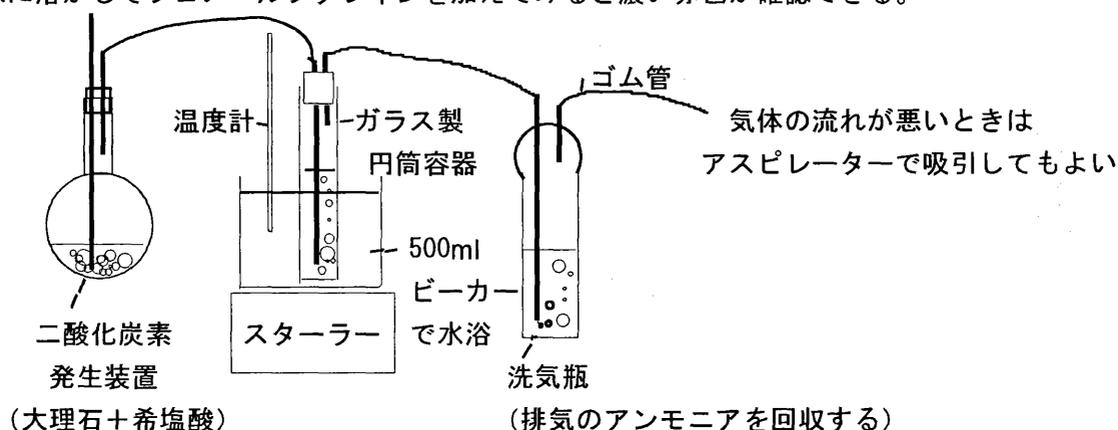
## アンモニアソーダ法(ソルベー法)による炭酸ナトリウムの製造実験

### 目的

食塩から炭酸ナトリウムを製造し、その反応の仕組みについて考える。  
また、この方法の利点についても考察する。

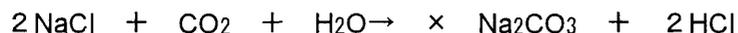
### 実験方法

- (1) 濃NH<sub>3</sub>溶液25ml に水25ml 加え、さらに食塩15g を加えて激しく攪拌する。アンモニアを多量に含むNaCl の飽和溶液ができる。
- (2) 二酸化炭素発生装置の準備  
500mlフラスコに、大理石塊を20g 程度入れておく。  
濃塩酸60ml 蒸留水を加え、全量を200ml にした希塩酸を準備する。
- (3) 二酸化炭素との反応  
下のような装置を用意。  
反応容器には直径3cm、長さ30cmのガラス製円筒容器を使用した。  
反応容器には、ガラス製円筒型容器以外に、三角フラスコ、洗気瓶等が使用できる。  
(経験的に、細長い容器が反応時間が短いようである。)  
NH<sub>3</sub> とNaCl の混合飽和溶液に二酸化炭素を通じる。  
この際、スターラーで攪拌し反応を促す。  
温度は28~32°C程度に保つ。(水浴で実験し、氷や湯で調節すると良い。)  
おおよそ30分程二酸化炭素を通じ続けると反応液が白濁し始め、その後5~10分で炭酸水素ナトリウムの微細な白色針状結晶が多量に生じ液全体が真っ白になる。  
この間、二酸化炭素が発生し続けるよう、適宜大理石や希塩酸を追加する必要がある。
- (4) 生じた結晶を吸引ろ過し水洗後、少量を試験管にとり水に溶かす。フェノールフタレインを加えると微赤色を示す。  
また、生じた結晶の水分を出来るだけとった後、蒸発皿で加熱すると炭酸ナトリウムの白色微粉末結晶ができる。  
水に溶かしてフェノールフタレインを加えてみると濃い赤色が確認できる。



### 反応の仕組みについて

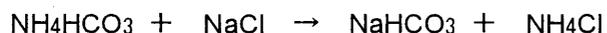
食塩から炭酸ナトリウムを製造する目的で、食塩水に二酸化炭素を通じても炭酸ナトリウムは得られない。この反応は逆反応に進みやすい反応である。



- ・  $\text{CO}_2$  は水にわずかに溶けて一部  $\text{H}_2\text{CO}_3$  になる。
- ・  $\text{H}_2\text{CO}_3$  はその一部が電離し、 $\text{HCO}_3^-$  となるが、わずかな量である。
- ・  $\text{CO}_3^{2-}$  にいたってはさらにわずかである。
- ・ そこで  $\text{NaHCO}_3$  や  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  が結晶となって析出することはできない。

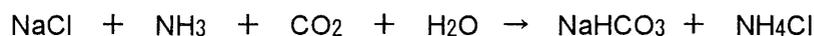
しかし、 $\text{NH}_3$  を十分に溶かしておくで、 $\text{H}_2\text{CO}_3$  との中和反応がおこる。 $(\text{NH}_4\text{HCO}_3)$  等)

そして、 $\text{HCO}_3^-$  の濃度が充分大きくなれば、 $\text{NaHCO}_3$  が析出し始める。



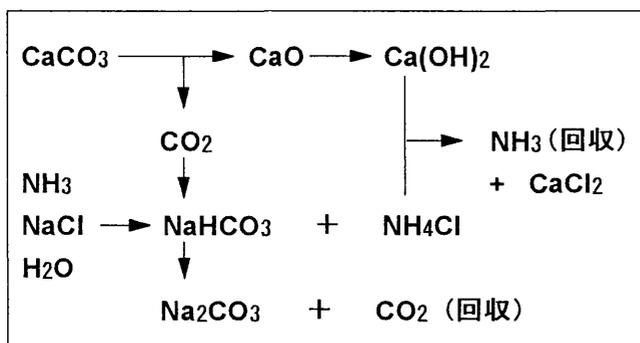
### まとめ

反応をまとめると次のようである。



工業的には、石灰石を焼いて発生する二酸化炭素を反応に用い、得られる水酸化カルシウムはアンモニアの回収に用いる。

また、炭酸水素ナトリウムを焼いて発生する二酸化炭素も回収して利用する。



その他：本実験で反応温度は28～32℃程度に保つように留意している。

冷却しすぎると、アンモニアと二酸化炭素から生じるカルバミン酸塩やアンモニウム塩などの析出が起こる。

加熱しすぎると炭酸水素ナトリウムが溶解しやすい。

# G S C 教材の試行授業の実践

## ～中学校選択理科における G S C 教材の導入～

宮内卓也

### 1. はじめに

これまで、大気汚染に関する G S C 教材（以下教材）<sup>1)</sup> について、高等学校で試行的に授業が実践されており、生徒が興味関心を持って課題に取り組み、学習内容を理解し、自分自身の主張を入れた記述ができるようになっていくことが報告されている<sup>2)</sup>。本研究では、選択教科（理科）の時間において、中学生を対象とした実践を行い、その効果と課題を検討した。

### 2. 調査の方法

(1) 調査対象 国立大学附属 E 中学校 3 年理科選択者 9 名

(2) 調査期間 平成 15 年 7 月 7 日（月）・7 月 8 日（火）

(3) 調査時間 7 月 7 日：1 時限～4 時限、7 月 8 日：1 時限・2 時限

#### (4) 調査の内容と方法

設定した時間は選択教科の理科の時間である。調査校は選択教科を学期末の集中型をとっており、1 日目は 4 時限、2 日目は 2 時限、計 6 時限の集中講義を行った。生徒には多様な環境問題があるが、今回は特に大気汚染を取り上げることがを伝え、ワークシートを通して、大気汚染の歴史と問題点、解決策等を学び、環境や科学技術について考える視野を広げて欲しいという主旨の話をしたあとに教材を配布した。教材が中学生向けであることを考慮し、アンモニアソーダ法およびオストワルド法については補助資料を別に配布した。

準備	選択教科オリエンテーション	各選択教科の内容を担当教官が説明し、その後、第 3 希望まで希望調査を行った。
1 日目	ワークシートの取り組み	「導入ワークシート」「ワークシート 1」「ワークシート 2」 「ワークシート 3, 4 をはじめるまえに」 「ワークシート 3」「ワークシート 4」
2 日目	まとめ	「ワークシート 5 をはじめるまえに」 「ワークシート 5」 「学習履歴シート 1」「学習履歴シート 2」の完成

### 3. ワークシート記述内容と考察

(1) ワークシート1-5 a への回答

5. 利益を得るために問題点に対して行ったいろいろな対策はどんなことか？

a. 新たな問題が起こった対策

1) 具体的な方法、2) 結果としてどのような影響があったか。 ■

生徒	記述内容	
A	高煙突を建設。  水に溶かして塩酸にして川に流した。	よけいに被害が広がった。  河川の汚染が発生した。
B	高煙突をたててHClガスを拡散しようとした。  HClガスを溶かして回収する吸収塔を開発した。	さらに汚染地域が広がった。  塩酸の用途が少なく川に流して捨てたので河川の汚染が発生した。
C	1832年にイギリスのリバプール市に90mの高煙突をたてHClを拡散させた。  1836年に水で希釈して塩酸を回収したが用途が少なく川に流した。	汚染が広がった。炎症などの被害をもたらした。  河川の汚染となった。→魚の死亡
D	リバプール市に高煙突(90m)の工場を建設した。  イギリス人のゴッセージがHClを水に溶かし塩酸として回収する吸収塔を開発した。	しかし、さらに汚染地域が広まった。  河川の汚染が拡大した。
E	90mもの高煙突の工場を建設した。  水にHClガスを溶かし塩酸にして回収する吸収塔を開発した。	さらに汚染地域が拡大した。  塩酸の用途がなく、川に流し捨てたので河川の汚染が発生した。
F	1823年イギリスのリバプール市に高煙突(90m)の工場を建設した。  1836年イギリス人ゴッセージが水にHClガスを溶かし、塩酸として回収する吸収塔を開発した。	HClガスが拡散し、汚染地域が広がった。  塩酸の用途が少なく、川に流し捨てたので河川の汚染が発生した。
G	イギリスのリバプール市に高煙突(90m)の工場を建設した。  イギリスのゴッセージが水にHClガスを溶かし塩酸として回収する吸収塔を開発した。	さらに汚染地域が広がった。  塩酸の用途が少なく、川に流し捨てたので河川の汚染が発生した。

生徒	記述内容	
H	高煙突（90 m）の工場からHClガスを 拡散した。 水にHClガスを溶かし、塩酸として回収 する。	汚染地域が広がった。 塩酸の用途が少ないので、川に流し、それ によって河川が汚染された。
I		

この記述欄は、「高煙突でガスを拡散したり、水で希釈して流しても、問題の解決にはならず、汚染が拡大した」という点について理解を問うものである。A～Hまでの生徒は具体的な記述があり、学習内容について、おおむね理解できていると考えられるが、Iの生徒は記述が見られなかった。

(2) ワークシート1-5bへの回答

5. 利益を得るために問題点に対して行ったいろいろな対策はどんなことか？

a. 効果があった対策

1) 具体的な方法、2) 結果としてどのような影響があったか。

生徒	記述内容	
A	塩酸を原料とする、さらし粉の製造が普及した。	HCl公害はほぼ解決した。
B	吸収塔で回収した。塩酸を原料とするさらし粉（漂白剤）の製造が普及した。	HCl公害はほぼ解決した。
C	HCl→リーダー灰として使われた1880 CaS→硫黄としての回収法を見つけた。 1887	2つの方法の完成により公害対策はほぼ完成した。
D	漂白剤を製造した。	HCl公害はほぼ解決した。
E	硫黄の回収法の発明と塩酸を原料としたさらし粉の製造。	ルブラン法の公害対策はほぼ完成。
F		
G	イギリス人のチャンスが硫黄（S）の回収法を発明した。	ルブラン法の公害対策は、ほぼ完成。
H	塩酸を原料とする、さらし粉を作った。	ほとんどHClガスの公害はなくなった。
I		

この記述欄は、「汚染物質である副生成物の有効利用をはかることで公害対策として効果をあげた」という点について理解を問うものである。A～E、G、Hの生徒は具体的な記述があり、学習内容について、おおむね理解できていると考えられるが、F、Iの生徒については記述が見られなかった。

(3) ワークシート2-4への回答

4. ルブラン法がすぎになくならなかったのはなぜだろうか？

その理由を副生物の利用法を参考にしてまとめてみよう。

生徒	記述内容
A	塩素やさらし粉が生成され、さらし粉は殺菌、消毒につかわれた。織物を漂白するのに必要だった。(塩素)
B	ルブラン法でやると、HClやCaSが出るがそれを有用なさらし粉、硫黄、塩酸などに変えなくてはならない。その中の塩素は、生活を支える飲料水の滅菌、消毒になくてはならなくて当時も多くの需要があった。
C	ルブラン法によって放出されていたHCl(塩化水素)はさらし粉といい、漂白剤になるのに比べアンモニアソーダは副生物として化学肥料などの生産が可能となった。しかし、ルブラン法によって得られるCl <sub>2</sub> は都市飲料の水の殺菌、消毒が必要で需要は高まった。このような需要でルブラン法工場は成り立っていた。
D	アンモニアソーダ法だとHClが発しないため、漂白剤をつくることができない。当時、大量の衣服を生産していたイギリスは漂白剤が必要でルブラン法をつづけた。
E	ルブラン法の副生物であるCl <sub>2</sub> やさらし粉の需要があった。Cl <sub>2</sub> は都市生活を支える飲料(水道)水の滅菌、消毒になくてはならないもので、当時も多くの需要があった。
F	副生物として出されるのはCl <sub>2</sub> やさらし粉などがある。①Cl <sub>2</sub> は都市生活を支える飲料(水道)水の滅菌、消毒になくてはならないもので当時多くの需要があった。
G	ルブラン法では、副生するHClや硫化カルシウム(CaS)を、有用なさらし粉(CaCl <sub>2</sub> (CaO)・H <sub>2</sub> O)、硫黄(S)、塩素(Cl <sub>2</sub> )などに変えるための設備が必要であり、全行程が複雑で製品の炭酸ナトリウムの価格が高くなった。Cl <sub>2</sub> は都市生活を支える飲料(水道)水の滅菌、消毒になくてはならないもので、当時も多くの需要があった。このためアンモニアソーダ法が主流になってからも、ルブラン法による工場は、Cl <sub>2</sub> さらし粉など副生物の需要に支えられて、経済的に採算が成り立っていた。
H	Cl <sub>2</sub> は水道水の滅菌、消毒になくてはならない物だったから、食塩水電解法が確立するまでルブラン法が使われた。
I	副生物の塩化水素や硫化カルシウムを水道水の消毒に必要な塩素にかえることができたから。

この記述欄は、「副成物の需要によって、ルブラン法が経済的な採算が成り立っていた」という点について理解を問うものである。A～Iのどの生徒にも副成物の需要があった点を指摘しており、学習内容について、おおむね理解できていると考えられるが経済的な採算を意識して記述したのかどうかは判断できない。経済的な採算についてふれていたのはGの生徒のみであったが、資料の文章をそのまま引用したものである。

(4) ワークシート1、2まとめへの回答

特にワークシートの2の2番を参考にしながらまとめてみよう。

生徒	記述内容
A	生産過程で生じるHClを副産物として利用することにより、HClそのものの汚染をなくすことができた。
B	水にとかして回収しようとした。工夫したのは多分塩化水素をそのままだと、拡散するしかないで水にとかし塩酸にした。でも使い道があまりないので結果的に川に流してしまい、河川の汚染になってしまい、環境に対する効果はなかった。だが、その後塩酸でさらし粉ができることがわかった。それでHCl公害はほぼ解決した。
C	ルブラン法ではHClの処理やCaSの処理などが問題であり複雑という問題を抱えて使えないような方法だが、その後科学者がHClをさらし粉に変えたり、その他の物質が有用な物に変えるために色々としていったという過程は今日の環境問題に影響を与えるだろうし、そういう対策も考慮する必要がある。HClをさらし粉に変える→このような工夫が公害問題の対策となっていた。また、推測だけど、アンモニアソーダ法ができたのはルブラン法を基により良い方法はないかと考え作ったのがきっかけとなっていると思う。だから、今あることを応用していくということも大切だと思う。
D	高煙突による気体の拡大や、副産物を利用した物を作ったりして、大気汚染を防いだ。
E	汚染物質の発生をどうやって処理するか。その対策に汚染物質のHClガスを水に溶かし、別の物として再利用した点があった。それが、自然環境の影響を減少させた。大気中に拡散させる対策というのも影響はあるわけだから、解決はできない。
F	
G	
H	ウェルドン法 ゴッセージの吸収塔で出た塩酸をどうにか利用できないかと考えた。塩酸を流さなければ河川汚染はおきないので、相当効果はあった。
I	でてきた排気物を別の方法で再利用することにより、大気汚染問題は解決。

この記述欄は、「汚染物質の希釈や拡散の対策が被害を拡大したことを受け、汚染物質が外に出る前に有用な製品に変える対策をとった。さらに、汚染物質そのものを出さない方法が開発された」という点について理解を問うものである。大気汚染の解決の道筋とグリーンケミストリーの基本的な考え方を理解する上で、重要な設問である。A・Iの生徒は副産物の有効利用について述べている。B・C・E・Hの生徒は拡散の問題点を指摘した上で、副産物の有効利用について述べている。Dの生徒は汚染物質の拡散と副産物の有効利用による対策とを並立して述べており、本質的な理解に疑問が残る。F・Gの生徒は記述がなかった。副産物の有効利用によって、汚染物質が外に出なくなったという点は多くの生徒が触れているが、アンモニアソーダ法の利点であった、汚染物質そのものを出さないという点についてふれた生徒が皆無であった。汚染物質そのものを出さないという方法論は、後に登場するリスクにおける危険度と暴露量の関係や、グリーンケミストリーの考え方を学ぶ上で欠かすことのできないものである。この点について、ワークシート1・2でどのように学習し、生徒の視点を向けさせていくかということについては、検討していかなければならない課題である。

(5) ワークシート 3, 4 をはじめる前に への回答

まず、酸性雨は森林や湖、金属やコンクリートの建造物などにどのような被害をもたらしているだろうか、知っていることを書いてみよう。

生徒	記述内容
A	ヨーロッパでは酸性雨の被害により、銅像やコンクリート像がとけているということ。
B	酸性雨によって、コンクリートの銅像が少しずつはそんされていったり、植物などはかかれてしまい、金属はさびてしまう。湖が酸化してしまう。
C	・銅像などを溶かして被害を与える。 ・森林などを枯らす。 ・沼などの生物を殺す。
D	森林の木を溶かし、湖を酸性化し、魚や貝が被害を受ける。金属やコンクリートも溶けて、くずれやすくなる。
E	酸性雨が降ることによって・・・森林：草や葉は枯れていき、大きな被害が発生する。 湖：中の生物が酸性に変化した水によって悪影響される。 建造物：長い間雨にさらされて、溶けてきてしまう。
F	・ドイツの森の木々を立ち枯れさせるなど森林に多大なるダメージをあたえている。 ・歴史的に価値の高いコンクリートの建造物を溶かしている。 ・湖に酸性雨が降ることにより生息している魚類が死ぬ。
G	森林がかれて、湖が汚れる。
H	酸性雨によって、森林は枯れ、湖は酸性化し魚などが死んでしまい、金属コンクリートは溶けて変形してしまう。ヨーロッパの像が溶けている写真はよく見かける。
I	・酸性雨は外に出ている建造物、像なども少しずつではあるがとかしてきている。 ・酸性雨により、森林がかれている。 ・酸性雨が湖に入り、中の魚や生物を殺す。

この記述欄は、「酸性雨について、どの程度の予備知識を持っているか」という点について問うものである。どの記述についても、酸性雨という言葉とその現象についてどこかで耳にした経験があることが推定される内容であった。

(6) ワークシート 3-10 への回答

10. 原油脱硫とはどんな方法だろうか？

原油脱硫とは、原油から硫黄分を取り除く方法である。これについて、資料を参考に  
してまとめ、原油脱硫の利点と問題点について考えよう。

生徒	記述内容	
A	多量のSO <sub>x</sub> を大気中に放散させずにすむ点。	完全に取り除くことができない。
B	石油製品を燃焼させる前に硫黄分を取り除くので、多量には硫黄酸化物が大気中に放散させずにすむ。	複雑で大規模な装置が必要となり経済的に大変。
C	水素ガスを触媒として反応させることによって、原油中の硫黄を硫黄として除去でき、水しか同時に発生しないので、進んで行うことができる。	原油中にはわずかに硫黄が残ってしまい、これを取り出すには複雑で大規模な装置が必要となってしまう、経済的にも多くの問題が残っている。
D	石油製品を燃焼させる前に硫黄分を除くので、多量の硫黄酸化物を大気に放出しなくてすむ。	原油中のわずかな硫黄分を完全に取り除くには複雑で大規模な装置が必要。
E	多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ。	原油中の硫黄分を完全に取り除くのに複雑で大規模な装置が必要。
F	石油製品を燃焼させる前に硫黄分を除くので、多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ。	現在の方法では原油中の硫黄分を完全に取り除くことはできず、取り除くためにはコストがかかりすぎる。
G	原油脱硫は、石油燃焼させる前に硫黄分を除くので、多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ利点がある。	原油の中にわずかに残った硫黄分を完全に取り除くには、複雑で大規模な装置が必要となり、経済的にも多くの問題が残っている。
H	原油中の硫黄分をほとんど取り除ける。	わずかに硫黄分が残っているので、それが燃焼され、硫黄酸化物が出てしまう。
I	多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ。	完全に取り除くことができず、複雑で大規模な装置を必要とし、経済的な問題が起こる。

この記述欄は、「原油脱硫によって、硫黄を原料の段階から取り除くことによって、硫黄酸化物の発生を抑えることができるという利点と、完全に取り除くには大規模な装置が必要であり、コストがかかるとい問題点」についての理解を問うものである。7名は硫黄を取り除くことにより硫黄酸化物を大気中に放出させずにすむという点を指摘しているが、2名は硫黄分を除くことのみを指摘しただけで、硫黄酸化物の放出への影響については触れていなかった。問題点として、完全に取り除くことができないという点をあげた生徒が2名おり、7名は完全に取り除くため人は大規模な装置が必要である、コストがかかるという点を指摘していた。

(7) ワークシート4-8への回答

8. 人間活動からの窒素酸化物が自然界で発生するのより少ないのになぜ環境汚染として問題になるのか？ 資料を参考にして、その理由を考えてみよう。

生徒	記述内容
A	人間活動により発生する窒素酸化物はのどや鼻を刺激して害のあるものだから。
B	人間活動では窒素酸化物以外のを多くだしているから。
C	人間の窒素酸化物の発生場所が問題となると思う。人間の近くで作り出し、その近くで被害が起きるからです。それと自然化では独自に窒素酸化物を処分できるようになっているんだと思う。
D	人間が作ったものは、目や鼻を刺激するから。
E	窒素酸化物が工場や自動車などから排出される炭化水素があるところで紫外線にあたり、ダイオキシンが発生するから。人間活動の場所でしかダイオキシンが発生しないのではと考えた。
F	自動車からも窒素酸化物が出ることから都心部にこもりやすく、濃度が高くなる。それによって光化学スモッグなどの現象が起こる。
G	
H	都心部で集中してNO <sub>x</sub> は出るから、濃度が高い。だから問題になる。
I	濃度が高いから。

この記述欄は、「ある限られた地域に集中するという点（濃度に関する観点）に注目しているか」という点について問うものである。9名中4名は濃度が高い点や都市部への集中などを指摘しているが、4名はそのことに関する具体的な記述はなく、1名は記述がなかった。

#### 4. 学習履歴シートの記述内容と考察

学習履歴シートは、1枚の用紙の中に、学習前の既存の知識や考え、学習過程の履歴、学習後の知識や考え、それら全体を通した自己評価の欄を納めたものである<sup>3)</sup>。

##### (1) 学習前

「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください。

生徒	記述内容
A	ディーゼルエンジンによる大気汚染 大気汚染による肺癌の増加 大気汚染によって東京上空でスモッグがおこる。
B	大気汚染によって人々の人体に影響をあたえる。大気汚染は悪いことだ。排気ガスなどによって大気汚染はひきおこる。
C	大気汚染は人が作った。 大気汚染で酸性雨が起きる。 大気汚染の問題は解決されていない。
D	大気汚染は人間以外にも植物や動物にも害を及ぼす。 大気汚染で酸性がふり湖や海を酸性化させる。 大気汚染で地球温暖化が進む。
E	最近では、自動車の台数が増え続け排気ガスで大気汚染がすすんでいる。各国では大気汚染に対し対策を行っている。アメリカでは自動車の大気汚染の対策がされていない。
F	1 大気汚染によって酸性雨などが降り、結果的に森林を枯らす。 2 大気汚染は産業革命後に起こった。 3 大気汚染には自動車の排気ガスが深く関係している。
G	大気汚染は人の体に悪い影響がある。大気汚染には車の排気ガスも関係ある。大気汚染は工業問題と関係がある。
H	大気汚染とは自動車の排気ガスなどによって大気が汚れること。大気汚染を木々はほんの少きれいにしてくれる。大気汚染はオゾン層を破壊する。
I	排気ガスによって大気汚染が進んだ。大気汚染は最近になり進み方が早くなった。酸性雨の原因は大気汚染だ。

この記述欄は、「大気汚染」について、学習前の生徒の知識や考えを見とるものである。これらの記述内容をから、大気汚染の原因やその影響を指摘しており、大気汚染が深刻であると感じていることがわかる。また、大気汚染の問題は年々悪化しており、解決されていないという認識を持っている生徒が多いことがわかる。

(2) 学習後

この学習で何を学びましたか。「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください。

生徒	生徒の記述
A	窒素酸化物によっておこる大気汚染。 HClより始まった大気汚染。 HCl汚染はアンモニアソーダ法により解決された。
B	19世紀頃からは、大気汚染に悩んでいた。大気汚染には、いろいろな種類がある。日本でも昔大気汚染の問題があった。
C	大気汚染は解決されている。しかし、大気汚染の問題が解決されるためには、より今の人々ががんばって取り組む必要がある。大気汚染によって色々な被害がある。
D	大気汚染は人間以外にも害を及ぼす。大気汚染は他の公害も引き起こす。大気汚染は解決策を考えれば解決できる。
E	人間は18世紀から大気汚染について様々な対策をねってきた。大気汚染は幾度も解決されては改良策が作られた。大気汚染をする物質は時代によって新しく発生してくる。
F	1 大気汚染と一概にいても塩化水素や硫黄酸化物など色々な原因がある。2 大気汚染は光化学スモッグなど人体に深く関係している。3 大気汚染は石けんをつくるなど人類の利害によって引き起こされた。
G	
H	大気汚染は人々に様々な害を与える。人の努力で解決した大気汚染もある。まだ未解決の大気汚染もたくさんある。それが全世界の課題である。
I	大気汚染は少しではあるがくいとめられてきている。まだ解決が必要な大気汚染問題がある。排気物を再利用することで大気汚染をくいとめられる。

この記述欄は、「大気汚染」について、学習後の生徒の知識や考えを見とるものである。大気汚染にもさまざまな種類がある点について指摘しており、6名の生徒については、解決してきた大気汚染の問題もあるという点に注目している。また、そのうち4名は現在未解決の問題についても解決をはかっていくべきであるという視点について記述している。学習前と比べると、大気汚染の内容について具体化したこと、解決してきた大気汚染の問題に気づいていること、今後の展望についてもふれていることが大きなちがいであり、今回の学習を通した生徒の変容であると考えられる。

(3) 振り返り

学習前－学習中－学習後をふり返って、あなたはどのように思いますか。自由に書いてください。

生徒	記述内容
A	少し疲れたけれども、環境と空気汚染について詳しく知ることができた。後半で窒素酸化物について考えるのが難しかった。
B	世界中では色々な汚染はおきていてもそこまで、ひどいのではないだろうと思ったがそれはちがったと思った。
C	学習前はただ大気汚染とかって深刻そうだなと軽い気持ちだった。学習中ルブラン法やアンモニアソーダ法などを理解するとなんでこんなことを思い付くのと感じた。色々理解されていることも始めて知ったいい経験だった。
D	学習前より知識が増え、大気汚染のしくみがよくわかった。
E	大気汚染は意外にも18世紀頃からもう問題とされていることがわかった。ヨーロッパの産業革命で起こった公害から始まり、今日まで様々な方法で解決してきたことにはたくましく感じます。しかし公害を解決し続けるのではなく、汚染物質を排出する人類の姿勢も重要なのではないかと思います。
F	大気汚染を歴史順に学習できてとてもよかった。有意義だった。
G	大気汚染の事を少しでも頭に入れる事が出来たのでよかったです。もう少し理解できるようにしたい。
H	間違った知識を覚えていたので、正しい知識が得られた。
I	学習前－大気汚染はほとんど解決されてないと考えていた。学習中－意外と解決されたものもあってびっくりした。学習後－再利用が一番効果的だと思った。

どの生徒の記述についても、大気汚染の問題をこれまで漠然ととらえていたのが、学習を通して具体性を持ったことに満足しているようすがうかがわれる。Eの生徒の記述のように、大気汚染を解決してきた歴史を評価し、今後の人類の姿勢を問うものも見られる。また、Iの生徒の記述のように、大気汚染の問題をネガティブな面のみでとらえていたが学習後に大気汚染を解決してきた点におどろきを持っているものも見られる。

(4) 感想

学習しての感想を書いてください。

生徒	記述内容
A	長い時間を確保して考えて広く物事を考えられるのでおもしろかった。
B	最初のプリントの数にあっけにとられて無理だと思っていたが、やってみると意外に分かりやすくやりやすかった。世界が今どんな現象なのかがわかった。
C	(四日市での最高SO <sub>2</sub> が平均の25倍なのには驚いた。) 今後、環境問題について考えるいい足掛かりになったと思う。
D	大気汚染のしくみがよくわかった。窒素酸化物がむずかしかった。
E	公害の対策についての歴史を学んでとても奥が深く思いました。「なんだかいい加減な対策だなあ」と思ったり、「これはずいぶん画期的だなあ」と思ったり、人々が考えてきた対策を見てみるのは面白かったです。これは将来役に立つ教育だと思いました。
F	大気汚染には深く歴史的事情が関係し、人体にも大いに関係していることに驚いた。
G	大気汚染という言葉はよく聞いた事があるけれどよく知らなかったので、くわしく知れてよかった。
H	大気汚染という言葉は知っていたけど、何が原因とかまでは知らなかったので詳しく知れてよかった。
I	最初はある程度があっただけ、まだ解決する見通しがあっただけよかった。

ふりかえりと感想の記述内容が生徒の中で厳密に区別されていないが、ふりかえりの記述と同様に、大気汚染の問題をこれまで漠然ととらえていたのが、学習を通して具体性を持ったことに満足しているようすがうかがわれる。特にEの生徒が解決策に関心を向けている点、Iの生徒の今後の見通しに期待を持てた点などは注目に値する。

(5) 学習履歴シート2-1

その5で学習した内容を要約してください。

生徒	記述内容
A	<p>環境汚染に対するリスクを検討する上で、今までは危険は同じであるなら、暴露度を減らすことを今まで中心に考えてきたが、現在その危険性そのものを減らそうとするグリーンケミストリーという考え方に研究者や技術者は切り替え始め、またこれからの技術革新においては一般市民もまじえて、彼等も主体的に科学技術に関れるように移行していくものと思われる。</p>
B	<p>グリーンケミストリーというものがある。グリーンケミストリーでは、危険性を減らしてこの手段を使用するとリスクは確実に減る。グリーンケミストリーとあるように化学は人々にすこしやすくしても環境を悪くしたら住みにくくなる。</p>
C	<p>ワークシート5を始める前には、ワークシート1、2の内容は解決済みだが特にワークシート4のような、これからの問題もある。例えば、窒素酸化物は排気管などに公害を少なくするようなくふうをするなどが解決策としているがこれから考えていかなければいけないような問題もある。ワークシート5ではまず第一にリスクをこうむる人の量の軽減ではなく危険性事体の軽減を目標としている考えになってきている。例えばリスクを評価して見直すことをして、それからどのようにしてリスクを減らそうかと考えようとしている。今までとは違い、これからはリスクを減らせるように努めている。</p>
D	<p>最近では一般市民も科学技術を受け入れてもらい、理解してもらおうという考えが出てきている。これは科学技術者とともに一般市民も主体的に科学技術に関れるようになるだろう。また、今グリーンケミストリーという考えがさかんで、この手段を使えばリスクは確実に減り、環境には心配ないということである。</p>
E	<p>今までの環境汚染の過程を通じて、科学技術と一般市民のつながりが変化してきた。市民も主体的に科学技術に関わり始めたのである。それに対して、研究者や技術者の考えも変化がある。それは汚染物質の元を絶つ考え方で、リスクの減少や環境の保護の効果がある。グリーンケミストリーというその方法は汚染を防ぐ画期的な手段である。</p>
F	<p>リスク、つまり危険性×暴露量は自然状態のものと比較（バックグラウンド法）したり、代替となるものと比較（バランス法）してきた。そのリスクについての従来の考えは、危険性は不変なものであり、暴露量を減らすことがリスクを減らす方法である。というものであった。けれどもグリーンケミストリーという考えは危険性、つまり元凶から無くそうというものである。また、技術革新についても一般市民に受け入れられるのではなく理解してもらうことに重視を置いてきている。</p>
G	<p>[グリーンケミストリー] 研究者や技術者も考え方を切り替え始めており、その一つがグリーンケミストリー（環境にやさしい化学）である。グリーンケミストリーとは、環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してからの処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことで、欧米や日本の科学会で汚染を防ぐ画期的な手段として注目を浴びている。また、それを推進する運</p>

	動のことも指す。
H	リスク評価というのは、2つの条件の違うものを比べて評価するという単純なもの。だけど、ちょっと条件を変えただけでも問題点や良い点が違うと思うからよいと思う。グリーンケミストリーを守れば地球は本当にクリーンになると思われる。
I	最近では環境汚染に対する意識改革が少しずつではあるが進んできている。その代表例がグリーンケミストリーである。グリーンケミストリーは、リスクを「減らす」ではなく「除く」という考えが根づいている。

この記述欄は、「リスク評価において、科学技術者とともに一般市民も主体的に科学技術に関わるのが重要であること」、「これまで暴露量を減らすことでリスクを減らすことを中心に考えてきたが、危険性も減らすという考え方が重要であること」という点についての理解を問うものである。前者については、9名中4名が触れているのに対して、後者については全員が触れており、グリーンケミストリーの考え方に生徒が注目していることがわかる。その中で、具体的に暴露量を減らすだけではなく危険性を減らす考え方に注目している生徒は9名中6名であった。

(6) 学習履歴シート 2-2

将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それはなぜですか。

生徒	記述内容
A	便利性の追求をしていくと思われるが、その際には必ず危険性の削減に積極的に取り組むべきである。また、その技術がもとになる因果関係にも配慮すべきだと思う。
B	将来科学技術は、グリーンケミストリーのようにまず最初に考えるのが環境だと思う。なぜなら、科学技術が進歩して人々がすごしやすくなってもその分環境が悪化していくの、のちのち逆に暮らしにくくなってしまう。
C	科学技術を発展させるが危険性を減らしリスクを無くしていく。科学技術を色々なことに行使する際に、人々はリスクをより減らしていかなければいけない。しかし、現状はコストなどの問題や周りの社会の問題など色々ある。その中でグリーンケミストリーの考え方は良いと思う。公害（環境問題）の基を絶つことが必要になってくる。これからの環境問題を考える上でリスクを考えることは大切だと思う。
D	便利さを追求する上で環境に害をあたえないものを開発していくべきである。また、今問題となっているいろいろな問題にも取り組んで害のないものを開発するべきだと思う。
E	グリーンケミストリーという考えにのっとってより一般市民との関係を深めるべきである。地域住民に科学の実体を知ってもらわなければ理解は得られないし、また住民との協力によって進歩することもあるだろう。さらに科学技術の方針が理解することで見えてくるのだから間違った方向へ進まないように正せるはずだから。
F	科学者がグリーンケミストリーを前提にした技術革新を進めるべきだと思う。また、その方針を一般市民に公開することにより一般市民により深く理解できるようにすべきである。科学者だけでなく一般市民も一丸となって技術の発展に勉めるべきである。
G	グリーンケミストリーなどもっと環境にやさしい化学を多く取り入れていけばいいと思います。環境汚染が起きてそれを解決するという事が起きないようにすればいいと思う。
H	もっと効率の良いものにしつつ、環境に害の出ないもの。害は出ても、グリーンケミストリーのような決まりを守ればいいと思う。これ以上害が出れば地球はまちがなくなってしまうから。
I	将来科学技術は、新しい技術を手に入れてもそれを利用する前に、環境汚染についての問題点を考えて、問題があるならその技術を使用しない。そうすれば、技術の発達は遅れるが、環境にやさしくできる。

多様な記述が想定されるが、今回の学習を通して、便利さや快適さを追求する一方で、環境に対するリスクを検討し、その解決をはかることが大切であるという点に気づいてもらいたい。その点で、9名全員がそうした視点で科学技術について記述している。具体的な記述が見られるものは、以下のようなものがある。生徒A、B、C、D、Iは危険性の削減について述べており、グリーンケミストリーの精神に基づいた視点を持っている。生徒E、Fは市民の参加の重要性を述べている。

(7) 学習履歴シート2-3

学習しての感想を書いてください。

生徒	記述内容
A	ワークシート1?5でやってきて、特に1、2の炭酸ナトリウムに関係した部分が印象に残っている。アンモニアソーダ法ができるまでの過程を知りたいと思ったがそれ以上に、その当時から環境問題に取り組む姿勢があったことに驚いている。
B	今まで自分が考えていたより、環境汚染がむかしは深刻なのがあったと思った。それにその汚染物質をどうするかで結局は、副産物の材料にするしかないと思った。
C	環境の見方が大きく変わった。今まで環境問題のみが一方向的に進んでいて人々は全然何もできないと思っていた。でも違った。大気汚染でも昔からもう考えられていて、アンモニアソーダ法のようにして解決されているのもあった。これからは、今起きている問題は解決されることも必要だが、これからこのままだと起きてしまう問題を事前に抑えることが大切だと思った。化学が発展する上でどうしてもリスクがでてしまいそれはしょうがない。だから、それを消していこうとするのではなく、化学の発達でリスクを無くしていくという考えにしていくことが分かった。
D	環境問題はある程度は知っていると思っていた。けど、このワークシートで知らないことがいっぱいあっておどろいた。また奥が深くて難しかった。
E	最近の科学は正しい方向へ進んでいるのだろうと思いました。過去の教訓からグリーンケミストリーや一般市民との関係について考えられてきているということは安心していいのだと思います。
F	公害は人間が快適さ、便利さを重視したために起きてしまったことである。けれども現在、グリーンケミストリーなど環境を考えた技術の発展を目指すようになってきた。それは今までの過ちを取りかえし、解消できるものだと思う。
G	環境汚染について、いろいろな事を学んだ結果、やはり人間の生活において環境汚染は防げないのかなあと思いました。しかしそれを解決するためにはやはり時間がかかると思う。
H	学習の前はこんなに詳しく環境のことを知らなかったから、知れてよかった。環境問題に興味が出てきました。昔の人は苦勞して害が出ないようにしていたのに、現代人は努力はしているだろうが悪化に向かっているのもっと世界の人に環境のことを考えてほしいと思う。
I	環境問題についてはあまり関係がないと思っていたが、けっこう接点があった。そして、思っていたよりも人々は環境問題を解決しようとしてきていた。これからもグリーンケミストリーを中心に組み込んでいきたい。

学習前、生徒は大気汚染の問題は昔からあり、現代でも解決されておらず、悪化しているというイメージを持っており、科学技術に対しても便利さや快適さはもたらすが、一方で環境汚染を生んでいるというネガティブな印象を持っていたようだ。しかし、生徒の感想を読むと、大気汚染には多様な歴史があり、過去の教訓を生かして解決してきた問題があること、現在も課題は残されているが、環境に対する考え方が変化してきていることをはっきりと記述している。生徒Gについては、やや解決について懐疑的である。

## 5. まとめと今後の課題

高校生を想定して作成された大気汚染に関するGCS教材を中学校3年生の選択教科で行った。実施したのは1学期の期末試験が終わった夏休み前であり、観察、実験を行わず、ワークシートのみで1日目は4時間、2日目は2時間という、中学生にとってはやや厳しい環境であったにもかかわらず、ワークシートを最後まで全員がやりきったこと、ひとつひとつの記述がていねいに書かれていることなどを考えると、生徒が課題意識を持ってワークシートに集中して取り組んだようすがうかがわれる。生徒の記述から、大気汚染の歴史に関して具体的に学習できたことに満足しているようすがうかがわれるとともに、これまで大気汚染や科学技術に対して描いていたイメージが修正されていることがわかる。具体的には、大気汚染といっても、その内容は多様であり、さまざまな歴史的な背景があること、大気汚染の中には、われわれの努力で解決したものがあること、現在もなお課題は残っているが、科学技術に関する考え方が変わってきており、解決に向けて努力をするべきであるということを生徒が実感している。これは、具体的な事例をもとにした息の長いワークシートの学習の成果であろう。

ワークシート1と2については、別の機会に中学校3年生全員を対象とした一斉授業で取り組んだことがあるが、ワークシート1、2で登場する化学反応式に関わる記述で拒否反応を持つ子が見られ、生徒による学習の進捗に大きな開きが見られた。選択教科で学んだ生徒についても、やはり化学反応式に関わる部分での記述の際は、難しいという声もれていた。ただ、今回の授業に参加した生徒は、学習内容を知った上で講座を希望した生徒であり、教材の内容とともに、興味関心が学びの原動力になっているという側面があるので、自分自身で克服したようである。このワークシートを広く多くの中学生に広げていくためには、以下のような課題があると考えられる。

- ①中学生にもわかりやすく親しみやすい平坦な表現に書き換えること
- ②化学式や化学反応式の表記をワークシートの流れを損なわない範囲で簡略化し、取り組みやすい内容にすること。
- ③問題点とその解決の流れを主体とした表題や配列に注意をはらうこと。

こうした点に配慮し、大気汚染に関するGSC教材の中学生版を検討したい。

### 【参考文献】

- 1) 松原静郎他(2003)日本学術振興会科学研究費 基盤研究B課題番号 14380066「グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力育成に関する調査研究」中間報告書 pp.136～165
- 2) 例えば、前掲出書1)pp.4～59
- 3) 前掲出書1)pp.74～83



## II. 中・高等学校実験教材の開発

1	二酸化硫黄から石膏をつくる・・・・・・・・・・・・・・・・	56
2	バラの香りがレモンの香りに変わる・・・・・・・・・・	60
3	生分解性プラスチックに関する化学教材の検討・・・・・・・・	64
4	光触媒を用いた実験教材の開発・・・・・・・・・・	68
5	洗剤の歴史におけるグリーンケミストリー・・・・・・・・	78
6	グリーンケミストリー生徒実験教材の 試行とその展開・・・・・・・・・・・・・・・・	84

# 二酸化硫黄から石膏をつくる

大 谷 龍 二

## 1 目的

酸性雨の原因物質の一つである二酸化硫黄を人為的に発生させ、これを水酸化カルシウムと反応させて石膏をつくる実験を行う。火力発電所の脱硫装置で行われている反応に近い反応を経験することにより、環境保全に対する意識を高める。

## 2 準備

亜硫酸ナトリウム10 g、6 mol/l 希硫酸60ml、純水60ml、  
生石灰を主成分とする乾燥剤（使用済みのもの）10 g  
ビーカー（200ml）2個、三角フラスコ（100ml）1個、三角フラスコ（200ml）2個、  
滴下ロート、ロート、ゴム管、エリコン管、ガラス棒、塩化カルシウム管、ゴム栓、  
自動かくはん器、かくはん子、ろ紙

## 3 操作

- (1) 亜硫酸ナトリウム10 gを200ml 三角フラスコに入れ、これに滴下ロートで希硫酸30 mlを加え、これらを反応させることにより二酸化硫黄を発生させる（図1）。
- (2) 100ml 三角フラスコに使用済み乾燥剤10 gを入れ、これに純水60mlを加え、自動かくはん器でかくはんする（図1）。
- (3) (1)で発生させた二酸化硫黄を(2)の三角フラスコに吹き込む。三角フラスコは、引続き自動かくはん器でかくはんし続ける（亜硫酸カルシウムの生成、図1）。
- (4) (3)で100ml 三角フラスコに生じた沈でん物をひだつきろ紙を使つてろ過する。沈でん物は、やや黄色味を帯びている（図2）。  
※ このとき、やや大きめの固形物が残るが、これはろ過しないで三角フラスコ内にとどめておく。
- (5) 50ml ビーカーに30mlの水を入れ、これに得られた生成物（亜硫酸カルシウム）を粟さじに一杯加え、よくかきまぜる。上澄み液の残留塩素濃度をパックテストで調べる。また、水道水の残留塩素濃度を同様に、パックテストで調べ、両者の濃度を比較する。
- (6) 得られた生成物の一部をビーカーに入れ、純水で溶かし自動かくはん器でかくはんしながら希硫酸30mlを加える。この時、沈でん物は真っ白くなり、二酸化硫黄が発生する（二酸化硫黄が乾燥剤に取り込まれていたことの確認と石膏の生成、図3）。  
※ 塩化カルシウム管に使用済み乾燥剤を詰めたものを三角フラスコに取り付けると、発生した二酸化硫黄が大部分吸収される。塩化カルシウム管に綿や乾燥剤はぎっしり詰め込まない。

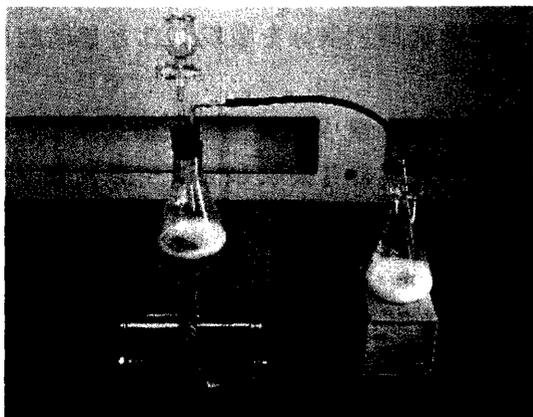


図1 亜硫酸カルシウムの生成

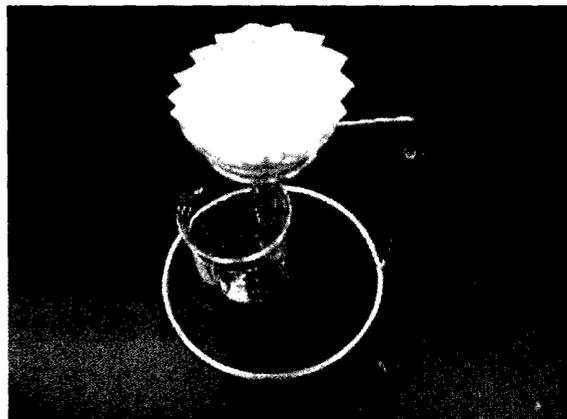


図2 亜硫酸カルシウムのろ過



図3 石膏の生成



図4 石膏のろ過

(7) この沈でん物をひだつきろ紙でろ過した後、何回か水洗し、乾燥すると固まる（石膏の確認、図4）。

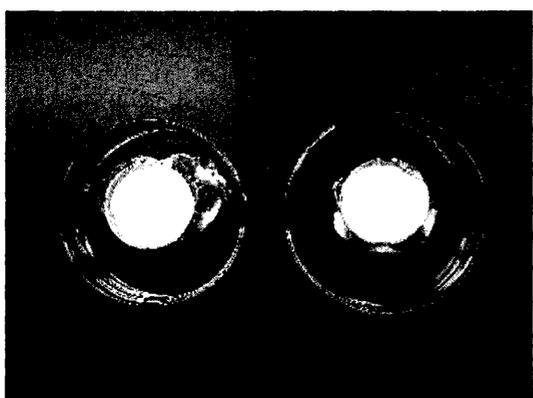


図5 型に入れた石膏

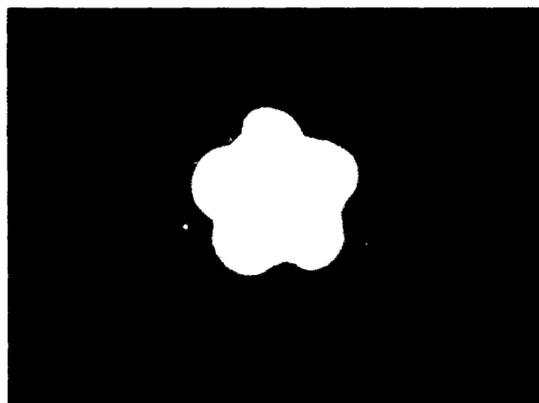


図6 乾燥した石膏

#### 4 化学反応式

- (1) 生石灰（酸化カルシウム）を主成分とする乾燥剤が、水分を吸収したときに起こる反応の化学反応式



- (2) この乾燥剤は、空気中の水分はもとより二酸化炭素をも吸収して、一部炭酸カルシウムが生成していると思われる。酸化カルシウムと二酸化炭素の反応の化学反応式



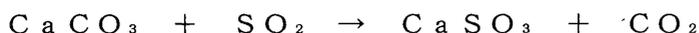
- (3) 亜硫酸ナトリウムと希硫酸の反応の化学反応式



- (4) 水酸化カルシウムと二酸化硫黄の反応の化学反応式



- (5) 炭酸カルシウムと二酸化硫黄の反応の化学反応式



- (6) 亜硫酸カルシウムと希硫酸の反応の化学反応式



#### 5 留意点

- (1) 本実験は、ドラフト内で行う（SO<sub>2</sub>の危険性より）
- (2) この実験でつくった石膏は、完全に固まるのに少々時間がかかるので、予め固まらせた石膏を用意しておく方がよい。
- (3) 火力発電所の脱硫装置では、亜硫酸カルシウムは酸化塔で酸化され、石膏製造装置で石膏となって搬出されている。本実験は、二酸化硫黄が乾燥剤に取り込まれたことの確認をしながら石膏を作っているため、実際の方法とは異なっている。
- (4) 水酸化カルシウムの代わりに乾燥剤を使ったのは、廃物利用のため。

#### 6 グリーンケミストリー教材としての検討

- (1) 亜硫酸カルシウムを過酸化水素水の酸化により硫酸カルシウムを生成させる。

**検証結果** → 硫酸カルシウムは生成されなかった。

- (2) 亜硫酸カルシウムは、空気中で安定であり、水にもわずかしか溶けない。脱塩素作用があるため、水道水中の脱塩素剤（残留塩素除去物質）として市販されている。



亜硫酸カルシウムを石膏にせずに脱塩素剤として使用すること（水道水中の残留塩素を測定することによりその効果を確認する）により教材としての付加価値を高めた。

**検証結果** → 水道水の残留塩素濃度 0.5ppm

亜硫酸カルシウム処理後の水道水の残留塩素濃度 0.1ppm以下

（ほとんど0ppm）

※ 亜硫酸カルシウムは食品業界では大量に使用されている。例えば、還元果汁の製造時には薄めるための水道水の脱塩素処理に使用され、炭酸飲料水のベンダーマシンの紙コップにも発泡性をよくするため表面にコーティングされている。

## 7 参考文献

- (1) 岩藤英司(1992)「大気汚染防止技術の教材化－硫黄酸化物から石膏をつくる－」  
理科第22巻第3号、pp. 18-19、日本理科教育協会
- (2) 『東京電力横須賀火力発電所案内』1992年東京電力横須賀火力発電所.
- (3) 風呂用脱塩素剤ソフトパウダーについて. 2003年8月21日以下より検索, the World  
Wide Web : <http://www.spice.or.jp/~torex/soft2.html>
- (4) ミネラルシャワー. 2003年8月21日以下より検索, the World Wide Web :  
<http://www.mahoraba.ne.jp/~mellisa/user/shower/genri.html>

# バラの香りがレモンの香りに変わる

大 谷 龍 二

## 1 目的

第一アルコール（ゲラニオール）を酸化して、アルデヒド（ゲラニアル）を合成し、その性質を調べる。同時に、天然に存在する安全な物質を使ったスモールスケールでの実験を通して、グリーンケミストリーの考え方を学ぶ。

## 2 準備

ゲラニオール、二酸化マンガン（活性化済）、ヘキサン

試験管（16.5mm×105mm）1～2本、試験管立て、パスツールピペット2本、ゴム栓、かくはん子1個、自動かくはん器、試験紙（ろ紙を5mm×100mmの大きさに切ったもの）、プラスチック製葉さじ、太試験管（25mm×200mm、PYREX）、ガラス管（外径6mm）、アスピレーター、液体窒素、ペットボトル（2ℓ、角型）

## 3 操作

### [ゲラニオールからゲラニアルの合成]

- (1) 試験管に0.2gのゲラニオールを取り、4mlのヘキサンを試験管に加える。これにかくはん子を入れ、自動かくはん器でよくかくはんする（図1）。
- (2) 試験管の溶液を試験紙に付け、ヘキサンを蒸発させたのち、香りを嗅ぐ。
- (3) 次に、0.6gの二酸化マンガンプラスチック製の葉さじで量り、試験管に加え、約20分間かくはんする（図2）。
- (4) かくはんを止め、二酸化マンガンが沈んでいたら上澄み液を試験紙に付け、香りを嗅ぎ、ゲラニオールの香りと比較する。

### [ゲラニアルの銀鏡反応]

- (5) ガラス管を用いて、図3の装置に用いる毛細管及びL字管をつくる。試験管に合ったゴム栓に穴を二ヶ所あけ、毛細管とL字管を差し込み、図3のように組み立てる。
- (6) (4)の溶液の上澄み液（ゲラニアルのヘキサン溶液）を25mm試験管に移す。  
L字管と毛細管付きのゴム栓を図3のようにこの試験管に装着し、L字管からアスピレーターで吸引する。約4分でヘキサンは気化して、ゲラニアルが残る（図4）。  
※液体窒素がない場合は、ドライアイスとエタノールで寒剤をつくるとよい。



図1 ゲラニオールのかくはん

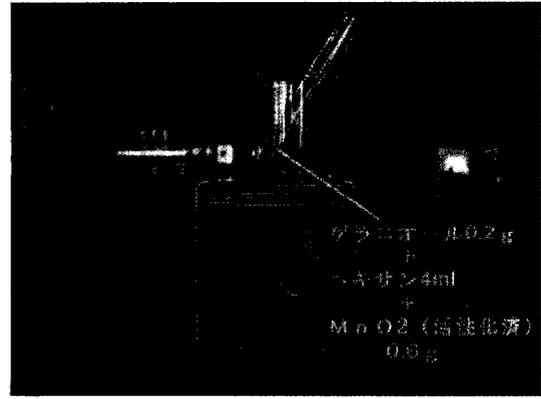


図2 ゲラニオールの酸化

(7) (6)で得られたゲラニアルを試験管に入れたのアンモニア性硝酸銀水溶液に加え、約90℃に加熱する(図5)。このときの変化を観察する(図6)。

※アンモニア性硝酸銀水溶液

硝酸銀水溶液は、硝酸銀1gを水20mlに溶かしたものを使用した。

0.1mol/lアンモニア水を使用した。

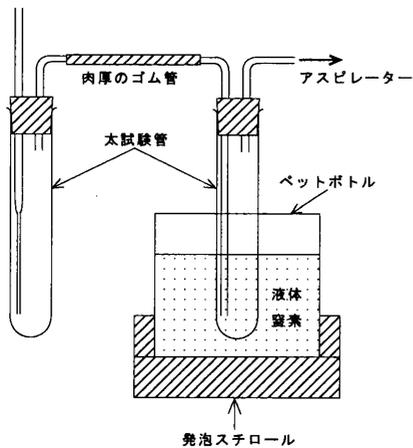


図3 減圧蒸発装置

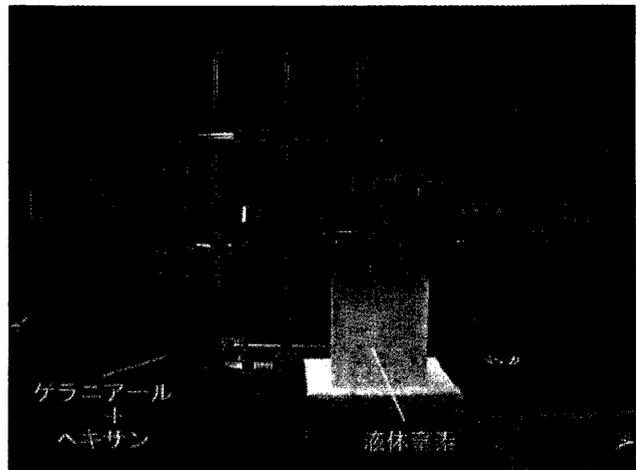


図4 減圧蒸留

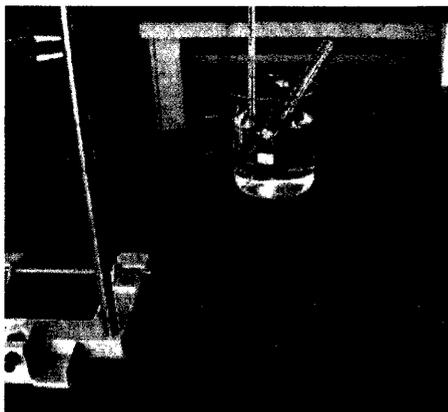


図5 銀鏡反応

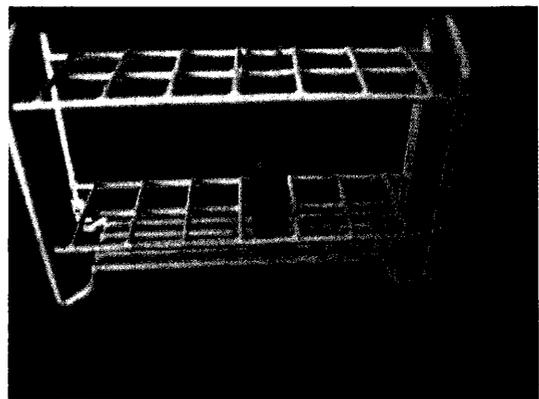


図6 銀鏡反応の結果

[ゲラニオールからゲラニアルを合成するのみの場合]

- (1) 試験管Aに0.2gのゲラニオールを取り、4mlのヘキサンを試験管に加える(図7)。これにかくはん子を入れ、自動かくはん器でよくかくはんした後、パスツールピペットで約2mlを試験管Bに取る。

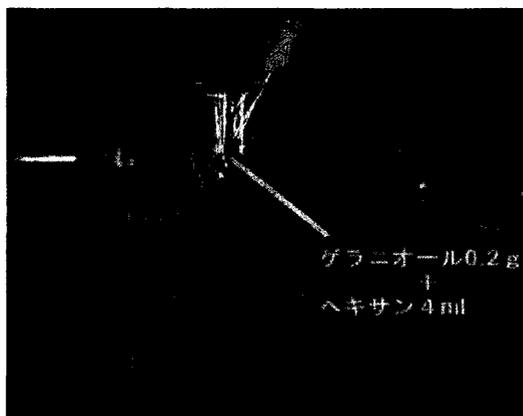


図7 試験管A

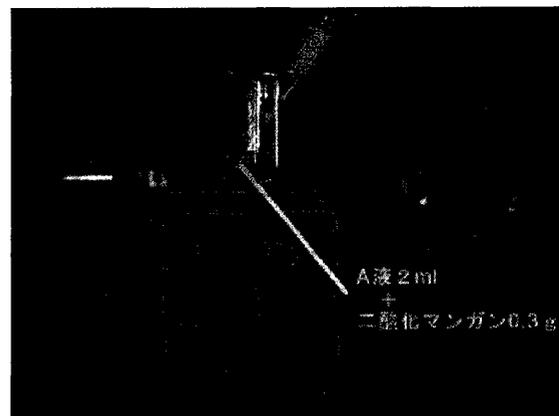


図8 試験管B

- (2) 試験管Aの溶液を試験紙に付け、ヘキサンを蒸発させたのち、香りを嗅ぐ。  
(3) 次に、0.3gの二酸化マンガンプラスチック製の葉さじで量り、試験管Bに加え、約10分間かくはんする(図8)。  
(4) かくはんを止め、二酸化マンガンが沈んでいたら上澄み液を試験紙に付け、香りを嗅ぎ、試験管A(ゲラニオール)の香りと比較する。  
※ 銀鏡反応を行わない場合は、約10分間かくはんするだけで、レモンの香りがし、ゲラニアルの確認ができる。銀鏡反応を行う場合は、酸化反応を十分行わせるため、反応時間を約20分とした。

4 ゲラニオールとゲラニアル(シトラール)について

バラの香りの主成分はゲラニオールと呼ばれる有機化合物である。一方、レモンの香りの主成分はゲラニアルと呼ばれる化合物で、これらは良く似た構造をしている。ゲラニオールはヒドロキシル基を、ゲラニアル(シトラール)はアルデヒド基を持っているところが唯一の構造的違いである。

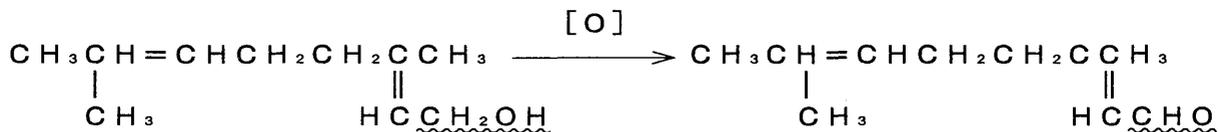
このようにわずかに構造が違うだけで、香りは大きく違うのです。ゲラニオールもゲラニアルもテルペンとよばれる化合物群の一つである。テルペン類はイソプレン単位が組み合わさってできており、イソプレン単位の数が2つのものをモノテルペン、3つをセスキテルペン、4つをジテルペンというように分類されている。ゲラニオールは2つの単位からできているのでモノテルペンに分類される。

ゲラニオールを二酸化マンガンで酸化すると、ヒドロキシル基がアルデヒド基に変わる。

このアルデヒド「ゲラニアル(シトラール)」はレモンの香りの主成分であり、香りの変化でゲラニアルの生成が確認できる。

一般に、第一アルコールが酸化されるとアルデヒドに変わり、さらにカルボン酸にま

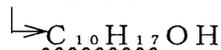
で酸化される。ここでは生成したアルデヒドは二重結合と共役しているため、カルボン酸への酸化を受けづらい。このため、銀鏡反応の温度を通常より高く設定（90℃）しないと反応が起こらない。また、グラニオールは水に溶けないため、試験管の壁面に銀鏡が生じるのではなく、油層の表面に銀鏡が生成する（アンモニア性硝酸銀とグラニオールとの界面に銀鏡が生成しているようにも見える、図7）。



グラニオール（トランス形）

[シス形はネロールという]

bp. 229.7℃ C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O



α-シトラール（トランス形）

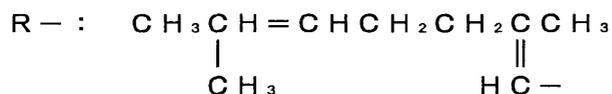
[シス形はβ-シトラールという]

bp. 228℃ C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>O



グラニオール

## 5 化学反応式



## 6 グリーンケミストリー教材としての価値

本教材は、高校の有機化学の教材である。題材とした反応物のグラニオール（バラの香り）は、生成物のグラニオール（レモンの香り）とともに天然に存在する物質であり、安全であるということである。これは、12か条の3『人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする』に該当する。

また、有機溶媒であるヘキサンを使用するが、これを回収する（100%ではないが）手だてを講じていることである。これは、12か条の1『廃棄物は「出してから処理」ではなく、出さない』に該当する。

さらに、本教材は、スモールスケールで行えること、アルコールの酸化においては加熱を必要としない点でも評価できる。

以上のことから、本教材は、高校の有機化学におけるグリーンケミストリー教材として価値があると思われる。

## 7 参考文献

- (1) 山田真二監修(2003)「バラの香りがレモンに変わる」『有機化学応用キットテキスト』、pp. 3-6、お茶の水研究支援システム  
有機化学応用キットは入手可能。
- (2) 片江安巳(1996)「混合物を分ける」『実験で学ぶ化学の世界1 物質の構造と状態』、pp. 14-17、丸善

# 生分解性プラスチックに関する化学教材の検討

蒲原正憲

## 1 はじめに

20世紀半ばに石油を原料とする合成技術によってプラスチックが得られた。その後、逐次高機能化を図りながらその物性を安定化させ、錆びない・腐らないといった「難分解性」の素材として様々な分野で活用され、我々の生活を豊かにしている。ところが、その難分解性が生態系に負担をかけ、環境問題が懸念されている。このような状況の中、自然界で二酸化炭素と水に分解される生分解性プラスチックが注目され、最近では、コンポスト化用ゴミ袋などの製品を目にするようになってきた。

しかし、生分解性プラスチックの科学技術は開発途上にあり、その分解性や安全性等の評価法はまだ確立されていない。環境に優しい「生分解性」というイメージだけでその製品に接することは、環境に悪いとされた物質がたどった道と同じ道を歩むおそれがあると思われる。例えば、微生物の分解に依存する生分解性プラスチックの大量廃棄は、土壌の富栄養化をもたらし、合成洗剤による琵琶湖の赤潮のような問題を引き起こす可能性もある。環境との共生が不可欠な時代を生きていく生徒たちには、循環型社会やグリーンケミストリーの考え方を十分に理解させることが大切である。

そこで、生分解性プラスチックを題材として、そのような考え方の学習に活用できる化学教材についての検討を行った。この学習は、理科総合Aの大項目「科学技術の進歩と人間生活」や化学Ⅱの大項目「課題研究」の課題例として活用できると考える。

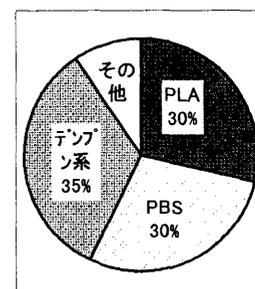
## 2 生分解性プラスチックの分類

生分解性プラスチックは、右表に示すように、その製造法により3つに分けられる。化学合成系は、ほとんどが重合反応で得られる脂肪族ポリエステルである。天然物系は、デンプン等を化学的に処理したり、他の生分解性プラスチックと混合したりしたものである。微生物生産系は、微生物が体内につくる脂肪族ポリエステルを取り出したものである。(1),(2)

分類	代表的な生分解性プラスチック
化学合成系	ポリ乳酸(PLA)、ポリブチレンサクシネート(PBS)、ポリカプロラクトン(PCL)、ポリビニルアルコール(PVA)
天然物系	修飾デンプン、デンプン等と生分解性プラスチックとの混合物、キトサン・セルロースの混合物、酢酸セルロース
微生物生産系	ポリ(3-ヒドロキシ酪酸)(P(3HB))、ポリグルタミン酸

## 3 生分解性プラスチックの生産量

我が国の生分解性プラスチックの年間生産量は、少しずつ増加しており、2001年では6,000トン余りと推定されているが、プラスチック全体の年間生産量15,000トンから見ると0.4%程度とわずかである。市場割合別にみると、右図のように、化学合成系のポリ乳酸とポリブチレンサクシネート、天然物系のデンプン系のものが多くを占めている。最近では、アメリカのカーギル・ダウ



社が年間 140,000 トンのポリ乳酸の本格生産を始め、我が国でも昭和高分子やダイセル化学工業などが増産を検討している。(2)

#### 4 生分解性プラスチックの用途

生分解性プラスチックは、右表に示すように、使用後の回収が困難な分野で利用されている。最近になり、富士通がノートパソコンの部品の一部に、三井樹脂が窓付き封筒の窓に採用したり、ソニーがヘッドホンカセットの筐体（外枠）の8割に生分解性プラスチックを使用したものを発売したりと、利用範囲が拡大してきている。(2)、(3)

分野	主な用途	
自然環境中で利用される分野	農林水産資材	多目的フィルム、育苗ポット、釣り糸、漁網
	土木・建設用資材	緑地用保水素材、工事用保水シート、土のう
	野外レジャー用	ゴルフ、マリンスポーツなどの使い捨て製品
	水処理用資材	沈殿剤、分散剤、洗剤
有機廃棄物のコンポスト化に有用な分野	食用容器包装用	食品包装フィルム、生鮮食品のトレー、弁当箱
	衛生用品	紙おむつ、生理用品
	日用品、雑貨類	ゴミ袋、コップ

※本稿では、繊維等もプラスチックとして扱っている。

#### 5 実験教材の検討

化学合成系としてポリ乳酸、天然物系としてセルロースとポリビニルアルコールの混合物を取り上げ、試行実験を行った。ただし、分解性についてはまだ検討していない。

##### (1) ポリ乳酸

##### 1) 試行実験

乳酸 20 g を 50ml ビーカーに取り、五酸化リン 0.4 g を加え、200℃に設定した恒温乾燥機に入れ反応させた。

[試薬等] 原料の乳酸は、市販の乳酸（500ml、2,300 円程度）を使用した。

##### 2) 実験結果

五酸化リンを入れる際、乳酸中に含まれている水分のためか、ジュツという音と共に白煙が生じた。恒温乾燥機に入れてから 20 分程度立つと沸騰しはじめ、シュリーレン現象が観察され、90 分後に溶液が少し黄色みを帯びてきた。3～4 時間後、溶液が黒変した。電源を切り、そのまま一昼夜放置したところ、次ページの写真のような褐色透明の硬い樹脂を得た。

##### 3) 問題点等

- ① 実験操作は簡単であるが、従来のプラスチックの合成と同様に、ポリ乳酸の合成には時間がかかる。このため 50 分間で行うには無理がある。
- ② 本来のポリ乳酸は無色透明であるが、この実験で得たものは褐色透明である。おそらく、一部が炭化したものと思われる。
- ③ 恒温乾燥機の扉を時々開けて反応中の様子を観察する際、むせるような刺激臭がした。還流装置等を用いれば解決できると思われるが、簡便に合成するには、ドラフトの使用も含め、換気に留意する必要がある

##### 4) 参考事項

ポリ乳酸は、デンプンなどの再生可能な資源を乳酸発酵して得られる L-乳酸を



操作は、加熱することもなく簡単である。白色固体として 10 分程度でつくりことができる。乾燥させても、数日立つと湿り気を帯びた状態になるが、天然物系の生分解性プラスチックがもつ欠点である吸湿性のよい実例となると思われる。

## 6 インターネットを活用した調査学習

生分解性プラスチックは、現在進行形で研究開発が進められている。その特許・実用新案は 1998 年頃から急増し、現在は新規ポリマーの合成法や用途開発などが年間数百件ほど出願され、日進月歩の状況である。インターネットによる「生分解性プラスチック」の検索数でも 2004 年 1 月現在で 1 万件を越える状況であり、生分解性プラスチックの学習においては、インターネットを活用した調査学習が効果的であると思われる。

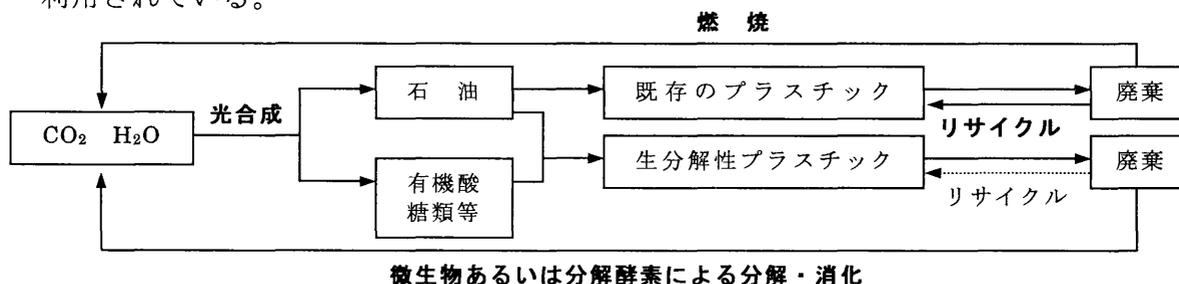
インターネットによる調査学習では、有害情報等に注意するよう呼びかけ、右下のような調査項目を示すなど目的をもたせることが大切である。調査させるウェブサイトとしては、生分解性プラスチック研究会（BPS）や群馬テクニカルリサーチ（GTR）が適しており、BPS は生分解性プラスチックの紹介 VTR や Q & A が、GTR は代表的な商品や関連企業へのリンクなどが充実している。

BPS のアドレス [http://www.bpsweb.net/06\\_map/map.htm](http://www.bpsweb.net/06_map/map.htm)

GTR のアドレス <http://www.gtr.co.jp/index.htm>

調査する項目	
①	研究開発の歴史
②	生産量の推移
③	種類及び性質と用途
④	問題点や今後の課題

調査学習では、下図に示すように、炭素循環を正常化させるための方策の一つとして、生分解性プラスチックと既存のプラスチックの共存が必要なことを理解させたい。現在までの生分解性プラスチックは、その剛性、耐熱性、耐湿性等において、既存のプラスチックに及ばないものが多く、あくまでも使用後に回収や再利用が困難な分野を中心に利用されている。



<文献>

- (1) 柘植秀樹・他 「環境と化学 グリーンケミストリー入門」 2002 年 東京化学同人
- (2) 石賀 敬 「Word Watching 生分解性プラスチック」  
<http://www.energia.co.jp/energiaj/company/chugoku/research/word200305.pdf> (2004.2.4)
- (3) 土肥義治監修 「生分解性プラスチック 一歩進んだバイオプラスチックと環境分子科学」『理研ニュース 2001 年 3 月号』 理化学研究所
- (4) 中村 純・他 「乳酸とグリコール酸をモノマーとする共重合の研究」  
<http://web.sfc.keio.ac.jp/~chau/wcc/15/peli15-07.html> (2004.2.8)
- (5) 作田信幸 「ポリヒドロキシカルボン酸の製造」 特許公開 2002-138142 西川ゴム工業 (株)
- (6) 稲生隆嗣・他 「生分解性プラスチック」 特許公開 2002-355932 トヨタ自動車 (株)

# 光触媒を用いた実験教材の開発

高 坂 智

## 1 はじめに

光触媒とは、太陽光などの光によって表面が活性化されて接触する物質に作用を及ぼすが、それ自身は変化することのない物質である。代表的な物質の酸化チタンは、白色原料、歯磨き粉、化粧品などに使われている。常温、常圧の通常の使用条件では酸、アルカリ、水、有機溶媒に溶解せず、酸化チタンフッ化水素、塩素、硫化水素など反応性の強いガスとも反応しない極めて安定な物質である。また、耐久性、耐摩耗性に優れ、経済性、安全性などで多くの利点を持っている。光触媒は、グリーンケミストリーと密接な関連がある。これは、光触媒が一般に「それ自体が無害な物質である」「繰り返し利用できる」「対象物質を無害な物質に分解できる」「毒性が低く、実験事故の可能性も低い」といった特徴をもつからである。環境にやさしいクリーンな化学反応を進める物質として注目されており、化学に対する「危ない」「有害である」などの負の印象とは対極にある物質である。



光触媒の作用は次のように説明されている。<sup>1)</sup>酸化チタンなどにバンドギャップ以上のエネルギーを持つ光を与えると、電子と正孔が生じる。これが水や酸素などと反応し、OHラジカル( $\cdot\text{OH}$ )やスーパーオキシドアニオン( $\text{O}_2^-$ )などの活性酸素を生成する。これらは非常に反応性が高く、特にOHラジカルは、120kcal/mol相当の非常に大きなエネルギーを持っている。炭素-炭素、炭素-窒素、炭素-水素、酸素-水素、窒素-水素などの結合エネルギーは100kcal/mol前後であるので、これらの結合を切断して二酸化炭素や水などに分解することができる。酸化チタンに光と水が供給されるとOHラジカルは発生し続け、光触媒反応が続く。酸化チタンは、アナターゼ型、ブルッカイト型、ルチル型に分類される。はっきりとわからないが、アナターゼ型がもっとも活性が高いようである。

## 2 高等学校化学の学習内容と光触媒との関わり

光触媒を利用した製品は近年普及しつつあり、これには「蛍光灯」、「空気清浄機」、「プラズマ冷蔵庫」などがある。このため、光触媒という言葉を知っている生徒もいると思われる。この他、光触媒がもつ抗菌作用・消臭作用・防汚作用などを利用して、「タイル」や「消臭スプレー」など多方面に利用されつつある。このように、日常生活との関わりがあり、応用分野が広いことから、学習への興味・関心を喚起しやすく、学習の広がりも期待できる素材と思われる。

高等学校化学との関連では、化学Ⅱで学習する触媒と関わりが深い。よって、触媒の働きを理解させたり、深める課題研究の教材として活用可能と思われる。ここでは、①光触媒の分解作用を確かめ、②光触媒活用のポイントを見だし、③実験結果をふまえて各種用途を考案するという学習展開を想定し、このために有用な実験を検討した。

### 3 高等学校化学で、光触媒を用いた実験を行う際の留意事項

#### ① 光源

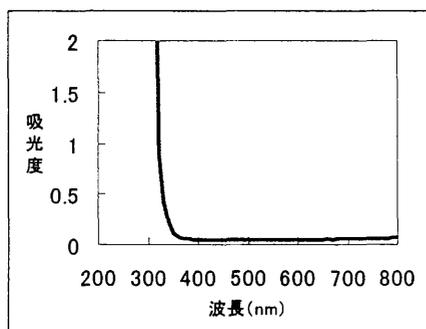
蛍光灯や白熱電球は紫外線がわずかしか含まれていない。光触媒の光源には太陽、水銀ランプ、ブラックライトなどが適している。太陽光では季節、時刻、天候により紫外線強度が異なる。一般に、夏で晴れた昼間には強く、冬で曇った朝夕には弱くなる。ブラックライトでは一般に消費電力が大きいほど、放射される紫外線強度が高い。また、光源からの距離が離れると紫外線強度は低くなる。

#### ② 紫外線吸収率

紫外線は各種の物質に吸収されるが、特にガラスの吸収率には配慮が必要である。これは、例えば光源に太陽光を利用して実験を行う場合、窓ガラス越しに照射したり、室外に試料を持ち出すときに水分の蒸発や異物の混入を避けるためにガラス板等でふたをすることが考えられるからである。ガラス板の紫外線吸収率についての一例を次に示す。

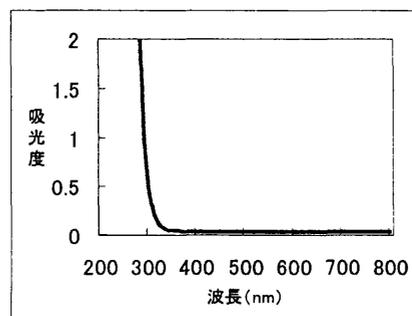
a ガラス板（ホウケイ酸ガラス）3mmの  
吸収スペクトル

波長(nm)	400	350	300	250	200
吸光度	0.046	0.110	5.00	5.00	5.00



b スライドガラス（ホウケイ酸ガラス）1mm  
の吸収スペクトル

波長(nm)	400	350	300	250	200
吸光度	0.039	0.046	0.444	4.07	5.00



c ガラス板の紫外線吸収率（測定日：H16.1.27 測定地：青森市 天候：晴れ）

① ガラス板3mmの場合

約4600  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$   $\rightarrow$  約3800  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  紫外線吸収率 約17%

② スライドガラスの場合

約3200  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$   $\rightarrow$  約3000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  紫外線吸収率 約6%

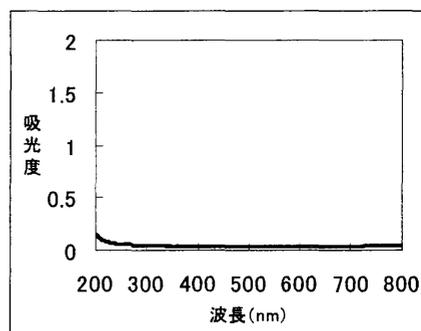
※ 本報で紫外線強度の測定に使用した機器は、ケニス株式会社製：UV-340である。表示される値は波長が270nm～400nmの紫外線強度の合計値であるが、感度が波長により異なるので正確な合計値ではない。値は270nm～400nmでの紫外線強度の目安として見ていただきたい。

a～cの結果から、厚いガラスの場合、吸収する紫外線量は増えることがわかる。特に、厚い窓ガラス越しに太陽光を照射する場合には、分解効率が低くなることに注意が必要である。また、紫外線カットガラスなどガラスの材質にも注意を要する。

また、基礎的なデータとして蒸留水の吸収スペクトルを示しておく。水溶液中で溶質を分解する実験を行う際には、光の水に対する透過率を確認しておく

d 蒸留水の吸収スペクトル

波長	吸光度	波長	吸光度
800	0.0455	450	0.0358
750	0.0468	400	0.0374
700	0.0369	350	0.0399
650	0.0360	300	0.0461
600	0.0347	250	0.0587
550	0.0346	200	0.1596
500	0.0354	(nm)	



必要がある。対象物として固体、液体、気体の試料が想定されるが、水の紫外線吸収率が高い場合には、水溶液中での分解は効率が悪いことになる。

### ③ 接触面積

光触媒による作用は表面反応であり、光の吸収、酸化剤の生成、対象物質の分解はいずれも表面で起こる。つまり、反応速度を高めるには、細かい（例えば粉末）光触媒を用いて、対象物質との接触面積を広げる等の工夫が必要になる。工業的には、流動層による処理や吸着剤の併用が考えられる。一方で、粒子が細くなるほど、光触媒の固定化や使用後の回収が難しくなるといったデメリットが考えられる。

## 4 光触媒を用いた実験教材開発の観点

本報では、グリーンケミストリーを意識して高等学校化学で実施できる実験教材開発の観点から、以下の方針により各種実験の開発を試みた。

- ① 廃棄物を最小限に抑える。【実験後に廃棄物をあまり出さない】
- ② エネルギーをむだにしない。【太陽光を利用する】
- ③ 安全性が高い実験にする。【有害な薬品を使わない、実験手順を簡便にする】
- ④ 授業時間（50分～65分）内に実施できる。
- ⑤ 生徒が考案できうる実験にする。

## 5 光触媒を用いた各種実験

### 実験1 酸化チタン+メチレンブルー水溶液に、太陽光を照射した際の吸光度の時間変化

- 手順**
- ① 同型のペトリ皿（内径9 cm）6個に、それぞれ酸化チタン1 g（和光純薬製：粉末、アナターゼ型）、メチレンブルー水溶液（10mg/l）を20ml入れた。
  - ② ガラス棒でかき混ぜて均一にしたのち、静置して、太陽光を（5、10、15、20、25、30分）ずつ照射した。（紫外線強度は1分おきに測定した。）
  - ③ それぞれを遠心分離した。（1500rpm、10分間）
  - ⑤ 水溶液の吸収スペクトルを測定した。

（使用機器：島津製作所製UV2500PC 対照は空気 1 cmセルを使って測定）

## 結果

- ① 測定時の紫外線強度の時間変化      ② メチレンブルー水溶液の色の変化

測定日：H16.1.28

測定時間：9:35～10:05

場所：青森市

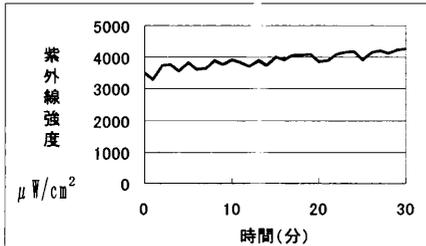
天候：快晴

a：メチレンブルー10mg/l

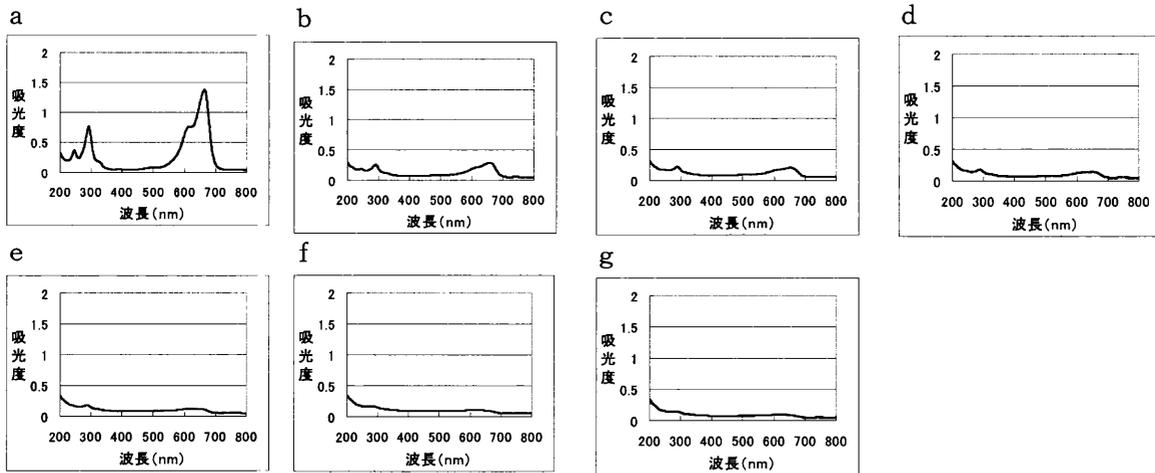
b：5分後      e：20分後

c：10分後      f：25分後

d：15分後      g：30分後

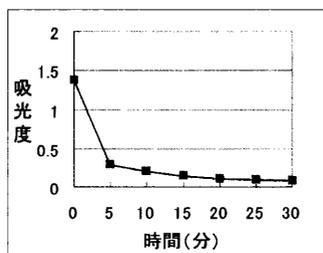


- ③ a～gの水溶液の吸収スペクトル



- ④ a～gの水溶液の吸光度 (664nm)

時間(分)	吸光度
0	1.3777
5	0.2825
10	0.1957
15	0.1389
20	0.1120
25	0.0936
30	0.0788



## 解説

時間とともに、メチレンブルーの呈色が減少していく様子が視覚的にとらえられる。吸収スペクトルからは、時間とともに測定波長域全体の吸光度が減少することがわかる。この実験の場合、約20分頃から吸収ピークの存在が不明瞭になり、時間とともに蒸留水の吸収スペクトルに近づくことがわかる。

## 実験2 メチレンブルー水溶液に、太陽光を照射した際の吸光度の時間変化

- 手順**
- ① 同型のペトリ皿（内径9cm）6個に、メチレンブルー水溶液（10mg/l）を20mlずつ入れた。
  - ② 静置して、太陽光を（5、10、15、20、25、30分）ずつ照射した。
  - ③ 水溶液の吸光度（波長664nm）を測定した。

### 結果

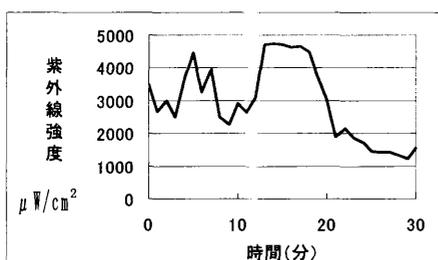
- ① 測定時の紫外線強度の時間変化      ② 吸光度（664nm）の時間変化

測定日：H16.1.28

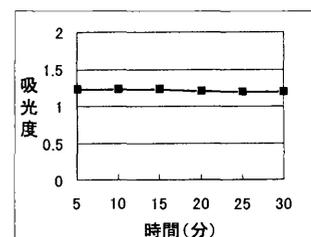
測定時間：12:15～12:45

場所：青森市

天候：快晴のち曇り



時間(分)	吸光度
5	1.219
10	1.227
15	1.226
20	1.203
25	1.185
30	1.183



### 解説

メチレンブルーに紫外線だけを照射してもほとんど減色しないことがわかる。実験1、2の結果から、メチレンブルーの減色には、酸化チタンが必要であることが確認できる。

## 実験3 酸化チタンが、メチレンブルーを分解するかどうかを確認する実験

- 手順**
- ① 同型のペトリ皿（内径9cm）3個に、酸化チタンを1gずつ入れた。
  - ② 蒸留水20ml、メチレンブルー水溶液（10mg/l、20mg/l）を入れた。
  - ③ ガラス棒でかき混ぜて均一にしたのち、すべての水溶液が無色になるまで太陽光を照射した。
  - ④ ビーカー3個に、それぞれの水溶液を入れたのち、溶存二酸化炭素検査試薬（テトラ社製）を使って、着色までに要した試薬量を求めた。

### 結果

条件	着色までに要した試薬量
酸化チタン1g + 蒸留水の場合	約0.15ml
酸化チタン1g + メチレンブルー水溶液10mg/lの場合	約0.25ml
酸化チタン1g + メチレンブルー水溶液20mg/lの場合	約0.40ml

### 解説

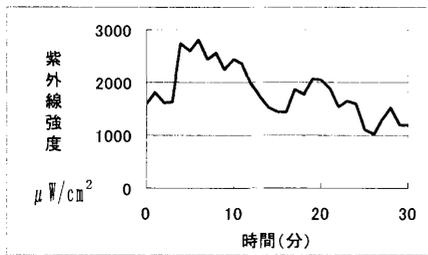
メチレンブルーの濃度が高いほど、必要な試薬量は多くなる。このことから、メチレンブルーが分解され、二酸化炭素が生成したことが確認できる。

#### 実験4 紫外線強度と分解速度との関わりを調べる実験（紫外線強度が弱い場合）

- 手順**
- ① 同型のペトリ皿（内径9cm）6個に、それぞれ酸化チタン1g、メチレンブルー水溶液（10mg/l）を20ml入れた。
  - ② ガラス棒でかき混ぜて均一にしたのち、静置して、太陽光を（5、10、15、20、25、30分）ずつ照射した。
  - ③ それぞれを遠心分離した。（1500rpm、10分間）
  - ④ 水溶液の吸光度（664nm）を測定した。

#### 結果

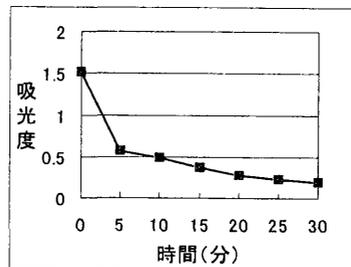
- ① 測定時の紫外線強度の時間変化



測定日：H16.1.26  
 測定時間：14:55～15:25  
 場所：青森市  
 天候：晴れときどき曇り

- ② メチレンブルー水溶液の吸光度の時間変化

時間(分)	吸光度(664nm)
0	1.5110
5	0.5730
10	0.4851
15	0.3616
20	0.2753
25	0.2258
30	0.1897



#### 解説

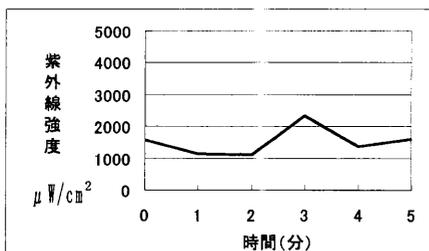
実験1との比較から、光の強度が弱くなると、メチレンブルーの分解速度が低下することがわかる。

#### 実験5 酸化チタンの質量と分解速度との関わりを調べる実験

- 手順**
- ① 同型のペトリ皿（内径9cm）5個に、それぞれ酸化チタン1、2、3、4、5gを入れた。
  - ② メチレンブルー水溶液（10mg/l）を20mlずつ入れた。
  - ③ ガラス棒でかき混ぜて均一にしたのち、静置して、同時に太陽光を5分照射した。
  - ④ それぞれを遠心分離した。（1500rpm、10分間）
  - ⑤ 水溶液の吸光度（664nm）を測定した。

## 結果

### ① 測定時の紫外線強度の時間変化



測定日：H16.1.28

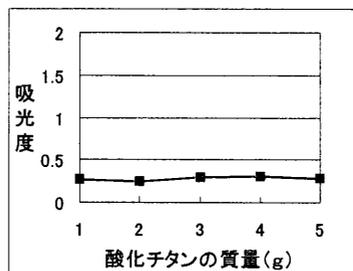
測定時間：11:35～11:40

場所：青森市

天候：曇り

### ② 各水溶液の吸光度 (664nm)

酸化チタンの質量(g)	吸光度
1	0.2646
2	0.2465
3	0.2921
4	0.3055
5	0.2864



## 解説

酸化チタンの質量を増やしても、メチレンブルーの分解速度はあまり変わらないことがわかる。

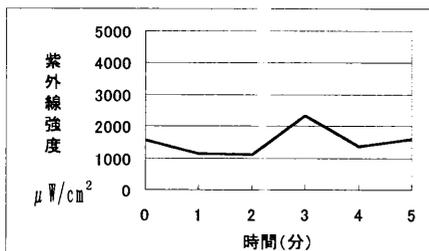
## 実験6 光があたる面積と分解速度との関わりを調べる実験

### 手順

- ① 同型のペトリ皿（内径9cm）2個に、それぞれ酸化チタン1gを入れた。
- ② メチレンブルー水溶液（10mg/l）を20mlずつ入れた。
- ③ ガラス棒でかき混ぜて均一にしたのち、一方のペトリ皿は静置、もう一方のシャーレはガラス棒で攪拌しながら同時に太陽光を5分間照射した。
- ④ それぞれを遠心分離した。（1500rpm、10分間）
- ⑤ 水溶液の吸収スペクトルを測定した。

## 結果

### ① 測定時の紫外線強度の時間変化



測定日：H16.1.28

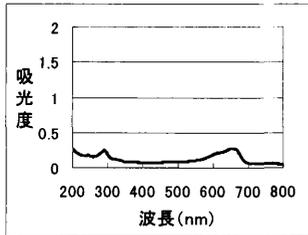
測定時間：11:35～11:40

場所：青森市

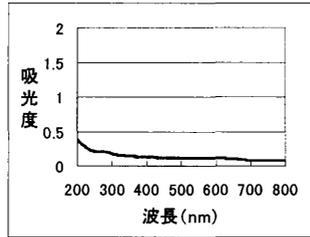
天候：曇り

② 各吸収スペクトル

a 1g 静置



b 1g 攪拌



a、bの水溶液の吸光度(664nm)

酸化チタンの質量(g)	吸光度
1g 静地	0.2646
1g 攪拌	0.0949

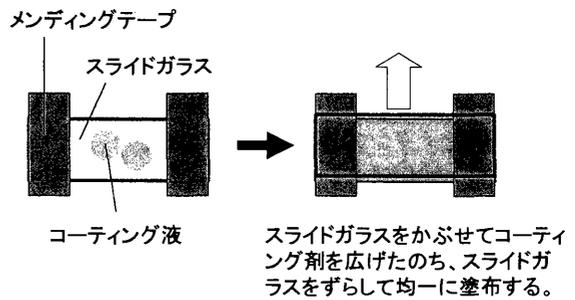
**解説**

攪拌して酸化チタンを分散させながら太陽光を照射すると、メチレンブルーの分解速度が高くなることがわかる。

**実験7 光触媒をコーティングして分解作用を確かめる実験**

**手順**

- ① スライドガラス2枚を準備した。
- ② 1枚のスライドガラスに、光触媒コーティング液（光触媒研究所製：PA0-115）を塗布したのち、ドライヤーで乾燥した。
- ③ 2枚のスライドガラスに、それぞれ赤インキ（パイロット社製：シングルスペアーインキ）を薄く塗布したのち、ドライヤーで乾燥した。
- ④ 太陽光を7時間照射した。（平均紫外線強度は約1000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ であった）



**結果**

	太陽光照射前	太陽光照射後
①赤インキだけ塗布したスライドガラス		
②光触媒コーティング液と赤いインキを重ね塗りしたスライドガラス		

**解説**

太陽光を当てると赤インキの分解が進むことがわかる。

## 6 まとめ

本報では、以下のように、①光触媒の分解作用の確認、②分解作用を促進する条件の同定、③光触媒の利用例の体験といった学習展開を想定して、それぞれの目的に応じて有用と思われる実験方法を検討した。

教師の活動と実験内容	生徒の思考
<p>1 光触媒をコーティングした蛍光灯などの提示            発問：光触媒とは何だろう。            発問：ほんとうにきれいになるのかな？            説明：酸化チタンが光の力を使ってほこりやエチレンなどの有機物を除くそうだ。</p>	
<p>2 酸化チタンを使って有機物が除けるのか試してみよう。            発問：どんな有機物を使おうか？</p>	<p>色のある有機物が多い。色の変化でなくなるかわかるはず。</p>
<p>3 実験1：メチレンブルー+酸化チタンに太陽光を照射する。            (結果 メチレンブルーの色が退色した。)            発問：メチレンブルーはどうなったのかな？</p>	<p>メチレンブルーが別なものになったようだ</p>
<p>4 酸化チタンの作用の有無の確認            発問：酸化チタンがメチレンブルーを別なものにしたのか？            発問：光だけをあてても別なものになるのではないか？            発問：どんな実験をしたら確認できるだろうか？</p>	<p>メチレンブルー水溶液だけに、太陽光を当ててみればいい。</p>
<p>5 実験2：メチレンブルーに太陽光を照射する。            (結果 時間がたってもメチレンブルーの退色は進まない。)</p>	<p>やはり酸化チタンがメチレンブルーを別なものにしたようだ。</p>
<p>6 酸化チタンの作用の同定            発問：メチレンブルーを分解したのだろうか？            発問：メチレンブルーは分解されると何に変わるのか？            指示：二酸化炭素の検査試薬を使って確認してみよう。</p>	<p>二酸化炭素や水や塩素</p>
<p>7 実験3：メチレンブルー+酸化チタンに太陽光を照射したのち、溶存二酸化炭素検査試薬で確認する。            (結果 太陽光照射後の水溶液は二酸化炭素を含む。)</p>	<p>酸化チタンは光を使ってメチレンブルーを分解した。</p>
<p>8 酸化チタンの作用条件の同定            発問：分解を進めるにはどうしたらよいか？</p>	<p>① 強い光を当てればいい。            ② 酸化チタンの量を増やせばいい。            ③ よくかきまぜればいい。</p>
<p>9 実験4：光の強度が実験1と違う日に、メチレンブルー+酸化チタンに太陽光を照射する。            (結果 光が弱いとメチレンブルーの減色は進まない。)</p>	
<p>10 実験5：酸化チタンの量を変えて、メチレンブルー+酸化チタンに太陽光を照射する。            (結果 量を増やしても、メチレンブルーの分解は進まない。)</p>	

<p>11 実験6：攪拌しながら、メチレンブルー+酸化チタンに太陽光を照射する。 (結果 攪拌すると、メチレンブルーの分解が進む。)</p> <p>12 光触媒の活用例 指示：コーティング剤を利用した実験をしてみよう。</p> <p>13 実験7：光触媒をコーティングして分解作用を確かめる実験</p>	
---	--

本報で紹介した各実験は、いずれも安価で簡便に行うことができる。また、結果がわかりやすく、生徒が考案できうる実験が多いと感じている。一連の実験を通して、光触媒が有機物を分解すること、光の強度を高くするとともに酸化チタンと有機物の接触面積を広げると分解速度が向上するという光触媒活用のポイントを理解できると思う。実験7では、光触媒活用の一端に触れることで、光触媒と生活との関わりを認識できるであろう。一連の実験とその考察をもとに、光触媒の活用方法を考案させると、創造性を発揮できる機会作りになると思う。この他に、分解前後で酸化チタンの性質を比較する実験により触媒であることを確認する実験、煙やアセトアルデヒドを分解する実験など、関連する多くの実験が考えられ、さらなる探究が可能である。これらの活動を通して、グリーンケミストリーの趣旨と有用性を実感できると思う。

実験の順序は、クラス全体で実験1～実験7を順番に実施する方法が考えられるが、実験1を実施したあとで、班ごとに実験2～実験3ならびに実験4～実験6を実施する方法も考えられる。

## 7 補足

ここでは、結果の信頼性や測定条件を明示するために、紫外線強度計、遠心分離機、紫外可視分光光度計を用いて詳細なデータを掲載した。学校に紫外可視分光光度計がない場合、比色管を利用したメチレンブルー濃度の同定法が考えられる。

光の強度については、紫外線強度の低い冬季間での実験結果である。よって、本報の実験は春、夏、秋の季節においても活用できる。一方、雲量については特に留意すべきである。紫外線強度は、雲の厚さにもよるが、晴れの場合の1/10のオーダーに減少する。特に、メチレンブルーや赤インキの分解を明らかに実感させるには、晴れた日に実施することが望ましい。

- ・テトラテスト（溶存二酸化炭素検査試薬）魚類の飼育用品の取扱店で購入できる。
- ・光触媒コーティング剤提供：光触媒研究所〒485-0011愛知県小牧市大字岩崎400番地

## 8 参考文献

- (1) 埜田博史 (2002) 『トコトンやさしい光触媒の本』 p. 16, 日刊工業新聞社。

# 洗剤の歴史におけるグリーンケミストリー

藤原 大

## 1. はじめに

調査校の公立 F 高等学校は今年開校 24 年目であり、平成 7 年度よりコース制を導入し、その一つとして環境コースを設けている。今年から、グローブ（GLOBE：環境のための地球学 習観測プログラム）にも参加し、毎日の最高最低気温の測定や近くを流れる大和川、東除川（ひがしよけがわ）および校内に建設中のビオトープ池の水質調査などを行っている。大和川の支流の一つである東除川ではおそらく合成洗剤の影響であろうと思われる発泡現象が見られる場所もある。また、生徒から『まぜるな危険！』の表示について質問があったことなどから、合成洗剤の歴史の中でどのような「グリーンケミストリー」化がなされてきているかを授業で扱った。

## 2. 授業内容

### ① アンケート

学習前の生徒のセッケン・洗剤に対する考えを調べた。

- |   |
|---|
| i) 日頃使用しているセッケン・洗剤について人体や環境（自然）に与える影響を考えたことがありますか？<br>（ある ・ ない）<br>「ある」と答えた人→具体的に教えてください。<br>（<br>） |
| ii) 日頃使用しているセッケン・洗剤が危険だと思ったことがありますか？<br>（ある ・ ない）<br>「ある」と答えた人→具体的に教えてください。<br>（<br>）               |
| iii) セッケン・洗剤の歴史の中で「化学」がどのように関わってきているか知っていますか？<br>（知っている ・ 知らない）<br>「ある」と答えた人→具体的に教えてください。<br>（<br>） |

[アンケート結果]

- i) 

ある	8名
----	----

ない	14名
----	-----

「ある」と答えた中の意見

- ・肌荒れや手荒れ
- ・自然が汚れる感じがする
- ・合成洗剤を使うと水が汚れ、微生物が分解できない など

ii) ある 11名                      ない 11名  
「ある」と答えた中の意見      ・まぜるな危険の表示のある洗剤（複数）

iii) 知っている 1名                      知らない 20名  
「ある」と答えた中の意見      ・汚れがよく落ちる洗剤が開発されてきている

## ②セッケンの歴史

古代ローマ時代、偶然発見されたことや日本に伝わった頃のエピソード、セッケンがなかった頃の日本では「さいかち」や「むくろじ」などの木の実や灰汁を使っていた、それらの水溶液はアルカリ性であること、そして汚れを落とすのは「アルカリ」であること。また実際に生徒に灰（本校ビオトープ池から刈り取ったヨシ（アシ）を燃やしたもの）を水に混ぜたもののpHをpHメーターで測定した。（pHは9.3であった）

## ③合成洗剤誕生

18世紀～19世紀のヨーロッパにおいてセッケンが大量生産され、庶民のものになったこと、第一次世界大戦の影響を受けて合成洗剤が誕生したこと、合成洗剤の汚れを落とす主たるもの（界面活性剤）としてはABS（側鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム）であることやそのABSは日本へは第二次世界大戦後の1950年頃アメリカから日本に入ってきた。その後、電気洗濯機の普及とともにABSを原料とする合成洗剤の使用量が増えていったことなど。

## ④界面活性剤の種類

身の回りにある洗剤その他に使用されている界面活性剤の種類（陰イオン界面活性剤、陽イオン界面活性剤、非イオン界面活性剤）の具体例を示した。その他にも「ビルダー」として金属封鎖剤、再汚染防止剤、アルカリ剤など汚れを効果的に落とすためのものが含まれていることなど。

## ⑤陰イオン界面活性剤の測定（実験①）

水質調査をしている調査校近くの大和川、東除川の水、及び生徒が合成洗剤を使って洗ったコップの残り水にどの程度の陰イオン界面活性剤が残っているかを測定。

（共立理化学研究所 陰イオン界面活性剤測定キットを利用）

[予想]

実験前に生徒にどの水が陰イオン界面活性剤を最も多く含んでいるかを尋ねたところ、

1位：大和川（10人）      2位：東除川（5人）      3位：コップの残り水（3人）

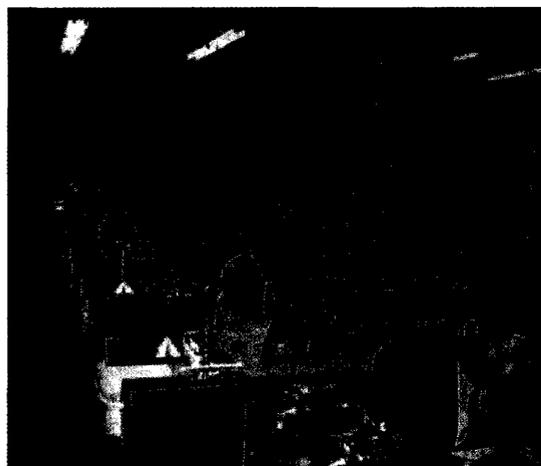
ということであった。生徒にとっては、圧倒的に「大和川＝汚い」という考えが浸透していることがうかがえた。コップの残り水が最も陰イオン界面活性剤を多く含んでいるという意見には、「そんなはずはない…」という意見が聞かれた。

[結果]

含まれている陰イオン界面活性剤の濃度は、

- |                              |
|------------------------------|
| ・ 東除川、大和川の水…………… 1 ～ 1.5 ppm |
| ・ 洗い終わったコップの残り水…………… 1 ppm   |

というものであった。生徒にとっては予想通りの結果が出た反面、洗い終わったコップの残り水にも身近な川の水と同じくらいの陰イオン界面活性剤が含まれていたことに驚いている生徒も多かった。



⑥家庭にある洗剤の成分調査（宿題）

衣服用洗剤・台所用洗剤・身体用洗剤のうち2種類について洗剤の成分表示を見てどんなものが含まれているかを調べる。普段何気なく使っている洗剤の成分を初めて見る生徒が大部分であった。

⑦ABS問題

有吉佐和子作『複合汚染』を引用し、合成洗剤に含まれていたABSが大量に河川に流れ込み、微生物に分解されにくいことから河川で発泡が見られることがあったこと、現在は分解されやすいLAS（直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム）が使われていること、ABSとLASの構造上の違い、河川中ではLASは6日以内に100%近く分解するが、ABSは60日たっても約30%残っていることをグラフを用いて示す。

⑧リン酸塩問題

ABS問題同様、有吉佐和子作『複合汚染』を引用し特に湖沼に富栄養化をもたらしたリン酸塩の性質（水質を軟水化、再汚染防止作用など）や有リン合成洗剤の販売・使用の禁止した『琵琶湖条例』について説明。さらに現在ではリン酸塩の代わりにゼオライト（アルミノケイ酸塩）やポリアクリル酸ナトリウムなどが使われていることを実際に洗剤をもってきて生徒と一緒に見ながら説明。

### ⑨洗剤の歴史におけるグリーンケミストリー

これまでの授業のまとめとして、「グリーンケミストリー」12か条を紹介。

### ⑩家庭にある洗剤の性質・怖さ（実験②）

生徒から疑問の声があがった「まぜるな危険」と表示されている洗剤を実際に混ぜると何が発生するのか、発生した気体（塩素）の性質などを調べた。

#### [実験Ⅰ] 酸素系漂白剤から酸素を発生させる

粉末の酸素系漂白剤（商品名ワイドハイター）を薬さじに1杯とり試験管に入れる。そこに水を少量注ぎ、酸化マンガン(IV)を薬さじ半分ほど加える。泡が発生するのを確認し、その泡が酸素であることを確認するために火のついた線香を入れると、激しく燃える。

（生徒の反応）

「おおっ！」や「あっ！」という声とともに、線香の燃焼に驚いていた。

#### [実験Ⅱ] 塩素系漂白剤と酸性洗剤を混ぜて塩素を発生させる

- (1) 試薬瓶に酸性洗剤（商品名サンポール）を2ml入れる。
- (2) 塩素系漂白剤（商品名キッチンハイター）を2ml加え、ガラス板ですぐにフタをする。
- (3) 混合した洗剤の色を確認する。
- (4) ヨウ化カリウムデンプン紙、リトマス試験紙（赤、青）、花びら（さざんか）を試薬瓶の中に入れて変化を確認する。

（生徒の反応）

あらかじめ実験前にヨウ化カリウムデンプン紙は塩素によって色が赤紫色～茶色に近い色に変化すること、塩素ガスは毒性があり第一次世界大戦中ドイツが使用し、イギリスやフランス軍にかなりの死亡者が出たことを説明していたので、ヨウ化カリウムデンプン紙が試薬瓶の口に近づいた途端に色が変わったのを見て、人間を死に至らしめる塩素の存在に生徒はかなり驚いていた。感想文を読むと「こんな危ない実験はもうしたくない」、「死ぬかと思った」というような多少大げさとも思えるものもあったが、「まぜるな危険」の意味がよくわかってもらえたようである。

### 3. 学習履歴シート（ポートフォリオ評価法）について

今回の実践では学習履歴シートを活用した。ふだん、自分で何かをまとめたりすることがあまり習慣づいてないといつてよい調査校の生徒にはなかなか適応しにくいのではないかと予想していた。しかし、1校時で扱う内容を欲張らず、余裕のある時間設定にすると生徒は一生懸命に取り組んでいた。その時間の学習内容をまとめることができ、なおかつ、それまでの学習の流れがわかるこの方式は生徒にとっても有意義なものであったと実感している。ただ、生徒が前回の内容をふり返ったり、授業担当者からのアドバイスなどをシートに書き込んだりすることができなかった。授業内容をより生徒に理解させるためにはまだかなり不十分な点もあり、授業担当者として反省している。

### 4. 学習履歴シートからの抜粋

◎学習前・学習中・学習後をふり返って、自分の中で何か変化しましたか。

- ・初めは何とも思っていなかった。進んでいくにつれて考えるようになった。学習後は大切さ、環境や人に被害をもたらすというのがわかった。
- ・洗剤はただ身体やものをきれいにするだけじゃないなあと思った。時には危険をもたらすこともあったりしてちょっと怖いと思う。
- ・学習前は洗剤のことは全然知らなかったが、初めてセッケンができた話や油脂を原料にしていることなどを聞き、セッケン・洗剤に対する考えが変わりました。
- ・セッケン、洗剤はとても昔からいろいろな努力や研究の結果できたのだと思った。
- ・洗剤を以前は全然危ないものと思っていなかった。でも本当はものすごい危険なものだと自分の中では変わった。
- ・よく洗剤のことを考えるようになった。
- ・気をつけようと思っているが、実行にうつせないでいる。
- ・学習前は全然洗剤への興味もなく知識もなかった。学習して洗剤はあまりいいものではないということがわかり、少し洗剤というものがどういうものかわかった。
- ・洗剤にはいろいろなものが含まれていてその一つ一つが汚れを落としているが、その中のいくつかは環境に悪影響を及ぼしている。
- ・洗剤の中の詳しい成分がわかった。便利なのはいいけど環境にも悪いことがわかった。
- ・合成洗剤が自然に悪影響を与えるものだとわかった。

◎この学習をしたあなたの感想を書いてください。

- ・今の人たちがどれだけこういうことを知っているかわからないけど、このことを知った自分も良かったのか悪かったのかわからない。でもこれを機会に何かにつながればいいと思う。
- ・初めは洗剤のことは全然興味なかったけど、楽しかった。もっと化学が発達してほしいです。

- ・(これから) 洗剤を使うときはいろいろ考えながら使いそう。自分たちが使ってる洗剤とかで川などが汚れていってるから、勉強できてよかったと思う。
- ・洗剤で衣服を洗濯するとき、汚れ(落ち)たものがまたくっつくと思っていただけ、再汚染防止剤が再び汚れがくっつかないようにしていることが印象に残っている。
- ・ややこしすぎて、難しかった。
- ・洗剤にはいろいろなものがありとても危険なもので、洗剤を使う人が増えるほどかなり環境が悪くなっていたことがわかった。
- ・今までは洗剤について深く考えたことがなかったけど、勉強していろいろなことがわかった。(近くの大和川も) 泡だらけの川にはならないでほしい。
- ・全然何とも考えてなかったけど学習して前より考えるようになった。
- ・時代の流れの中でどんどん変わってきていることから、これからもどんどん変わっていくと思う。
- ・これからはなるべく洗剤を使わず、有リン洗剤など絶対に使いたくない。これからは自然に優しくしていきたいです。
- ・前よりも洗剤や環境について考えるようになった気がする。
- ・前よりは洗剤のことを考えるようになったと思う。

## 5. まとめ

学習前・学習中・学習後のふり返りでは、多くの生徒が学習前はほとんど知識がなかったようだが、学習が進むにつれて原料や環境・人に与える被害、危険さなどそれまで考えたことがなかったセッケン・洗剤の本来の用途以外の部分について少しずつ理解していったようである。また、「セッケン、洗剤はとても昔からいろいろな努力や研究の結果できたのだと思った。」のようにセッケン・合成洗剤についても『化学』が関わってきていることを理解してくれている意見があったことは授業担当者としてはたいへんうれしく思う。またこの学習の後の感想では、「自分たちが使ってる洗剤とかで川などが汚れていってる」、「泡だらけの川にはならないでほしい」というような自分たちの周りの生活環境が悪化することを憂慮する感想が目立つ。セッケン・合成洗剤においても今後ますます「化学」が重要であり、私たち一人一人の教員の責任を痛感する。

- (文献) 日本化学会編 (1999) 『グリーンケミストリー』丸善株式会社  
 中西茂子 (1995) 『洗剤と洗浄の科学』コロナ社  
 長谷川治 (2000) 『はて・なぜ・どうしてクイズ石けんと合成洗剤』合同出版  
<http://www005.upp.so-net.ne.jp/konan/> (2003.10.31)  
 有吉佐和子 (1979) 『複合汚染(上)』新潮社、pp.94～97、pp.107～109  
 北原文雄 (1999) 『界面活性剤の話』東京化学同人

# グリーンケミストリー生徒実験教材の試行とその展開

－ 1 年・天然色素と合成色素、2 年・化学物質と浄化技術－

重 藤 英 一

## 1. はじめに

多くの国々でグリーンケミストリー (GC) やグリーン・サステイナブルケミストリー (GSC: 以後この表現を使う) が推進されている。また、いろいろなレベルでの GSC 教育・啓発活動の重要性も言われている。今回、2002 年度の入学者 (155 名) に対して 1 年時に 1 時間、2 年時に 4.5 時間の GSC 授業を試み、学習者の意識を調べた。

## 2. 中学校理科・化学領域の内容と GSC 教材の配列

中学校理科・化学領域の新学習指導要領が示す内容と小単元及び調査校での授業時数計画は以下のとおりである。無理のない GSC 教育をめざし各学年とも化学単元の終わりに、1 年次に天然色素と合成色素、2 年次に化学物質と浄化技術をテーマとした GSC の授業を行なった。本稿では授業前後に行なったアンケート結果を中心に報告する。

(1 年) 「身の回りの物質」(21 時間 + 5)

- ・身の回りの物質の密度、電気導通性を調べる。
- ・状態変化と融点、沸点、蒸留
- ・気体の性質
- ・酸、アルカリと中和 → **天然色素と合成色素(1 時間)**

(2 年) 「化学変化と原子、分子」(19 時間 + 10)

- ・化学反応、分解、化合
- ・化学反応式と質量保存の法則 → **化学物質と浄化技術(4, 5 時間)**

(3 年) 「物質と化学反応の利用」(9 時間 + 2)

- ・酸化、還元反応
- ・化学変化によるエネルギーの出入り

### 3-1. 天然色素と合成色素 (1 年生教材)

1 年生では、実験操作など化学の基礎的な項目が取り扱われている。また試薬等については、既存の物として理科室の薬品を使用している。そのため、化学合成指示薬と並列して、身近なアサガオの色素を指示薬として使用、比較させた。また、天然色素を積極的に使用し GSC の視点の育成をめざした。さらに、小学校時代の酸、アルカリに対する意識も調査した。

### 3-2. アサガオの色素を用いた酸、アルカリの学習の意義

酸、アルカリの指示薬として植物の色素が使えることはさまざまな文献で報告されている。本調査でも生徒たちが経験していたムラサキキャベツ等の生の素材は入手時期や抽出

液の保存の問題があった<sup>1)</sup>。それに代わるものとして沖縄特産の乾燥紅いも粉<sup>2)</sup>やハーブティーとして市販されているマローブルー<sup>3)</sup>のアントシアニンを利用する方法が報告されている。特にハーブティー用のドライフラワーの利用は安全性、保存性、利便性にすぐれている。また、天然化学物質による指示薬と人工合成化学物質の指示薬の差異や自然への関連も学習できる素材と思える。

光合成実験と酸性雨の観察用として校内でアサガオを栽培し、雨が降るたびに酸性雨の観察を喚起し、枯れた花卉を指示薬として利用した。自然乾燥したアサガオの花弁を用いることの有意義な点は以下のことが考えられる。

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1、 アサガオは小学校でよく栽培する植物で、身近な素材である。</li> <li>2、 葉は光合成の実験に、花弁は酸性雨の指標となる。</li> <li>3、 学習者にとって、入手しやすく保存性、利便性に優れ、色素の抽出が簡単である。</li> <li>4、 酸・アルカリに対して微妙な色調の広がりを持ち興味を広げる。</li> <li>5、 学習者自らが作る、身近で安価な指示薬となりうる。</li> <li>6、 天然の指示薬であり、環境へのリスクが少ない。</li> </ol> |
|---|

また、小学校理科における酸、アルカリ及び化学について事前アンケート調査結果よりリトマス紙などの指示薬に対する学習や、実験後の廃液処理について生徒はあまり学習していないと思われた。

質問1 「小学校時の酸・アルカリについてどんな説明をききましたか」	
「リトマス紙が関係するもの」(42%)	「忘れた、覚えていない」(34%)、
「やっていない」(7%)	「無回答」(11%)、
その他	
・リトマス紙の変色でわかるなど	・酸は肌にやさしい、アルカリは違う。
・アルカリは苦い、酸はすっぱい。	・酸はあぶない。
・果物や家にある食べ物を調べた。	・酸、アルカリは物を溶かす。手につくと手がとける。

質問2 「小学校で使った酸、アルカリの化学薬品、実験器具をあげなさい」
リトマス紙、 BTB液、 石灰水、 塩酸、 水酸化ナトリウムなど

( 「小学校における酸、アルカリの調査」 対象 公立 G 中学校 1年生 133名 )

### 3-3. アサガオからアントシアニン色素の抽出とBTB指示薬との比較

酸・アルカリの定性実験で乾燥アサガオの指示薬とBTB指示薬の化学反応を比較した。実験はBTB液の使用上の注意を行った後、GSCの観点から卵パックを使ってスポットテスト形式による少量実験を行った。すなわち、塩酸、硫酸、食酢、アンモニア水、石灰水、水酸化ナトリウム水溶液、洗剤を卵パックのくぼみに入れ、その後、BTB液を数滴注ぎ色の変化を見た。また、アサガオは熱湯の入ったビーカーに数枚の乾燥した花弁を入れ色素を抽出し、卵パックのくぼみに適量注ぎ、上記の溶液を数滴たらして変化を観察させた。

半年前に採取したアサガオの花弁だったが、熱湯に浮かべるだけで簡単に色素は抽出できた。生徒の反応はBTB液の黄色～黄緑～青の寒色系と異なり、アサガオは赤～紫黄～黄緑と暖色から寒色と色調の幅も広く、強い印象を与えたようであった。

### 3-4. BTB液とアサガオの液を使った学習

#### 後のアンケート結果とGSC学習

質問1 「酸、アルカリ水溶液をBTB液とアサガオの液で調べました。その結果を比較して答えて下さい。」
① 「どちらの方が印象深いですか。」 BTB液(27%)、アサガオ(59%)、同じ(14%)
② 「どちらの方が感じがいいですか。」 BTB液(27%)、アサガオ(59%)、同じ(14%)
③ 「酸性の色と言ったとき、どちらの方が覚えやすいですか。」 酸性は黄色(62%)、酸性は赤(28%)、同じ(10%)
④ 「環境にやさしいのは、どちらだと思いますか」 BTB液(1%)、アサガオ(97%)、同じ(2%) おおむねアサガオに対しては肯定的な印象を持ったようだ。

質問2 「化学ではBTB液のような薬品を使いますが、薬品についてどんな印象をもつていますか。」
使うことに否定的な意見が80%、肯定的な意見が9%、その他11%であった。 肯定的な意見例： 不思議な液体(2人)、色々なことができる(4人)、興味がある(3人) 否定的な意見例： 危険・危ない(57人)、こわい・身体に悪い・環境に悪い(31人)

質問3 「化学の勉強では試験管や薬品を使いますが、化学は好きですか、嫌いですか。」
好き(46%)、嫌い(38%)、普通・分からない(16%)

質問4 「環境の勉強と言われて、すぐに思いつくことは何ですか。」
温暖化(42人)、酸性雨(29人)、環境破壊・汚染(10人)、二酸化炭素(7人)、オゾン層の破壊(5人)など

上記の実験観察を行った後に、化学実験後のマナーとして廃液処理の必要性や酸性雨の説明をおこなった。従来の酸、アルカリ物質のみに注目した処理についてでなく、微量な指示薬の環境への影響も言及できた。小学校時代の学習についてのアンケート結果でも学校知からでなく、日常の生活にある自然現象、身の回りの物質と関連づけた学習は記憶によく残っていた。今回の実験から、学習者は身の回りの植物や化学物質と自然環境とを関連付けて考える新たな視点が獲得できたものと思われた。



左図  
左) BTB液、  
右) アサガオ液



上図 アサガオ液とBTB液の比較実験

#### 4-1. 化学物質と浄化技術 (2年生教材)

2年生では化合、分解の概念や質量保存の法則を学習する。単元の終わりに、まとめとして身の周りの化学物質に着目させ、各家庭で使い捨てられる化合物の自然環境、とりわけ河川での振る舞いや河川水の浄水の仕組みを通してグリーンケミストリーの考え方を学習することを目的とした。

石けんや合成洗剤の化学的性質の学習。市内2河川のへの流入や淀川の導水による河川浄化の実態。飲料水への合成洗剤の混入。淀川の水を原水とし水道水を作る浄水技術に関連させ以下の4時間半のGSCカリキュラムを作った。また、学習前後にプレ、ポストテストを行い学習効果を調べた。

時間	内 容
事前学習	導入 身の周りの化学物質の分解や環境への影響を考えさせるため、家庭にある化学物質を3つあげさせ、その物質名、使用目的、使用後の様子を調べさせた。(宿題)
1限	*「身の周りの化学物質と河川(ワークシート)」の作成(資料2)(ビデオとワークシート) 家庭にある化学物質の調査 市内を流れる2河川のビデオ映像による汚濁の観察と汚染物質
目標	家庭にある3例の化学物質の使用目的、使用後の様子をワークシートに記入。洗剤の市内河川への流入状態の観察。見えるゴミ等の浮遊物以外にと溶け込んだ化学物質に注目させる。
2限	「石けんと化学の歴史(プリント)」(チェックシート) 石けんと合成洗剤の成分、違い。 *「水と生活排水に関するチェックシート式」(資料3)による人体、飲料水、洗剤との関係
目標	市内の河川の地理的差異と浄化システムの違い。淀川との関連性。 実際の石鹸と合成洗剤のラベル表示から化学成分の比較。その発見の歴史、化学的な性質、問題点と無リン化、脱環境ホルモン等の化学者、企業努力の紹介。 生活排水を通して河川、水道水への混入、人体への影響などの課題に注目させる。
3限	「水道と化学の歴史(プリント)」(資料4)(演示実験とワークシート) 大阪の飲料水と淀川のかかわりの歴史、近代の浄水の歴史。 とけ込んだ化学物質の除去と浄水、飲料水の問題。

目標	予備生徒実験として、市内の河川から採取した水を使って、界面活性剤、蛍光増白剤、アンモニア、COD等の演示による検出。 * 中間集約としてワークシート「石けんや合成洗剤は化合で作られた化学物質です。」(資料1、5)を作成。化学者、使用者、化学の勉強の意味を整理と再確認。
4限	「古川の水の浄化実験」(資料6) (生徒実験とレポート作成) 活性炭による吸着ろ過実験 硫酸アルミニウムによる凝集沈殿実験
目標	浄水場で行なわれている化学的浄水操作と溶け込んだ化学物質の分離、除去の困難さの学習。
5限	まとめ 浄水場のビデオ鑑賞と「自動車のリサイクルとグリーンケミストリー12か条」(資料7)による今後の化学の課題の学習。

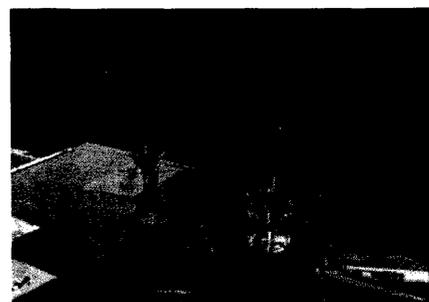
#### 4-2. 学習の状態

導入として、単元の終わりに各自で家庭にある化学物質を調べ、ワークシートに記入させ、教室でまとめた。示された物の約54%が石鹸や洗剤関係であった。それらが生活排水とし流されて市内の河川に混入している様子を前もって撮影しておいたビデオを見ながら、両河川の違いと共通点を観察した。淀川の水を導水している寝屋川は流れも速く、浮遊物も少なく一見きれいな水質のように見えるという感想が多かった。しかし、導水の取り入れ口より上流は、古川と同様に流れも乏しく、多くのゴミの投棄も見られること、淀川の導水の効果の大きさを確認した。また、水に溶け込んだ洗剤などの化学成分はどんなものがあり、どのようになっているか。を調べるために石鹸や合成洗剤のラベルから界面活性剤の物性、その発見の歴史、環境に配慮した品質改良の過程を通して、化学知識の必要性を伝えた。また、現実の課題として、寝屋川に導かれている淀川の水は、大阪の水道水の原水でもあることに気づかせ、一旦溶け込んだ化学物質の除去には1m<sup>3</sup>当たり90円の費用と多くの化学技術が使われていることを実験で学習させた。

まとめとして、設計段階からリサイクルを考えた自動車産業の新聞記事を例に、化学での化学合成段階から環境を配慮したグリーンケミス



市内の流れの乏しい河川(古川)



浄化実験(硫酸アルミニウムによる凝集)



浄化実験(鑑賞用砂を使ったメチレンブルーのろ過実験)

トリーの考えを紹介した。

## 5. 中間集約ワークシート調査結果

3限目は実際の河川の水を使った、教室での演示実験（CODによる有機物質、UVによる蛍光物質、ザルツマン試薬によるNO<sub>2</sub>の検出）を行なった後に、化学に対する化学者、消費者、学校での勉強について自由記述式で書かせ、生徒の意識を調べた。全体の結果は資料1にゆずるが、それぞれの項目で一番多かったものは以下である。

1、「化学者・技術者がしなければいけないこと。」	環境に優しい、クリーンなものを作る。(41%)
2、「消費者がしなければいけないこと。」	川、自然を汚さない。(13%) 環境に良いものを買う、使う。(13%)
3、「学校の化学の勉強はどうあるべきか。」	実験をすること等の記述 (23%)

## 6. GSC 化学実験について

生徒の学習形態は様々な試みを行なった。1限目ビデオとワークシート、2限目クイズ式のチェックシート、3限目演示実験と自己チェックワークシート、4限目に河川の原水を使った浄化実験だったが、やはり化学実験が一番好まれた。

金魚の鑑賞用水槽に使われているろ過用の砂を使ったろ過実験ではメチレンブルーの青色色素が砂により吸着ろ過されること、砂の持つ保水力なども観察できた。

また、硫酸アルミニウムによる凝集沈殿実験では、透明な河川水から大量の粘土粒子の沈殿が生じ、あらためて化学的な力の面白味を実感したようであった。

## 7. 最後に

中間集約のワークシートで「教科書での化学の勉強と、実際の例による化学の勉強とでは、どのように感じましたか」の問に対して、教科書の方が良いが7名(7%)、同じが24名(23%)、実際の方が良いが73名(70%)であった。また、「学校の化学の勉強はどうあるべきか」(資料1)では、実験をすることを求める声が多かった。さらに「教科書は全然、環境のことは書いていないし、このまま環境を破壊していけば、将来は川で泳げなくなったり、遊んでいけなくなる。将来の子ども達が遊べなくなると悲しむので、実際でおもしろく環境の勉強をした方が良い。」という記述もあった。

これらのことから、中学校段階では生徒実験、演示実験を入れた様々なGSC教材の開発が必要であろうと思われる。

## 参考文献

- 1) 松尾涼子「ムラサキキャベツ液の教材化と長期保存」『化学と教育』47巻8号(1999)
- 2) 瀧口公夫「紅いも粉を利用した身近な実験」『化学と教育』48巻4号(2000)
- 3) 吉田哲「紫キャベツからハーブティーへ」『理科・化学からの提言』p.153 日本化学会(2001)

【石けんや合成洗剤は化合で作られた化学物質です】の中間集約用アンケート結果

(対象者 門真二中 2年生 106名 実施日 2004年1月)

1、 化学者、技術者がしなければいけないこと。

環境に優し、クリーンな物を作る	43	自然を壊さないようにする	2
川の水をきれいにする	9	作った化学物質の後始末をする	2
安全(安全な物)を考える	8	地球に害のないものを作る	2
さらなる開発(研究)	6	出来る限り石油を使わない	2
自然と人間のことを考えて作る	6	環境を考慮して実験し、薬品を使う	2
環境問題を真剣に考える(研究)	5	外国を見習う	1
勉強して、環境にやさしい物を作る	4	環境対策と研究の両立	1
使った後のことを考えて作る	4	自然の中で分解するものを作る	1
水に適した物を作る	3	環境に悪いものをへらす	1

2、 消費者がしなければならないこと。

川、自然を汚さない	14	油など環境に有害なものをすてない	5
環境に良いものを買う、使う	14	出来るだけ化学薬品を流さない	5
環境に注意して使う	10	必要以上に物を使わない	4
ごみを出さないようにする	9	物を捨てない	3
化学物質の使用量をへらす	8	いい物と悪いものを見分ける	2
簡単に物を捨てない	7	リサイクルをする	2
環境に注意して物(化学薬品)を使う	6	出来ることから取り組んでいく	2
安全処理、分別をする	6	省エネをする	1

3、 学校の化学の勉強はどうあるべきか

実験をする	16	いろいろやるべき	2
環境の勉強をする	9	住んでいる町を良くする学習する	2
今まで通り	8	危ない実験はしない	1
詳しく	7	実際の化学の意味を目で知りたい	1
楽しく、わかりやすく、自分たちの手で	6	ビデオを増やす	1
実験をやった方がわかりやすい	5	入試に役立つやつ	1
自然の大切さや、人間との関係を	5	正しい情報を	1
ちゃんと勉強をする	4	環境に悪い、優しさを率直に教える	1
生活上の化学物質の使い方を学ぶ	4	役立つものをする	1
いろいろな化学の知識を学ぶ	3	簡単でわかりやすく	1
危険性を知る	3		
わかりやすく、何が原因でどうなったかを実験で	3		

水と生活排水に関するワークシート

2年( )組( )番氏名:

- 問1. 1回の洗濯で一人何リットルの水を使うでしょうか。  
① 10 ㍓ ② 20 ㍓ ③ 30 ㍓ ④ 40 ㍓
- 問2. 1回の洗面で一人何リットルの水を使うでしょうか。  
① 10 ㍓ ② 20 ㍓ ③ 30 ㍓ ④ 40 ㍓
- 問3. 台所では一人何リットルの水を使うでしょうか。  
① 10 ㍓ ② 20 ㍓ ③ 30 ㍓ ④ 40 ㍓
- 問4. 1回の風呂で一人何リットルの水を使うでしょうか。  
① 30 ㍓ ② 40 ㍓ ③ 50 ㍓ ④ 60 ㍓
- 問5. 3人家族では1日に洗剤、石けんを約何g使うでしょうか。  
① 90 g ② 100 g ③ 110 g ④ 120 g
- 問6. 私たちの体で一番多い物質はなんですか。  
① 水 ② 脂肪 ③ たんぱく質 ④ 炭水化物
- 問7. 私たちの体重の何%が水分でしょうか。  
① 30 % ② 60 % ③ 90 %
- 問8. 生命はどこから発生したのでしょうか。  
① 宇宙の☆(星) ② 海 ③ 地下
- 問9. 私たちは水だけで何日間生きられるでしょうか。  
① 1週間 ② 3週間 ③ 1月 ④ 2月
- 問10. 私たちは水を飲まずに何日間生きられるでしょうか。  
① 1~2日 ② 3~4日 ③ 5~6日
- 問11. 私たちは1日に何リットルの水が必要でしょうか。  
① 0.5~1㍓ ② 1~2㍓ ③ 2~3㍓
- 問12. 私たちは尿などで1日に何リットルの水を排出するでしょうか。  
① 0.5~1㍓ ② 1~2㍓ ③ 2~3㍓
- 問13. 水を取りすぎると体はどうなるでしょうか。

[ 身の周りの化学物質と河川 ① ]

2年( )組( )番氏名

\*化学物質の化合、分解や化学反応を勉強しました。身の周りの化学物質の分解や環境について考えてみましょう。

1. 家にある化学物質を3つだけ書いてください。

物質名	使う目的は	使い終わったらどうしてますか

2. 門真市を流れる川は古川と豊瀬川の2つがあります。今からビデオを観て2つの川の違い、共通することを映像から読み取って下さい

( 違う点 )

.....

.....

( 共通点 )

.....

.....

3. 河川が汚れる原因は何だと思いますか。原因物質は？

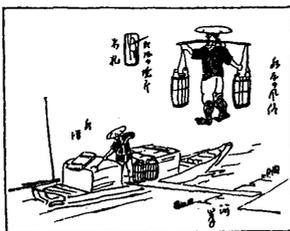
4. 考察

## 水道と化学の歴史

私たちの飲料水はこの「みず」？ 水道の水はこの「みず」？  
水道水の水は43%が河川、30%がダム、18%は井戸となっています。

### 水道がない時代(江戸時代から明治の中頃まで)

大阪は海に近いので、井戸水は塩分が多く飲み水には適していませんでした。当時は「水屋」とよばれる飲料業者が、椀の音近くで汲んだ水を桶や船で売り歩いていたそうです。明治20年頃には「水屋」が138軒もあり、500人くらいの人が働いていました。



水屋と水船

### 大阪では1895年(明治28年)に水道ができました。

明治時代に日露戦争で帰ってきた兵士からコレラ、赤痢などの伝染病が持ち込まれ井戸水などを運して全国に広がりました。また、大火事などもあり椀の音に水源地ができました。1913年(大正2年)には築島浄水場ができました。当時は淀川の水を砂を敷き詰めた池で「ろ過」して水道水としていました。

砂はいろいろな物質を吸着し除きます。また、砂の間にいる微生物が水を浄化してくれます。しかし、広い施設が必要でした。



産業の発達で様々な化学物質がとけこみ汚染がひどくなりました。これらの見えない物質を取り除くのに化学技術が駆使されています。



### 粒状活性炭

粒状活性炭は砂粒ほどの大きさで、小さな孔がたくさんあります。水の中に溶けているかび臭の原因となる有機物質やトリハロメタンの原因となる物質などは、その孔の中に吸着されたり、活性炭の表面に付着した微生物が分解されて取り除かれます。

### オゾン

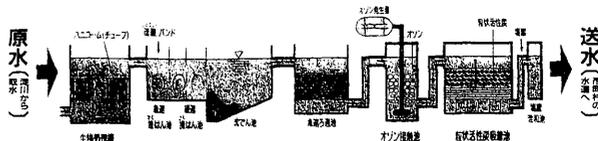
オゾン(O<sub>3</sub>)は酸素原子が3つ集まってできた強い酸化力のある物質で、かび臭の原因となる有機物質などを分解除去する効果があります。また、水中のマンガンの酸化や、水の消毒にも役立ちます。



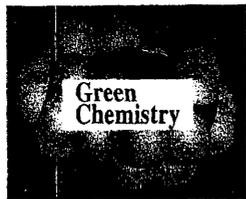
オゾン曝気槽



電子顕微鏡みた粒状活性炭



高度浄水処理の工程(大阪府水道部資料より)



## グリーンケミストリー

地球環境に優しい化学

グリーンケミストリーという言葉は「環境にやさしい化学合成」、「有害な化合物をなるべく使ったり出さないように物質や化学反応を考え、有用な化学製品を作ること」を意味しています。

これまで企業は、安く大量に製品を作ること第一の目標として、研究開発を行ってきました。そして、その際に生じた廃棄物は廃棄物として別国に無害化処理してきました。つまり「自然を汚染しないように」注意を払ってきました。しかし現在では、「汚染物質そのものを作らないように」する動きが盛んになっています。つまり、環境問題に根本から立ち向かうということです。

この根本的に汚染物質を使ったり出さずに欲しいものを作る手段を開拓する学問が「グリーンケミストリー」です。

グリーンケミストリーでは次の12箇条を常に考え化学変化を勉強し、実験を行う。

- 1 廃棄物は「出してから処理ではなく、出さない
- 2 原料をなるべく無駄にしない形の合成をする
- 3 人体と環境に害の少ない反応物、生成物にする
- 4 機能が同じなら、毒性のなるべく小さい物質をつくる
- 5 補助物質はなるべく減らし、使うにしても無害なものを
- 6 環境と経費への負担を減らし、省エネを心がける
- 7 原料は枯渇性資源ではなく再生可能な資源から得る
- 8 途中の分離反応はできるだけ避ける
- 9 できるかぎり触媒反応を目指す
- 10 使用後に環境中で分解するような製品を目指す
- 11 プロセス計測を導入する
- 12 化学事故につながりにくい物質を使う



石けんや合成洗剤は化合で作られた化学物質です。

2年( )組( )番氏名:

今まで教科書で化学物質を使って化合や分解、化学記号などを勉強してきました。次に、私たちの生活で使われている化学物質である洗剤で、実際の生きた化学の勉強でこれからの化学について思ったことをまとめましょう。

1. 化学者、技術者がしなければならないこと。

2. 私たち消費者がしなければならないこと。

3. 学校の化学の勉強はどうあるべきか。

4. 教科書での化学の勉強と実際の例による化学の勉強はどのように感じましたか。

(教科書の方がおもしろい、どちらも同じ、実際の例の方がおもしろい)

### 化学実験 2-⑦ 「古川の水の浄化」

実験日 年 月 日

組 番・氏名

\* 淀川の水に入ってる化学物質は、どのようにして除かれるのだろうか。

〈 浄化の行程 〉

淀川⇒ 生物処理 → 凝集沈殿 → 急速ろ過 → オゾン処理  
(ハニコム) (硫酸アルミニウム)※5 (砂)※3 (オゾン)  
→ 活性炭処理 → 塩素殺菌 ⇒ 水道水  
(活性炭)※2 (塩素)

\* 実験 4 は酸性雨の実験です。

実験 1、赤インクをろ紙でろ過する。

結果

実験 2、赤インク溶液に活性炭を加えて、混ぜた後ろ過する。

結果

実験 3、ろ紙の代わりに、ロートの口にガラスウールをつめ、砂を入れ青いメチレンブルー液を 2～3 秒で一滴落ちるスピードで注ぐ。

結果

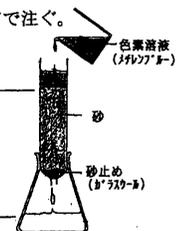
実験 4、実験 3 の装置に、薄い塩酸溶液を少し注いでみる。

結果

実験 5、500 ml の古川の水に、硫酸アルミニウムを 1 ml 入れる。1 分間急速にかきまぜる。次に、ゆっくり 10 分かきまぜる。

結果

考察





### Ⅲ. 中学校学習教材の開発

1	GSC 中学校教材の開発	96
2	中学校におけるグリーンケミストリーの基礎となる 原子・分子の考え方を育成する教材開発	110

# G S C 中学教材の開発

高野 裕 恵

## 1 はじめに

中学校理科1分野最後の大項目の中に、選択内容として「科学技術と人間」の中項目がある。ここでは、科学技術がどのように私たちの生活を豊かにしているか、またその科学技術が私たちの生活に与える負荷がどんなものかを生徒に考えさせるようになっている。

これまで、理科教育での科学技術や環境問題の取り扱い、生徒にいろいろな科学技術と環境の関係を理解させ、それらに対して判断をさせることが中心であった。しかしこれからの生徒は、科学技術者がどのように環境に配慮した科学技術（最初から環境に影響を与える物質をつくらないような方法；グリーンケミストリーの考え方）を進めているかを知った上で、その科学技術が本当に人間の生活や地球の環境にとって有用かどうかを、科学技術者と共に判断していくことになると思われる。そのための判断材料になるべき知識を生徒に与えていくことがわれわれ理科教育、化学教育担当の教師に課せられた課題とも考えられる。

今回、中学教材をそのような視点で作成してみた。また、中学生が持っている知識と新しく得た知識とをあわせて、科学技術について考察・判断できる力を育てることを目標としてみた。

## 2 教材の作成

教材の作成にあたって、何を用いてどう生徒に伝えていくかの骨子を考えた。

地球人口が増えると共に、いろいろな環境問題が起こってきた。



しかし、人間は何もしないで手をこまねいていたわけではない。



最初は問題が起こってから手を打っていたが、少しずつ、問題が起こる前に対策を考える流れに変化してきている。(グリーンケミストリー)



これからの、科学技術はどうあるべきか、それを享受する側はどうすべきかを、これらの流れから考える。

この教材では、グリーンケミストリーの考えを通して、生徒に科学技術について理解し、判断できるようになって欲しいという願いがある。

そこで、対象を中学校3年生とし、理科1分野の範囲の中から、既習の「気体」「電流」「化学変化」「エネルギー」の内容を含めた「電気」を題材にまとめてみた。電気がわたしたちの生活にどれだけ影響を及ぼしているか、また、電気の需要が多くなるにつれて、電気量を拡大するためにどのような技術が発達してきたか、そのためにどんな環境負荷が

出てきたのか、また、これらはどのように改善されてきたのか、私たちはこれからの生活の中で電気についてどのように考えていくべきなのかを、中学生にとって読みやすい資料となるように、カットおよび図表をふんだんに取り入れた教材の開発を試みた。

### 3 教材の工夫

最近の中学生は文章を読まないと言われている。代わりに劇画やマンガを読んでいる姿はよく見かける。このマンガを読むときの様子を観察してみると、図全体と台詞とを瞬間的に把握することができるように思われる。そこで、中学生が興味をもって資料を読み始めるように、導入部にマンガ風のカットを用いてみた。

内容について理解を深めるには、文章を読んでいく持続力も必要になってくると思われる。内容に興味を持つことができれば、その力はある程度保持させることができる。「電気」をとりあげることは、中学生にとっては身近にあり、持っている知識を駆使して教材内容について判断ができると考えた。自分なりの判断ができれば、その考えを表現したくなるであろう。

まず、「電気」が私たちの生活にとってどのように必要であるかを考えさせる。つまり、「電気」はどのようにしてつくられるのか、「電流」「電池」「電磁誘導」「発電機」から大量の発電へと技術が発達してきた過程をこれまでの学習を踏まえて考えさせていく資料にした。これらは理科の授業で学習した内容なので、生徒にとっては、復習にもなり思考・考察する事がたやすくなると考えた。また、資料としての表やグラフを読みとったり、文章を読みとり、何をどう考察し判断していったかを書いたりすることによって、自らの考えを確認させる練習になるように、記述欄をいくつか配置した。これに加えて、学習履歴や自己評価のための一枚ポートフォリオ評価法の導入も考えている。

### 4 おわりに

次ページ以降に今回開発してきた教材を掲載している。教材の形が少しずつ整ってきた段階で、中学校3年生に目を通してもらったところ、生徒の意見は二分された。カットを用いているので読みやすいと感じた生徒がいる一方、内容まで踏み込んで読むと、確かにカットや図は多いがやはりむづかしいと感じる生徒もいた。ページ数が進むにつれて、内容的に考え判断することが多くなる。大上段に教材を中学生に押しつけるのではなく、生徒の方から興味をもって教材を読み進めてもらうためには、まだまだ工夫が必要である。また、生徒が感じたことをそのまま表現できるような工夫も不足している。

この教材の目的は、「グリーンケミストリーの考え方を知らせることと、教材を用いて論理的な判断・意志決定能力を育成する」ことにある。考察し、判断するようになった生徒は次の段階へ進もうとする。しかし、現段階の教材では、生徒にとって十分よい判断材料に成り得ていないように感じている。どのような資料をどこまで教材の中に入れていくのかは、これからも研究会で話し合っていくことになるだろう。

これらの点について、他の先生方からの助言を入れながら改訂を重ねていけば、今までの教材とは一味違ったものになると考えている。

グリーンケミストリーって、地球を大切にするための化学って意味なんです。  
地球をたいせつに・・・ってどんなことなんだろう・・・

序章 私たちの快適な生活

ここに登場するのは、ちかちゃんとそのお友達の仲良し3人組です。  
おや、なにかおしゃべりをしていますね。何の話をしているのかな・・・



グリーンケミストリーって聞いたことがありますか？

グリーンケミストリーって聞いたことがありますか？  
日本語に訳すと、グリーンは緑、ケミストリーは化学を意味します。緑の化学？  
あなたはこのことばからどんなイメージをもちますか？

グリーンケミストリーとは、何のことだと思いますか？



失礼ね、ぶん!

テレビがないからニュースも聞けなくて~

暑いのに、服の着替えもなくて~

そんなあ~! 洗濯機がないのよ~...

え? テレビってマンガじゃないの? ニュースじゃなくて~

服くらい、川で洗えばいいのよ!

あら、当然、手で洗うのよ!!

でも、この前、NYで大停電があったじゃない? 地下鉄が動かなくて、みんなが歩いてるところを新聞で見たわ。

ザー! いじわる~!

うん、確か懐中電灯もっていたよね。

それに、明かりがつかないから、みんな暗い中を歩いていたんしょ

今の私たちから電気をとってしまうと、どんな生活になるんだろう...?

家でもお店でも、冷蔵庫の中の食べ物が腐ってしまったって

もし、あなたの家の電気が全部使えないとしたら、あなたの家ではどんな生活になるか想像してみてください。

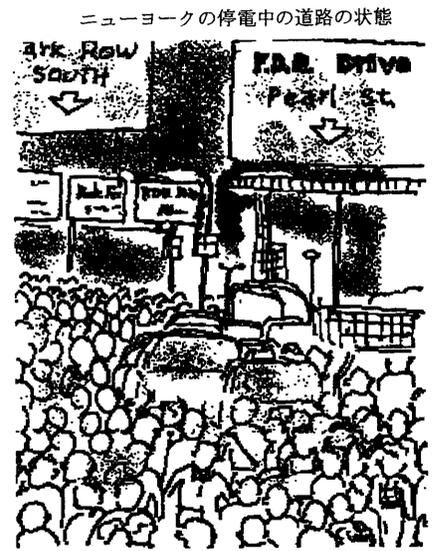
- ・明かりは・・・
- ・室温調整は・・・
- ・食品の保存は・・・
- ・掃除は・・・
- ・通信は・・・
- ・

### 第1章 科学技術の発達と人間の生活

科学技術の発達は私たちにとって安全で快適な生活をもたらしています。でも...その生活はいつまで続くのでしょうか?...

実はね、わたし・・・電気がないと電話ができないなんて、全然知らなかったのよ。

電気って電灯のことだけじゃなかったのね。



今、私たちは、さまざまな科学技術の発達のおかげで、快適な生活をしています。これらの科学技術はどのようにして発達してきたのでしょうか。

ねえ、人間が他の動物と違うところって何だと思おう?

人間ってねえ、ずうっと火を使ってきたのよ。

うーん? ... 道具を使えること、考えることができること...?

技術の発明	
B.C. 1000	●オリエントで広く鉄器が使われる
B.C. 500	●科学技術の芽生え 大昔の通信
B.C. 0	●錬金術がさかんになる ●活版印刷術の発明 グーテンベルク 聖書などを印刷 (ドイツ)
1500	●近代地図の発明 ●グレゴリオ暦の制定
1600	●イギリスで、鉄鉱石から鉄を取り出すのに石炭が使われる 江戸時代の通信
1700	●フランスでピストン付き蒸気機関の発明 ●蒸気機関の改良 ワット (イギリス)
新しい産業の誕生	

ねえ、地球に人類が現れたのはいつだろう？

私、知ってるよ。400万年前だよ。

地球の誕生が、確か・・・46億年前だから・・・

エーッ！ 人間って地球の歴史の中ではすごく新しいんだ！

でも、今は人間が地球上では乳類の中で一番たくさんいるよ

それは、私たちの祖先が、人間にとって生存可能のための科学技術を発達させてきたからじゃない？

1800	●蒸気機関の運転に成功 ▲ スチーブンソン (イギリス)	●有線通信機の発明 ▲ モールス (アメリカ)	●ダイナマイトの発明 ノーベル (スウェーデン)	●白熱電球の発明 エジソン (アメリカ)	●初めて動力付き飛行機で飛ぶ ▲ ライト兄弟 (アメリカ)
1900	●コンピュータの登場 ●トランジスタの発明 ●レーザーの発明 ●人工衛星の打ち上げ ●人類月面に立つ	●スペースシャトルの打ち上げ	●国際宇宙ステーションの完成 (予定)		
2000					

19世紀の通信

近代の通信

現在の通信

穀物の新しい品種や食品の保存料の開発もされたね。それでも飢饉に悩んでいる国はあるけど・・・

交通が発達したから、遠くのものも利用できるし・・・

電気があるから夜も働けるし・・・

薬や医療の技術も人間の寿命を延ばしたね。人生50年って織田信長が舞っているけれどもうちのおじいちゃんは今年89歳だよ！

あなたが、今の生活の中で「あつて便利だな」と一番感じているものを一つあげてください。また、なぜ便利だと思っているのか、その理由も書いてください。

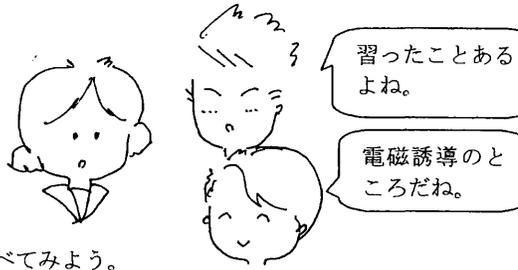
・あつて便利なもの

・その理由

## 第2章 発電のしくみ

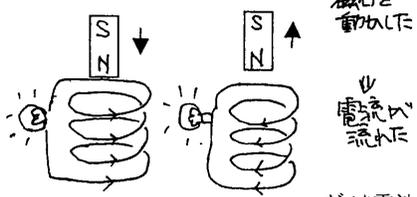
### 電気の歴史

ね、電気って  
どうやってつくるん  
だった？



電気を発生させる仕組みを調べてみよう。

#### 電磁誘導



紀元前 600年 タレス (ギリシア)

まさつ電気の発見

こはくを磨くと羽毛を  
引きつける力が生じる  
のを発見。



#### ボルタ電池

Zn Cu

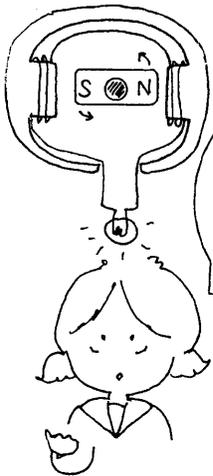
ファラデーの  
輪

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

101

この磁石を回転さ  
せればいいのね！

発電機



私たちが生活  
できるだけの  
電気って、どう  
やってつくる  
んだろう…？

1752年 フランクリン (アメリカ)

かみなりの研究

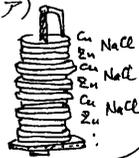
たこをあげて、  
かみなりの正体が  
電気であることを  
証明。



1799年 ボルタ (イタリア)

電池の発明

亜鉛板と銅板を用いた  
電池を発明し、人工的に  
電流を得た。



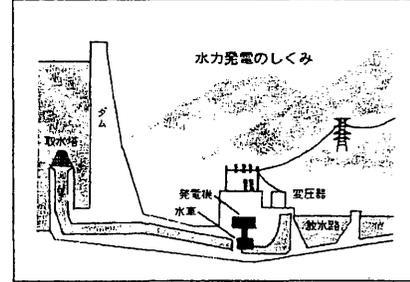
1831年 ファラデー (イギリス)

誘導電流の発見

コイルの中で  
磁石を動かすと、  
電流が発生する  
ことを発見した。  
これにより発電が  
可能になった。



### 水力発電のしくみ



ねえ、水力発電の  
いいところって  
何？

そうだなあ..自然を  
そのまま使えるんじ  
やないのかなあ



#### 水力発電の特徴

- ・燃料が不要である。
- ・二酸化炭素、硫黄酸化物、窒素酸化物を排出しない。
- ・枯渇する心配がない。
- ・自然の水流を利用するので土砂が溜まり、それを取り除くのにコストがかかる。
- ・発電量が雨量など自然条件に左右される。
- ・自然環境を変化させ、生態系に影響を与えることもある。

日本では、以前は  
水力発電が中心だ  
ったのでしょうか？



どうして、火力に変わっ  
ていったのかなあ？

水力発電所は主にどんな場所に設置されていると思いますか？

水力発電所が設置されることでなぜ自然環境に変化が起こるのでしょうか？

日本での発電が、水力から火力に変わってきたのはどういう理由からだと思いますか。

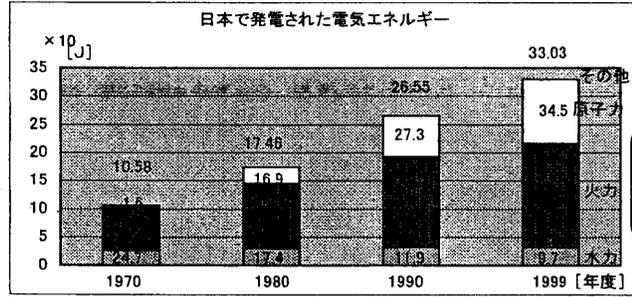
年度	電気エネルギー [年] ×1017 [J]	水力 [%]	火力 [%]	原子力 [%]	その他 [%]
1970	10.58	24.7	73.8	1.6	0
1980	17.46	17.4	65.7	16.9	0
1990	26.55	11.9	60.8	27.3	0
1999	33.03	9.7	55.5	34.5	0.2

水力発電はだんだん割合が減っているね。

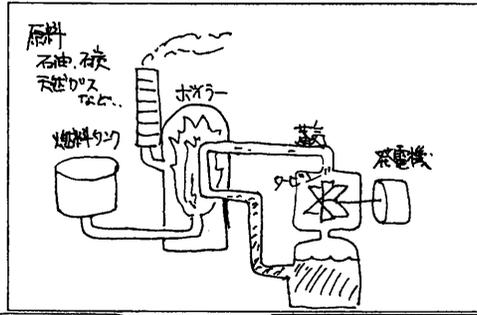
でも、グラフで見ると、電力量としては少し増えているよ。



火力発電はどうなんだろう？



### 火力発電のしくみ



火力って言ったって、原料はいろいろだね。

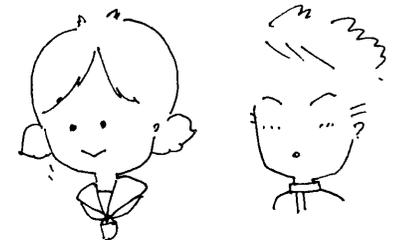
えーっと.. 石油、石炭、LPガスに天然ガス..



LPガスってなあに？

LPガスとは、LPG (液化石油ガス Liquefied Petroleum Gas) の略称。原油を採掘するときの副成分ガスや天然ガスからの分離ガスを回収・液化したものだ。

つまり、火力発電というのは、石油や石炭を燃やしてその熱で蒸気をつくり、発電機の磁石を回転させるためのタービンを回して電気をつくるんだね。

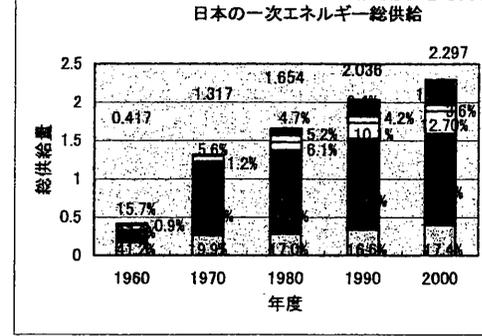


### 日本の一次エネルギー総供給

年度	総供給 [年] ×10 <sup>10</sup> [J]	石炭 [%]	石油 [%]	天然ガス [%]	水力 [%]	原子力 [%]	その他 [%]
1960	0.417	41.2	37.6	0.9	15.7	0.0	4.6
1970	1.317	19.9	71.9	1.2	5.6	0.3	1.0
1980	1.654	17.0	66.1	6.1	5.2	4.7	1.0
1990	2.036	16.6	58.3	10.1	4.2	9.4	1.4
2000	2.297	17.4	52.0	12.7	3.6	13.0	1.3

ねえ、石炭から石油に変わってきた理由は？

利用しやすいからじゃないかなあ..



ホラ、パイプラインを通せば運びやすいし、液体だから燃やしやすいし、石炭にくらべ発熱量も大きいし..

石炭や石油は化石燃料と呼ばれています。石炭は大昔の樹木が化石になったもので、石油は大昔の微生物の化石だからです。昔は生物からできる物質を有機物といいました。今は、生物の化石である石炭や石油からつくられる物質も炭素を中心としてできる有機物と呼んでいます。ところで石炭も石油も大昔の生物の化石ですから、使えばどんどんなくなっていきます。

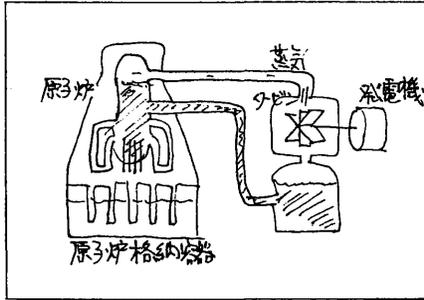
えーっ！じゃあ、石炭や石油がなくなったらどおすんのよー？



地下資源の可能採掘年数	
1996年度における残量	1998年度における残量
石炭 135.4年	原油 42.8年
ウラン 92.6年	
鉄鉱石 210.8年	
1997年度における残量	
天然ガス 62.5年	
銅 55.2年	
鉛 43.0年	
ポークサイト 221.2年	

これは現在確認されている可能採掘年数であり、今後増える可能性もあります。

原子力発電のしくみ



原子力発電とは・・・

火力発電のボイラーの代わりに原子炉を置き、その中でウランやプルトニウムを核分裂させて、そのときに発生する熱エネルギーを使って蒸気をつくる方法で発電させます。

原子力発電と原子爆弾の違い

原子爆弾は、瞬時にウランやプルトニウムを核分裂させて爆発するように高濃縮して利用します。これに対し、原子力発電で核分裂させる場合は濃縮の程度をうんと少なくして、ゆっくりと核分裂するように制御します。

濃縮ウラン	21トン (10トトラックで 2.1台分)
天然ガス	97万トン (20万トンタンカーで 4.9隻分)
石油	131万トン (20万トンタンカーで 6.6隻分)
石炭	236万トン (20万トン貨物船で 11.8隻分)

100万kWの発電所を1年間運転するために必要な燃料 (出所: 資源エネルギー庁)

水力発電・火力発電・原子力発電のそれぞれにおいて、問題点はないのだろうか。みんなで話し合ってみましょう。

話し合った結果

第3章 科学技術の落とし穴とその克服

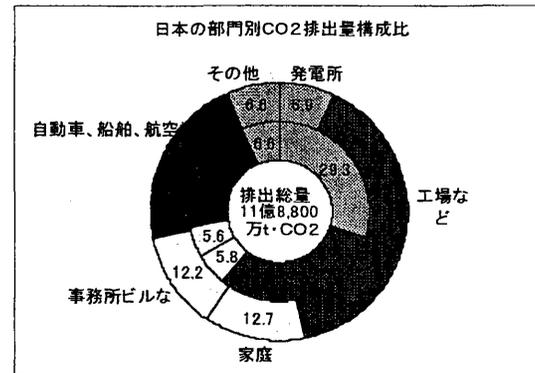
その1 二酸化炭素

石炭や石油のような化石燃料は、昔の生物の遺骸からできたものだけに量に限りがあります。それを克服するためには新しいエネルギー資源が必要になってきます。しかし、実は、新しい資源を開発するのは、資源の枯渇の問題だけではないのです。

(枯渇; なくなること)



石炭も石油も生物の化石です。だから炭素中心でできています。燃やすと二酸化炭素ができます。



ねえ... 何か今年は暑いね。

へえ... どうして? 火力発電のせい? まっさかあ!

火力発電って、化石燃料を燃やすでしょ? 何が出来るの?

私、理由を知ってるよ。今、地球はだんだん気温が上がってきているんだって。

うーん... 石炭も石油も有機化合物だから、燃やすと二酸化炭素と水ができるね。

二酸化炭素って石灰石に塩酸をかけると発生する気体でしょ?

CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O  
石炭

CO<sub>2</sub> ドライアイスと冷しても使うよね。

二酸化炭素が何をすっていうの?

CO<sub>2</sub> 塩酸  
大理石

Cola

コーラやソーダ水にも含まれているよね?

あのね、地球での二酸化炭素ってちゃんと役割分担があるのよ。

地球表層部の気温は、地球が太陽から受け取る放射エネルギーと、受け取ったエネルギーの大気圏と地表とのやりとりと、宇宙空間への放射エネルギーのバランスによってほぼ決まります。太陽からの放射エネルギーは、そのおよそ半分が地表に吸収されます。そして、吸収されたエネルギーの大部分は、地表から赤外線放射によって大気中に放出されるのです。この放射エネルギーを吸収し、地表に再放出することにより地表の温度をほぼ現在の気温に保っているのが、大気中に存在する二酸化炭素やメタンなど温室効果ガスと呼ばれる気体です。この温室効果ガスが放出する熱エネルギーによって地表が温められる効果を温室効果と呼びます。

へえ...! 二酸化炭素にはそんなはたらきがあったんだ...!

でもね、二酸化炭素が増えすぎると今度は地表が温められすぎて気温が上がってしまうのよ。

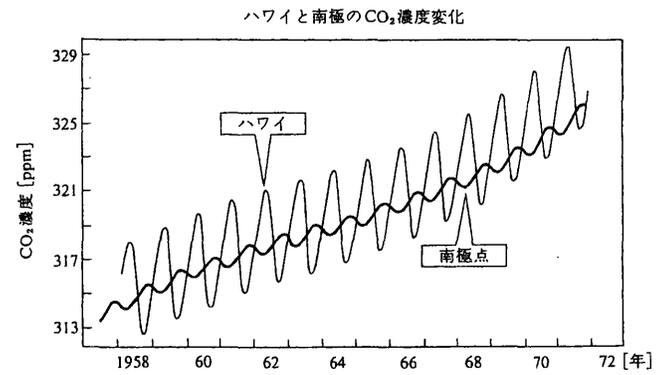
大気中に温室効果ガスが含まれていない場合  
地球からの放射  
太陽からの入射  
地球の平均温度 -18℃

大気中に温室効果ガスが含まれている場合  
(産業革命以前)  
温室効果  
地球の平均温度 +15℃

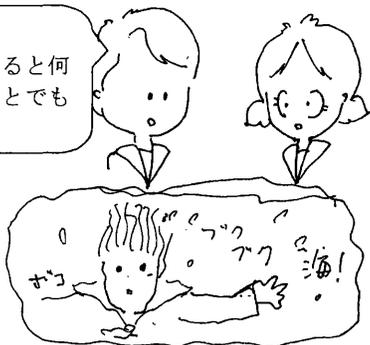
大気中の温室効果ガスが増加した場合  
(現在~21世紀)  
地球の平均温度 + (15+α)℃

ほう! CO<sub>2</sub>がこんなに増えるでしょう?

1ppmって100万分の1のことだよ。  
空気が約78%の窒素と21%の酸素からできているけど、その中に二酸化炭素が0.035%含まれているのよ。  
この0.035%を言いかえる350ppmなのよ。



ねえ…  
暖くなると何か困ることでもあるの？



え——っ！！  
南極の氷がとけちゃうじゃない！

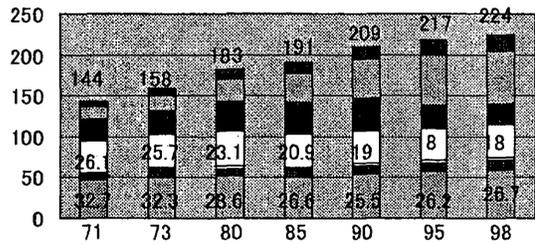
あのねえ、  
南極の氷がとけると海面が上がるよね。  
東京が海の中に沈んじゃうわよ！



地球温暖化による影響

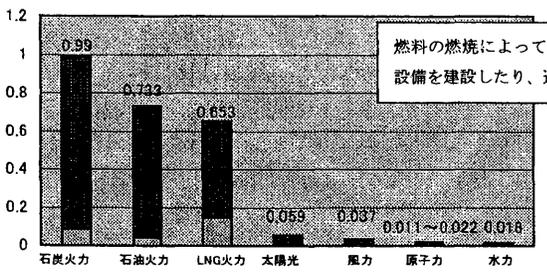
- ・地球規模の洪水パターンの変化やそれによる乾燥化、湿潤化などの気候変動
- ・氷河の融解や海水温度の上昇による海水面の上昇と、それによる沿岸地域の都市、田畑への浸水
- ・生態系の変化や穀倉地帯の干ばつ

世界のCO2排出量



中南米  
アジア・中東  
欧州(非 OECD)  
欧州 OECD  
ニュージーランド・オーストラリア  
日本  
アメリカ・カナダ

日本の電源別CO2排出量



燃料の燃焼によって発生するCO2排出量  
設備を建設したり、運用に消費されるエネルギー

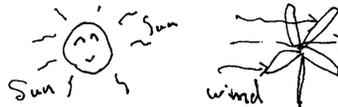
じゃあ、二酸化炭素を出さないようにするには、  
石炭や石油を使わなければいいのね。



うーん…  
そういうわけには  
いかないんじゃないかなあ

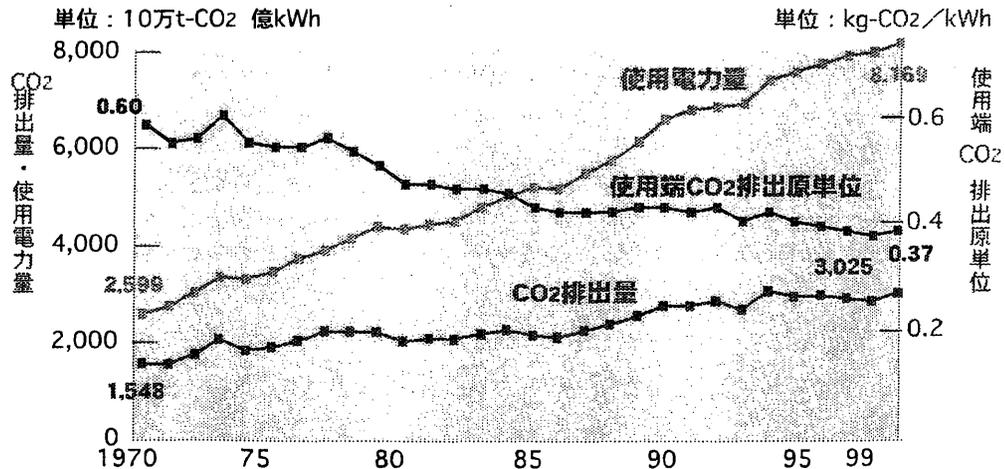


電力がまだまだ必要になるのに、  
石油や石炭以外に簡単に電気エネルギーになるものって他にあるの？



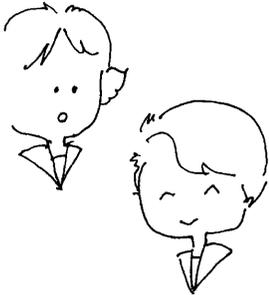
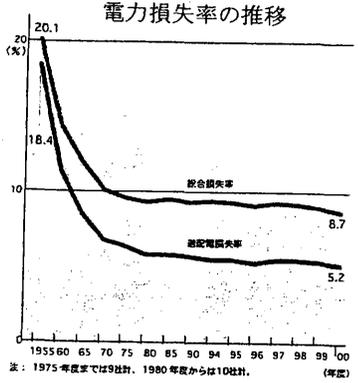
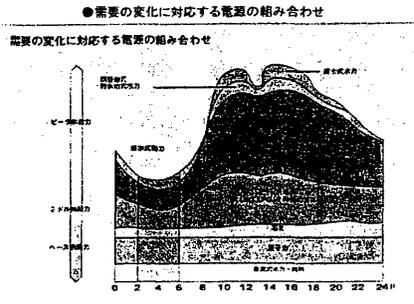
今、地球温暖化を防止するために、発電所ではCO2の量を減らす努力をしています。  
そして、2010年度の1kWhあたりのCO2排出量を1990年度からみて20%減らすことを目標にしています。

日本の電気事業からのCO2排出量の推移



(注) CO2排出量 (10万t-CO2)、使用電力量 (億kWh)  
使用端CO2排出原単位 (kg-CO2/kWh)

たとえば、  
使われる量の変化に  
対応した電源の組み  
合わせをしたり・・・



つくった電気を  
無駄にしない努力  
をしたり・・・

私たちが無駄に使ったり  
してはだめだよ

その2 硫酸化合物と窒素化合物

火力発電所で取り組んで  
いる環境対策ってCO2  
だけじゃないらしいよ。



化石燃料の中には、硫黄や窒素も含まれています。化石燃料を燃やすと二酸化炭素や水以外に硫黄の酸化物 (SOx) や窒素の酸化物 (NOx) ができ、これが公害の原因になるのです。

公害ってどんな？

雨が降ったときに  
硫酸や硝酸という  
強い酸性の雨になる  
酸性雨

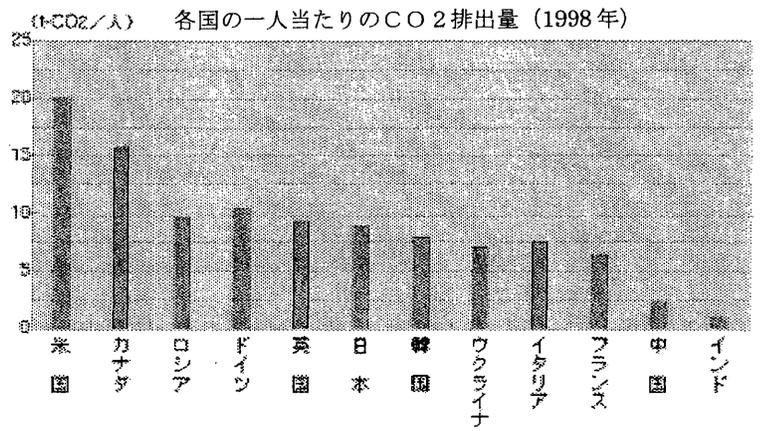
二酸化硫黄が太陽  
や大気中の粉塵を  
きっかけにして三  
酸化硫黄をつくと  
喘息の原因になるよ。



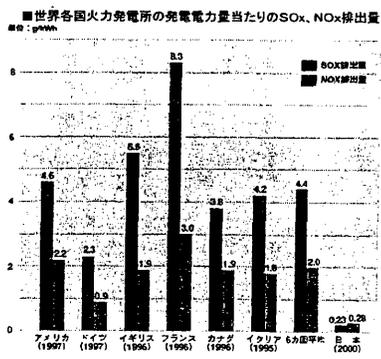
火力発電所では、光化学スモッグや酸性雨の原因となる硫酸化合物 (SOx) や、窒素酸化物 (NOx)、ばいじんなど大気汚染防止のための対策がいろいろととられています。

- ① 硫酸化合物を少なくする対策
- ② 窒素酸化物を少なくする対策
- ③ ばいじんを取り除く対策

このほかにCO<sub>2</sub>の分離・回収のための技術開発もされてきました。現在使われているCO<sub>2</sub>の回収技術には、① アルカリ性の吸収液によってCO<sub>2</sub>を吸収させる方法 ② 固体の吸着剤にCO<sub>2</sub>を吸着させる方法 ③ 高分子膜を使って気体が膜を通過するときの速度の違いを利用してCO<sub>2</sub>を分離する方法 があります。また、回収したCO<sub>2</sub>を固定したり有効利用したりする方法がいろいろ考えられています。



出典: Source: CO<sub>2</sub> Emissions From Fuel Combustion 1971-1999 HIGHLIGHTS (IEA STATISTICS 2000 Edition)



(注) アメリカ、イギリス、カナダ、イタリア、日本は発電電力量の平均、ドイツ、フランスは発電電力量の平均  
出典: OECD ENVIRONMENTAL DATA 1999 OECD ENERGY BALANCE 2001 及び 日本経済産業省資料

日本では、1967年に公害対策基本法ができました。国が中心になって公害を阻止しようとしたのです。まず、SO<sub>x</sub>やNO<sub>x</sub>を出さない方法や技術を開発しました。排煙脱硫装置という装置をつくり、できるだけ空気中にSO<sub>x</sub>やNO<sub>x</sub>が出ていかないように工夫をしました。また、原油を輸入するとき、一番硫黄分の少ない原油を一生懸命調達しました。そして、調達した原油を精製し、発電所で燃やす重油にする段階で、硫黄を取り除く技術を作り上げました。ボイラーの燃焼効率を良くして、硫黄分が出てくるのをできるだけ抑さえました。これらは化学者や技術者の研究の結果です。

その結果、火力発電所での発電電力量あたりのSO<sub>x</sub>の排出量は、世界でも日本が一番少なくなっています。これは、エネルギー資源利用のプロセスの中で、省エネルギーの問題と共に考えられ技術開発が進められた結果です。

日本の公害防止のための法律制定	
1949年	東京都 全国初の「工場公害防止条例」制定
1967年	公害対策基本法制定、海水汚染防止法制定
1968年	大気汚染防止法制定
1969年	初の公害白書発表、公害被害者救済法制定
1970年	第64回国会にて、公害関係法案一挙成立

それでも硫黄が残っていて  
石油を燃やしたら  
SO<sub>2</sub>が出たって場合  
はどーずんの？

SO<sub>2</sub>は酸性の気体だよ。  
アルカリで中和すればいいじゃん！

酸とアルカリのところで  
習ったじゃない！

中和の仕方  
でいろいろな  
製品の原料が作  
れるんだよ。

発生した硫黄酸化物はアルカリで中和  
SO<sub>2</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub> → CaSO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O  
2CaSO<sub>3</sub> + O<sub>2</sub> → 2CaSO<sub>4</sub> (ギブスの原料)

水酸化ナトリウム → 硫酸ナトリウム  
アンモニア → 硫酸アンモニウム (肥料)

石油の分留 → タクエー燃料  
原油 → ガソリン → 車の燃料  
原油 → 軽油 → トラックの燃料  
原油 → 残油 → 船の燃料  
原油 → 重油 → 火力発電の燃料

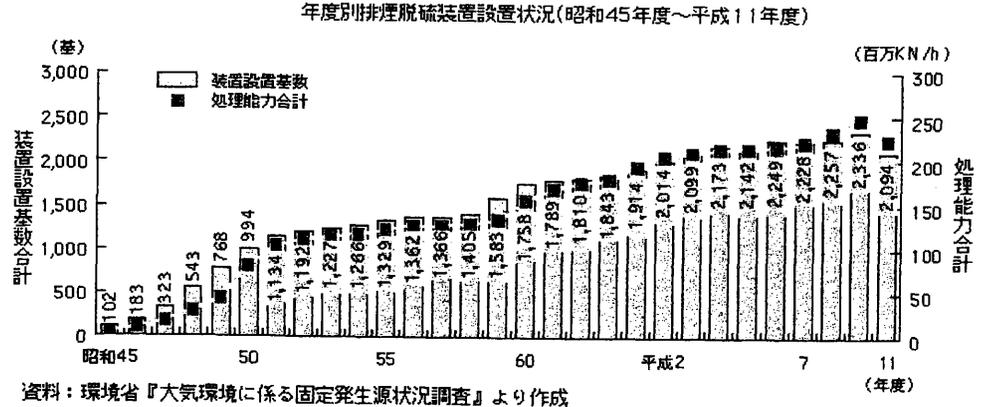
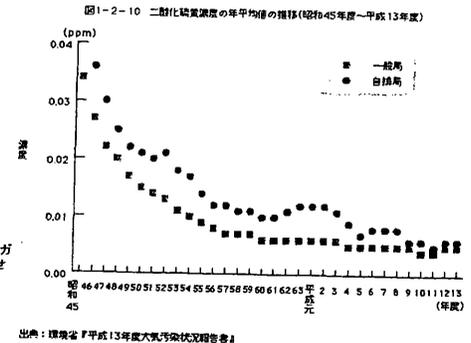
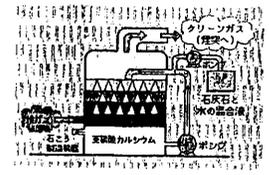
硫酸酸化物発生源方法  
金属精錬工場、石油コンビナート、火力発電所  
水素を添加させて硫黄を取り除く（脱硫という）方法による低硫黄化。  
および排気ガスからの脱硫

例 石油-S + H<sub>2</sub> → 石油 + H<sub>2</sub>S  
触媒と一緒に加熱した石油に水素ガスを送り込む  
※触媒：物質の化学反応を外側から手伝う物質のこと。  
2H<sub>2</sub>S + O<sub>2</sub> → 2H<sub>2</sub>O + 2S  
生成したH<sub>2</sub>Sガスに少量の空気で燃焼させる。

これって一年生のときに習わなかった？

石油から硫黄を取り除く方法って、私達にも分かる方法だよ。

できた硫黄は硫酸の原料にするんだって。

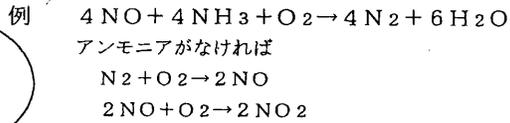


窒素酸化物

発生源  
方法

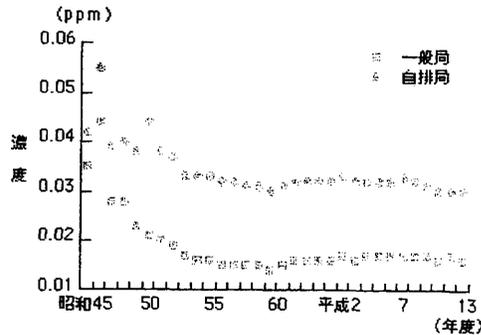
ボイラーの排ガス、自動車の排気ガス  
ボイラー；アンモニア接触還元法

窒素に戻せたら、空気中に放出できるね。



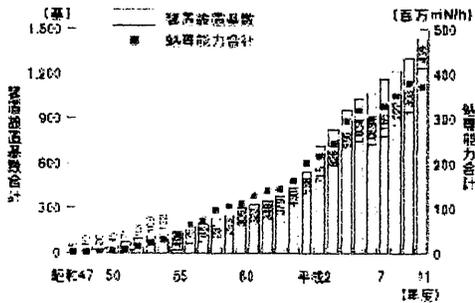
NOxを含んだ排ガスにアンモニアを加え、触媒層の中を通すと、NOxは触媒の働きで窒素と水に分解されます。

二酸化窒素濃度の年平均値の推移  
(昭和45年度～平成13年度)



資料：環境省『平成13年度大気汚染状況報告書』より作成

年度別排煙脱硝装置設置状況  
(昭和47年度～平成11年度)



資料：環境省『大気環境に係る固定発生源状況調査』より作成

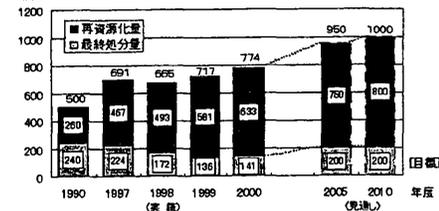
その3 その他の対策

発電所では、今まで学習した環境対策に、さらに廃棄物の最終処分量を減らすことを目標にしたいろいろな取り組みもおこなわれています。電力の需要がこれからもどんどん増していく中で、廃棄物再資源化、リサイクルなど資源を大切にする方法も考えられています。

主な廃棄物と副産物の再資源化量の推移 (万t)

種別	種類	1980年度	1988年度	1998年度	2000年度
炭	発生量	347	421	478	544
	再資源化量 (再資源化率)	137 (39%)	283 (67%)	366 (76%)	490 (77%)
窯	発生量	40	84	47	38
	再資源化量 (再資源化率)	21 (53%)	42 (88%)	38 (83%)	30 (83%)
物	発生量	14	16	15	15
	再資源化量 (再資源化率)	13 (83%)	15 (84%)	14 (93%)	15 (98%)
副産品	発生量	85	143	147	157
	再資源化量 (再資源化率)	85 (100%)	143 (100%)	147 (100%)	157 (100%)

電気事業における廃棄物最終処分量の削減目標



石油エネルギー → 新エネルギー

天然ガスコージェネレーションってね、都市ガス(メタン)を用いて発電して、その時に発生する廃熱を冷暖房や給湯に利用する方法だって...  
一つのエネルギー資源から複数のエネルギーをとりだすシステムのことをコージェネレーションシステムというよ。

- ・ 太陽光発電
- ・ 風力発電
- ・ 太陽熱利用
- ・ 温度差エネルギー
- ・ バイオマス発電
- ・ バイオマス熱利用
- ・ バイオマス燃料製造
- ・ 燃料電池
- ・ 廃棄物発電
- ・ 廃棄物燃料製造
- ・ 天然ガスコージェネレーション



廃熱が廃熱にならなくなってエネルギー効率が電気の2倍になっちゃうの！

あなたは、電気の発電や供給におけるこのような技術や環境への対策を知っていましたか？

#### 第4章 終章 私たちの取り組み

電気について、環境のために、私たちができる取り組みもあります。

- ・ 電気がどれだけ使われているかを知る
- ・ 無駄な電気を使わないようにする

この取り組みをするために、私たちができることを考えてみましょう。

私たちが、いま直面している地球環境問題に対して、世界中の人々が力を合わせて、社会の仕組みや生活を考え直し、科学技術を有効に利用していく時代になっています。

これからの科学技術は、

- ・ 廃棄物を出さない
- ・ 原料を無駄にしない
- ・ 環境に害のあるものは使わない
- ・ 省エネを心がけた開発をする
- ・ 再生可能な資源を使う

を根底においた開発が主流となります。

これをグリーンケミストリーといいます。

つまり、地球環境の維持を考えた化学ということです。

国が地球環境に対してたてる対策と、化学者や技術者がおこなう開発に対して、科学者や技術者とともにその善し悪しを判断していくのはあなた自身です。

ここでは、電気を通して、皆さんの中学で学習する範囲の中で、地球環境について考えてきました。しかし、電気以外の科学技術（例えば、交通、通信、衣類、食品など）についても、いろいろな対策がとられています。

それらについて、自分で調べてみてください。それが本当にあなたたちにとって、そして、これからの地球環境にとって、有用なものなのかどうかを判断してみてください。また、いまの地球環境を維持するために、あなたたちにできることも考えてみてください。そして20年後の地球がどんなふうになっているのかを想像してみてください。

あなたがこの勉強で考えたことや感じたことをまとめてみましょう。

# 中学校におけるグリーンケミストリーの基礎となる 原子・分子の考え方を育成する教材開発

村 松 啓 至

## 1 はじめに

中学生、高校生にとって、学習とはある面では受験のための学習であり、学習が自らの判断や意思決定にかかわるものでないことが多いのではないだろうか。その点において、グリーンケミストリーの考え方、例えば「リスク評価」等が示す視点は、本来あるべき「学び」のあり方を問い直すものであり、教育界が抱える諸問題を解決していく糸口となるであろう。また、「環境にやさしい化学」はこれからの子どもたちが生きていくために欠くことのできないものになるであろう。

しかし、中学生に、環境にかかわる判断や意思決定を求めることは、科学的な見方や考え方が十分育っていない状態では困難が多いと思われる。そこで、本研究は中学生におけるグリーンケミストリーの基礎となる科学的な見方や考え方を育成する教材開発の試みたものである。

## 2 研究の概要

研究の概要は以下のようである。

- (1) グリーンケミストリーの基礎となる考え方と中学生に適したテーマの考察
- (2) 科学的な見方や考え方の育成をめざす教材の検討
- (3) 生徒の学びをとらえる一枚ポートフォリオ評価法、文章分析法による検討
- (4) 生徒の学びと教材開発の妥当性について（実践から）

## 3 研究内容

### (1) グリーンケミストリーの基礎となる考え方と中学生に適したテーマの考察

これまで原子力や放射能を題材とし、そのリスク評価について、中学生、高校生を対象に調査を行った結果では、利害両面からの見方を身に付けるなどの表れが見られ、科学的な判断、意思決定での有効性が認められた。高校生レベルではある程度の原子や分子の考え方、化学反応についての知識をもとに科学的な判断、意思決定ができるであろう。しかし、中学生では、中学2年生になり、はじめて原子、分子の考え方を学習し、イオンについては学習しない生徒もいる。いろいろな情報やデータから、自分の考え方を広げ、中学生としての科学的な判断、意思決定をしていくことはできるものの、それが、本当に科学的、論理的に裏付けされたものかどうか検討する余地がある。判断や意思決定をより「ほんもの」に近づけていくためには、環境問題、環境汚染を考えていくための中学生としての科学的な見方や考え方を育成していくことが必要である。

グリーンケミストリーは、環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理や方法論のことである。中学生として必要なグリーンケミストリーの基礎となる見方や考え方は、まずは原子、分子の知識であり、化合、分解の概念である。そして、これらの知識や概念をもとに、基本的には「地球上における原子や分子は有限である」という見方が基礎となる。中学生には石油などのエネルギーの有限性を論理的にとらえることは難しく、また、汚染物質をださないことにどれだけの意義があるかなど論理的にとらえにくい。そこでおおまかな概念ではあるが、「地球上における物質の化学的な営みは化合、分解の繰り返しであり、基本的には物質の量は変化していない」などの見方や考え方が必要であると考えた。このことから物質の有限性に迫ることが大切である。また、中学生にとって体験的にとらえることが大切である。実験から実感を伴って理解する行為が必要であり、そのためには、実際に実験室で取り上げやすい化学的なエネルギーをテーマに学習することも、グリーンケミストリーの体験的な基礎となると考えたのである。

## (2) 科学的な見方や考え方の育成をめざす教材の検討

(1) の考えをもとに、二つの教材を考えた。一つめの教材では、その見方や考え方を育成するための教材を模索したものである。二つめの教材では、これらの考え方や見方をもとに、身近なエネルギーについて化学電池を中心に、中学生の学習内容との関連を考え、グリーンケミストリーの原理や方法論の基礎となる、そしてエネルギーに関してより体験的なものを模索した教材である。中学校選択理科及び発展的な学習の教材として考えている。

### テーマ 1 「地球の質量は変化しているのか？」

…1000年前の地球の質量と現在の地球の質量を比較する…

- ① 原子・分子の考え方はどのようにつくられてきたのか。  
(科学史)
- ② 原子・分子の考え方をもとに、過去、現在の地球の質量を比較する。

### テーマ 2 「これからの電気をつくり出すために」

…ダニエル電池・光合成型太陽電池・燃料電池を比較する…

- ① ダニエル電池の製作と検討。
- ② 光合成型太陽電池の製作と検討。
- ③ 燃料電池の製作と検討。
- ④ 各電池を比較し、その利点、欠点をまとめる。

以下、各テーマに沿ったワークシート例である。

### (3) 生徒の学びのとらえる一枚ポートフォリオ評価法による検討

一枚ポートフォリオ評価法では、自分が学んだ軌跡が集約されるため、生徒の概念形成に役立ち、見方や考え方の変化を見取ることが、教師及び生徒自身ができることが分かった。最終的に、具体的にグリーンケミストリーの基礎となる考え方が形成されたかどうか見取るためには、テーマ1「地球の質量」で、書かれた文からは、まずは、分子・原子についての文が長くなっていること、そして、以下のフレーズの意味と同様の内容があることとした。

フレーズ： 「原子・分子は有限である」

原子、分子という言葉を使って、三つ以上の文を作る・・・学習のスタートにて

- ・原子、分子とは小さなものである。
- ・気体の分子は二つの原子で一つの分子をつくっている。
- ・目に見えないのにどうして原子、分子がわかったのだろうか。 等

原子、分子という言葉を使って、三つ以上の文を作る・・・学習を振り返って

- ・地球上の原子、分子は有限であることがわかった。
- ・私たちの身体も1000年前どこかに存在した原子、分子でつくられているかもしれない。
- ・ものがいっぱい増えてもそのもととなる原子や分子はもともとあったものが使われている。 等

ワークシートや記述から見方や考え方の変化が見取れる。一連の学習を一枚の用紙にまとめることで、自分の学びを振り返りことができ、メタ認知能力を育成していく有効な学習手段であると考えられる。例示したフレーズは、設定した目標の構成要素である。生徒の記述は、原子、分子が有限であることが様々な表現で表されていた。そこから、生徒の理解の仕方の多様さを感じ取り、教師も一元的ではなく、多元的にとらえることの大切さを改めて実感した。

### (4) 生徒の学びと教材開発の妥当性について（実践から）

テーマ1「地球の質量」では、質量は大きくなるか小さくなるかという問いに対して、学習のスタート時に38名の学級で、現在の方が大きくなると答えた生徒は18名、小さくなると答えた生徒は14名、同じであると答えた生徒3名、分からないと答えた3名であった。大きくなったと答えた生徒の理由は、「人口が増加した」「ビルなど人工物が増加した」「隕石の分だけ多くなっている」等、小さくなったと答えた生徒の理由は、「木材を伐採している」「資源を燃やしている」「人工衛星の分だけ少なくなっている」等、同じと答えた生徒の理由は、有限性に触れたものであった。生徒の実態及びそれぞれの理由から、地球の営みを物質について化学的に見ていくために妥当性のある教材であると考えられる。

テーマ2についても、今後実践を積んで検討を加えていきたい。

#### 〈参考文献〉

- 1) 堀 哲夫「評価法の開発」『グリーンケミストリー教材の開発研究』科研報告書、(2003)
- 2) 村松啓至「理科の〈確かな学力〉を」『教育フォーラム』金子書房、(2004)

## グリーンケミストリーの学習に向けて

グリーンケミストリー（環境にやさしい化学）とは、環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための化学です。ヨーロッパやアメリカでも、汚染を防ぐ画期的な手段として注目を浴びています。

グリーンケミストリーの進めていく大切なポイントは、起きてしまった環境の問題にどのように対処するかということではなく、これまで学習してきた分子や原子の考え方を使得、いろいろな危険性を取り除こうとすることにあります。実際に中学生では、化学反応をいろいろ考えたり、具体的な物質の合成や設計が難しいので、環境にやさしい化学として、危険性を取り除くために必要な考え方や方向性をつかむことを目的としています。

これまで環境問題については、いろいろところで扱われています。中には改善している内容もあるが、人間生活とのかかわりの中で解決の方向性が見いだせないことも数多く存在します。また、真剣に環境問題を考えていくと、地球を汚染しているのは人間であり、人間の存在を否定的にとらえたりする考えも出てくる時もあります。しかし、人間も自然の一部であり、自然と調和し、持続可能な発展を考えていかなくてはなりません。そのためにも、グリーンケミストリーの考え方をもとに、具体的に人間生活とのかかわりも視野に入れて、これから学習していく内容を、環境汚染などに対する以下のような視点で見えていきましょう。

### (1) 自然状態との比較による方法（バックグラウンド法）

例えば、テレビからの放射線の影響と自然からの放射線の影響を量的に見積もり比較する。

### (2) 代替えになるものとの比較による方法（バランス法）

例えば、発電方法として、火力発電や原子力発電、水力発電、自然エネルギーを使った発電等の経費や問題点を比べる。

### (3) まったく違った種類の危険性との比較による方法（比較法）

例えば、自動車旅行で事故にあう危険性と水泳で事故にあう危険性を比較する。

### (4) 当面している問題の利益と害とを比較する方法（リスク・便益法）

例えば、農薬を使う危険性と野菜を安く買える利点を比べる。

学習を進める中で、(1)～(4)の内容にかかわって、気付いたことがあれば、ワークシートに「メモ」として記入していきましょう。例えば、「発電について調べて気付いたことは、大量の電力は得られるが原子力発電にはリスクがあること、しかし、安全でクリーンな電力が得られるが太陽発電などにはお金がかかることがポイントだ。」などです。

(1)～(4)の内容は比較することを意識して進めることが大切です。小さなことでもいいので記録に残しましょう。

アメリカやヨーロッパ、日本で進められているグリーンケミストリーでは、基本的な精神として12か条にまとめられています。具体的にどのような内容を示しているのかわからないものも含まれていますが、書かれている内容を意識して学習を進めてください。

## グリーンケミストリー その精神12か条

- 1 廃棄物は出してから処理ではなく、出さない
- 2 原料をなるべくむき出しにしない形で合成する
- 3 人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする
- 4 機能が同じなら、毒性のなるべく小さい物質を作る
- 5 補助物質はなるべく減らし、使うにしても無害のものを
- 6 環境と経費への負荷を考え、省エネを心掛ける
- 7 原料は枯渇性資源ではなく、再生可能な資源から得る
- 8 途中の修飾反応はできるだけ避ける
- 9 できる限り触媒反応を目指す
- 10 使用後に環境中で分解するような製品を目指す
- 11 プロセス計測を導入する
- 12 化学事故につながりにくい物質を使う

## グリーンケミストリーに向けての学習内容の紹介

- テーマ 1 「地球の質量は変化しているのか？」  
・・・1000年前の地球の質量と現在の地球の質量を比較する・・・
- ① 原子・分子の考え方はどのようにつくられてきたのか（科学史）。
  - ② 原子・分子の考え方をもとに、過去、現在の地球の質量を比較する。

- テーマ 2 「これからの電気をつくりだすために」  
・・・ダニエル電池・光合成型太陽電池・燃料電池を比較する・・・
- ① ダニエル電池の製作と検討。
  - ② 光合成型太陽電池の製作と検討。
  - ③ 燃料電池の製作と検討。
  - ④ 各電池を比較し、その利点、欠点をまとめる。

テーマ 1 「地球の質量は変化しているのか？」

・・・1000年前の地球の質量と現在の地球の質量を比較する・・・

- ① 原子・分子の考え方はどのようにつくられてきたのか（科学史）。
- ② 原子・分子の考え方をもとに、過去、現在の地球の質量を比較する。

原子・分子という言葉を使って、3つ以上の文を書いてください

科学史 1 の学習で一番大切なことは

科学史 2 の学習で一番大切なことは

地球の質量を比較一番大切なことは

この学習を振り返って「原子・分子」という言葉を使って3つ以上の文を書きましょう。

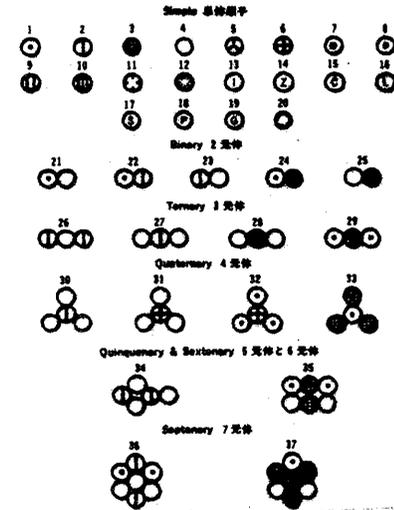
この学習を通しての考えは何がどのようにかわりました。

「原子・分子の考え方はどのようにつくられてきたのか」

物質は何からできているか、紀元前から哲学者やいろいろな研究者によって追究されてきた。あらゆる物質は原子からできているという原子説の発展の基礎を築いたのがドルト  
ドルトンの絵  
ンである。



下の図表は「近代化学の父」と呼ばれるドルトンが、1808年に発表した「化学の新体系」第1部に掲載したものである。



上記の図表 1～21 までの物質に注目して、現在の考え方との違いをまとめましょう。

ワークシート3

上記のような原子説はどのようにつくられてきたのか、これまでの科学史をたどりながら振り返ってみよう。

科学者名

研究内容

タレス	
デモクリトス (紀元前 460~370)	
エピクロス (紀元前 341~270)	
マイモニデス (1135~1204)	
ベーコン (1561~1626)	
グライヴ・ヒギンズ* (1737~1818)	
ラボアジェ (1743~1794)	

- \* 資料集やインターネットを利用してまとめよう。
- \* これまで学習してきた原子や分子の考え方とどこが違うのか、教科書や資料集と比較し、明確にしておこう。

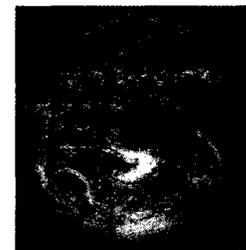
ワークシート4

「1000年前の地球の質量と現在の地球の質量とを比較しよう」

地球の質量を直接測ることはできないので、原子・分子の考え方をもとに考えてみよう



1000年前の地球



現在の地球

友だちの考え

自分の考え

【参考資料】

地球の質量は、 $5.972 \times 10^{24}$  kg (ワシントン大学 Jens Goudlach 2000)  
 地球の地熱等の放出は、主にK-40からAr-40への変化であり、たとえArが地球外に放出されたとしても地球の質量の変化として無視できる。  
 地球上の大気がしめる質量の割合は、0.0000051%であり、そのほんの一部分をしめる水素、ヘリウムガスの地球外への放出も同様で質量の変化として無視できる量である。

テーマ 2 「これからの電気をつくりだすために」

・・・ダニエル電池・光合成型太陽電池・燃料電池を比較する・・・

- ① ダニエル電池の製作と検討。
- ② 光合成型太陽電池の製作と検討。
- ③ 燃料電池の製作と検討。
- ④ 各電池を比較し、その利点、欠点をまとめる。

電気、エネルギーという言葉を使って3つの文を書きましょう

ダニエル電池の学習で一番大切なことは

光合成型太陽電池の学習で一番大切なことは

燃料電池の学習で一番大切なことは

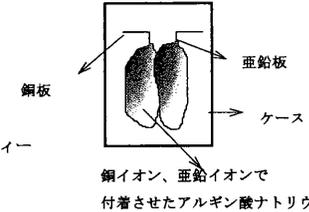
この学習を振り返って、「電気、エネルギー」という言葉を使って3つ以上の文を書きましょう。

あなたの考えは何がどのようにかわりました。

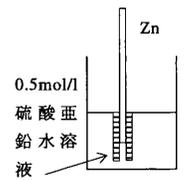
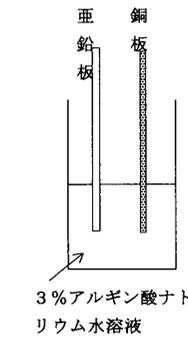
① ダニエル電池の製作と検討

【準備物】

- ・硫酸銅水溶液、硫酸亜鉛水溶液
- ・アルギン酸ナトリウム3%溶液
- ・銅板、亜鉛板
- ・ケース
- ・クリップ付リード線、電子メロディー
- ・テスター

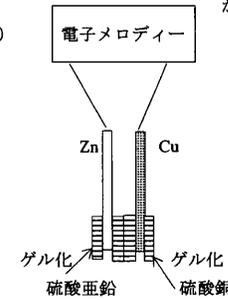
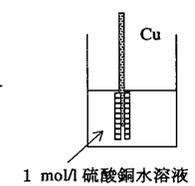


【製作方法】



① 3%アルギン酸ナトリウム水溶液中に、銅板、亜鉛板を約3cmつけてアルギン酸ナトリウムを付着させる。  
 ②①の亜鉛板を硫酸亜鉛水溶液(0.5 mol/l)、銅板を硫酸銅水溶液(1 mol/l)に浸し、各電解質水溶液を保持するゲル化物を付着し電極板を製作する。  
 ③金属板の両ゲル化物を金属が接しないように、密着させてダニエル電池を組み立てる。

\* mol/l は水溶液の濃さを表しています



- ④安定するように金属板をまげてケースの中におさめる。
- ⑤起電力を電圧計で測定するとともに、電子メロディーなどで作動を確かめる。

【参考資料】静岡県総合教育センター理科研修課研究別冊資料  
 【記録】

電圧の測定	継続した時間	かかった費用	反応後残った物質

(参考例) 約 1.12 v    約 32 時間    約 100 円    主に硫酸亜鉛

② 光合成型太陽電池の製作と検討

植物色素を使って電気エネルギーをとりだすことができるだろうか？

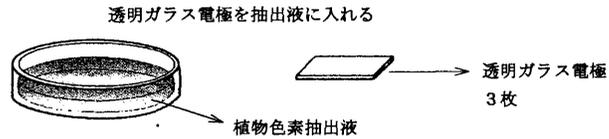
スイスのグレッツェル教授らによって色素増感太陽電池として開発されたものである。太陽の光からエネルギーをとりだす植物の光合成に似ている。

【準備物】

- ・二酸化チタン焼き付け透明ガラス電極 6枚
- ・リード線 10本 ・ドライハイビスカス
- ・クリップ 6個
- ・検流計

【製作方法】

1 二酸化チタン焼き付け透明ガラス電極を植物色素を抽出した液に浸し染色する。



- 2 二酸化チタンの膜に濃い赤紫色がいたら、染色液から取り出し水洗いをする。
- 3 もう一枚の伝導性ガラスには鉛筆の芯などをこすりつけて黒鉛をコーティングする。
- 4 赤紫色に染まった二酸化チタンの膜に、電解液としてヨウ素液を数滴たらす。
- 5 その上に、もう一枚のガラス板を、黒鉛をコーティングした面が二酸化チタンの膜と重なるように下向きにして、クリップで固定する。
- 6 ガラス板同士を少しずらして重ね、導線をつなぐ。
- 7 二酸化チタンの面の方から光をあてる。

【参考資料】 ケニス株式会社「光合成型太陽電池取扱説明書」

【記録】

電圧の測定	継続した時間	かかった費用	反応後残った物質

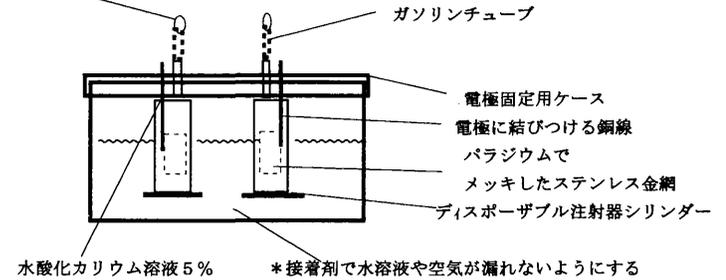
(参考例) 約 1.0 v 約 2 時間 市販のもので 4500 円 化学物質なし  
電子オルゴールで測定、太陽光利用

③ 燃料電池の製作と検討

水素と酸素から電気エネルギーをとりだせるか？

【準備物】

\* マイクロテストチューブ (小) で止める



- ・濃塩酸、アセトン (メッキ用)、希硫酸、蒸留水 (洗浄用)
- ・水酸化カリウム 5% (電解液)
- ・酸素ボンベ、水素ボンベ (燃料)
- ・電極固定用ケース… 1 個
- ・銅線 (1 mm) … 20 cm
- ・ステンレス金網 100 メッシュ程度 (加熱用) … 半分
- ・ディスポーザブル注射器 (25ml 用) … 3 個
- ・目玉クリップ (口幅 30mm) (口幅 10mm) 2 個ずつ
- ・ガソリンチューブ (内径 3 mm 外径 5 mm、4 cm) … 2 本
- ・クリップ付リード線 (赤・黒各 1 本組) … 1 組
- ・ガス調整金具 2 個
- ・接着剤
- ・塩化パラジウム (50 mg)

【参考資料】 「静岡県総合教育センター理科研修課研究別冊資料」  
「すぐ分かる！燃料電池の仕組み」かんき出版

【記録】

電圧の測定	継続した時間	かかった費用	反応後残った物質

(参考例) 0.9 v 約 24 時間 約 800 円 主に水



## IV. 学習教材の開発、実践、評価

日本理科教育学会第 53 回全国大会発表論文及び資料  
平成 15 年度全国理科教育大会発表要旨

- 1 グリーンケミストリー教材の開発—大気汚染問題とその解決策— 120
- 2 グリーンケミストリー教材の実践とその評価（1） . . . . . 124
- 3 グリーンケミストリー教材の実践とその評価（2） . . . . . 132
- 4 中学生の化学実験教材に対する意識  
—グリーンケミストリーの観点から— . . . . . 142
- 5 化学実験における廃棄物処理について . . . . . 154

# グリーンケミストリー教材の開発

## —大気汚染問題とその解決策—

○松原静郎<sup>A</sup>, 後藤顕一<sup>B</sup>, 竹山哲司<sup>C</sup>, 石川朝洋<sup>D</sup>

MATSUBARA Shizuo<sup>A</sup>, GOTO Ken'ichi<sup>B</sup>, TAKEYAMA Satoshi<sup>C</sup>, ISHIKAWA Tomomi<sup>D</sup>

国立教育政策研究所<sup>A</sup>, 埼玉県立浦和高等学校<sup>B</sup>, 東京都立芝商業高等学校<sup>C</sup>, 新潟県立吉川高等学校<sup>D</sup>

要旨: グリーンケミストリー (環境にやさしい化学)、すなわち、物質合成の段階から環境汚染物質を作らない、出さないとする考えを学習し、また、社会における判断・意思決定の場を提供する教材の開発を試みた。その題材としては塩化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物による大気汚染の発生とその対策に関する歴史的変遷を通して、汚染が発生してからの処理から、汚染そのものが発生しない工程へと切り替わってくる経緯を扱うこととした。

キーワード: グリーンケミストリー, 中・高等学校, 化学教育, 環境教育, 教材開発

### 1 はじめに

第 15 期中央教育審議会の答申の「生きる力」にも示されたように、社会生活の中で我々は様々な課題について判断や意思決定を行わなければならない。このような社会生活での必要性に対応するため、理科教育の分野においても、科学知識の学習にとどまらず、判断と意思決定の過程を取り扱うこととその育成をはかることが必要であろう。

一方、グリーンケミストリー (環境にやさしい化学) とは環境汚染物質を作らない方法での、物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してからの処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のこと<sup>1)</sup>で、欧米や日本の化学会で汚染を防ぐ画期的な手段として、注目を浴びている分野である。化学教育においても環境教育の観点からも学習すべき内容であると考えられる。

これまで原子力や放射能を題材とし、そのリスク評価について、中学・高校生を対象とした調査を行った結果では、利害両面からの見方を身につけるなど科学的な判断・意思決定での有効性は認められた。しかし、たとえリスクが小さくてもその小さな確率には入りたくないという意識や万が一の事故に対する危惧の念を持つ場合には、確率的な安全のレベルについて納得しても、下す判断は学習以前と変わらないなど、「安心」のレベルと

の隔たりが認められた。

グリーンケミストリーでは、問題となる万が一の場合を含め、その元となる危険性を減らすことでリスクを低減していくことを中心とする考えであり、この考えを学ぶことにより、安全レベルと「安心」レベルが近づくことが期待され、社会における科学的な判断・意思決定能力の育成に寄与すると思われる。

また、これまでの化学や自然科学に対する子どもの意識をみると、科学を重要なもの、役立つものとする価値意識は徐々に減少し、科学が害をもたらすとする意識は増えているなど、科学に対するイメージが変化していることが認められる。<sup>2)</sup> グリーンケミストリーの考えは、基幹産業でありながら環境問題でイメージダウンしている化学工業において、環境に対する努力が払われているその方向を示す好例と考えられる。

### 2 学習教材の開発

グリーンケミストリーの考えを、事例を通して考える教材として、炭酸ソーダ工業での塩化水素や石油工業での硫黄酸化物による大気汚染とその対策について扱うことにした。これは、その経緯が汚染の発生後の処理から、汚染そのものの発生しない工程へと、従来の化学工業からグリーンケミストリーへの移行と同じ向きへの変化だからで

ある。すなわち、化学工業が歩んできた道程と現代のグリーンケミストリーの考え方を対応させた教材を開発し実践していくこととした。

今回開発した学習教材は、「環境対策技術の教材化」プロジェクトとして平成 5～7 年度にかけて開発してきた教材<sup>3)</sup>を基礎としている。この教材を元に、グリーンケミストリーの視点で改めて見直し、「導入ワークシート」や「ワークシートをはじめの前に」を新たに加えるなど、何回かの改訂作業と部分的な授業実践を繰り返し検討した。

さらに、この教材がいかにしてグリーンケミストリーとしての意味を持つかを示すワークシートを作成することにし、グリーンケミストリーの意味を解説したワークシートを5とし、その前にワークシートの1から4までの内容とグリーンケミストリーとの関連を説明する「ワークシート5をはじめの前に」を加えることとした。

なお、グリーンケミストリーでは危険性を低減するのでリスク評価は必要ないとも言われる<sup>4)</sup>が、現実問題としては危険性が全くなくなる限りはリスク評価が判断・意思決定の際の重要な指針となると考え、ワークシート5ではリスク評価も扱うことにした。

表1に、開発したワークシート1～5及び導入用のワークシートの構成を示す。

表1. 開発したワークシート等の構成

導入WS：大気について考えるワークシート
WS1、2をはじめの前に：過去の大気汚染問題の理解と解決（HClを中心に）
WS1：塩化水素の問題（ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ の古い製造法）
WS2：塩化水素の汚染の問題解決（アンモニアソーダ法）
WS3、4をはじめの前に：現在の大気汚染問題の理解と今後の解決に向けて
WS3：硫黄酸化物についての理解と問題解決策
WS4：窒素酸化物についての理解と問題解決策
WS5をはじめの前に：WS1～4のまとめ
WS5：グリーンケミストリーとリスク評価

注) WSとは、ワークシートを指す。

本教材は9月以降まず三つの高校でその一部を実施して、生徒の反応を調べた。

その後11月以降、総合的な学習の時間においてA高等学校2年生を対象に、また、推薦で進学が決まったB高等学校3年生を対象に自習させる形で、1から5までのすべてのワークシートを使って本教材の実践をした。今回の授業実践ではどちらの学校でもまじめに取り組んでおり、学習効果も認められた。

### 3 今後の課題

今回の学習教材に、生徒実験などは設定されていないが、ルブラン法やアンモニアソーダ法の合成実験や、二酸化硫黄、二酸化窒素などの性質を調べる実験を入れたり、年表の作成などの調べ学習を入れたりするなどの体験的な活動を加えていくこと、さらに話し合いや発表の場を取り入れることを考えている。

また、これらの改訂とともに、デジタル教材を開発している。本教材では学習していく際に使う資料をあらかじめ用意している。これは、生徒自身が学校の図書室等で調べることが難しいためであるが、インターネットを使えばこれまで図書室で調べることができなかった内容でも調べることができる。その利点を活用するため、デジタル教材を作成することとし、学習教材の作成と並行して作業を進めていった。

ただし、今回の授業実践では、いずれの学校の場合にもデジタル教材を使うまでに至らなかった。授業ではWSとともに資料も配布し、それをもとに学習を進める方法を用いた。インターネットなどを活用する機会に関しては今後の課題としたい。

なお、本研究の一部は科学研究費基盤研究(B)（課題番号 14380066、代表松原静郎）による。

- 1) 渡辺正他訳「グリーンケミストリー」丸善(1999)
- 2) 理数定点調査研究プロジェクト「理数調査報告書」国立教育政策研究所(2003)
- 3) 松原静郎、柴田真理子「環境改善技術の教材化」全国理科教育センター研究発表会資料(1996)

## グリーンケミストリー教材の開発 —大気汚染問題とその解決策—

日本理科教育学会全国大会  
北海道教育大学札幌校  
平成15年8月7日  
松原静郎, 後藤顯一, 竹山哲司, 石川朝洋

---

---

---

---

---

---

---

---

## グリーンケミストリー(環境にやさしい化学)

- 環境汚染物質を作らない方法での、物質の合成や設計をする化学  
— グリーンケミストリー12カ条
- 汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論
- 化学教育においても環境教育の観点からも学習すべき内容であると考えられる。

---

---

---

---

---

---

---

---

## リスク評価とグリーンケミストリー

- リスク = 危険性 × 暴露量
- 問題となる万が一の場合を含め、その元となる危険性を減らすことでリスクを低減していくことを中心とする考え  
— たとえリスクが小さくてもその小さな確率には入りたくないという意識や万が一の事故に対する危惧の念を持つ
- 安全レベルと「安心」レベルが近づくことが期待される

---

---

---

---

---

---

---

---

## 学習教材の開発

- 炭酸ソーダ工業での塩化水素や石油工業での硫黄酸化物による大気汚染とその対策
- その経緯は汚染の発生後の処理から、汚染そのものの発生しない工程へ
  - 従来の化学工業からグリーンケミストリーへの移行と同じ向きへの変化
- 「環境対策技術の教材化」プロジェクトとして平成5～7年度にかけて開発してきた教材を基礎

---

---

---

---

---

---

---

---

## 開発したワークシート等の構成

- 導入WS: 大気について考えるワークシート
- WS1、2をはじめめる前に: 過去の大気汚染問題の理解と解決
- WS1: 塩化水素の問題( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ の古い製造法)
- WS2: 塩化水素の汚染の問題解決(アンモニアソーダ法)
- WS3、4をはじめめる前に: 現在の大気汚染問題の理解と今後の解決に向けて
- WS3: 硫黄酸化物についての理解と問題解決策
- WS4: 窒素酸化物についての理解と問題解決策
- WS5をはじめめる前に: WS1～4のまとめ
- WS5: グリーンケミストリーとリスク評価

---

---

---

---

---

---

---

---

## 今後の課題

- 体験的な活動の導入
  - ルブラン法やアンモニアソーダ法の合成実験や、二酸化硫黄、二酸化窒素などの性質を調べる実験を入れる。
  - 年表の作成などの調べ学習を入れる。
- 話し合いや発表の場の導入
- デジタル教材の開発
  - 本教材では学習していく際に使う資料をあらかじめ用意している。

---

---

---

---

---

---

---

---

# グリーンケミストリー教材の実践とその評価（1）

○後藤顕一<sup>A</sup>、松原静郎<sup>B</sup>、鳩貝太郎<sup>C</sup>、堀 哲夫<sup>D</sup>

GOTO Kenichi<sup>A</sup>, MATSUBARA Shizuo<sup>B</sup>, HATOGAI Taro<sup>C</sup>, Hori Tetsuo<sup>D</sup>

埼玉県立浦和高等学校<sup>A</sup> 国立教育政策研究所<sup>BO</sup> 山梨大学教育人間科学部<sup>D</sup>

要旨：グリーンケミストリー教材として開発した「大気汚染問題とその解決」についてのワークシートを実践し、生徒が教材を通じて大気汚染問題についてどのように学習内容を理解していくかを、学習評価としての教育評価ツールである「学習履歴シート」を用いて調べた。生徒の記述から学習内容が理解され、大気汚染問題についての考えが深化していることがわかった。

キーワード グリーンケミストリー、高等学校、環境教育、学習履歴シート、総合学習、教育実践

## 1 教材の実践

「グリーンケミストリー教材の開発—大気汚染問題とその解決—<sup>1)</sup>と題して開発したワークシートを実践し、生徒が教材を通じて大気汚染問題についてどのように学習内容を理解していくのか、「学習履歴シート」<sup>2)</sup>を用い、その記述内容から内容理解の変容や深化の様子を調べた。

実践は埼玉県立浦和高等学2年次「総合学習」の時間、選択授業生徒20名を対象とし、半期10校時を学習の時間に充てた<sup>3)</sup>。

### (1) 「学習履歴シート」課題での記載量の変化

表1は、学習の前後で「『大気』という語を使って三つの文を書きなさい」という課題に対して、生徒が書いた3文の文字数を示してある。

学習の前後ではほとんどの生徒の文章が長くなっている。学習前では生徒は書く事柄が見出せず表現できなかつたと思われる生徒も、学習後は説明する内容も増え、自分の主張すべきことなどを加えるため文章が長くなる傾向があった。なお、一般的に「学習前」に短い文章を書く生徒は「学習後」も短い文章を書く傾向が見られた。

学習後の記述が学習前の記述の2倍以上(200%以上)に増えた生徒は調査対象生徒20名中8名と多く、また、学習中の様子から、学習が効果的に進み、学習内容に関心を持ち、学習内容を理解することができ、自分で表現することの楽しみを

感じる事ができたあらわれと思われる。

表1 使用した文字数の変化(使用した文字数)

生徒名	使用した文字数		文字数の変化 (学習後/学習前)
	学習前	学習後	
A	122	426	349%
B	56	172	307%
C	45	126	280%
D	54	136	252%
E	97	225	232%
F	70	148	211%
G	109	225	206%
H	48	99	206%
I	69	135	196%
J	44	75	170%
K	39	62	159%
L	52	76	146%
M	42	55	131%
N	85	111	131%
O	105	116	110%
P	63	64	102%
Q	69	66	96%
R	64	56	88%
S	127	94	74%
平均	71.6	129.8	181%

(2) 「学習履歴シート」課題での記載内容の変化  
全般的に「学習前」は、書いている内容自体も断片的な文や、ごく身近な内容の文が多かった。

「学習後」は、全員が今回の学習内容の影響を受けた文章を記述していた。大気汚染の原因を内容に加え、原因物質などの記載が多くなり、さらに、今回学習した歴史的な記述が増えていた。一方、小・中学校の社会科などから得た知識と考えられる地域的な視点の記述は減っていた。また、人間の関わりや問題解決についての内容を具体的に記載した生徒が多く、自分自身の問題ととらえ自分の意見を書く生徒が出てきた。

一方、構成の面でも大きな質的变化を遂げた。学習後、課題である「三つの文」の多くは、論理的につながりを持った3文になっていた。

また、文字数で大きな変化が見られた生徒は、多くのことを学び、意欲や関心、喜びや感動、科学の力による問題解決への意志などが加わったと思われ、記載の表現内容が断片的でなく、内容を構成し、統一性をもった一つの文章に変えていた。さらに、生徒が自分の記載について評価をし、自分の学習の進歩を感じ取っていると思われる記述もあった。

以下、特徴的な生徒の例を示す。学習前「大気汚染は主に化石燃料の燃焼によって起こる。大気汚染は時間が経てば解消するというわけではない。大気汚染は喘息などの健康に被害を与えている。」(69文字)。学習後「昔は塩化水素や硫黄酸化物、窒素酸化物、粉塵、ばい煙などの大気汚染物質が大量に放出されたが、現在は回収、再利用などの技術が進んでいる。まだ対策の遅れている大気汚染物質もある。大気汚染対策として、拡散希釈を行っても解決せず、やはり、原因となる汚染物質の除去をする必要がある。」(135文字)

表2 生徒の記述内容の変化

	学習前	学習後
不適切なごく身近な例を記載した生徒	4人	0人
大気汚染の地域的内容を記載した生徒	4人	2人
歴史的な内容を記載した生徒	1人	9人
大気汚染原因の内容に具体的なものを記述した生徒	3人	13人
人類の関わりや解決についての内容を記載した生徒	6人	17人
「三つの文」の中にひとつの論理的なつながりのある記載をした生徒	2人	7人
自分の主張を「三つの文」に加えた生徒	5人	8人

## 2 まとめ

これらの結果から、学習内容が理解され、大気汚染問題に対する考えが深まっていることがわかる。このような結果をもたらしたのは、今回の

教材から次のような点の影響が考えられた。

- ① 本教材はワークシート形式であり、各自のペースで行うことができた。
- ② 順を追って学習することにより、学習内容に対して関心を持つことができた。
- ③ 各ワークシートは最後に学習の振り返りをさせる項目があり、そこで再び学習をし直す機会が得られた。
- ④ 演示実験としてのNO<sub>2</sub>発生の実験は、教材中の化学反応式とこの物質を結びつける助けとなった。

また、学習進度の速い生徒と遅い生徒の様子は特徴的であった。記述内容から進度の速い生徒は、1時間で全体を捉えるように気を配って課題に取り組んでいた。一方、進度の遅かった生徒は、1項目ずつ丁寧に回答していたが、そのため途中で時間が来てしまい、「まとめ」になっても全体像を把握しておらず苦勞していた様子であった。

学習後の感想からは学習に対して生徒が満足している様子であり、学習を通して環境問題に対する興味関心が一層広がったようであった。

## 3 今後の課題

試行授業では、グリーンケミストリーの学習内容を踏まえ、「科学技術をどのようにしたらよいと思いますか。」を小論文の形式で書かせるところにとどまったが、生徒の関心や教材に取り組む意欲が高まっている様子からも生徒相互の学びあいや意見の交換など、発展的な学びあいの場を設定していきたい。

- 1) 松原静郎他『グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力育成に関する調査研究』科研費中間報告書(課題番号 14380066) (2003) pp.136-165.
- 2) 堀哲夫「学習履歴による教育内容構成の妥当性を検討する評価方法の開発」同上書 pp.73-83.
- 3) 浦和高等学校は平成13年度文部科学省の総合学習の研究指定校であった。

「グリーンケミストリー教材の実践と評価（１）」資料

埼玉県立浦和高等学校

後藤 顕一

学習履歴シート（１）の生徒の記述

生徒	学習前の・・・「大気汚染」という語を使って文を３つ書きなさい。	前 語数	学習後の・・・「大気汚染」という語を使って文を３つ書きなさい。	後 語数
A	地球を取り巻く極薄い空間が汚染されるのが大気汚染 人体に害を及ぼすさらにいえば空気を吸って病気になるものこそ大気汚染 前文とはまた違って空気の汚れ、つまり空気を吸って臭ったり、空を眺めたとき色が違うこと（これでは黄砂もはいつてしまう）ものが大気汚染	122	現在人間が生きようとすれば必ず大気汚染を生む。しかし、技術の発展により少ない汚染で従来通りの生活が送れるようになっている。 地球上の人口爆発、また１人の人間を救うためにたくさんの化石燃料が消費されさらに今までは先進国のごとく限られた人間しか「必要とされていない燃料を発展途上国の人も同じように消費を望み現にそのように動いている。 そのまま行けば地球上で人間は生きていけるのか。そして人間が生きられない世界に変えてしまうかは２１世紀の大気汚染への取り組みにかかっていると思う。 これからやって行くべき事は科学技術を上げて行くだけではない。経済上の問題より政策上の問題、国際関係、貿易など今まで人文系として大気汚染を最も遠いものと見られてきたものの活躍が大切だろう。人間は利益や危険がなければ動かない。しかしこのもんだいはそれでは必ず失敗すると思う。一刻も早く世界中の人を巻き込むそれは口でだめなら力でも良いかもしれない。しかし一刻も早くやらなきゃならない。	426
ふりか えり	学習前も途中も酸性雨が起こることはわかっていたが、何をして、何が起これば起こるのかわからなかった。（特に化学反応式）また、よりよく解決していくための人々の反対運動、そして科学者達の努力、これからの世の中もこのようにうまくいくのだろうか。			
感想	人間は地球を破壊するためにいるようなものである。そしてもちろん人間ほどの知能によって力を得た生き物もいないのでその破壊行為をゆっくりできるのは人間だし、さらにそれを守らせ、改善できるのも自然の力を借りながら人間がやるべきことである。いってみれば事地球環境（人間の生きていく世界）を作り上げてそれを守っていくのはすべての人間の行為のみである。他の動物には悪いが人間が大気汚染で滅びたとしても自業自得であると思ってしまう。人間の歴史を長くのばしたいと思うなら２１世紀以降、自分の力を抑えてそれがあり、どれほどの力があるかを知り、かつ抑えてそれがありどれほどの力あるかを知りかつ抑えていきいけなしかないと思う。			

B	大気汚染が深刻化している。 この工場の噴煙が大気汚染を引き起こしている。 大気汚染は七大公害の一つにあげられている。	56	人間の文明が進むにつれ大気汚染原因物質も塩酸、硫黄、酸化物…と解決するのにやっかいなものへと変化している。特に近年深刻化している窒素酸化物による大気汚染は思い切った解決策が見つからず、日々泥沼化していつている。このような大気汚染への対策は科学者だけに頼りっぱなしにせず我々一人一人が関心を持って身近なところから取り組んでいかなければならない。	172
ふりかえり	今現実には起こっている環境問題を目の当たりにした。科学者達も諸対策に奮闘しているのだがそれ以上に問題が深刻化しているのがよく分かった。			
感想	今起こっている環境問題と無機化学を同時に学べたのでとても身のある学習になった。そしてとても参考になった。環境問題への関心も前より強くなったと思う。			
C	工場のけむりや車排気ガスが大気汚染を引き起こす。大気汚染は健康に良くない。 大気汚染は駄目。	45	大気汚染の主な原因はNO <sub>x</sub> とSO <sub>x</sub> でSO <sub>x</sub> 対策はできているが、NO <sub>x</sub> には未だに有効な対策ができていない。 大気汚染は19世紀前半から問題になっていて当時は塩化水素が主な原因だった。 大気汚染による被害は大きく人体には気管支炎や肺炎といった症状を引き起こす。	126
ふりかえり	学習前でもそれなりの知識を持っていたつもりだったが、実は全くと言っていいほどしなかった。			
感想	人間は罪深い生物だなあと思った。いつまでも地球で暮らしていけるようにするために絶対解決しなければならない問題だと思う。			
D	車の排気ガスなどが大気汚染の原因となっている。 大気汚染は深刻な環境問題の一つである。 大気汚染は広がっている。	54	大気汚染のほとんどは人間の活動によって生じたものにより起こっている。 人間は大気汚染の問題をほったらかしにしておいた時期もあったが今ではかなり改善されてきている。 しかし、まだ、残っている問題もある。 地球のための人類の将来のために大気汚染をもっとよくして行かなくてはならない。	136
ふりかえり	大気汚染というと工場や車から出ている煙やガスが原因で空気が汚染されその空気を吸うことにより私たちに影響をおこすものという理解のしかただったが、これをやってみて詳しい原因や人間がただガスを捨てていたわけではなく努力をして今の状態になっている事が分かった。			
感想	今後は大気汚染のニュースなど興味がみられると思った。			

E	<p>現在、大気汚染は我々にとって深刻な問題である。大気汚染は自動車や工場などから排気に含まれる化学物質などにより起こる。</p> <p>大気汚染を防ぐには企業などの集団、我々個人すべての人間による努力が必要である。</p>	97	<p>大気汚染は森林破壊土壌汚染など環境を破壊するだけでなく、気管支炎など人間の体にも大きなダメージを与える。</p> <p>大気汚染は人間が利益ばかりに目を取られ、廃棄物の処理をせずに有害なまま生態系への影響を考えずに放出したため発生した。</p> <p>有害な廃棄物の処理法は様々な工夫の末考えられてきたが、硫黄酸化物などについてはまだ有効な対策がとられていない。たとえ、費用や時間がかかっても、必ず排出物に処理を加え、無害にする、または再利用することが大気汚染を防ぐことにつながる。</p>	225
ふりかえり	<p>今回聞いたことはあっても具体的にはほとんど知識の公害問題について初期から最近まで順を追って学べたことで大気汚染などはごく最近発生した歴史の浅いもので、また初歩的なミスから始まったものだとわかった。逆に、このことで、これからどれほど環境汚染は進むだろうと怖くも感じた。学習前より高い次元で自分がどうすべきか考えるようになった。</p>			
感想	<p>大気汚染や公害について新聞や本、学校などで見たり、いわれたりしてきたが、実際のところ具体的には何が原因で、何をどうしたらふさげるかはほとんど知らなかった。だが、今回それについて学んだことで多少なりとも理解を深められた。だんだんともっと深いところを学んでみたいと思った。</p>			
F	<p>大気汚染の原因は工場や車から出る排ガス（SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>など）である。</p> <p>大気汚染では深刻な問題はダイオキシンである。</p> <p>大気汚染は生物に害を与える。</p>	70	<p>大気汚染の原因である塩化水素はヴィルドン法やアンモニアソーダ法などで解決した。</p> <p>大気汚染の原因である硫黄酸化物は排煙脱硫や原油脱硫で解決した。</p> <p>大気汚染の原因である窒素酸化物を解決するには排煙脱硝法、同時脱硫、脱硝法があるが、自動車から発生する発生するNO<sub>x</sub>は発生源が固定されないため解決されてない。</p>	148
ふりかえり	<p>学習前は大気汚染を解決するには原因物質をあまりださないようにする条例化なんかで解決していると思っていたが、学習していき、原因物質が出ないようにする化学反応で解決法があると知って化学はすごいと思った。</p>			
感想	<p>化学物質は反応によって汚染物質にも環境に優しい物質にもなることを知って化学はおもしろいと思った。</p>			
G	<p>大気汚染とは車の排気ガスや工場などから出る煙で空気が汚れることだと思っている。大気汚染が起こると生物に悪影響が及ぶ。特に本で調べたことがないから詳しいことが全く分からないが一人一人意識しないと解決されない問題だと思う。</p>	109	<p>車の排気ガスや工場の煙が大気汚染の原因という漠然としたことは分かっていたけれどその中に含まれるNO<sub>x</sub>やSO<sub>x</sub>が人体に悪い影響を与えることや、これらの物質のたちの悪さ（安全な物質に帰るための難しさや手間がかかること）がよくわかった。大気汚染をすっかりなくすのはやはり難しいが、努力すれば極力少なくすることができることがわかった。大気汚染が発生するのは対策を立てない、または曖昧なままであるからなのでもっと法律を制定したり規制をしたりするべきだと思った。</p>	225

ふりかえり	大気汚染の対策についてはほとんど何も考えていないのかと思ったら科学者や政府が対策を規制を予定していたことがわかった。それでもまだ大気汚染がさげばれているということは決定的な対策がないんだと思った。			
感想	今まで漠然としていたことがはっきりして良かった。そのおかげでやはり大気汚染を解決するのは難しいということがよくわかった。			
H	工場の排ガスにより大気汚染が起こる。 大気汚染によって雨が酸性になる。 大気汚染は人体に害を与える。	48	大気汚染はNO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> などの化合物が空気中に大量に混ざることによって起こる。 大気汚染対策には原因となる化合物の分解や解散などがある。 大気汚染が引き金となりまた別の種類の公害を引き起こすこともある。	99
ふりかえり	学習前は「大気汚染」といえば単に空気が汚れるだけかと思っていたがその「汚れ方」や「汚れそのものの正体」など様々であることを学習しながら知ることができた。今までは「大気汚染」という問題は戦後の高度成長時代の時に発生しはじめたものだと思っていたが意外と昔からあるようで驚いた。またその「大気汚染」を世の中の人はずいぶん最近までほったらかしていたのかと思っていたが、(悪化する一方だったので) ずいぶん昔から研究を続けていることを知り驚いた。			
感想	新しく知識として取り入れることの内容も多く、充実していた。			
I	大気汚染は主に化石燃料の燃焼によって起こる。 大気汚染は時間が経れば解消するというわけではない。 大気汚染はぜん息など健康に被害を与えている。	69	昔は塩化水素や硫黄酸化物、窒素酸化物、粉塵、ばい煙などの大気汚染物質が大量に放出されたが、現在は回収、再利用などの技術が進んでいる。 まだ対策の遅れている大気汚染物質もある。 大気汚染対策として、拡散希釈を行っても解決せず、やはり、原因となる汚染物質の除去をする必要がある。	135
ふりかえり	最初は大気汚染対策は昔と比べてあんまり進んでいないと思っていたが、この学習を行ったあとは、昔の状態のまま現代に至ったらやばいことになっていたと思った。			
感想	資料を元に説明したりまとめたりするのが思っていた以上に大変だった。			
J	環境問題の一つに大気汚染がある。 大宮の三橋は大気汚染がひどい。 「屁」は大気汚染だろうか。	44	一言「大気汚染」といっても原因物質によっていろいろな種類がある。 大気汚染の原因は解決されないものがある。 大気汚染は酸性雨など多の公害とも関連している。	75
ふりかえり	一言で公害といってもいろいろな種類がある。その事を知っただけでも学習して良かったと思う。空気に包まれて生活している人間が、その空気を汚し、しかもそれで解決してきた姿が分かった。			
感想	公害は今までいろいろな方法で解決されてきたがまだ解決していない方法もある。これから自分たちの世代が解決していかなければならない問題だと思った。			
K	大気汚染は息苦しい。 大気汚染は火力発電所の影響がある 大気汚染は工業国でひどい。	39	現在の未解決の大気汚染原因は窒素酸化物。 中には解決された大気汚染物質もある。 大気汚染のスモッグの性で死者すら出たこともある。	62

ふりかえり	人間は環境問題に対して何もできなかったのかと思っていたけれど、人間の手で解決された問題もあったのだと知って少しうれしかった。今は未解決でもいつまでも未解決だなんて事はないのだと思えた。			
感想	大気汚染について詳しいことをしれてよかった。			
L	大気汚染は最も重要な地球環境問題の一つである。 大気汚染はNO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> が原因。 大気汚染はのどが痛くなる。	52	高煙突の工場を建設したら大気汚染地域が広がった。 18, 19世紀のヨーロッパでは大気汚染物質が大量に大気中に排出された。人間活動によって大気汚染が起こる。	76
ふりかえり	これまでの歴史の中でいろいろな大気汚染がありそれに対して人類がとってきた様々な対策は大変興味深い。			
感想	大気汚染の事実を知ることとはとても大切であるということが分かった。			
M	ますます大気汚染がひどくなる。 私が大気汚染問題を解決します。 あなたの存在は大気汚染。	42	大気汚染によって公害が発生する。 科学の発展と共に大気汚染も深刻になっていった。 私が大気汚染を解決してみたいな。	55
ふりかえり	学習前・大気汚染のことを知らなすぎた。大気汚染とは空気がよごれてきたなくて見た目が悪いだけかと思っていた。人体に害があるなんて…。酸性雨になるなんて…。解決されつつあることも知らなかったし。			
感想	前回の総合学習では生物を取ったにも関わらず、ひたすら英語を訳していて話の内容もわからなかった。それに比べれば内容の充実した時間だった。が、化学室でやった方がモチベーションがあがる気がする。			
N	最近自動車や工場から出る排ガスによる大気汚染が問題となっている。 大気汚染防止のためには個人個人が努力しなければならない。 大気汚染は環境だけではなく人体にも悪影響を及ぼす。	85	大気汚染は時代ごとの産業を背景にどんどん変わってきた。 その主なものとしては、炭酸ナトリウムをルブラン法によって生成する工場から出るHCl、金属精製の時に生成するSO <sub>x</sub> など大気汚染は自動車が主な原因であるNO <sub>x</sub> だけとなった。	111
ふりかえり	学習前の知識は単に自動車や工場などの排気ガスが大気を汚しそれが酸性雨の原因になったりするというものだった。学習を進めていく内に、過去の大気汚染やその解決策を具体的に理解していくことができた。なぜ、どの様に発生するのかを知り、単純でないこともよくわかった。学習後の今では、より深い見識から、大気汚染について考えられそうだ。			
感想	人間が何か作るときにその副生成物としていろいろな化学物質が生じるのは当たり前でそれをうまく処理したり、再利用する努力や、汚染物質が出る前にそれを取り除いてしまうなど、よりよい方法が採用されてきている。このまま研究を進めて体制を整えば今問題になっている大気汚染は止まると思う。			
O	大気汚染については国際的な協力が問題の解決に不可欠である。 日本で有名な大気汚染による健康被害は三重県における四日市ぜん息である。 大気汚染の主な原因は工場からの煙や自動車からの排気ガスに含まれる有害物質だと思う。	105	大気汚染の原因は塩化水素や硫酸化物、窒素酸化物である。 大気汚染は人体だけでなく地球環境にも多大な被害を与える。 技術の進化により、工場からの大気汚染物質の回収ができるようになったが、技術の進化が新たな問題を生じているのも事実である。	116
ふりかえり	漠然としていた「大気汚染」がどのような経緯で問題が表面化し、どのような方法によって解決(?)されていたかがはっきりと分かった。			

感想	学習前の例文は有害物質が原因であるなど曖昧な文だったが、学習を終えたあとの文は具体的に書けている。言葉だけで知っていたことが化学式を見ることで原理が理解できた。			
P	大気汚染の主な原因は工場や車から出る排気ガスです。 大気汚染は改善しなくてはいけない。 地球規模で大気汚染について考えられている。	63	大気汚染の原因物質は様々だが、そもそも人間のせいである。 大気汚染は自然には解決しない。 大気汚染は人間が解決しなくてはいけない。	64
ふりかえり	学習前では大気汚染において他人任せだったが学習を初めて大気汚染が思っていたよりも身近な問題だと気づいた。そして学習をし終えて自分たち自身も真面目に大気汚染について考えるべきだと思っている。			
感想	今後もまた必ず新しい大気汚染が起こるだろうが、その問題についてもかならず解決するのが大切だと思う。			
Q	中国の産業構造は大気汚染を引き起こしやすい。 蒸気機関車から発せられる煙は大気汚染のもとである。 大気汚染が最も日本で進行しているのは東京だ。	69	大気汚染は近代的工業と密接な関係がある。 大気汚染には主にNO <sub>x</sub> による汚染と、SO <sub>x</sub> による汚染の2つがある。 現代には大気汚染に敏感だ。	66
ふりかえり	文系的アプローチから行くと公害の大発生が行った時期が「近代」の終わりであったと思います。つまり、「大きな物語」が終焉を遂げ現代が始まったのではないかと思います。科学に基づいた近代工業はどこまでも発展していく（それに経済も）人類の歴史は発展の歴史であるといった見方が減んだのでした。現代とは「限りある時代」でやはり流れはエコロジーにあるようです。つまりどれだけ工業による汚染をくい止めるか、これが課題です。これからは化学も悪もの扱いされるわけではないでしょう。			
感想	化学と産業の密接な歴史を知った。とても楽しい。環境汚染というのを知るのに役立つと思う。			
R	大気汚染は体にとっても悪い気がする。 大気汚染はぜん息を引き起こす一つの原因である。 高校の旧体育館の中は大気汚染なのかなんのか。	64	NO <sub>x</sub> は大気汚染の原因の深刻な物質。 大気汚染は人の方できっと何とかなるものである。 大気汚染を解決するのは俺様だ。	56
	大気汚染と聞くと空気が汚くなるだけかと思っていたけれどそうじゃなくて酸性雨とかその他の問題も発生しているんだなと思った。			
	大気汚染を防ぐには一番にNO <sub>x</sub> の問題を解決することが重要だと思った。			
S	工場からの煙や自動車の排気ガスによって大気が汚されることを大気汚染という。 大気汚染の原因物質はNO <sub>x</sub> 、SO <sub>x</sub> である。 最近ディーゼル車の排気ガスに含まれる（黒いヤツ）による大気汚染を減らそうと東京都ではディーゼル車にはある特殊な装置をつけるよう義務づけた。	127	大気汚染はもともと自然界に存在していた物質でも起こる。 大気汚染は発生してからそれが解決するまでに長い時間がかかる。（具体的な解決方法を見つける） 大気汚染はやはり人間の手によって起こされる。	94
ふりかえり	大気汚染が起こって原因が分かったら対策法が出るまでやめればよいと何度も思った。似たような失敗を繰り返していること、対策を行って悪化するなどなんだか馬鹿らしく思えた。			
感想	いままであやふやだった大気汚染のことが少し深く理解できたと思う。夏によく聞く光化学スモッグの正体がわかって何だか感動した。			

## グリーンケミストリー教材の実践とその評価（２）

○野内頼一<sup>A</sup>，堀哲夫<sup>B</sup>，久保博義<sup>C</sup>，松原静郎<sup>D</sup>

NOUCHI Yorikazu<sup>A</sup> HORI Tetsuo<sup>B</sup> KUBO Hiroyoshi<sup>C</sup> MATSUBARA Shizuo<sup>D</sup>

茨城県立伊奈高等学校<sup>A</sup>，山梨大学教育人間科学部<sup>B</sup>，東京都立西高等学校<sup>C</sup>，国立教育政策研究所<sup>D</sup>

要旨：「グリーンケミストリーの教材の開発ー大気汚染問題とその解決ー」において開発されたワークシートを用いて課題学習として実践した。その際、学習履歴シート等を使って、グリーンケミストリーの考え方をどの様に理解したのかを自覚させることも試みた。生徒は本教材の学習によりグリーンケミストリーの考えの重要性を認識できていた。

キーワード：グリーンケミストリー，高等学校，化学教育，環境教育，学習履歴シート

### 1 調査方法

茨城県立伊奈高等学校第3学年ですでに推薦で進路決定した生徒6名を対象に、開発してきた「大気汚染問題とその解決」に関する教材を課題学習として実施した。生徒へは、ワークシート及びその資料<sup>1)</sup>と、学習履歴シート<sup>2)</sup>を配布し回答させた。さらに、最後の

時間に自己分析シートへ記入させた。それらの記述から教材に対する評価を試みた。

学習履歴シートとは、A3判用紙1枚に単元の前後で単元のキーワードについて知っていることを書かせたり、各時間終了ごとに学習内容を振り返って要約させたりするシートで、記述内容で自分の学習を意識化させる。

実施日時	配布WS等	実践内容
1/28 (火) 1/29 (水)	導入WS：大気について考えるWS WS1,2を始める前に： 過去の大気汚染問題の理解と解決 (HCl問題を中心に) ----- WS 1：硫化水素の問題 (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )の古い製造法 WS 2：硫化水素の汚染の問題解決 (アンモニアソーダ法)	・導入WSを配布して生徒に読ませた後、学習履歴シートを配布 ・「大気汚染」を使って3文を書く課題を実施 ・学習履歴シートのねらいと利用の意味を説明 ・WS1,2と資料 No.11～15, 21を配布し課題学習として開始 ・各WSが終わった時点で生徒には学習履歴シートの【学習した内容】を要約する課題へ ・2時間で終わらなかった箇所は家庭学習とする
1/30 (木)	WS3,4を始める前に：現在の大気汚染問題の理解と今後の解決に向けて ----- WS 3：硫黄酸化物について WS 4：窒素酸化物について	・WS3,4と資料 No.31～34, 41～43, 51～52を配布して課題学習とする
1/31 (金)	WS 5を始める前に：WS 1～4までのまとめ ----- WS 5：グリーンケミストリーとリスク評価	・WS 1～4と学習履歴シートの状況を確認し、一人一人に簡単にアドバイス ・【WS 5を始める前に】とWS 5を手渡し家庭学習とする
2/3 (月)		・WS 1～5と学習履歴シートの状況を確認 ・自己分析シートを渡し、今までの自分の学習を再度振り返り自己分析シートに記入

シートは毎時間回収し、次の時間に配布する。要約の記述から、毎時間の生徒の学習状況を把握することも簡単にできる。

自己分析シートとは、最後の時間に書かせたシートである。そこでは、教材に取り組んで自分でプラスになったこと、この教材について思うこと、この教材を高校生が学習すること、以上3点について書かせた。

なお、本教材を課題学習として進めていくのにかかった時間は、生徒の自己申告によるとワークシート1～4が4～6時間、ワークシート5は1時間程度、自己分析シートも1時間程度であった。

## 2. 調査結果と考察

### (1)教材内容

① 自己分析シートの記述から、生徒にとって本教材がグリーンケミストリーの考え方の重要性を学ぶとともに、なぜ化学を学ぶのかを考えるよい機会となったと思われる。例えば、次のような記載があった。

「この教材を学ぶことにより、今の地球上にある環境問題の現状、これまでにとられてきた対策の過程やその効果など、これからの社会を生きていく人々にとって欠かすことのできない知識を養っていくことができるのでとてもいい教材だと思うし、自分にとっても自分の意見を持つことと、学ぶ大切さを知ることができるのでいいと思う。」

「学んだことは社会に出てから、いつになるかわからないが役に立つときがくると思う。役に立つときがなかったとしても、今回環境についてのあり方を学べただけでも自分には十分プラスである。」

② ワークシートで回答すべき内容は資料の中に記載されているので、丁寧に読んでいけば着実に進むことができ、課題学習形式での授業でも、2回の個別指導を入れることで学習が成立した。

この際、教師が「資料をよく読み取れてるね。」「自分なりによく考えてるね。」と机間巡視で声をかけたり、回答したことを認めるようにすることなども加わって、その後の取り組みの様子から意欲が喚起され、生徒の学習のモチベーションを維持することも出来たと思われる。

### (2)学習履歴シート

① 学習履歴シートの感想の記載から、1枚の紙に自分の学習内容が積み重ねられており、自らの進歩が実感できることが認められた。例えば、次のような記載があった。「ワークシートで自分が調べたことを書いた上で要約などをやるので、自分の力がどれだけついたかをチェックできるので良いと思う。」

② 教師が生徒の学習状況を短時間で把握することができ、個別指導を行う時に有効であった。

### (3)自己分析シート

① 生徒の記述量はこの類の記述としては多く、例えば、「教材に取り組んでプラスになったこと」に対しては最高248字、最低141字、平均186字であった。

② 生徒の記述から、本教材による学習を意義深いものとしてとらえてる生徒が多かった。例えば、次のような記載があった。

「今までグリーンケミストリーという言葉すら聞いたことがなかったが今回、この教材に取り組んだことで、その言葉の意味、そして重要性が分かることが出来た。他にも、環境問題について全く無知だった自分が少しは知ることが出来たと思う。」

1) 松原静郎他『グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力育成に関する調査研究』科研費中間報告書(2003) pp.128—165.

2) 堀哲夫「学習履歴による教育内容構成の妥当性を検討する評価方法の開発」同上書(2003) pp.73—83.

## グリーンケミストリー教材の実践とその評価（2）資料

茨城県立伊奈高等学校 野内頼一

### 1 調査方法

茨城県立伊奈高等学校第3学年ですでに推薦で進路決定した生徒6名を対象に、開発してきた「大気汚染問題とその解決」に関する教材を課題学習として実施した。生徒へは、ワークシート及びその資料と、学習履歴シートを配布し回答させた。さらに、最後の時間に自己分析シートへ記入させた。それらの記述から教材に対する評価を試みた。

学習履歴シートとは、A3判用紙1枚に単元の前後で単元のキーワードについて知っていることを書かせたり、各時間終了ごとに学習内容を振り返って要約させたりするシートであり、記述内容で自分の学習を意識化させる。

シートは毎時間終了時に回収し、次の時間に再度配布する。要約の記述から、毎時間の生徒の学習状況を把握することもできる。

自己分析シートとは、最後の時間に書かせたシートである。そこでは、教材に取り組んで自分でプラスになったこと、この教材について思うこと、この教材を高校生が学習する意味の、以上3点について書かせた。

なお、本教材を課題学習として進めていくのにかかった時間は、生徒の自己申告によるとワークシート1～4（4～6時間）、ワークシート5（1時間程度）、自己分析シート（1時間程度）であった。

実施日時	実践内容
1 / 28 (火)	・ 導入WSを配布して生徒に読ませた後、学習履歴シートを配布
1 / 29 (水)	・ 「大気汚染」を使って3文を書く課題を実施 ・ 学習履歴シートのねらいと利用の意味を説明 ・ WS1,2と資料 No.11～15, 21を配布し課題学習として開始 ・ 各WSが終わった時点で生徒には学習履歴シートの【学習した内容】を要約する課題へ ・ 2時間で終わらなかった箇所は家庭学習とする
1 / 30 (木)	・ WS3,4と資料 No.31～34, 41～43, 51～52を配布して課題学習とする
1 / 31 (金)	・ WS 1～4と学習履歴シートの状況を確認し一人一人に簡単にアドバイス ・ 【WS 5を始める前に】とWS 5を手渡し家庭学習とする
2 / 3 (月)	・ WS 1～5と学習履歴シートの状況を確認 ・ 自己分析シートを渡し、今までの自分の学習を再度振り返り自己分析シートに記入

## 2 学習履歴シート

### 学習履歴シート

学習前

「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください。

- ・大気汚染は電気を送るための火力発電や車の排気ガスが原因だ。
- ・現在、北道国々から大気汚染に悩まされている。
- ・大気汚染についての動植物への影響が心配されている。

5組 番

氏名

ワークシート 1

学習した内容を要約してください。

1) 北道は、H2Oの生産のどの1/3が、北道にH2Oの生産汚染がした。H2Oは有害な人体に影響があり、動植物に於いて生体への影響と有害なH2Oの生産汚染が北道の問題を解決する必要がある。

2) 北道は、H2Oの生産汚染が、H2Oの生産汚染を解決する必要がある。

ワークシート 2

学習した内容を要約してください。

1) 北道は、H2Oの生産汚染が、H2Oの生産汚染を解決する必要がある。

2) 北道は、H2Oの生産汚染が、H2Oの生産汚染を解決する必要がある。

ワークシート 3

学習した内容を要約してください。

1) 北道は、H2Oの生産汚染が、H2Oの生産汚染を解決する必要がある。

2) 北道は、H2Oの生産汚染が、H2Oの生産汚染を解決する必要がある。

ワークシート 4

学習した内容を要約してください。

1) 北道は、H2Oの生産汚染が、H2Oの生産汚染を解決する必要がある。

2) 北道は、H2Oの生産汚染が、H2Oの生産汚染を解決する必要がある。

学習後

この学習で何を学びましたか。「大気汚染」という語を使って文三つ書いてください。

- ・大気汚染は、電気を送るための火力発電や車の排気ガスが原因で起こる。
- ・大気汚染は、酸性雨や光化学スモッグなどの問題が起こる。
- ・大気汚染は、動植物に大きな影響をおよぼす。

学習前—学習中—学習後をふり返って、あなたはどのように思いますか。自由に書いてください。

- ・大気汚染は昔も今も人間の活動によって引き起こされている。人間だけではなくて他の動植物も被害を受けている。早く大気汚染を解決して、被害をうけた人間以外の動植物をもとにもどさなくてはいけないと思います。大気汚染についてこれからも色々考えてみようと思いました。
- ・学習前は大気汚染についても表面的な部分でしか理解しておらず、その原因や状況などは知らなかったけど、学習していく中でその原因や被害などを知ることができ、大気汚染には酸性雨、ダイオキシンなど色々な種類があり、学習したことにより環境問題に興味を持った。
- ・学習前は大気汚染と言われても、想像できる言葉などまったくわからなかった。学習中は何が大気汚染の原因になっていたのかもわかっていなかったので自分は無知だなあと感じた。学習後は大気汚染について少しは理解することができたと思った。
- ・学習前は大気汚染といっても単に車から出る排気ガスや工場から出る煙が悪いとだけしか思ってなかったが、学習してみて車から出る何の物質が原因なのかとか、大気汚染によって起こる人体の影響とかも学べた。
- ・はじめは面倒だなあと思っていたが、やっているうちにいろんなことが分かりとてもためになった。
- ・被害の出る前にくい止めるべきだった。

以下、それぞれのシートにあるいくつかの項目に対する生徒の回答を記す。

- 学習前—学習中—学習後をふり返って、あなたはどのように思いますか。自由に書いてください。
- A 大気汚染は昔も今も人間の活動によって引き起こされている。人間だけではなくて他の動植物も被害を受けている。早く大気汚染を解決して、被害をうけた人間以外の動植物をもとにもどさなくてはいけないと思います。大気汚染についてこれからも色々考えてみようと思いました。
  - B 学習前は大気汚染についても表面的な部分でしか理解しておらず、その原因や状況などは知らなかったけど、学習していく中でその原因や被害などを知ることができ、大気汚染には酸性雨、ダイオキシンなど色々な種類があり、学習したことにより環境問題に興味を持った。
  - C 学習前は大気汚染と言われても、想像できる言葉などまったくわからなかった。学習中は何が大気汚染の原因になっていたのかもわかっていなかったので自分は無知だなあと感じた。学習後は大気汚染について少しは理解することができたと思った。
  - D 学習前は大気汚染といっても単に車から出る排気ガスや工場から出る煙が悪いとだけしか思ってなかったが、学習してみて車から出る何の物質が原因なのかとか、大気汚染によって起こる人体の影響とかも学べた。
  - E はじめは面倒だなあと思っていたが、やっているうちにいろんなことが分かりとてもためになった。
  - F 被害の出る前にくい止めるべきだった。

3 ワークシート5について(学習履歴シート2)

将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それはなぜですか。

学習履歴シート2

3年 組 氏名 \_\_\_\_\_

その5で学習した内容を要約してください。  
 グリーンケミストリーとは、地球環境ややさしい化学のことである。  
 今までの有害物質削減による環境汚染防止だけでなく、  
 少々の資源・反応工程・有害物質削減なしで生産可能な原理と方法論で  
 化学の発展を望む方向と違わなくために研究所・産業界に役立つ  
 ための詳細な科学的な見解や考え方が多くの人々に必要である。

将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それはなぜですか。  
 今、人間が生活のために使っている科学技術をグリーンケミストリーに  
 変えていくことが大切だと思います。しかし、それ以上に人間が科学技術  
 を使ったことで自然環境を壊してきている科学ができて、  
 それを止めること(グリーンケミストリーによって有害物質が排出  
 されなくなる)も、今までの壊れた自然環境を止めるには必要です。  
 1つ、科学技術による未発達な技術の援助が必要だと思います。  
 発達途上国では、未発達な技術でなければ環境も破壊し  
 ないので、技術を援助すべきだと思います。

学習しての感想を書いてください。  
 科学技術によって、物質的に豊かになったとしても、本当の豊か  
 さはないと思います。地球上の生物が失われ、地球が生物が  
 居るものを交換しなくなることは、本当に豊かな世界とは言えない  
 今までの、地球や他の生物から、うけとる科学がグリーン  
 ケミストリーに変わること、本当に豊か世界になるための第一歩  
 かもしれません。

A 今、人間が生活のために使っている科学技術をグリーンケミストリーに変えていくことが大切だと思う。しかし、それ以上に人間が科学技術を使って壊してきた自然環境をもっともどす科学ができればもっとよいと思う。

(グリーンケミストリーによって有害な物質が排出されなくなっても今までに壊れた自然は戻らないから)そして科学技術による、未発達な技術の援助も必要だと思う。発達途上国では、未発達な技術でよけいな分も環境を破壊しているので、技術を援助すべきだと思う。

B 将来、科学技術はますます発展していくと思うので便利性だけを追求していただくだけでなく、環境にやさしく科学者だけの意見ではなく一般の人々の意見を取り入れて親しみのある科学技術を創造すべきだと思う。

C 化学者が研究を重ねてつくったものがそれが無害だといってもそれを一般のひとたちが正確に理解することが必要になってくると思う。そうすれば、それがどのような物質でどんな化学薬品が無害であるかを一般の人たちに認識させることができるからだ。

D より一般の人々にも広がりみんなが幅広い知識を持って環境問題にもみんなが関心を深めるようになればグリーンケミストリーの重要性が分かり環境にも良くなっていくと思う。

E 動物植物はもちろん人間にとって地球にとってやさしい科学技術にすべきであると思う。これからも共に生きていくものであるから。

F 環境汚染のない科学技術を発達させていくべきである。このまま汚染がすすんでいけば地球に住むことができなくなってしまうからである。

<p>学習しての感想を書いてください (学習履歴シートより)</p>
<p>A 大気汚染については、保健体育や家庭科の授業を聞いて少しだけ知っていたけど、化学の側から調べてみて「大気汚染」の危険性についてよくわかりました。大気汚染物質のほとんどが授業で有毒と学んだ気体なのでとてもこわくなりました。</p>
<p>B 環境問題について学んでいく上で世の中には様々な問題があり、自分の知らないことが数多くあったが、学習したことにより多くのことを学び、また学ぶ楽しさを知ることができた。</p>
<p>C 日本の大気汚染の過去や現在の問題にふれることができてよかったとう。</p>
<p>D 大気汚染も色々な原因があるのでおどろいた。</p>
<p>E 実験やこういうプリント学習はとてもいいと思う。</p>
<p>F 自分にも関係がある重要な問題だと思った。</p>

<p>学習しての感想を書いてください。 (ワークシート5 「学習履歴シート2」より)</p>
<p>A 科学技術によって、物質的に豊かになったとしても本当の「豊かさ」ではないと思う。地球上の生物が共存し地球と生物がお互いに色々なものを交換しあえることが本当の豊かな世界と言えると思う。今までの、地球や他の生物から奪うばかりの科学からグリーンケミストリーに変わることは、本当に豊かな世界になるための第1歩かもしれないと思う。</p>
<p>B 現代では、環境問題などの問題に対して、科学と技術の関連性が高まっており、グリーンケミストリーなどのように環境汚染に対する方針も変化していった。これからの科学技術が望ましい方向に進んでいっていると思った。</p>
<p>C これからは、地球を守る科学技術が必要不可欠なものになってくると思った。</p>
<p>D リスクをうまく除いてグリーンケミストリーが促進されていけば環境問題も少しずつ減少されていくようにう。</p>
<p>E 生活が便利になっていく上で環境が壊れていく一方だと思っていたがグリーンケミストリー（環境にやさしい化学）などがあると思っていたので驚いた。もっとそういうのが増えていけばいいなあと思った。</p>
<p>F グリーンケミストリーという言葉をはじめて知った。その12か条を守っていけばより住みやすく快適な生活ができるようになると思った。</p>

## 4 自己分析シートについて

### ①自己分析シートのねらい

ふり返りが定着しさらなる深まりを持たせるためには何回か形をかえてくりかえす必要があるのではなかろうかという予想と、また、高校生の眼にはこの教材がどのようにうつるのかを深く考察するための判断材料としたいと考えた。

### ②実施状況

学習履歴シート2までの学習を終え、達成感を持っているせい積極的に取り組んでいた。

### ③自己分析シートの位置づけ

学習履歴シート1による学習のふり返り、そして学習履歴シート2による自分なりの学習のまとめのうえに成り立っているもので、さらなる自分の掘り起こしととらえればそれぞれの学校の実態に合わせて、生徒から何を引き出したいのかをあきらかにして、項目を設定して取り組めば次への学習のステップとして大いに活用できると考えた。

自己分析シートの記述を以下に記す。

この教材に取り組んで自分にとってプラスになったと思うことを自由に書いて下さい。

A 今まで保健体育や家庭科で少し学んだ大気汚染という問題を化学の面から調べてみて、この問題は身近でとても危険だということが分かりました。さらに、昔の大気汚染についても調べ、問題の解決のために私たちがしなければならないことについてあらためて考えるきっかけになりました。環境破壊を防ぐために、グリーンケミストリーはとても大切で、今の科学技術がグリーンケミストリーにもとずいたものになるためには私たち自身が真剣に考え対策をしていかなければならないということに気がつき、自分でも何かをしようと思います。

B 自分にとって1番プラスになったことは、今まで真剣に何かに取り組むということがなかったのでこの教材を学んだことにより学ぶ楽しさを知り、1つの物事に対して真剣に取り組む自分の考えを持つという大切さを知った。他にも今の地球上にある環境問題の現状を知り環境問題に興味を持つことができ、何より地球を大切にすることを覚えました。

自己分析シート  
名前( )

1 この教材にかかったおおよその時間を書いて下さい。  
ワークシート1~4 ( 4.6 ) 時間  
ワークシート5~学習履歴シート2 ( / ) 時間  
自己分析シート ( 0.5 ) 時間

2 この教材に取り組んで自分にとってプラスになったと思うことを自由に書いて下さい。

今まで保健体育や家庭科で少し学んだ大気汚染という問題を化学の面から調べてみて、この問題は身近でとても危険だということが分かりました。さらに、昔の大気汚染についても調べ、問題の解決のために私たちがしなければならないことについてあらためて考えるきっかけになりました。環境破壊を防ぐために、グリーンケミストリーはとても大切で、今の科学技術がグリーンケミストリーにもとずいたものになるためには私たち自身が真剣に考え対策をしていかなければならないということに気がつき、自分でも何かをしようと思います。

3 この教材について思うことを自由に書いて下さい。

環境問題は身近でとても危険だということに気がつき、自分でも何かをしようと思います。環境破壊を防ぐために、グリーンケミストリーはとても大切で、今の科学技術がグリーンケミストリーにもとずいたものになるためには私たち自身が真剣に考え対策をしていかなければならないということに気がつき、自分でも何かをしようと思います。

4 この教材を高校生が学習することについて自由に書いて下さい。

環境問題は身近でとても危険だということに気がつき、自分でも何かをしようと思います。環境破壊を防ぐために、グリーンケミストリーはとても大切で、今の科学技術がグリーンケミストリーにもとずいたものになるためには私たち自身が真剣に考え対策をしていかなければならないということに気がつき、自分でも何かをしようと思います。

- C 今までグリーンケミストリーという言葉すら聞いたことがなかったが、今回この教材に取り組んだことで、その言葉の意味そして重要性がわかることができた。ほかにも環境問題について全く無知だった自分が、少しは知ることができたと思う。このことは、大学に行ってから社会にでてから、いつになるか分からないが役にたつ時がくると思う。役にたつ時がなかったとしても、今回この教材に取り組んで環境についてのあり方を学べただけでも自分には充分プラスである。
- D これから大学に進学したら農学の勉強をするので今回の教材は環境問題とかよく学べたので自分にとってすべてプラスになったと思う。グリーンケミストリーについて学んだのでそれを進学してからもさらに詳しく学んで、将来につなげていきたいと思う。色々なリスクはあると思うけどそれを除いてグリーンケミストリーを推進していければいいと思う。
- E 化学の授業でよく出てくる名前の物質が環境にとって悪影響を及ぼしていることにとっても驚いた。環境汚染の裏では私たちの生活の便利さが大きな原因の1つになっているので自分の生活を改めたいと感じた。また、グリーンケミストリーなど地球のためにやさしい化学などがあることを知ることができてプラスになった。
- F 今までに聞いたことのある環境汚染の問題となった物質の発生する仕組みを知ることができた。またその解決法として色々なことをためし、それがさらに悪影響を引き起こしたことがあったのには驚いた。何か発明した時にはその後どのような問題が発生するのか考えなくてはならないと思った。

この教材について思うことを自由に書いてください。

- A 資料やまとめるプリントはわかりやすく、まとめやすかったです。まとめるプリントに余白が多かったのも自分で内容を書き足していくことができて便利だったです。ワークシート5の資料が特に新しい知識として知ることができてよかったです。資料の四角でかこってある年表だけが少しわかりにくかったです。自分で年表をつくってみるほうが自分にとってわかりやすく調べ学習をする上でいいかもしれません。(年表をつくるもワークシートにいれたらいいと思います。)
- B この教材を学ぶことにより、今の地球上にある環境問題の現状、これまでにとられてきた対策の過程やその効果など、これからの社会を生きていく人々にとってかかすことのできない問題への知識をやしなっていくことができるのでとてもいい教材だと思うし、自分にとっても、自分の意見を持つことと、学ぶ大切さを知ることができるのでいいと思う。
- C この教材によって、今までの環境問題、そしてその解決方法、これからの環境問題の対策法が化学という視点から見ることができた。これから研究者や化学者を志す人、そうでない人にとっても、人として自分たちが生きていく地球の環境問題について学ぶことは非常に意味のあることだと思った。
- D 詳しく調べられたし自分のペースで学習できたのですごくよかったですと思う。

- E 環境などをテーマにしてあるので教科書で調べたりしてまとめることは個人にとってプラスになることが多い。余白欄が十分にあり自分の考えを残すことなく書くことができるので良いと思う。今回のワークシートでは環境汚染の奥の奥まで知ることができたのでこれから、環境という分野を違う目で見ることが出来そう。
- F 昔問題になった汚染物質や今問題となっている汚染物質について知ることが出来た。これまでの地球でおきた汚染を考えるいい機会だった。

この教材を高校生が学習することについて自由に書いて下さい。

- A 色々な面から環境問題を調べることは良いことだと思います。他の環境問題についても調べてみたいです。夏休みや冬休みなどの長期休業に一人一人テーマを決めて環境問題などを調べるのも現実に役に立つ宿題になっていいと思います。高校生以外にももっと簡単な形で小学生、中学生がやってみてもいいと思います。そうすれば、年齢のちがう学生の考え方のちがいも分かっていいと思います。
- B 今の高校生は地球上の環境問題に対しての現状を知らない人が多いのでこの教材を学ぶことによりこれからの社会をになう世代である高校生たちに人類の永遠のテーマである人間と自然の共存方法を提案させこういった問題に対処できるすぐれた人材をつくるためにも、こういった教材は必要不可欠だと思う。
- C 高校生のうちからこのような環境について学習するのはとてもよいことだと思う。環境問題というのは、自分たちにとっても身近なものであり、それが化学とむすびについているということが明確にわかるだけでもよいと思う。さらにここで興味を持ちこの問題についてもっと詳しく調べたいと思う人も出てくるかもしれない。そして、それが大学や社会にでてから非常に役に立つと思う。
- D 環境問題についての知識の幅が広がっていくと思うのでいいと思う。詳しいところまで調べることができて色々な発見がある。グリーンケミストリーの大切さがわかる。
- E これがはじめてなので正直まだ分からないが興味を引くテーマならばとてもためになるのでやった方がいいと思う。また、個人ではなくグループ学習にすればお互いの意見交換にもなってさらにこの教材の効果が上がると思う。
- F ふだん考えることのない環境汚染を勉強できるよい機会だと思った。一度はやるべきだと思いました。

## 5 ～全体を通して～

実践した時期は、第3学年の推薦が決まった後の、学習に対するモチベーションが低いと思われる時期であり、しかも説明をほとんどしないままの実施であったが、生徒の記述は当初の予想をはるかに上回り、自習という学習形態にもかかわらず真面目に教材に取り組む姿が見られた。なお、この教材を実施するにあっては、学習テーマと学習履歴シートの考え方、ねらいの説明とともに「3年生で化学を選択したまとめとして自分なりに精一杯取り組んでみて欲しい」とだけ生徒に言った。対象者は特に学力の高い生徒ではない。決定した進路も様々で、大学、看護学校のほか、公務員系の専門学校に進学が決まった生徒もいたが、その専門学校へ進学する生徒が一番印象深いことを自己分析シートで書いてきている。生徒の文章から抜粋してみる。

“この教材に取り組んで自分にとってプラスになったと思うことを自由に書いてください”  
～自分にとって1番プラスになったことは、今まで真剣に何かに取り組むということがなかったの、この教材を学んだことにより学ぶ楽しさを知り1つの物事に対して真剣に取り組む、自分の考えを持つという大切さを知った。他にも今の地球上にある環境問題の現状を知り環境問題に対しての興味を持つことができ、何より地球を大切にすることを学んだことです。

“この教材について思うことを自由に書いて下さい”

～この教材を学ぶことにより、今の地球上にある環境問題の現状、これまでにとられてきた対策の過程やその効果など、これからの社会を生きていく人々にとってかかすことのできない問題への知識をやしなっていくことができるのでとてもいい教材だと思うし、自分にとっても、自分の意見を持つことと、学ぶ大切さを知ることができるのでいいと思う。

この生徒は、文系でしかも受験で化学を選択したわけでもなく、授業として化学をうけていた生徒であったため、特に進学に影響のないこのレポートを果たして提出してくるだろうかと思っていたが、提出されてきたレポートは実に示唆にとんだものであった。特に『自分の考えを持つという大切さ』を知るという点に2回もふれているなど、科学的な知識から自分の意見を作り上げて行くことに学ぶ喜びを見いだしていた点は驚きであった。この生徒にとっては、この教材に取り組むことで、自分なりの根拠を持って判断できるようになったり、自信を持って意見を書けるようになったりする、そのきっかけとなったと考えられる。

他の生徒についても各シートの記述を見ていくと、この教材に取り組むことで、なぜ化学(科学)を学ぶのかということを考え、化学(科学)を学ぶ自分なりの意義を見いだせたと思われる。そして自分の意見の根拠が、今まで学んだ化学を出発点としていることが認識できれば、高等学校で化学を学ぶ意味がある程度理解されたといえよう。今回の実践で、この教材がその意味を知る教材の一つとして利用できる可能性を持っていると考えられる。

# 中学生の化学実験教材に対する意識

## —グリーンケミストリーの観点から—

○宮内卓也<sup>A</sup>、臼井豊和<sup>B</sup>、清田三郎<sup>C</sup>、松原静郎<sup>D</sup>

MIYAUCHI Takuya<sup>A</sup>, USUI Toyokazu<sup>B</sup>, KIYOTA Saburo<sup>C</sup>, MATSUBARA Shizuo<sup>D</sup>

東京学芸大学教育学部附属世田谷中学校<sup>A</sup>、東京都立新宿高等学校<sup>B</sup>、

東京都立第四商業高等学校<sup>C</sup>、国立教育政策研究所<sup>D</sup>

【要約】 中学校の熱分解の学習において、生徒がグリーンケミストリーの視点をふまえて実験を選択するかどうかを調査したところ、以下の2点を指摘することができた。

- (1) 主に、事象のわかりやすさ、多様な実験操作、物質への興味、安全性、コストという観点に注目していた。
- (2) 適切な実験を選択するにあたり、事象のわかりやすさ、薬品の安全性を特に重視して実験を選択していた。

〔キーワード〕 グリーンケミストリー、化学教育、中学校、実験、分解

### 1. はじめに

中学校の教科書で扱われている薬品には、毒物や劇物はきわめて少なく、酸やアルカリなどもあらかじめ濃度をうすめたものを使用している。中学生の実態や義務教育であることを考えれば賢明な方策だが、実験を通して有害物質について考える機会は無に近しい。

ところで、理科教員は指導計画をたてるにあたり、さまざまな観点を勘案しながら、生徒実験の内容を決定している。本研究では、生徒に指導者になったつもりで、3種類の熱分解の実験について、その長所と短所を記述させ、最も適切であると考えられる実験を選択させた。その結果をもとに、長所と短所としてあげられた観点を分析し、生徒が実験を選択する際、グリーンケミストリー<sup>1)</sup> (環境にやさしい化学) の視点をふまえて実験を選択しているかどうかを検討した。

今回は熱分解の実験として、炭酸水素ナトリウム、酸化銀の他に、あえて劇物に指定されている酸化水銀(Ⅱ)を取り上げた。現行の学習指導要領解説理科編では「化学変化と原子・分子」の章に分解の実験を行うことがうたわれており、熱分解の例として、酸化銀、炭酸アンモニウム、炭酸水素ナトリウムがあげられている。<sup>2)</sup> 操作の煩雑さと時間の関係から、炭酸アンモニウムの熱分解は行わな

かった。

### 2. 調査の方法

国立大学附属中学校1年生73名を対象として調査を行った。1、2時限目は生徒実験として炭酸水素ナトリウムと酸化銀の熱分解を行った。3時限目は酸化水銀(Ⅱ)の熱分解について、事前に指導者が行った実験の静止画による演示を行った。熱分解の学習のまとめの後、それぞれの方法の長所と短所を表に記述させ、適切であると考えられる実験を選択させた。ここでは、熱分解を1年生で学習しており、「酸・アルカリ」は未習である。

### 3. 実験の概要

#### (1) 炭酸水素ナトリウムの熱分解

白色の炭酸水素ナトリウムを加熱すると気体が発生し、試験管の口付近に無色透明の液体がたまり、白い固体が残る。石灰水の変化と塩化コバルト紙の色の変化から二酸化炭素と水が発生したこと、フェノールフタレイン溶液を加えた水溶液の色のちがいがから、別の物質が生成したことをそれぞれ見出す。炭酸水素ナトリウムは食品の膨張剤として用いられており、身近な薬品である。

#### (2) 酸化銀の熱分解

黒色の酸化銀を加熱すると気体が発生し、

白い固体が残る。線香の火のようすから酸素が発生したこと、金属光沢、電気伝導性、展性・延性から金属であることをそれぞれ見出す。視覚的に変化を実感しやすい。銀は貴金属であり、生徒の興味関心が高い。

### (3) 酸化水銀(Ⅱ)

橙色の酸化水銀(Ⅱ)を加熱すると気体が発生し、金属光沢をもった液体が残る。線香の火のようすから酸素が発生したこと、金属光沢をもつ液体であることから水銀ができたことをそれぞれ見出す。視覚的に変化を実感しやすく、液体の金属が生成する点で興味深く、水銀であることを推測しやすい。水銀は毒物であり、取り扱いには注意が必要である。

## 4. 結果と考察

実験方法の長所と短所について、生徒が記述した回答を観点別に分類し、その人数を集計した結果を表1および表2に示す。複数の観点が記述されていた場合はそれぞれの観点でカウントした。

表1 生徒が考える実験の長所と人数(人) (n=73)

観点	NaHCO <sub>3</sub>	Ag <sub>2</sub> O	HgO
事象のわかりやすさ	15	38	15
実験のやりやすさ	1	8	4
実験の楽しさ	4	1	0
多様な実験操作	24	3	0
薬品の安全性	25	24	2
物質への興味	0	12	15
薬品のコスト	8	1	0
その他	8	9	11
無回答	14	5	29

注:一人で複数の観点を挙げた生徒については、それぞれの観点についてカウントした

表2 生徒が考える実験の短所と人数(人) (n=73)

観点	NaHCO <sub>3</sub>	Ag <sub>2</sub> O	HgO
事象のわかりにくさ	10	0	2
操作の複雑さ	37	6	1
薬品の危険性	3	0	66
同定のしにくさ	6	11	9
薬品のコスト	0	44	4
生成物の取り出し	4	16	0
その他	6	7	2
無回答	11	9	9

注:一人で複数の観点を挙げた生徒については、

それぞれの観点についてカウントした

また、生徒が適切な実験として選択した実験教材を集計した結果が表3である。複数の実験教材を選択した場合は、それぞれの実験教材でカウントした。

表3 生徒が適切であると判断した実験(人) (n=73)

NaHCO <sub>3</sub>	Ag <sub>2</sub> O	HgO	無回答
28	36	2	10

注:一人で複数の実験を挙げた生徒については、それぞれの実験についてカウントした

生徒は長所を考える際、主に「事象のわかりやすさ」「多様な実験操作」「物質への興味」「薬品の安全性」という観点をあげ、短所を考える際、主に「薬品のコスト」「薬品の危険性」「操作の複雑さ」「同定のしにくさ」という観点をあげている。

適切な実験として最も支持の多かった酸化水銀では多くの生徒が「事象のわかりやすさ」「薬品の安全性」を長所としてあげ、最も支持の少なかった酸化水銀(Ⅱ)では「薬品の危険性」を短所としてあげており、適切な実験を選択する際の主な根拠になっていると考えられる。薬品の危険性についての記述の多くは水銀が危険であるという内容だが、一部の生徒は炭酸水素ナトリウムの分解における強アルカリである炭酸ナトリウムの生成や二酸化炭素の発生、生成物の後処理についても記述をしていた。

化学実験を行うにあたり、実験内容を多面的に見る習慣を身につけるとともに、安全利用と環境保全の立場から、薬品の取り扱いに対する意識を高めることは大切なことである。適切な実験方法を検討する学習が子どもたちにどのような変容をもたらすのか、今後の実践の中でさぐっていききたい。

### 【参考文献】

- 1) 日本化学会、化学技術戦略推進機構訳編集(1999)「グリーンケミストリー」 丸善
- 2) 文部省(1999)「学習指導要領解説理科編」p.36-41 大日本図書

# 炭酸水素ナトリウムはどのように変化したのか

1年 組 番 氏名 \_\_\_\_\_

課題 炭酸水素ナトリウム（重曹）はベーキングパウダーの中に入っており、小麦粉でお菓子などをつくる時のふくらし粉として使用されています。

重曹を入れた小麦粉と入れなかった小麦粉をそれぞれ加熱したところ、重曹を入れた小麦粉の方がふくらんだ。どのような変化がおこったのだろうか。

あなたの考え

目的

準備  ガラス管セット  試験管（6）  スタンド  ガスバーナー  マッチ

燃えさし入れ  水そう  ピンセット  スポイト

炭酸水素ナトリウム  塩化コバルト紙  フェノールフタレイン液

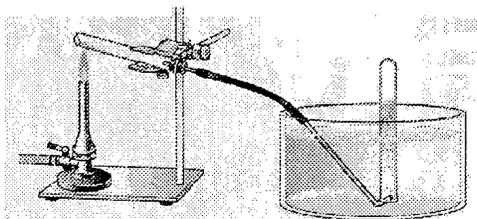
方法 ①炭酸水素ナトリウム 2.0 g を試験管に入れ、図のような装置で加熱する。

②ガラス管の先から気体が出てきたら、水上置換法で3本の試験管に集める。

③試験管に集めた気体の性質を、班で相談した方法で調べる。

④加熱した試験管の口についた液体に、青色の塩化コバルト紙をつけてみる。

⑤炭酸水素ナトリウムと物質 A を水にとかし、とけかたを比べる。また、フェノールフタレイン液を加え、色の変化を比べる。



注意：生成した液体が加熱部に逆流すると試験管の破損のおそれがあるので、口を少し下げて加熱する。

水が試験管に逆流しないように、火を消すときはあらかじめガラス管を水そうからぬいておく。

結果

(操作) したところ、(結果) になった

考察

(結果) より (結論) と考えた。その理由は (根拠) だからである

### 酸化銀を加熱するとどのような物質ができるか

1年\_\_組\_\_番 氏名\_\_\_\_\_

酸化銀を加熱すると気体が発生して試験管内に固体の物質が残ります。発生する気体と試験管に残る固体はそれぞれ何であると思いますか。

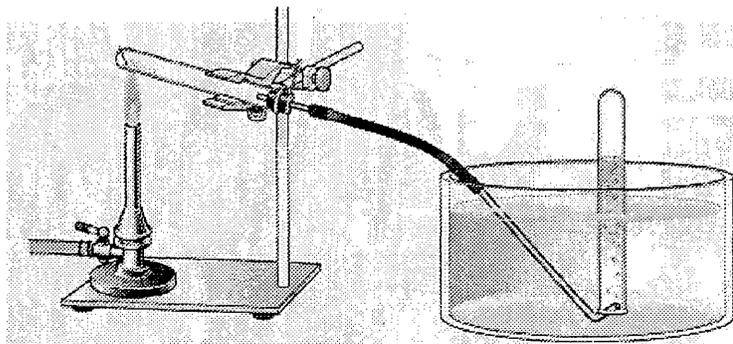
発生する気体\_\_\_\_\_ 試験管に残る固体\_\_\_\_\_

目的 酸化銀を加熱するとどのような物質に変化するのか、実験を通して明らかにする。

- 準備  ガラス管セット  試験管 (3)  スタンド  ガスバーナー  マッチ  
 燃えさし入れ  線香  金床  ハンマー  電子オルゴール  
 電池 (電池ボックスに入ったもの)  導線 (3種)  葉さじ  ガラス棒

※加熱する試験管は乾いたものを用いること

方法 (1) 酸化銀 2.0 g を試験管に入れ、図のような装置で加熱し、発生する気体を水上置換法で2～3本の試験管に集める。



(2)

集めた気体の入った試験管の中に火のついた線香を入れ、変化を観察する。

(3) 試験管内に残った固体をとりだし、以下の観点で固体を調べる。

- ① 金床の上で、軽く入念にたたく。
- ② 葉さじのうらや試験管の先端でこすってみる。
- ③ 電子オルゴールを使用して、音になるかどうかを調べる。

考察

## 酸化水銀（Ⅱ）の分解

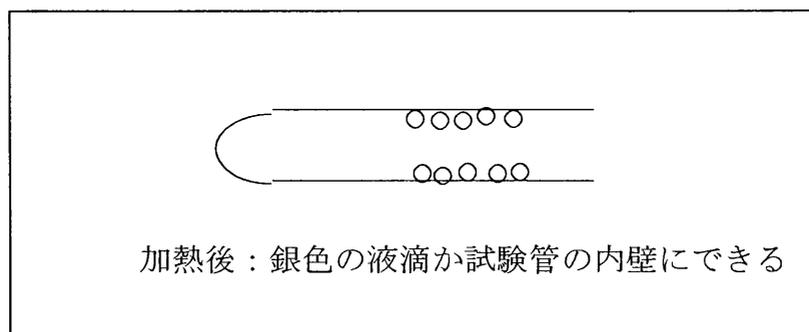
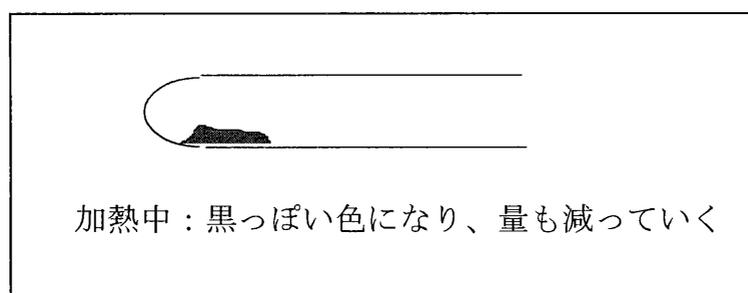
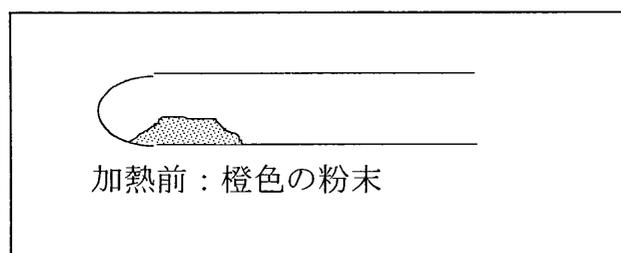
～画像による演示実験～

### 目的

- ①炭酸水素ナトリウムと酸化銀の他にも分解という化学変化があることを理解する。
- ②酸化水銀（Ⅱ）という物質名から、何ができるかを予想する。

### 方法

- ①どのような化学変化がおきるかを予想する。
- ②指導者があらかじめ、実験を行い、加熱前の画像、加熱中の画像、加熱後の画像を撮影しておき、プロジェクターを使った画像による演示を生徒は見る。
- ③酸化水銀（Ⅱ）から水銀ができたことを確認する。



課題

1年\_\_組\_\_番 氏名\_\_\_\_\_

これまで、分解（1つの物質が2つ以上の別の物質に変化する化学変化）の例として、以下の①～③の変化を学習した。

- ① 炭酸水素ナトリウム → 炭酸ナトリウム + 水 + 二酸化炭素
- ② 酸化銀 → 銀 + 酸素
- ③ 酸化第二水銀 → 水銀 + 酸素

私たちが分解について学習する場合、①～③のどの分解の実験が適していると思いますか。あなたの考えを書きなさい。

	長 所	短 所
①炭酸水素 ナトリウムの分解  ( )		
②酸化銀の分解  ( )		
③酸化第二水銀の分解  ( )		

※①～③のうち、授業で行う分解の実験として適していると思う。実験の( )内に○をつけよう。

表1 生徒が考える実験の長所と指摘数

類型	観点	炭酸水素ナトリウム NaHCO <sub>3</sub>					酸化銀 Ag <sub>2</sub> O					酸化水銀 HgO							
		ア 炭酸 水素 ナト リウ ム + 酸 化 銀	イ 炭酸 水素 ナト リウ ム	ウ 酸 化 銀	エ 酸 化 水 銀	オ 無 回 答	小計	ア 炭酸 水素 ナト リウ ム + 酸 化 銀	イ 炭酸 水素 ナト リウ ム	ウ 酸 化 銀	エ 酸 化 水 銀	オ 無 回 答	小計	ア 炭酸 水素 ナト リウ ム + 酸 化 銀	イ 炭酸 水素 ナト リウ ム	ウ 酸 化 銀	エ 酸 化 水 銀	オ 無 回 答	小計
1	事象のわかりやすさ	0	9	5	0	1	15	1	8	23	0	6	38	2	6	7	0	0	15
2	多様な実験操作	2	8	10	2	2	24	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0
3	実験のやりやすさ	0	0	1	0	0	1	1	3	4	0	0	8	0	1	3	0	0	4
4	実験の楽しさ	0	1	3	0	0	4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	物質への興味	0	0	0	0	0	0	0	5	6	1	0	12	1	8	5	0	1	15
6	薬品の安全性	1	12	11	0	1	25	3	6	10	1	4	24	0	0	2	0	0	2
7	薬品のコスト	0	2	5	0	1	8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	その他	0	4	4	0	0	8	0	5	3	0	1	9	0	3	5	2	1	11
	無回答	0	1	7	0	6	14	0	3	0	0	2	5	0	8	13	0	8	29
	計	3	37	46	2	11	99	5	32	49	2	13	101	3	26	35	2	10	76

\*表頭のアは炭酸水素ナトリウムと酸化銀の実験を支持したもの、イは炭酸水素ナトリウムを支持したもの、ウは酸化銀を支持したもの、エは酸化水銀を支持したもの、オは無回答のもの

\*観点を複数回答したものを含む

記述例

類型1: 事象のわかりやすさ

発生するものが少なく、わかりやすい。  
変化が見やすい。

類型2: 多様な実験操作

固体、液体、気体の3つの性質を分けることができる。  
1つの物質から、3つの物質へと分解されるので、たくさんの物質がわかる。

類型3: 実験のやりやすさ

今まで使ったことのある水上置換法を使うので、やりやすいと思う。  
加熱するだけでいいので、失敗がないし、わかりやすい。

類型4: 実験の楽しさ

結構、楽しい。  
実験を楽しめる。

類型5: 物質への興味

この実験の結果で銀がとれるので、銀と聞くとなんだか、めずらしい感じで、授業が進めやすい。  
キラキラ光る銀を見ることができる。

類型6: 薬品の安全性

体にあまり害がない。  
後処理に苦労しない。  
有害な物質が発生しない点→安全である。

類型7: 薬品のコスト

コストが低い。  
材料が安い。

表2 生徒が考える実験の短所と指摘数

類型	観点	炭酸水素ナトリウム NaHCO <sub>3</sub>					酸化銀 Ag <sub>2</sub> O					酸化水銀 HgO							
		ア 炭酸 水素 ナトリ ウム + 酸化 銀	イ 炭酸 水素 ナトリ ウム	ウ 酸化 銀	エ 酸化 水銀	オ 無回 答	小計	ア 炭酸 水素 ナトリ ウム + 酸化 銀	イ 炭酸 水素 ナトリ ウム	ウ 酸化 銀	エ 酸化 水銀	オ 無回 答	小計	ア 炭酸 水素 ナトリ ウム + 酸化 銀	イ 炭酸 水素 ナトリ ウム	ウ 酸化 銀	エ 酸化 水銀	オ 無回 答	小計
1	事象のわかりにくさ	1	1	4	0	4	10	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
2	実験の複雑さ	2	18	12	2	3	37	0	0	6	0	0	6	0	0	1	0	0	1
3	生成物の取り出しが困難	0	0	4	0	0	4	0	6	8	0	2	16	0	0	0	0	0	0
4	同定のしにくさ	0	2	4	0	0	6	3	4	2	1	1	11	1	6	1	1	0	9
5	薬品の危険性	0	1	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	26	29	2	6	66
6	薬品のコスト	0	0	0	0	0	0	0	21	16	1	6	44	0	1	2	0	1	4
	その他	0	1	4	1	0	6	0	4	2	1	0	7	0	1	1	0	0	2
	無回答	0	2	6	0	3	11	0	0	7	0	2	9	0	0	5	0	4	9
	計	3	25	36	3	10	77	3	35	41	3	11	93	6	34	39	3	11	93

\* 表頭のアは炭酸水素ナトリウムと酸化銀の実験を支持したものの、イは炭酸水素ナトリウムを支持したものの、ウは酸化銀を支持したものの、エは酸化水銀を支持したものの、オは無回答のもの

\* 観点を複数回答したものを含む

### 記述例

#### 類型1: 事象のわかりにくさ

結果が分かりにくい。

固体、液体、気体が全部でて、わかりにくい。

#### 類型2: 実験の複雑さ

たくさんの薬品をつかわなければいけないので、実験に時間がかかる。

多少、他のものより面倒な点がある。

#### 類型3: 生成物の取り出しが困難

銀がとれにくく、試験管が割れやすい。

加熱した後にできた固体を出すのがめんどろ。

#### 類型4: 同定のしにくさ

銀なのかどうかまで、中学の段階ではつきとめられない。

分解してできる物質を確かめるのが難しい。

#### 類型5: 薬品の危険性

水銀が体に害を与える可能性がある。

後処理に困る。

二酸化炭素→環境などに悪い。

炭酸ナトリウム→強アルカリだから体によくない。

#### 類型6: 薬品のコスト

酸化銀の値段が高い。

お金がかかる。

## 第51回 日本理科教育学会全国大会(札幌)発表報告

1. テーマ 中学生の化学教材に対する意識  
～グリーンケミストリーの視点から～
2. 会場 北海道教育大学札幌校
3. 発表者 宮内卓也
4. 発表内容

中学生の  
化学実験教材に対する意識  
～グリーンケミストリーの視点から～

○宮内卓也、臼井豊和、清田三郎、松原静郎

中学校の教科書で扱われている薬品には毒物や劇物はきわめて少なく、酸やアルカリなどもあらかじめ濃度をうすめたものを使用しています。中学生の実態や、義務教育であることを考えれば、賢明な方策ですが、実験を通して有害物質について考える機会は皆無に近いといってもよい状態です。

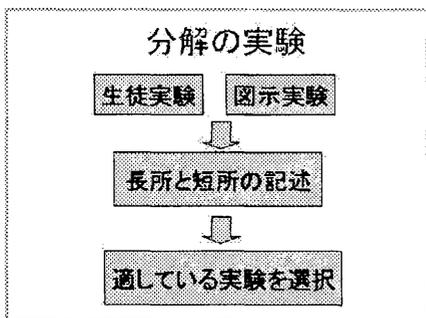
ところで、私たち理科の教員は指導計画をたてるとき、さまざまな観点を勘案しながら、生徒実験の内容を決定しています。

研究のねらい

生徒が指導者の立場になったとき

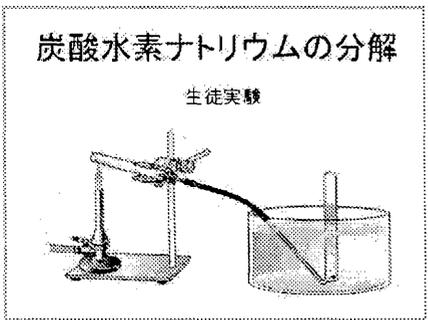
- どのような観点で実験を選択するか
- グリーンケミストリーの観点をふまえているか

そこで、本研究では、生徒に指導者になったつもりで、3種類の熱分解の実験について、その長所と短所を記述させ、適切であると考えた実験を選択させました。その結果をもとに、長所と短所としてあげられた観点を分析し、『どのような観点で実験を選択するか』『グリーンケミストリーの観点をふまえているか』という点について、検討しました。

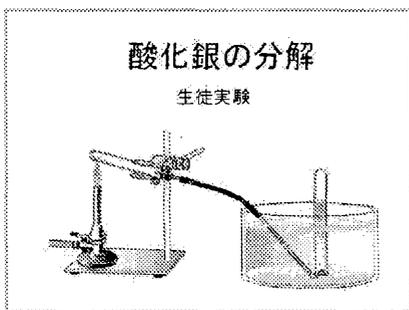


熱分解の実験として、炭酸水素ナトリウム、酸化銀の他に、あえて劇物に指定されている酸化水銀(Ⅱ)を取り上げました。現行の学習指導要領解説理科編では、『化学変化と原子・分子』の章に分解の実験を行うことがうたわれており、熱分解の例として、酸化銀、炭酸アンモニウム、炭酸水素ナトリウムがあげられていますが、操作の煩雑さと時間の関係から、炭酸アンモニウムの熱分解は行いませんでした。

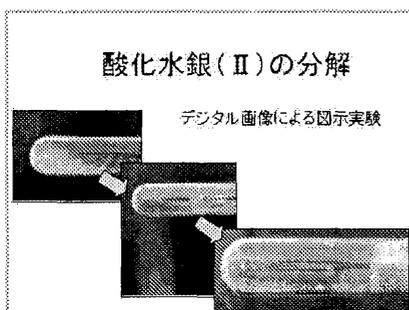
生徒実験として炭酸水素ナトリウムと酸化銀の分解を行い、酸化第二水銀の分解については、画像による図示実験を行いました。その後、生徒に指導者の立場になって、それぞれの実験の長所と短所を記述させ、最後に適していると考えられる実験を選択させました。



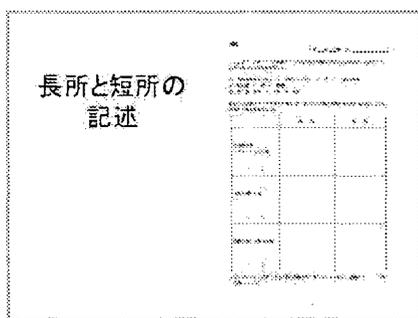
実験の概要について、説明します。炭酸水素ナトリウムの熱分解ですが、白色の炭酸水素ナトリウムを加熱すると気体が発生し、試験管の口付近に無色透明の液体がたまり、白い固体が残ります。石灰水が白くにごることから二酸化炭素が発生したことがわかり、塩化コバルト紙の色の変化から、水が生成したことがわかります。また、フェノールフタレイン溶液を加えた水溶液の色が白から、別の物質が生成したことがわかります。



酸化銀の熱分解ですが、黒色の酸化銀を加熱すると気体が発生し、白い固体が残ります。線香の火のようすから、酸素が発生したこと、金属光沢、電気伝導性、展性・延性から金属であることを見出します。



酸化第二水銀の分解ですが、橙色の酸化第二水銀を加熱すると気体が発生し、金属光沢を持った液体が残ります。線香の火のようすから、酸素が発生したこと、金属光沢をもつ液体であることから水銀ができたことがそれぞれわかります。



2つの生徒実験と1つの画像による図示実験の後、生徒を指導者の立場にたたせ、分解を学習する教材としての長所と短所を図のようなワークシートに記述させ、最後に、適切であると思われる実験に○をつけさせました。

**生徒が考える実験の長所と指摘数**

類型	観点	炭酸水素ナトリウム	酸化銀	酸化水銀(Ⅱ)
1	事象のわかりやすさ	15	20	15
2	多様な実験操作	24	3	0
3	実験のやりやすさ	1	6	4
4	実験の楽しさ	4	1	0
5	物質への興味	0	12	15
6	薬品の安全性	25	24	2
7	薬品のコスト	6	1	0
	その他	6	9	11
	無回答	14	5	28
	計	89	100	70

\* 観点を複数回答したものを含む

この表は、生徒が実験の長所と考えた観点を7つの類型に分け、それぞれの実験についての指摘数を表にまとめたものです。表中の色つきの部分は特に指摘の多かった観点を示しており、炭酸水素ナトリウムの分解では主に薬品の安全性、多様な実験操作、事象のわかりやすさを長所としてあげています。酸化銀では主に事象のわかりやすさ、薬品の安全性を長所としてあげています。酸化第二水銀では、主に事象のわかりやすさ、物質への興味を長所としてあげています。

**生徒が考える実験の短所と指摘数**

類型	観点	炭酸水素 ナトリウム	酸化銀	酸化水銀 (Ⅱ)
1	事象のわかりにくさ	10	0	2
2	実験の複雑さ	37	6	1
3	生成物の取り出しが困難	4	16	0
4	同定しにくさ	6	11	9
5	薬品の危険性	3	0	66
6	薬品のコスト	0	44	4
	その他	6	7	2
	無回答	11	9	9
	計	77	93	95

\*観点を複数回答したものを含む

この表は、生徒が実験の短所と考えた観点を6つの類型に分け、それぞれの実験についての指摘数を表にまとめたものです。表中の色つきの部分は、先ほどと同様に、特に指摘の多かった観点を示しており、炭酸水素ナトリウムの分解では実験の複雑さを短所としてあげています。酸化銀では薬品のコストを短所としてあげています。酸化第二水銀では、薬品の危険性を短所としてあげています。

薬品の危険性を指摘した記述では、酸化第二水銀や生じた水銀の危険性を指摘する声が多かったですが、少数ながら、二酸化炭素の大気への影響や、生じるアルカリの影響、薬品の処理の問題を指摘する声もありました。

生徒が適切であるとして選んだ実験のうち、もっとも支持の多かった実験は酸化銀の分解でした。また、支持が少なかったのは酸化第二水銀の分解でした。

**各実験を支持した人数**

炭酸水素 ナトリウム	酸化銀	酸化水銀 (Ⅱ)	無回答
28	36	2	10

\*3名複数回答

- 生徒が注目している観点**
- 事象のわかりやすさ
  - 多様な実験操作
  - 物質への興味
  - 薬品の安全性
  - 薬品のコスト

以上の結果から、生徒は実験の長所と短所を考える際、『事象のわかりやすさ』『多様な実験操作』『物質への興味』『薬品の安全性』『薬品のコスト』という観点到に注目していることがわかりました

- 実験を選択する際、重視している観点**
- 事象のわかりやすさ
  - 薬品の安全性

また、生徒は適切な実験を選択するにあたり、『事象のわかりやすさ』『薬品の安全性』を特に重視していることがわかりました。

## 今後の課題

- 多様な観点から実験内容の適否を考察する教材としての検討
- グリーンケミストリーの観点を生かした教材開発の基礎データとしての活用

今後の課題ですが、まず、『指導者の立場で実験の適否を考察する学習』は、多様な観点から実験内容の適否を検討する教材として意義があると考えております。このような教材がその後の学習に効果があるのか、検討していきたいと考えています。

一方、得られた記述の中に薬品の安全性にふれる記述が比較的多く見られ、酸化第二水銀や水銀の危険性を指摘する声の他に、少数ながら、水銀以外の物質を指摘したり、薬品の処理の問題を指摘する声がありました。中学生がそうした観点を持っていることをふまえ、グリーンケミストリーの観点を生かした教材開発につなげていきたいと考えています。

## 5. 質疑応答

今回は発表後に、ポスターを掲示し、ポスターの前で4人の発表者がそれぞれ質疑応答を行った。

Q1 どのぐらいの時間をかけているのか。熱分解についての学習があいまいにならないか。このような学習をカリキュラムにどのように位置づけているのか。他にどのような実践を行っているのか。

A1 生徒実験に2時間、演示実験と熱分解のまとめ、および今回の調査で1時間である。熱分解については、一般的な学習内容をまとめてから、今回の実践を行ったので、大きな混乱はないと思う。まだ試行段階なので、年間カリキュラムとしては位置づけていない。グリーンケミストリーの視点をふまえた実践については手探りの状況である。よいアイデアがあれば、教えていただきたい。

Q2 なぜ熱分解の教材で行ったのか。

A2 熱分解では教科書によって、実験内容の扱いが異なるので、生徒に考えさせるきっかけとしやすい。また、一昔までは酸化水銀(Ⅱ)の熱分解も扱われることがあったが、最近では扱われなくなっているなど、多様な背景がある。また、授業の進度と調査時期が一致したという事情もある。水銀はその有毒性が一般にひろく知られており、あえて熱分解の教材として酸化銀を入れた。薬品の危険性を指摘する意見を引き出したことはよいが、水銀の危険性を子どもたちが具体的にどこまで理解しているかについては疑問である。

## 雑談としての話題

最近の中学の学習は一般に危険なものから遠ざけて学習する場面が増えてしまい、逆に安全にもものを扱うことを学習する機会が減少してきてしまっていないだろうか。ある程度、危険なものにもふれさせながら、経験を深める場があってもよいのではないかと思うことがある。この点については、共感すべき点が多かったが、生徒の安全確保とのバランスをとっていくことの難しさを改めて考えさせられた。

# 化学実験における廃棄物処理について

—グリーンケミストリーの立場から—

高野 裕恵  
私立四天王寺高等学校・中学校

山本 勝博  
大阪府教育センター

松原 静郎  
国立教育政策研究所

〔要約〕 中学校や高等学校での化学実験における廃液や廃棄物の処理は、文部科学省の指針などにもとづいて、各学校での教科を担当する教師が考える。グリーンケミストリーの立場では、この廃液・廃棄物の処理をどのようにするとよいか、また、生徒にはどのように考えさせていくとよいか、1年間の実験時の取り組みから考察する。

〔キーワード〕 環境 グリーンケミストリー 化学実験 廃液・廃棄物

## 1 はじめに

ここ数年の全国大会で発表されたいろいろな環境教育の実践は、現在の環境問題に対する把握や、これからの取り扱い方など、問題の解決のためのものが多かったように思われる。しかし、最近の環境を考える社会情勢は、問題が起こってから解決するのではなく、環境問題が起こる前に、その対策を先に考えるようになってきている。たとえば化学では、

- ・合成をする段階で有害物質がでてこないような方法を考える
- ・廃棄するときに自然に戻すことが可能なように原料を考える
- ・使用する物質の量を最小限に押さえる

などである。この考え方をグリーンケミストリーといい、マイクロスケールでの実験など学校実験にも表れてきている。

そこで、高校化学実験の廃液・廃棄物処理の方法と考察について、グリーンケミストリーの立場から、生徒への啓蒙・教育がどのようにできるかを考えてみた。

## 2 グリーンケミストリー

ポール・アナスタス、ジョン・ワーナーは、その著書<sup>1)</sup>の中で「化学者は反応を工夫して、望みの性質をもつ物質をつくる。・・・物質の合成から使用を経て破壊に至るその総体が周囲にどんな影響を及ぼすのか・・・そこまで考えて物質も合成反応もデザインするのがグリーンケミストリーの立場で、化学者にはそれができる」と述べている。すなわち、化学者

が新しい物質の合成をするときには、地球環境への影響に配慮し、できるだけ環境に負荷のかからない合成方法を考えるということである。これは、科学技術全般にもあてはまる。

では、一般市民はどうするのか。市民は科学技術者から示されたサステイナブルな（持続可能な）技術を知り、その上で物質をどう扱うかを科学技術者とともに判断していく、これがこれからの地球環境を考えた物質の扱いになっていく。

私たち化学教育関係者は、学生や生徒にいろいろな知識を与え、その物質をどう取り扱っていくかを正しく判断できる市民に育てる役割があると考えている。

そこで、グリーンケミストリーの立場において、実験における廃液・廃棄物処理を、次のように考えてみた。

- (1) 生徒は、廃液・廃棄物の再利用、処理、処分等の方法を知る。（環境問題を考える）
- (2) 生徒は、廃液・廃棄物の再利用、処理、処分等をする意味を理解する。  
（地球環境への負荷を考える）
- (3) 生徒は、廃液・廃棄物処理の経験を積むことで、実験の折々に、どんな薬品を、どれくらいの量、どんな目的で使用するか、またどのように廃棄するか、または、再利用するかを自分で調べ、処理方法を選択する。（環境への影響を考えた判断）
- (4) 教師は、この(1)～(3)を目的に、実験の指導方法を考える。

表1 勤務校における実験廃液・廃棄物の取り扱い

	実験	使用・生成した危険物	取り扱い
①	ハロゲン	塩素水	次の実験で使用
		塩素	水とチオ硫酸ナトリウムを加え、塩素を還元してから廃液タンクに貯留
②	コロイド	塩化銀・鉄イオン	回収
③	15族	二酸化窒素	水に溶かして希硝酸にしてから、炭酸水素ナトリウムと反応させ中和させて放流
		銅、希硝酸	銅は取り出して保管、希硝酸は炭酸水素ナトリウムで中和させて水道に放流、すべてドラフト内で行う。
④	16族	濃硫酸	硝酸と同様炭酸水素ナトリウムで中和させる

### 3 学校での実践と生徒のようす

現在、筆者の一人は、大阪にある私立の高等学校中学校と府立高校の2校に非常勤講師として勤務している。このうち、府立高校では、実験時の廃棄物についても生徒に考察を求めている。ただし、生徒は廃液や廃棄物処理を実験操作の一つとしてとらえており、環境問題との関連を特に意識しているわけではない。(環境教育は他教科で指導している)

昨年度の一年間の実験とその廃液・廃棄物処理について、生徒に考察を求めた主なものを表1に示す。

生徒には、実験での廃液・廃棄物処理についてなぜこのような処理をするのか、考察するように求めたところ、生徒はどのような理由でその方法を採用するのか、処理の目的と方法を結びつけて考えるようになっていった。また、日ごろから実験内容と物質の処理について調べる活動を入れていくと実験以外での廃液・廃棄物処理についても考えるようになった。

例えば、今年度の実践においてはチオ硫酸ナトリウムを使って塩素を還元して回収する方法について生徒に考察させたが、チオ硫酸ナトリウムの性質や役割とともに、写真の現像など生活の中でも同様な方法を用いて廃液が処理されていることに気付くようになった。

また、今年度はさらに廃棄物の処理で工業的にどのような方法が採られているか、調べる活動を導入した。その結果、昨年度は実験時に何も考えず指示どおりに廃棄物処理をし

ていたのが、今年度は処理の意味を考える生徒も出てきた。これに、小学校や中学校での環境教育の影響も加わって、廃液や廃棄物を何のためにどのように処理をするべきか、自ら考える生徒が予想以上に多くなった。

### 4 今後の課題

筆者らは、授業で一見無駄なものをつくったり、環境に負荷がかかる物質をつくることも物質をよく理解するために必要と考えている。化学反応の過程で生徒が予期しなかった物質が生成しえることを知るのも重要であり、学校だからこそできる活動と思うからだ。汚染物質がどのようにしてでき、環境に負荷を与えないようにするためにはどうすればよいかを考えさせ、実験での廃液・廃棄物の後処理は環境への配慮の一つと認識させたい。

つまり、化学の授業の中に廃液や廃棄物となる物質を組み入れて環境について考えさせることを考えている。実験毎に処理を考えさせることが、生徒にとって地球環境を考える端緒とならないだろうか。廃棄物処理だけに焦点を絞るのではなく、生徒が地球環境について考える機会をつくっていきたい。

本研究の一部は「グリーンケミストリー教材の開発研究」(研究代表者 松原静郎、科学研究費補助基盤研究(B)(2)課題番号14380066)による。また、平成15年度全国理科教育大会の発表要旨に加筆修正をした。

1) Paul T. Anastas, John C. Warner 著、渡辺正、北島昌夫訳(1999)「グリーンケミストリー」丸善



## V. グリーンケミストリー学習教材

メニュー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	158
ワークシート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	164
学習履歴シート・・・・・・・・・・・・・・・・・・	180
参考資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	182

# グリーンケミストリー

Green and Sustainable Chemistry



はじめに

GSC が注目され始めました。

でも GSC ってなに？



# GSCの学習について

## 大気について考えるワークシート

### 1. 学習のねらい

大気汚染を引き起こす物質の理解と問題対策を考え、解決策を考える

学習を始めるまえに：～大気について考える意味～

われわれは、地球の表面で生活しているが、大気の中にもいることも確かである。魚が水に囲まれて生活しているようにわれわれは空気に包まれて生活している。そして地殻や水がそうであるように大気も化学資源の宝庫であり、かつ同時に廃棄物を捨てる場所でもある。われわれは、呼吸をし、燃料を燃やし、いろいろな工業生産を行う過程で大気を利用する。人類や他の生物および自然現象でさえも、大気中に気体・液滴・固体粒子を放出する。このようにして大気中に放出される物質には大気に特に影響を与えないものもあるが、大気を汚染し、その地域、地球環境に重大な悪影響を及ぼすものもある。

わが国やヨーロッパ、北アメリカなどでは酸性雨(酸性の霧やちりなども含む)が、今日問題となっている。酸性雨は酸性の気体である硫黄酸化物(SOX)や窒素酸化物(NOX)などが原因と言われている。大気中の硫黄酸化物や窒素酸化物は雨滴に取り込まれ、硫酸の雨や硝酸の雨に変化する。このような雨水は河川や湖沼を酸性化して、そこにすむ生物に影響を与えたり、樹木などに直接被害をもたらしたりする。

このように、人間活動によっても大気汚染がおこることがあり、その現実を知ることは重要なことである。その理解には、気体の化学的性質や大気中での気体の動きに関する知識が必要である。さらに、大気汚染の歴史的な理解と、人類がとってきた対策についても知る必要がある。また、今後の社会生活において適切な判断を養うためにも、このワークシートにあることがらを真剣に考えてほしい。

### 2. 学習の方法

大気汚染を引き起こす物質の理解と問題対策をワークシートにそって考え、解決策を考える。

#### (1) ワークシートの学習目標とワークシートの構成

過去の**大気汚染問題の理解と解決(HCI問題を中心に)**

ワークシート 1：塩化水素の問題( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ の古い製造法(アンモニアソーダ法以前))

ワークシート 2：塩化水素の汚染の問題解決(アンモニアソーダ法)

現在の**大気汚染の理解と今後の解決に向けて(硫黄酸化物や窒素酸化物の問題解決)**

ワークシート 3：硫黄酸化物についての理解と問題解決策

ワークシート 4：窒素酸化物についての理解と問題解決策

まとめ

ワークシート 5：まとめ(グリーンケミストリーの理解)

#### (2) ワークシートの進め方

- 大気汚染についての文章を読み、課題について資料を参考にしながら答えること。
- 本文は途中とばさず、流れをつかみながら前から読み進めていくこと。
- 設問には資料をよく参考にしながら必ずすべて答えを記入していくこと。

### 3 ワークシート1

《操作》 希望のワークシートを選択・表示し、印刷する。

#### 導入ワークシート

ワークシート1,2 をはじめるまえに

ワークシート1

ワークシート2

ワークシート3,4 をはじめるまえに

ワークシート3

ワークシート4

ワークシート5 をはじめるまえに

ワークシート5

学習履歴シート

学習履歴シート2

## GSC学習の資料 (ワークシート別)

### ワークシート1

炭酸ナトリウム工業の発達(ルブラン法;アンモニアソーダ法以前)

ルブラン法の化学反応式

塩化水素による大気汚染の対策(ルブラン法の改良)

日本の主な大気汚染(図版)

### ワークシート2

炭酸ナトリウムの新しい製法(アンモニアソーダ法)

### ワークシート3・4をはじめるまえに

大気汚染関係年表

### ワークシート3

硫酸化物による被害とその対策

四日市公害とその対策

脱硫法

### ワークシート4

酸性雨の化学反応式

環境汚染物質の濃度と生物への影響

窒素酸化物の大気中の増加の影響・環境汚染・被害

### ワークシート5

1900年代の日本(年表)

1900年代における日本経済の移り変わり(グラフ)

### ワークシート全体

大気汚染物質一覧

## GSC学習の関連リンク

### 研究所

[国立環境研究所](#)

[大気汚染物質広域監視システム\(そらまめ君\)](#)

[大気汚染情報リンク集【HIR-NET提供】](#)

[酸性雨調査研究会](#)

### 鉱山

[足尾銅山\(足尾町\)](#)

[別子銅山\(愛媛県立新居浜南高等学校\)](#)

### 化学全般

[CSSJ化学の学校--化学教育相互支援機構／提供／化学ソフトウェア学会](#)

### 物質

[化学物質データベース\(国立環境研究所化学環境部・計測管理研究室\)](#)

[国際化学物質安全性カードデータベース\(国立医薬品食品衛生研究所\)](#)

検索 … キーワードを用いて検索する。

[グーグル\(google\)](#)

[ヤフー\(Yahoo\)](#)

## 導入ワークシート

### 大気について考えるワークシート

・・・大気汚染を引き起こす物質の理解と問題対策を考え、解決策を考える

学習を始めるまえに： ～大気について考える意味～

われわれは、地球の表面で生活しているが、大気の中にいることも確かである。魚が水に囲まれて生活しているようにわれわれは空気に包まれて生活している。そして地殻や水がそうであるように大気も化学資源の宝庫であり、かつ同時に廃棄物を捨てる場所でもある。われわれは、呼吸をし、燃料を燃やし、いろいろな工業生産を行う過程で大気を利用する。人類や他の生物および自然現象でさえも、大気中に気体・液滴・固体粒子を放出する。このようにして大気中に放出される物質には大気に特に影響を与えないものもあるが、その地域、地球環境に重大な悪影響を及ぼす、すなわち大気汚染もある。

わが国やヨーロッパ、北アメリカなどでは酸性雨（酸性の霧やちりなども含む）が、今日大きな問題となっている。酸性雨は酸性のガスである硫黄酸化物（SO<sub>x</sub>）や窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）などが原因と言われている。大気中の硫黄酸化物や窒素酸化物は雨滴に取り込まれ、硫酸の雨や硝酸の雨に変化する。このような雨水は河川や湖沼を酸性化して、そこにすむ生物に影響を与え、樹木などに直接被害をもたらす。

このように、人間活動によっても大気汚染がおこることがあり、その現実を知ることは重要なことである。そのためには、気体の化学的性質や自然界での気体の動きに関する知識が必要である。さらに、大気汚染の歴史的な理解と、人類がとってきた対策についても知る必要がある。また、今後の社会生活において適切な判断を養うため、このワークシートを真剣に考えていく必要がある。

大気汚染を引き起こす物質の理解と問題対策をワークシートにそって考え、解決策を考える。

#### 1. ワークシートの学習目標とワークシートの構成

過去の大気汚染問題の理解と解決（HCl問題を中心に）

ワークシート 1：塩化水素の問題（Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>の古い製造法（アンモニアソーダ法以前））

ワークシート 2：塩化水素の汚染の問題解決（アンモニアソーダ法）

現在の大気汚染の理解と今後の解決に向けて（硫黄酸化物や窒素酸化物の問題解決）

ワークシート 3：硫黄酸化物についての理解と問題解決策

ワークシート 4：窒素酸化物についての理解と問題解決策

まとめ

ワークシート 5：まとめ（グリーンケミストリーの理解）

#### 2. ワークシートの進め方

- 大気汚染についての文章を読み、課題について資料を参考にしながら答えること。
- 本文は途中とばさず、流れをつかみながら前から読み進めていくこと。
- 設問には資料をよく参考にしながら必ずすべて答えを記入していくこと。

## 過去の大気汚染の問題と解決 (HCl を中心に)

酸性の物質を原因とする環境汚染は、19 世紀前半のイギリスですでに問題になっていた。当時、酸性ガスと呼ばれていた二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) や塩化水素 (HCl) はぜんそくや気管支炎などの原因になったり、植物を枯らすなどの被害をもたらしていた。塩化水素 (HCl) による環境汚染の問題はさまざまな対策や経済的ないきさつを経て、19 世紀末に解決された。

ここでは塩化水素 (HCl) についての学習を深め、歴史的な背景や流れ、とってきた対策、解決にいたる様子を学ぶ。

ワークシート 1 では塩化水素 (HCl) の問題を (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> の古い製造法 (アンモニアソーダ法以前)) ワークシート 2 では塩化水素 (HCl) の汚染の問題解決 (アンモニアソーダ法) について学習する。

塩化水素について

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>の古い製造法（アンモニアソーダ法以前）

酸性の物質を原因とする環境汚染は、19世紀前半のイギリスですでに問題になっていた。当時、酸性ガスと呼ばれていた二酸化硫黄（SO<sub>2</sub>）や塩化水素（HCl）はぜんそくや気管支炎などの原因になったり、植物を枯らすなどの被害をもたらしていた。塩化水素（HCl）による環境汚染の問題はさまざまな対策や経済的ないきさつを経て、19世紀末に解決された。

1. 塩化水素（HCl）はどのように出ているのか？

塩化水素の主な発生源は、かつては炭酸ナトリウム（Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>）工場であった。炭酸ナトリウムは工業界にとって大変重要な物質である。18世紀までは木灰や海藻灰などから抽出されたが、ヨーロッパで毛織物工業が発達するにつれて、毛織物の洗浄剤として炭酸ナトリウムが使われ、1789年フランスのルブランは、炭酸ナトリウムの大規模な工業的な製造（ルブラン法）に成功した。



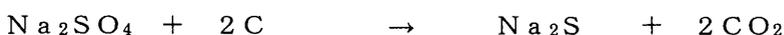
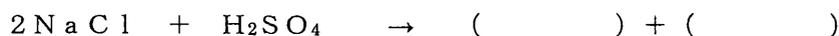
ルブラン

※ 塩化水素はどのようなものか？教科書や資料からまとめてみよう。

a. 性質	
b. 工業的 利用法	
c. 自然界 での存在	
d. 人体の 健康への 影響	

2. 炭酸ナトリウム（Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>）をつくるルブラン法とはどんな方法か？

ルブラン法について資料を参考にして次の化学反応式を書きまとめてみよう。



この反応式を見ながら、どのようにして、炭酸ナトリウムを得たのかことばでまとめてみよう。

[

]

3. ルブラン法によって生活はどう変わったか？（資料を参考し説明しよう。）

4. ルブラン法の問題点とは何か？（上の化学式で問題ある部分を下線を引いてみること。）

下線が引けたらどうか？この方法による炭酸ナトリウムの生産は、19世紀に入り急速に拡大したが、同時に塩化水素（HCl）が副生物として出てくる。塩化水素（HCl）が原因の大気汚染も激しくなったというわけだ。

5. 問題点に対して行われたいろいろな対策はどんなことか？

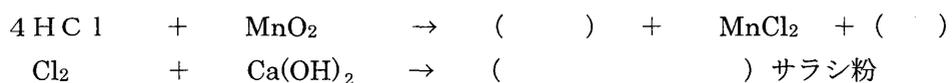
a. 新たな問題が起こった対策（資料を参考にして表にまとめよ。）

○どう解決しようとしたか	1) 具体的な方法	2) 結果としてどのような影響があったか。
①空気中に拡散させた。		
②水で希釈した。		

b. 効果があった対策（資料を参考にして表にまとめよ。）

○どう解決しようとしたか	1) 具体的な方法	2) 結果としてどのような影響があったか。
③回収し利用価値の高いものにかえた。		

※ ③の補足 回収された塩酸はさらに塩素やサラシ粉として利用されるようになった。その化学反応式を表してみよう。

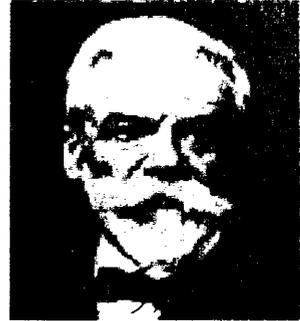


### アンモニアソーダ法の登場

塩化水素 (HC1) についての環境問題は、さまざまな対策や経済的ないきさつを経て 19 世紀末に解決されていった。ワークシート 2 ではその過程を学習する。

1. 19 世紀中ころ考え出されたアンモニアソーダ法ってどんな方法か？

ベルギー人のソルベーは、食塩水にアンモニアと二酸化炭素を吸収させると炭酸水素ナトリウムができることに着目した。炭酸水素ナトリウムを焼けば容易に炭酸ナトリウムを得ることができるので、1861 年にこの製法で炭酸水素ナトリウムの生産を始めた。



教科書などを参考にしてアンモニアソーダ法の化学反応式を何段階かに分けてで書こう。

2. アンモニアソーダ法はルブラン法と比べて違いは何か？

以下の点でまとめてみよう。

	ルブラン法	アンモニアソーダ法
① 公害問題はあったか。		
② 副生物は何か。		
③ 原料は何か。		
③ どちらの方法が複雑か。		

3. アンモニアソーダ法の出現でルブラン法はどうなったのか？

アンモニアソーダ法のほうが上でまとめたとおり、利点が多そうに見えるが、イギリスなどでは20世紀はじめまで残ってすぐにはなくならなかった。

4. ルブラン法がすぐにはなくならなかったのはなぜだろうか？

その理由を副生物の利用法を参考にしてまとめよう。



5. ルブラン法が衰退していったのはなぜだろうか？

19世紀末には塩素は電気分解によって安く製造されるようになった。結果、経済的採算が合わなくなり、ルブラン法の工場は順次閉鎖されていった。

ワークシート1、2のまとめ

ルブラン法での塩化水素発生による公害問題の解決過程は現在の大気汚染の対策についても参考になる。解決しようとして試みた対策の工夫とどんなところが環境に対して効果があったか。特にワークシート2の2番を参考にしながらまとめてみよう。





**硫黄酸化物や窒素酸化物の問題解決策**

18、19世紀のヨーロッパでは、工場から塩化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物、粉塵、ばい煙などの大気汚染物質が大量に大気中に排出されていた。産業革命が始まったため、製鉄所・火薬工場、セッケン工場、ガラス工場などが多く、各地に建設されたからである。また家庭では、燃料として石炭の消費が急速に拡大した。そのためロンドンなどの大都市では頻繁にスモッグが発生し、ときには死者が出ることもあった。

最近世界各国で酸性雨が問題になっているが酸性雨の原因物質のひとつは硫黄酸化物と窒素酸化物であるといわれている。

ここでは硫黄酸化物（ワークシート 3）と窒素酸化物（ワークシート 4）について歴史的な背景と、とってきた対策、現在とっている対策を学ぶ。

まず、酸性雨は森林や湖、金属やコンクリートの建造物などにどのような被害をもたらしているだろうか、知っていることを書いてみよう。

### 硫黄酸化物について

1. 大気中の硫黄酸化物が増えるとどんなことが起こるだろうか。知っていることを書いてみよう。

2. 硫黄酸化物とはどんなものだろうか？

硫黄酸化物について、教科書や資料をもとに次の項目についてまとめてみよう。

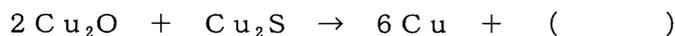
a. 性質	
b. 人体や生物への影響	

3. 硫黄酸化物はどのようにして発生するのか？

石炭や石油にはたいてい硫黄分が含まれており、燃やすと硫黄分は酸化されて、硫黄酸化物が発生する。また、鉄鉱石や銅鉱石など金属の鉱石には硫化物が含まれていることが多く、金属精錬の過程では、たいてい硫黄酸化物が発生する。

4. 銅の鉱物の精錬過程から硫黄酸化物はどのようにして発生するのか？

b. 黄銅鉱  $CuFeS_2$  や輝銅鉱  $Cu_2S$  の精錬の過程で、どのようにして硫黄酸化物が発生するのか、化学反応式を用いてまとめよう。



5. 精錬による被害（日本）はどんなものがあったか？

硫黄酸化物による被害は銅山での精錬によるものが古く知られている。資料をもとに、わが国で起きた被害をまとめよう。

6. 代表的な銅山では硫黄酸化物に対してどのような対策がとられたか。その対策後、どのような問題が起こったか？

硫黄酸化物の対策として栃木県の足尾銅山ではかつて排煙を水を洗って川に流した。愛媛県の別子銅山では精錬所を島に移し農地から遠ざけようとした。これらの足尾、別子の銅山で試みられ硫黄酸化物への対策技術はその結果新たな問題を作った。これまで学習したことを基に問題点を推測せよ。

	対策	その後の課題
足尾銅山		
別子銅山		

7. 四日市では、石油の燃焼で発生した硫黄酸化物によって、どのような被害があり、どのような対策がとられどのような問題が起こったか？

公害問題の一つである四日市ぜんそくは、石油の燃焼による硫黄酸化物、特に二酸化硫黄が原因とみて市は対策をとった。資料を参考に、被害状況と当時とった対策についてまとめてみよう。

8. 現在、火力発電所や金属精錬所でとられているとされている対策はどんなものがあるのか？

現在の火力発電所や金属精錬所でとられている対策は、排煙脱硫や原油脱硫である。

9. 排煙脱硫とはどんな方法だろうか？

排煙脱硫とは、排煙中の硫黄酸化物を除く方法であり、代表的なものは、二酸化硫黄の石灰乳（水酸化カルシウム） $\text{Ca}(\text{OH})_2$ で中和し、セッコウ  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  にして、無害化をする方法がある。教科書や資料を参考にしてその過程を化学反応式で書いてみよう。



10. 原油脱硫とはどんな方法だろうか？

原油脱硫とは、原油から硫黄分を取り除く方法である。これについて、資料を参考にしてまとめ、原油脱硫の利点と問題点について考えよう。

利点	問題点

### 窒素酸化物について

つぎに窒素酸化物についてみていこう。

1. 大気汚染の原因である窒素酸化物が大気中に増加するとどのようなことが起こるのか？

[ ]

2. 環境問題を引き起こす窒素酸化物 (NO<sub>x</sub>) にはどのようなものがあるか？

環境問題を引き起こしている窒素酸化物は、おもに一酸化窒素NOと二酸化窒素NO<sub>2</sub>であり、これらの物質について、教科書や資料をもとにまとめてみよう。

	性質	人体への影響
一酸化窒素		
二酸化窒素		

3. 窒素酸化物はどのようにできるのか？

窒素N<sub>2</sub>と酸素O<sub>2</sub>が直接化合する反応は、常温では起こりにくい。もし普通の温度で起こってしまったら、空気中の80%は窒素で20%は酸素だからほとんどが窒素酸化物になってしまって地球は窒素酸化物で満たされてしまうことになる。窒素酸化物ができる反応は、高温では反応が起こり、まず、一酸化窒素を生成する。生成した一酸化窒素は、空気中の酸素と早々に反応し二酸化窒素になる。一酸化窒素と二酸化窒素が生成する過程を、化学反応式に書いてみよう。

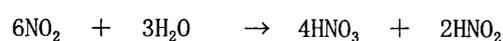
[ ]

4. 生じた二酸化窒素は水に溶解ると何になるのか？

生成した二酸化窒素は水に溶解やすく、強い酸である硝酸HNO<sub>3</sub>ができる。硝酸の工業的製法であるオストワルト法(高温)での反応を、化学反応式で書いてみよう。

[ ]

※ 低温では、次の反応式で反応する



5. 日本での窒素酸化物の被害の状況はどのようなものであったか?

[ ]

6. 人間活動で窒素酸化物はどこで発生するのか? 主なものを2つ書いてみよう。

[ ]

7. 自然界ではどのように、窒素酸化物は発生しているのか?

[ ]

8. 人間活動からの窒素酸化物が、自然界で発生するのより少ないのに、なぜ環境汚染として問題になるのか? 資料を参考にして、その理由を考えてみよう。

[ ]

9. 窒素酸化物の対策技術として考えられるものは何か?

窒素酸化物による環境問題を解決するには、人間活動を制限する(昔の生活にもどる)のが一つの方法であるが、それは現実的ではない。窒素酸化物の対策技術としてどのような方法が考えられるだろうか。今まで学習してきた、塩化水素(HCl)や硫黄酸化物(SO<sub>x</sub>)についてとられた対策技術も参考にして、あなたが考えた方法をいくつかあげてみよう。あなたが考えが将来、地球や人類を救うかもしれません。

[ ]

ワークシート5の前に、これまでの復習をしてみよう。

ワークシート1	塩化水素の問題 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ の古い製造法)
ワークシート2	塩化水素による汚染の問題解決(アンモニアソーダ法)
ワークシート3	硫黄酸化物についての理解と問題解決策
ワークシート4	窒素酸化物についての理解と問題解決策

### [ ワークシート1 ] 塩化水素の問題 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ の古い製造法)

ワークシートその1ではルブラン法による炭酸ナトリウム工業の功罪について見てきた。再確認してみよう。18世紀後半に始まった産業革命で盛んになった織物産業から作り出された多量の織物の漂白が、ルブラン法により大量に生産されるようになった炭酸ナトリウムを使って可能となった。それだけでなく、炭酸ナトリウムはセッケンや薬品の原料となり、都市の衛生状態を改善するのに一役買っている。しかし、その一方でルブラン法では副生成物の塩化水素や残滓(カリギユ)からの硫化水素が発生し、大気中に放出されることにより大気汚染が起こった。その対策としてまず採られたのは、高い煙突を建てて塩化水素などを放出したり、水に溶かして川に流したりする方法であった。高い煙突を建てた結果としては、汚染地域の拡大となり、川に流した結果は川の汚染となって現れた。

次に、採られた対策としては塩化水素から塩素やサラシ粉を生成するものであった。これらの生成物は殺菌剤として利用されるようになった。残滓(カリギユ)から発生した硫化水素からは硫黄が生成され、これも試薬の原料として利用されるようになった。これらの改善の結果、ルブラン法としては汚染対策が完了した。ただし、工場は炭酸ナトリウムを生産するとともに副生成物から試薬などを作るため、その規模は大きく複雑になった。

### [ ワークシート2 ] 塩化水素による汚染の問題解決(アンモニアソーダ法)

ワークシートその2では、ワークシートその1を受け、新たな炭酸ナトリウムの製法として、ソルバーによって考案されたアンモニアソーダ法を扱い、ルブラン法と比較した。アンモニアソーダ法では副生成物として固体の塩化アンモニウム(塩安)ができるだけであり、この物質はそのまま肥料として利用される。

上記のように、ルブラン法により大気汚染が発生し、その対策を実施していくのと並行して、大気汚染の発生しないアンモニアソーダ法が開発されていく流れは、まさに炭酸ナトリウム工業におけるグリーンケミストリー(汚染の発生を断つ方法)への転換を示している。すなわち、大気汚染の対策として、まず発生する汚染物質が外に出るとき、高い煙突や水に流すことで対応しようとした。しかし、この方法は汚染を拡大する結果となり、汚染物質が外に出る前に有用な製品(塩素やサラシ粉、硫黄など)に変えるようになった。一方、アンモニアソーダ法は汚染物質そのものが発生しない製法であり、この製法が最も環境にやさしい方法といえる。この一連の流れは、汚染物質が外に出る際の処理、外に出ないようにする処理、汚染物質を発生させないようにする方法への移行である。

### 〔 ワークシート3 〕 硫黄酸化物についての理解と問題解決策

ワークシートその3では、化石燃料の燃焼や、鉱石から金属を取り出す精錬などの際に発生する硫黄酸化物による大気汚染とその対策について考えてきた。二酸化硫黄など硫黄酸化物による大気汚染は、足尾銅山や別子銅山などで古くから、また、太平洋戦争後は四日市ぜん息を引き起こした四日市コンビナートでの汚染が知られている。その対策として採られた方法は、足尾銅山では排煙を水で洗って川に流す、別子銅山では農地から離れたところへ精錬所を移転する、四日市では煙突を高くすることであった。しかし、どの方法も汚染を拡大する結果となった。

その後、排煙中の硫黄酸化物を煙突の中で取り除く排煙脱硫が行われるようになった。さらに、原油中の硫黄分を先に取り除いておく原油脱硫が開発され、現在では原油脱硫と排煙脱硫を使ってほぼ完全に硫黄酸化物の大気への放出は抑えられている。

硫黄酸化物による大気汚染の対策も炭酸ナトリウム工業における対策と同様に、まず、発生する汚染物質が外に出るとき、水に流すことや離れた場所への移転、高い煙突などで対応しようとした。しかし、この方法は汚染を拡大する結果となり、汚染対策は汚染物質が外に出る前に取り除く排煙脱硫による方法に変わっていった。さらに、原油脱硫による汚染物質そのものを発生させない方法が組み合わされて行われるようになった。この一連の流れは、炭酸ナトリウム工業と同様に、汚染物質が外に出る際の処理、外に出ないようにする処理、汚染物質を発生させないようにする方法への移行である。

### 〔 ワークシート4 〕 窒素酸化物についての理解と問題解決策

ワークシートその4では、現在のところまだ完全には解決されていない窒素酸化物による大気汚染について考察した。窒素酸化物は、光化学スモッグや酸性雨の原因物質の一つとされ、また、幹線道路沿いの住民の健康被害についても問題となっている。

人工的に発生する窒素酸化物は、ボイラーやエンジンの中で空気中の窒素と酸素が高温状態で反応して生成したものである。その大気汚染対策として工場など固定発生源では、硫黄酸化物の排煙脱硫とともに排煙脱硝によりその多くは外に出る前に取り除かれている。一方、移動発生源である自動車では、排気管に触媒をつけて排気の際に窒素酸化物を窒素と酸素に分解しているが、窒素酸化物として排気されるものも少しあり、完全な除去にはなっていないのが現状である。より完全な対策としてどのような方法が考えられるか、案を出してもらった。なお、開発されつつある方法としては、排気管の触媒の改良とともに、エンジン内の空気中の酸素濃度を減らしたり、温度を上げないようにしたりして窒素酸化物の生成を抑える方法や、電気自動車など空気を取り入れて燃焼する過程を経ない方法などが考えられている。この対策でも、汚染物質が外に出ていたものを、外に出ないようにする処理、汚染物質そのものを発生させない方法へと移行していくことが考えられよう。

以上、これまでの汚染対策の推移は同じように進んでいることが認められる。最後の汚染物質そのものを発生させない方法を、最初の段階から念頭に置いて研究開発するように、化学者自身が意識を変えようとしているのがグリーンケミストリーである。

## グリーンケミストリーとリスク評価

## [ リスク評価 ]

環境汚染などに対するリスク評価としては、一般に次の四つの方法が考えられている。

- (1) 自然状態との比較による方法：バックグラウンド法  
例えば、テレビからの放射線の影響を自然からの放射能と量的に比べて見積もる。
- (2) 代替となるものとの比較による方法：バランス法  
例えば、発電方法として、火力発電や原子力発電、水力発電、自然エネルギーを使った発電等のコストや問題点などを比べる。
- (3) 全く違った種類の危険性との比較による方法：比較法  
例えば、自動車旅行で事故にあうリスクと水泳で事故にあうリスクを比較する。
- (4) 当面している問題の利益と害との比較による方法：リスク（コスト）－便益法  
例えば、農薬を使うリスクと野菜を安く買える益を比べる。

これらの評価法はエネルギーと環境問題などいろいろな判断・意思決定をする際に役立つ方法である。

環境汚染に対して環境基準などが決まっているが、これは一般に「危険性は普通の個人や社会が許せる程度に小さい」と判断される量のことである。実際には「現在の科学的知識で、普通の人の体にも、その子孫にも異常が起こらないであろうと考えられる量」を職業人の限度とし、一般の人に対する限度はその100分の1というように安全率を見込んで設定し、安全を図っている。

ところで、これからは一般社会における問題と科学や技術との関連がさらに強まっていくことが考えられる。例えば、医療ではインフォームド・コンセントに象徴されるように患者自身の判断・意思決定が重視されるようになってきた。エネルギーや環境の問題でも同様である。社会に出て科学技術の知識が必要な対象者は、研究者や技術者ばかりでなく、ジャーナリストや一般市民も含まれるようになってきている。科学や技術に関連した社会問題に関して判断・意思決定する場合には、文科系を含めた一般の人々にとってもその基礎として自然科学的な素養、総合的な自然観を身につけていることが、多くの個人や社会全体に利益をもたらす方向への結論を導くために重要なことと思われる。

また、これからの技術革新においても研究者や技術者だけでなく、一般市民がその意思決定に参加する機会が増えるであろう。さらには、一般市民も交えた科学技術の推進が必要となろう。科学技術を一般市民に受け入れてもらえばよいとしていた考え（Public Acceptance）は、科学技術を理解してもらうよう（Public Understanding）に変わってきている。これはさらに科学技術者とともに一般市民も主体的に科学技術に関われるよう（Public Commitment）に移行していくものと思われる。

## [ グリーンケミストリー ]

一方、研究者や技術者も考え方を切り替え始めており、その一つがグリーンケミストリー（環境にやさしい化学）である。グリーンケミストリーとは環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してからの処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理や方法論のことで、欧米や日本の化学会で汚染を防ぐ画期的な手段として注目を浴びている。また、それを推進する運動のことも指す。

グリーンケミストリーを推進していく大事なポイントの一つに、対症療法ではなく、物質の科学である化学を駆使して抜本的にリスクを除こうとすることがある。

リスクは次のように表せる。

$$\text{リスク} = \text{危険性} \times \text{暴露量}$$

これまでは産業界も社会も、危険性が同じであるなら暴露量（危険にさらされる人数と汚染の程度）を減らすことでリスクも減らすことを中心に考えてきた。グリーンケミストリーでは、危険性そのものも減らそうとしている。グリーンケミストリーでの手段を使えば、物質そのものを無害に近づけていくことになるのでリスクは確実に減り、無害となれば漏れてもリスクが増えることはなくなり、環境に出ても心配はいらないことになる。

グリーンケミストリーにはその精神を表した12か条がある。

1. 廃棄物は「出してから処理」ではなく、出さない。
2. 原料をなるべくむだにしない形の合成をする
3. 人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする。
4. 機能が同じなら、毒性のなるべく小さい物質をつくる。
5. 補助物質はなるべく減らし、使うにしても無害なものを。
6. 環境と経費への負荷を考え、省エネを心がける。
7. 原料は、枯渇性資源ではなく再生可能な資源から得る。
8. 途中の修飾反応はできるだけ避ける。
9. できるかぎり触媒反応を目指す。
10. 使用後に環境中で分解するような製品を目指す。
11. プロセス計測を導入する。
12. 化学事故につながりにくい物質を使う。

上記の中で、1と11は暴露量の低減を、2と6～9は廃棄物の低減を、3～5と10、12は危険性の低減をねらいとしているものと考えられる。

この中で、2では、目的物の収率が100%であっても、原料の原子それぞれが100%目的物に利用されているとは限らないことから、利用の割合を示すアトムエコノミー（原子の利用率）の考えが必要とされてきている。9では、いろいろな反応が同時に起きる競争反応において、触媒を使い特定の反応経路の速度のみを速くすれば、その反応だけを選択的に起こすことができるようになるので、このような触媒反応を目指している。

このように、これからの科学技術を望ましい方向へ進めていくためにも、判断・意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が研究者にも、技術者にも、一般市民にも必要な素養となってきた。

# 学習履歴シート

## 『学習前』

「大気汚染」という語を使って文を三つ書いて下さい。

\_\_\_年 \_\_\_組 \_\_\_番

氏名 \_\_\_\_\_

<b>ワークシート1</b> 学習した内容を要約してください。	<b>ワークシート3</b> 学習した内容を要約してください。
<b>ワークシート2</b> 学習した内容を要約してください。	<b>ワークシート4</b> 学習した内容を要約してください。

## 『学習後』

この学習で何を学びましたか。「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください。

○学習前-学習中-学習後をふり返って、あなたはどう思いますか。自由に書いてください。

○学習しての感想を書いてください。

その5で学習した内容を要約してください。

将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それはなぜですか。

学習しての感想を書いてください。

【資料：No. 11】 炭酸ナトリウム工業の発達（ルブラン法：アンモニアソーダ法以前）

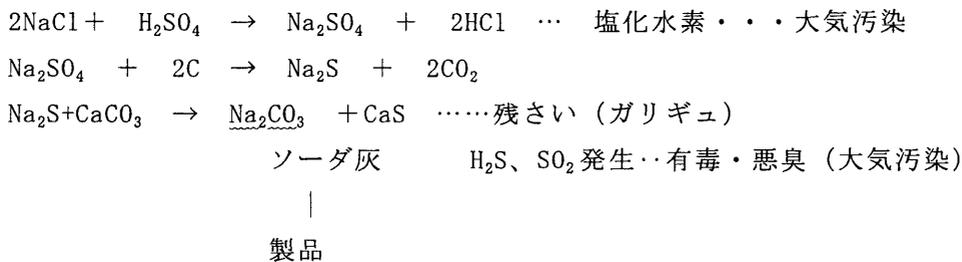
[WS1]

18世紀末、ヨーロッパでは産業革命が急速に進む中で、織物産業が盛んになり、織物を漂白するため大量のアルカリが必要になった。それまでの漂白法は、灰汁による煮込み、天日さらし、酸敗したミルクに浸すなどの方法であった。機械による織物の大量生産にともない、漂白剤の原料である木灰・海草灰やミルクが不足し、それにかわる剤の大量生産が必要になった。

1789年、ルブラン法の成立によって植物の灰に代わる炭酸ナトリウム（ソーダ灰）の工場生産が可能になり、これが織物の漂白に大量に使用されるようになった。また、炭酸ナトリウムは織物の漂白の他に、ガラス、石けん、染料、薬品の製造にも使用された。特に石けんは織物の仕上げに使用されたため、産業革命の進行とともに、石けん製造業が急速に拡大した。また、人口が急増した都市の衛生環境を保つために、安価に製造された石けんが庶民の間でも必需品となった。このように、炭酸ナトリウムは織物産業や人々の日常生活に必要不可欠な物として、ルブラン法により大量に生産された。

【資料：No. 12】 ルブラン法の化学反応式

[WS1]

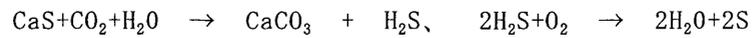


【資料：No. 13】 塩化水素による大気汚染の対策（ルブラン法の改良）

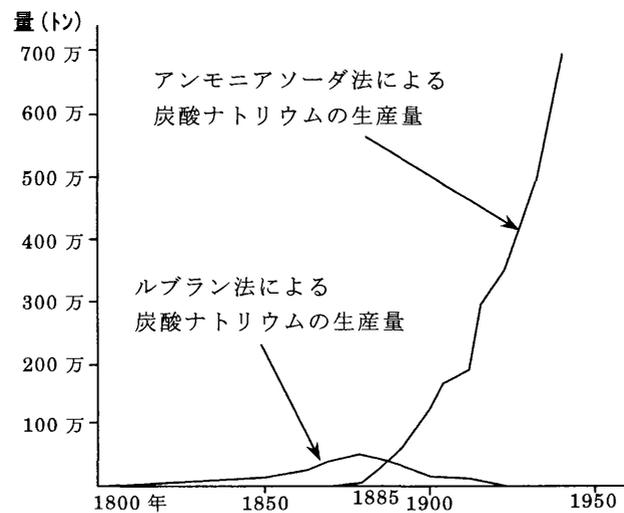
[WS1]

- 1791 フランス人のルブランが炭酸ナトリウム（ソーダ灰）製造法の特許を取得。
- 1810頃 ルブラン法による炭酸ナトリウム製造の過程で、塩化水素（HCl）ガスが発生し、それによる大気汚染が問題となった。
- 1814 フランスのソーダ灰生産量が、年間1万トンに達した。
- 1823 イギリスのリバプール市に高煙突（90m）の工場を建設した。HClガスを拡散しようとしたが、結果は、さらに汚染地域が広がった。
- 1828 同工場、HCl公害のため人口の少ないセント・ヘリンズへ移転させられた。
- 1836 イギリス人のゴッセージが水にHClガスを溶かし塩酸として回収する吸収塔を開発した。しかし、塩酸の用途が少なく、川に流し捨てたので河川の汚染が発生した。
- 1863 イギリスでは、ルブラン法工場に対する規制法（アルカリ条例）が制定された。（濃度5%以上のHClガスの放出を禁止）

- 1870 頃 ゴッセージの吸収塔で回収した塩酸を原料とする、さらし粉（漂白剤）の製造（ウェルドン法）が普及した。これによって、HCl 公害はほぼ解決した。
- 1880 ルブラン法による世界のソーダ灰生産量が、年間 54.5 万トンのピークに達した。
- 1881 アルカリ条例をルブラン法以外の工場にも適用し、アルカリ工場規制法とした。
- 1887 廃棄物のガリギ（ $H_2S$  などの発生源）対策として、イギリス人のチャンスが硫黄（S）の回収法を発明した。これによって、ルブラン法の公害対策は、ほぼ完成した。

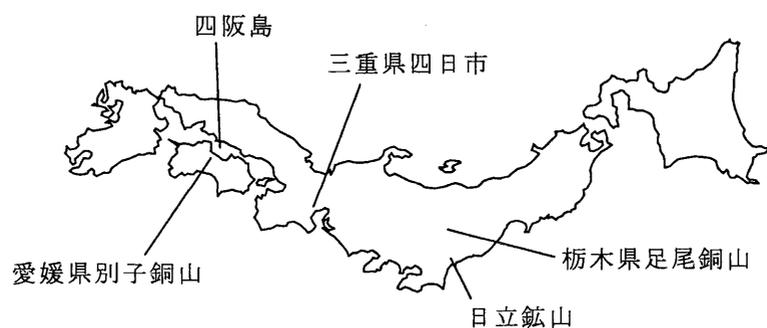


ガリギ



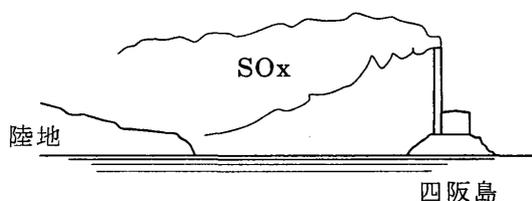
世界の炭酸ナトリウムの生産量

	塩化水素(HCl)	硫黄酸化物(SO <sub>x</sub> )	窒素酸化物(NO <sub>x</sub> )
工業的利用方法	<p>塩化水素HClは水に溶解易く、水に溶解ると塩酸になる。様々な化学工業に使われ、さらし粉(漂白剤)、薬品、マッチ、塩化ビニルなどの原料になる。</p> <p>(例)</p> $4\text{HCl} + \text{MnO}_2 \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">塩素</p> $\text{Cl}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCl(ClO)} \cdot \text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">さらし粉</p>	<p>SO<sub>x</sub>はS(硫黄)やH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(硫酸)として回収し、工業に利用される。また、水と石灰を用い石こうにする。</p> $\text{SO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">石こう</p>	
自然界での発生源	火山ガスなどに含まれ、大気中にごく微量存在する。	火山ガス、生物の遺体、湿地帯や干潟などから発生する。年間2,000万トン。	主に、土中のバクテリアの活動などにより発生する。いなづま(空中放電)によっても発生するがごく微量である。年間18,000万トン。
人工的な発生源	19世紀前半から20世紀初め、ヨーロッパでは炭酸ナトリウム工場からHClガスが大量に放出され、深刻な大気汚染を招いた。現在ではゴミ処理などでHClガスが発生するが、その量はごく僅かである。	化石燃料の燃焼(火力発電所、工場・ビルのボイラーなど)、鉱石の精錬所などで発生する。年間21,200万トン。	主に化石燃料の燃焼による。工場・事業場のボイラーなどの固定発生源や、自動車・航空機のエンジンなどの移動発生源がある。家庭の暖房などからも発生する。年間7,500万トン。
人体への影響	のど、目、鼻などを刺激し、それらの炎症や気管支炎などをおこす。工場などで作業する場合の、許容限界濃度は5ppmである。1,200ppm以上の所に約1時間いると死亡することがある。	のどや肺を刺激して気管支炎、ぜんそくを引き起こし、肺炎になることもある。慢性の中毒では鼻やのどがはれたり、歯をいためたりすることもある。SO <sub>2</sub> の環境基準は、1時間値の1日平均が0.04ppm以下で、その1時間値が0.1ppm以下と規定されている。600ppmの所に約1時間いると死亡することがある。	のどや鼻を刺激し気管支炎を引き起こすが、その作用は硫黄酸化物ほど強くない。しかし、高濃度のNO <sub>x</sub> を吸収すると肺に障害をおこす。NO <sub>2</sub> の環境基準は、1時間値の平均が0.04~0.06ppm以下と規定されている。また、工場などでの許容濃度は3ppmとされている。320~530ppmの所に30分~1時間いると死亡することがある。
生物への影響	植物の葉を変色、変形させる。雨滴に取り込まれると酸性雨となり植物を枯らす。	一般に植物はSO <sub>x</sub> に弱く、30~60ppmでも枯れることがある。このため、農作物には大きな影響を及ぼす。また、SO <sub>x</sub> は酸性雨の原因となり、広範囲に植物を枯らし、湖を酸性化し魚類などに影響を及ぼす。	酸性雨の原因となり植物を枯らし、湖を酸性化し魚類などに影響を及ぼす。

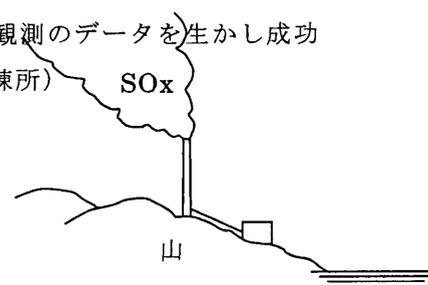


高煙突による拡散の効果

海上気象のデータ不足で失敗  
(四阪島精錬所)



高層気象観測のデータを生かし成功  
(日立精錬所)



方法が同じでも、条件が違うと、効果が違う。

結果と条件は、必ず結びつけて考えなければならない。

【資料：No. 21】 炭酸ナトリウムの新しい製法(アンモニアソーダ法)

19世紀半ば、新たにアンモニアソーダ法(ソルベー法)が確立し、その後、ルブラン法に代わって炭酸ナトリウム生産の主流になった。アンモニアソーダ法は、原料のアンモニアが安く供給され、また、アンモニアや二酸化炭素を回収し、再び原料として使用するので、生産効率が高く、製品を安く作ることができる。塩化水素(HCl)や硫化水素(H<sub>2</sub>S)などの汚染物質を排出することもない。アンモニアソーダ法では、塩化アンモニウム(NH<sub>4</sub>Cl)を副産物としてとり出すもできる。NH<sub>4</sub>Clは農産物の肥料になる。

一方、ルブラン法では、副生するHClや硫化カルシウム(CaS)を、有用なサラン粉(CaCl(C10)・H<sub>2</sub>O)、硫黄(S)、塩素(Cl<sub>2</sub>)などに変えるための設備が必要であり、全工程が複雑で、製品の炭酸ナトリウムの価格が高くなった。Cl<sub>2</sub>は都市生活を支える飲料(水道)水の滅菌・消毒になくてはならないもので、当時も多く必要があった。このため、アンモニアソーダ法が主流になってからも、ルブラン法による工場は、Cl<sub>2</sub>やさらし粉など副産物の需要に支えられて、経済的に採算が成り立っていた。

しかし、19世紀末から20世紀初めに食塩水の電解法が確立し、Cl<sub>2</sub>が安く生産されるようになると、ルブラン法では炭酸ナトリウムは生産されなくなった。

a. 金属精錬による硫黄酸化物

(栃木県足尾銅山の煙害)

- 1877 足尾銅山で、銅の大規模な生産が始まった。
- 1882 SO<sub>x</sub> による煙害が表面化した。山林が枯れ、農作物も大きな被害を受けた。
- 1888 栃木県松木村で桑の木がすべて枯れ、養蚕ができなくなった。
- 1890 SO<sub>x</sub> により森林が枯れ、山に保水能力がなくなり、渡瀬川が大洪水を起こした。
- 1903 住民の立ち退きにより松木村が消滅した。
- 1907 洪水対策として、谷中村を強制移転し、遊水池をつくった。
- 1967 公害対策基本法公布。
- 1973 足尾銅山閉山。

(愛媛県別子銅山の煙害)

- 1885 別子銅山で洋式溶鉱炉が使用され、鋼の生産量が増すとともに、米や麦に SO<sub>2</sub> による煙害が広がった。
- 1904 精錬所を、農地から離すため、瀬戸内海の四阪島(シカジマ)へ移転したが、SO<sub>2</sub> ガスは海上を広がり、かえって煙害の区域が拡大した。
- 1910 別子銅山の生産を制限した(米・麦生産期間の 40 日間操業を制限し、10 日間は停止した)
- 1939 中和工場の完成により、煙害はほぼ解決された。
- 1973 別子銅山閉山。

三重県四日市の大気汚染の主な原因物質は二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) と、硫酸ミスト (硫酸を含んだ霧) である。これらはぜんそく、気管支炎、肺炎などの呼吸器障害をひき起こした。四日市コンビナートは、わが国の高度経済成長に役立ったが、同時に大気汚染、水質汚濁などの公害を招いた。

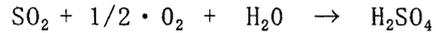
- 1960 第 1 コンビナートが完成し、本格的に稼動を始めた。同時に、ばい煙被害が表面化した。
- 1962 SO<sub>2</sub> 濃度が最高 2.5ppm に達した。(日本公衆衛生協会の許容値は 0.1ppm)
- 1964 四日市市、「ばい煙 (ススや煙) 規制法」の対象地域に指定された。
- 1965 火力発電所が 120m の高煙突を使用し始めた。これにより煙突の近くの濃度は低くなったが、汚染地域が広がった。
- 1966 「ばい煙規制法」により SO<sub>2</sub> の排出基準を 0.18% 以下とした。
- 1968 企業側が「使用燃料を硫黄分 1.7% 以下の重油とする。」と発表した。
- 1969 脱硫装置により硫黄分 1.7% 以下の重油が作られるようになった。  
コンビナートと住宅地の間に、緑地帯を作ることが考えられた。
- 1984 四日市公害による公害病の認定者数が、12 月末で約 1,000 名になった。

## a. 排煙脱硫

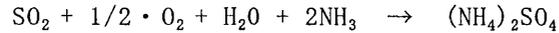
1. 石灰乳または石灰石粉末の水スラリー（泥状の混合物）に  $\text{SO}_2$  を吸収させる。  
生成する亜硫酸カルシウムを空気酸化して石膏にする。



2.  $\text{SO}_2$  を活性炭に吸着させ、これを酸化し、水に吸収させ硫酸として回収する。

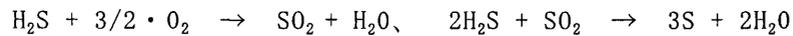


3.  $\text{NH}_3$  と  $\text{H}_2\text{O}$  により  $\text{SO}_2$  を硫酸アンモニウムに変える。



## b. 原油脱硫（水素化脱硫）

石油に含まれる硫黄は、水素ガスを数十気圧、300～400℃で触媒を用いて反応させると、硫化水素 ( $\text{H}_2\text{S}$ ) として除去できる。 $\text{H}_2\text{S}$  は次の反応により硫黄として回収される。



原油脱硫は、石油製品を燃焼させる前に硫黄分を除くので、多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ利点がある。しかし、現在の方法では原油中の硫黄分を完全に取り除くことはできない。

原油の中にわずかに残った硫黄分を完全に取り除くには、複雑で大規模な装置が必要となり、経済的にも多くの問題が残っている。

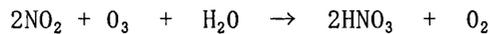
大気汚染関連の年表

年号	大気汚染、煤煙、酸性雨(霧)	備考
1789	ルブラン法の発明	エネルギー源としてはおもに石
18前半	(欧米)公害の被害報告	
1853	(英)煤煙法成立	
1861	(ベルギー)アンモニアソーダ法の発明	
1893	(日)別子銅山の煙害発生	
1930	(ベルギー)大気汚染(亜硫酸ガスなど)のため60人死亡、数千人に被害	
1945	(米)ロサンゼルスで光化学スモッグ(炭化水素と窒素の酸化物が紫外線により過酸化物となる)が観測される	(米)最初の原爆、広島、長崎へ投下
1948	(米)ドラノで二酸化硫黄などによる汚染で5900人が中毒20人が死亡	
1952	(英)ロンドンでスモッグ(亜硫酸ガス)より4000人死亡	エネルギー源として石油が中心
1954	(米)ゴーム、雨の酸性化は化石燃料によることを明らかにする	
1956	(英)大気清浄法	
1961	(日)四日市でぜん息患者多発	
1962	(英)ロンドンで煤煙により340人死亡 (日)日本1週間にわたって光化学スモッグ(日)煤煙規制	
1967	(スウェーデン)土壌学者オーデン博士酸性雨の原因の論文発表	(日)公害対策基本法制定
1968		国連ではじめて環境問題が登場
1969	(日)大気汚染防止法制定	(日)東京都公害防止条例法
1970	(日)東京で光化学スモッグの被害発生 (日)四日市地方でアサガオの花弁脱色事件	このころよりエネルギー源として原子力がつかわれはじめる
1971	(日)千葉県木更津中心に約6千人が光化学スモッグによる被害、その後東京で集団被害 (日)自動車の排ガス規制強化 (加)オンタリオ州で雨のあとや雪解け時にマス、スズキの大量死	(日)環境庁発足  (日)悪臭防止法施行
1972	(日)四日市ぜん息の裁判で患者側の勝訴 (日)無鉛ガソリン適合者へ切替 (米)アラスカのバローがアリゾナの2倍の大気汚染度 (スウェーデン)国連人間環境会議-はじめて酸性雨が人々にしらされた	
1973	(日)窒素酸化物の排出基準決定 (日)二酸化炭素、光化学オキシダントの環境基準決定 (日)静岡県内の3地区で強酸性の霧雨降る-このころより酸性雨に対する関心が高まり始めるが、当時は湿性大気汚染と呼んでいた	ワシントン条約-絶滅のおそれのある野生動植物の国際取引に関する取り決め
1975	(米)ニューヨークで酸性の湖が51%そのうち90%でマスが死滅	(日)有吉佐和子「複合汚染」出版
1976	(日)硫黄酸化物の総量規制実施	
1978	(日)二酸化窒素の環境基準改正	
1979	(国連)欧州委員会環境大臣会議で長距離越境大気汚染条約採択 (日)市原、川崎市にpH3.3の酸性雨が降る	
1980	(日)前橋市H2.86の強酸性雨 (米)国家酸性雨影響計画(NAPAP)制定 (加)オンタリオ州の約140の湖で酸性により魚がいなくなった	IUCN、世界自然保全戦略発表
1981	(独)酸性雨による森林被害の報告 (米)北東部からカナダにかけて森林被害調査がはじまる	FAO西暦2000年の農業-食糧生産と有効購買力の分配の改善
1982	(中)酸性雨調査	
1984	(米)政府技術評価局、酸性雨と大気汚染の移動を報告 (日)東京各地で杉木の枯死 (加)オタワで環境問題担当閣僚会議-酸性雨の基になる硫黄酸化物を今後10年以内に30%減少を採択	
1985	(ノルウェー)南部の酸性雨の被害深刻 (国連)ヘルシンキ議定書締結(SOx排出量削減)	
1987	ヨーロッパで長距離越境大気汚染防止条約に基づくヘルシンキ議定書発効-硫黄酸化物の排出量を1993年までに1980年の30%削減	
1988	(国連)ソフィア議定書締結(NOx排出量凍結)	
1990	(日)粉じん公害の原因であるスパイクタイヤの使用を規制する。	
1992	(日)自動車NOx法策定 (国連)地球サミットの開催	
1995	(日)西淀川公害訴訟で始めて国の賠償責任を認める判決	
1997	(米)ディーゼル排気微粒子(DEP)排出環境基準を制定	
2001	(東アジア)10カ国で酸性雨モニタリングネットワーク開始 (日)改正自動車NOx法制定 (日)東京都環境確保条例施行(ディーゼル車対策) (日)自動車税制グリーン化	

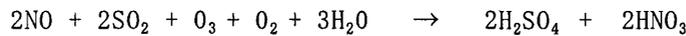
【資料：No. 41】 酸性雨の化学反応式

[WS3, WS4]

大気中で SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub> はおもに O<sub>3</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> などと反応し酸性雨となる。



硝酸



硫酸 硝酸

【資料：No. 42】 環境汚染物質の濃度と生物への影響

[WS3, WS4]

大気汚染物質が生物にどの程度の影響を与えるかは、通常、その物質の濃度によって決まる。発生量が全体としては少なくとも、部分的に高い濃度のところがあれば、そこにいる生物は強い影響を受ける。塩化水素ガスによる被害は、ルブラン法による炭酸ナトリウム製造工場周辺でおきた。また、光化学スモッグの被害は、たくさんの自動車が集まる大都市で発生した。

NO<sub>2</sub> ガスの発生する工場などで働く人について、NO<sub>2</sub> の許容濃度は 3ppm 程度と考えられている。許容濃度とは、その濃度の所で働き続けても、障害は起きないだろうと考えられる濃度の事である。

二酸化炭素の増加によって地球の温暖化が心配されるなどの例は、大気汚染のもう一つの型である。CO<sub>2</sub> の濃度増加は、生物に直接被害をもたらす種のものではないが、地球上の環境を変化させるので、その環境の変化が生物に被害を与えるのではないかと心配されている。

【資料：No. 43】 窒素酸化物の大気中での増加の影響・環境汚染・被害

[WS4]

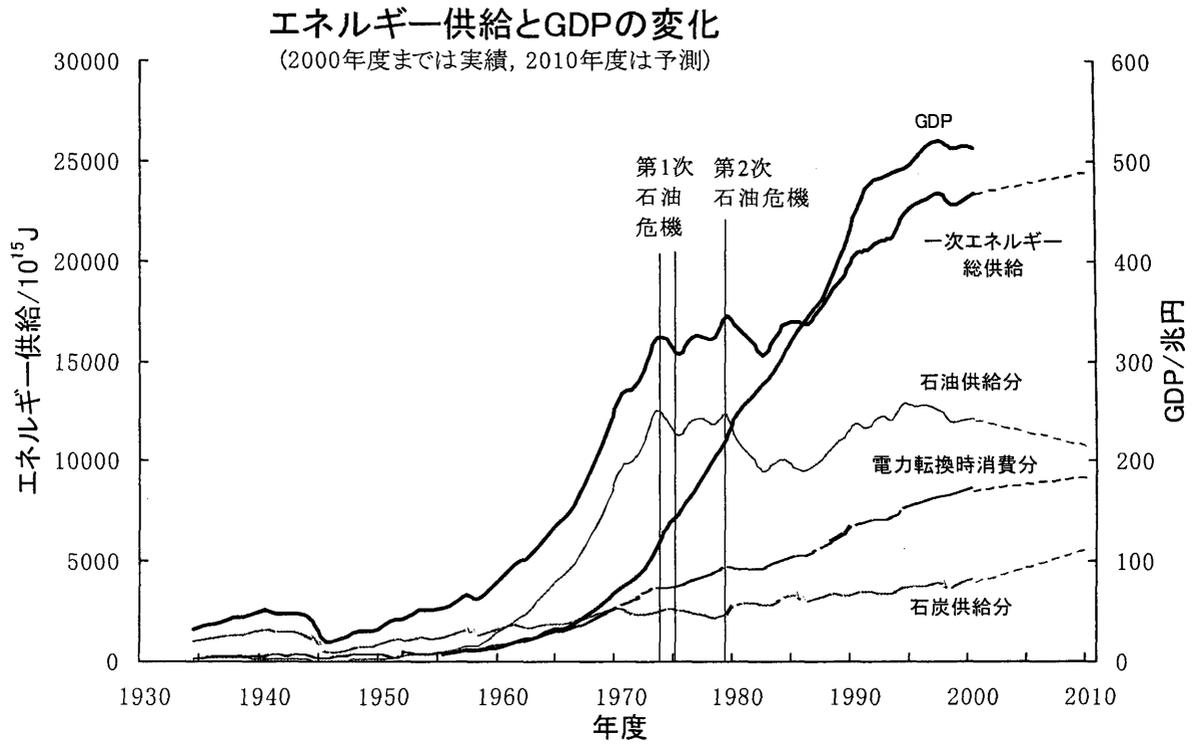
窒素酸化物が大気中に増加すると、それ自身による影響だけでなく、光化学スモッグの原因物質ともなり、のどや鼻を刺激し、気管支炎の原因にもなる。自動車先進国であるアメリカのロサンゼルスなどでは、かなり以前から窒素酸化物を主体としたスモッグに悩まされてきた。窒素酸化物は、硫黄酸化物とともに、大気汚染や酸性雨の原因となっている。

日本においても東京などの大都市で、昭和 40 年代中ころから同様の被害が出始めた。大都市の幹線道路沿いの住民の健康に深刻な影響を与えるようになり、その周辺でも窒素酸化物から生じる酸性物質や酸性雨による被害が広がってきた。

二酸化窒素は、炭化水素などがあるところで紫外線にあると、それらと反応して刺激性のある物質を生じる。これが、ロサンゼルスや東京で大きな環境問題となったオキシダント(酸化性物質)である。また、二酸化窒素が雨に取り込まれると、硝酸を生じて酸性雨になる。

オキシダントとは、工場や自動車などから排出された窒素酸化物や炭化水素などが、太陽光線中の紫外線をうけて光化学反応を起こして生成する酸化性物質のことである。オゾン(O<sub>3</sub>)を主成分とし、アルデヒド(RCHO)などを含んでいる。オキシダントは、目や呼吸器などの粘膜を刺激する。紫外線の強い夏季の昼間に出現することが多い。

年度	できごと
1914	第1次世界大戦始まる（日本経済、輸出を軸に急成長）
1918	第1次世界大戦終結
1923	関東大震災
1929	世界経済大恐慌始まる
1931	日本、中国大陸への進出を図る
1937	日中全面戦争へ発展
1941	太平洋（日米）戦争へ発展
1945	第2次世界大戦終結（日本経済、壊滅的打撃をうける）
1950	朝鮮戦争始まる（日本経済、米軍需要を軸に回復を始める）
1956	日本、国連に加盟
1960	日本経済、高度成長に入る
1964	東京オリンピック開催、新幹線開業
1967	公害対策基本法公布
1968	大気汚染防止法公布
1968	日本のGNP、世界第2位となる
1969	通産・厚生両省、SO <sub>2</sub> 排出基準設定
1970	大坂万国博開催、公害問題全国的にクローズアップされる
1973	第1次オイルショック（アラブ産油国、石油供給を制限、日本経済マイナス成長になる）
1973	NO <sub>x</sub> 排出基準設定
1979	第2次オイルショック（国際石油資本、石油供給を削減、日本、省エネルギー対策を迫られる）
1980	日本の自動車生産台数、世界第1位になる
1989	東西冷戦終結
1960	日本経済、高度経済成長に入る（石炭から石油へ移行） 「国民所得倍増計画」の発表
1973	化学物質の製造および審査に関する法律（化審法）制定
1979	第2次オイルショック 省エネルギー対策、代替エネルギーの導入 → 省エネルギー法
1985	科学万博つくば85開催
1997	気候変動枠組み条約第3回締結国会議（温暖化防止京都会議、COP3）の開催 →温室効果ガス排出量削減目標の決定



注:「電力転換時消費分」とは、一次エネルギー総供給のうち、発電用に使われたエネルギー量

グリーンケミストリーに関する

学習教材、実験教材の開発

平成 16 年 3 月 31 日発行

153-8681 東京都目黒区下目黒 6-5-22

発行所 国立教育政策研究所内  
化学教材研究プロジェクト

代表者 松原 静郎

印刷所 チョダクレス株式会社