

日本学術会議科学研究費 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教材の 開発研究

平成 15 年 (2003 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 ヶ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）」を実施できることになった。この報告書は平成 14 年度に実施してきた教材開発やその実践などについての途中経過を中間報告として出すものである。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。

今年度は第 1 年度として研究代表者、分担者、中・高等学校教諭で研究委員会を発足させ、ほぼ月 1 回のペースで研究会を開いて研究を進めてきた。

研究計画に従って、第一に、中学校選択理科及び高等学校化学 I を対象とした、グリーンケミストリー（以下 GSC と記す）の学習教材を開発するため、まずこれまで開発してきた環境対策技術教材を検討し、GSC の原理に対応した教材を開発すること、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、中・高等学校の教科書の実験教材を GSC の観点から検討することから始めた。

炭酸ソーダ工業や石油工業での大気汚染とその対策では、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た。この経緯は GSC への移行と同じ変化である。今年度はこの内容を GSC の視点から新たな学習教材として開発し、いくつかの学校で実践していくことができた。

一方、実験教材の開発では、高等学校で扱う試薬が徐々に限定されてきており、例えば触媒を用いた有機反応を、GSC の立場から競争反応で必要な反応を選択的に促進する触媒を使って目的物の収量を増やし、副生成物を減らすことを示す実験に直して実践するような場面を見出すことは難しく、他の面での実験を考えなければならなかった。

また、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、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 2 月には、全国の教育センター指導主事等の方 14 名にお集まりいただき、学習教材の実践結果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、いつも小川友子さんの助力があった。ここに感謝したい。

平成 15 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 (新潟県立新潟南高等学校 教諭)
- 臼 井 豊 和 (東京都立新宿高等学校 教諭)
- 遠 藤 英 夫 (帝京長岡高等学校 教諭)
- 鎌 田 正 裕 (東京学芸大学 教育学部 助教授)
- 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)
- 後 藤 顕 一 (埼玉県立浦和高等学校 教諭)
- 重 藤 英 一 (大阪府門真市第二中学校 教諭)
- 高 野 裕 恵 (大阪府立天王寺高等学校 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)

山 本 勝 博 (大阪府教育センター 主任研究員)

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、中学校選択理科及び高等学校化学 I を対象とした、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、例えば触媒を用いた有機反応を、GSC の立場からいくつかの競争反応のうち必要な反応を選択的に促進する触媒を使うことによって目的物の収量を増やし副生成物を減らすことを示す実験に直して実践し、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。その効果を、中・高の協力校で実践し質問紙や発話分析により調査する。

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中・高での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、定型文指導は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方法を示し、その結果大多数の生徒が文章として記述できるようになることがわかった。その定型文指導を GSC 教材に応用して判断・意思決定能力の育成を図り、そ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

中学校選択理科及び高等学校化学 I におけるグリーンケミストリーの学習教材として、これまで開発してきた環境対策技術教材を検討し、ワークシートその 1 からその 5 を作成し、2 高校においてその 1 からその 5 までを通して授業実践した。

一つの高校では総合的な学習の時間に 9 回にわたってこの教材に関する授業を実施した。生徒たちは本教材に興味を示し、まじめに取り組み、学習前に大気汚染について書いた内容は断片的でごく身近ではあるものの関心が感じられない文が多かったが、学習後は大気汚染の具体的な原因物質などの記載が多くなり、また、人類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圧倒的に増え、学習効果が認められた。

もう一つの高校では、3 学年を対象とし推薦で進路が決まった生徒に対してこの教材を課題学習として実施した（後半は家庭学習）。学習にかかった時間は全体として 5 時間～8 時間であった。生徒の反応は最初鈍かったが、1～2 時間後にはかなり積極的に取り組む姿勢が見られ、課題学習でも十分効果があることが分かった。

また、ワークシートによる学習を進める際に、利用する参考資料をあらかじめ用意されたものに限定しない意味からも、インターネット活用を含めた教材のデジタル化を試みた。ただし、今年度の授業実践に利用するまでには至らなかった。

評価方法の開発および実践

学習教材の効果を高等学校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。

実験教材の開発および実践

中・高等学校の教科書についてグリーンケミストリーの観点から開発できそうな実験について調査した。その結果、中・高等学校で使う試薬が非常に限定されてきており、当初考えていた触媒を用いた有機反応を、GSC の立場から競争反応で必要な反応を選択的に促進する触媒を使って目的物の収量を増やし、副生成物を減らすことを示す実験に直して実践するような場面を見出すことは難しく、他の面での実験を考えなければならなかった。

危険性の防止と試薬の再利用、環境の測定、廃棄物処理などの点から、実験教材の開発を試み、授業実践した。その中で新しい実験方法が優れている点を記述させた結果、グリーンケミストリーを特に学んでいなくてもその視点のある程度持ち合わせている生徒が少なからずいることがわかった。また、理化部の生徒による実験教材の検討もなされた。この活動については、現在も継続中である。なお、リスク評価の基準となる毒性の試案も作成したが、今後検討の俎上に乗せていきたい



目 次

はしがき	i
研究組織	ii
研究目的	iv
本年度の研究結果概要	vi
I. 学習教材の開発と実践	1
学習教材の開発 (松原静郎)	2
試行授業実践報告 (後藤頭一)	
1 調査について	4
2 学習履歴シートの考察	13
資料1 生徒の学習の様子	26
資料2 各ワークシートへの回答	32
資料3 総合小論文としてのまとめ	39
GSC 教材実践報告 (野内頼一)	
1 調査について	60
2 結果と考察	63
II. 評価法の開発	73
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 (堀 哲夫)	
1 これまでのポートフォリオ評価法の問題点	74
2 これまでの自己評価の問題点	75
3 学習履歴を重視した「一枚ポートフォリオ評価法」の開発	77
4 学習履歴を重視した一枚ポートフォリオ評価法による	
教育内容構成の適切性の評価	79
資料シート	81

Ⅲ. 高等学校実験教材	85
グリーンケミストリー教材の開発ー水質の簡易測定法の開発と	
イオン交換膜法による海水の濃縮と淡水化ー (山本勝博)	86
1 蛍光測定による環境水の簡易水質測定法の開発	87
2 紫外スペクトル法による天然水中の有機成分の	
簡易測定法の開発	90
3 イオン交換膜を利用した海水の濃縮と淡水化の教材化	93
グリーンケミストリーを基本にした、高校化学実験の検討	
(深野哲也)	96
アルミナ触媒反応実験に対する生徒の評価 (臼井豊和)	102
環境問題を理解するための授業実践ー実験後の廃液処理方法に	
ついてー (高野裕恵)	106
「グリーンケミストリー」の普及を目指した授業実践報告	
(藤原 大)	110
毒性一覧 試案 (清田三郎)	116
Ⅳ. 中学校実験教材	119
生徒から見た実験教材の長所と短所ー中学校の熱分解の	
学習を例にー (宮内卓也)	120
酸、アルカリの学習におけるアサガオに含まれる天然	
色素の教材化 (重藤英一)	124
Ⅴ. グリーンケミストリーデジタル教材 (石川朝洋)	127
メニュー	128
ワークシート	136
学習履歴シート	152
参考資料	154

I. 学習教材の開発と実践

学習教材の開発（松原静郎）	2
---------------	---

試行授業実践報告（後藤顕一）

1 調査について	4
----------	---

2 学習履歴シートの考察	13
--------------	----

資料1 生徒の学習の様子	26
--------------	----

資料2 各ワークシートへの回答	32
-----------------	----

資料3 総合小論文としてのまとめ	39
------------------	----

GSC 教材実践報告（野内頼一）

1 調査について	60
----------	----

2 結果と考察	63
---------	----

学習教材の開発

松原 静郎

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年度～平成7年度にかけて、東京学芸大学の渡辺賢寿教授、東京都立京橋高等学校の竹山哲司教諭（所属・職は当時）らとともに開発してきた教材を基礎としている。この教材「大気汚染をひきおこす物質」では、ワークシートと資料を用いて、すでに大気汚染問題を解決できた物質として塩化水素(炭酸ナトリウム工業)を、現在対策が効果を上げている物質として硫黄酸化物を扱い、それらの対策技術について考察させ、さらに、その応用として、窒素酸化物を例にその発生源や対策を考えさせるものであった。

各ワークシートの内容は以下のとおりである。これらのワークシートはその1からその4までが基本的な教材であり、その5とその6は時間がある場合に全体をとおして再度考えさせる教材である。なお、各ワークシートはそれぞれ1校時で学習するように設計してあった。

表1. 元となったワークシートの学習内容

ワークシートその1 (塩化水素 a) 炭酸ナトリウム工業ルブラン法による環境への影響
ワークシートその2 (塩化水素 b) 炭酸ナトリウム工業のアンモニアソーダ法への移行
ワークシートその3 (硫黄酸化物) 硫黄酸化物による被害とその対策
ワークシートその4 (窒素酸化物) 窒素酸化物による被害とその対策を考える
ワークシートその5 (大気汚染の移り変わり) 大気汚染物質濃度の経年変化を考える
ワークシートその6 (汚染対策技術) 大気汚染物質対策のまとめ

学習する際にはあらかじめ用意した資料を見ながらワークシートの問いに回答していくことになるが、そのことに関して次のような説明が書かれていた。

「このような教材では、生徒が自分自身で解決法を考え出そうとすることは難しく、結局は資料を参照して写す作業に終わらないかとの質問もいただいている。本来は自分自身で資料を集めることから始めることが大切ではあるが、我が国ではそのような資料を学校の図書室や公共の図書館でもなかなか入手できない。そのため、生徒用資料を作成しており、その資料から必要な箇所を抜き出せば、その部分についての資料を読み、選択して記入していることになるので、その内容を学習していることになると考えている。そして、それらの内容を基に、ワークシートその4やその6で自分の考えを書く部分が重要であり、書く際には再度他のワークシートや資料に戻って考えることも大切と思っている。」（松原静郎, 柴田真理子, 1996, 全国理科教育センター研究発表会化学部会(第34回)研究発表資料, 青森)

この教材を元に、グリーンケミストリーの視点で改めて読み直し、基本的な教材と位置づけられていたワークシートその1からその4までを改訂していくことにし

た。何回かの部分的な授業実践と改訂作業を繰り返し検討していくうちに、これらのワークシートによる学習だけでは生徒がグリーンケミストリーとの関連を引き出すのは難しいとの考えに達した。そして、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なった。

結局、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をはじめる前に」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ているが、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、5ではリスク評価も扱うことにした。

開発したワークシートの構成は、現在のところ、表2のとおりである。

表2. 開発したワークシートの構成

導入ワークシート：大気について考えるワークシート
ワークシート1,2をはじめる前に：過去の大気汚染問題の理解と解決（HClを中心に）
ワークシート1：塩化水素の問題（ Na_2CO_3 の古い製造法）
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）
ワークシート3,4をはじめる前に：現在の大気汚染問題の理解と今後の解決に向けて
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5をはじめる前に：ワークシート1～4のまとめ
ワークシート5：グリーンケミストリーとリスク評価

本教材は9月以降まず三つの高校でその一部を実施し、生徒の反応を確かめた。

その後11月以降になって、埼玉県立浦和高等学校では総合的な学習の時間において2年生を対象に、また、茨城県立伊奈高等学校では推薦で進学が決まった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。

これまでの経験から、このような教材では、生徒の取り組む姿勢やその回答が一般的な学習とは異なり、進学校も非進学校も変わらないか、進学校でかえって取り組み方が消極的なことがあった。しかし、今回の実践授業では進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。

また、今回はこれらの改訂のほかに、デジタル教材を開発している。本教材を学習していく際に使う資料をあらかじめ用意するのは、上記にも示したとおり、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。授業ではワークシート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来年度以降の課題としたい。

1. 調査について

1. 調査対象生徒 埼玉県立浦和高等学校 2年次「総合学習」の選択生徒を募集した。
希望選択者 20名 を対象とした。(先着順)
2. 調査期間 平成14年11月20日(水)より平成15年1月29日まで
3. 調査時間 本校水曜日 2年次 6時限 総合学習 『総合小論文』
※ 本校では前期、後期でグループ(上限20名を各教師が担当して講座を広く。)本試行授業はその時間に行った。

4. 調査内容と方法

開発した本教材を用い、試行授業を以下の方法で行った。

学習の方法は各試行授業プリントに詳細は載せ、それに沿って学習活動を展開した。

ワークシート終了したら直ちに学習履歴シートを記入させた。また、学習は落ち着いた中であせらせることなく、十分時間をかけてすべての項目をとばすことなく、前から必ず記入するように指示を与えた。時間が足りない場合は適宜調整をすることを心がけた。

回	日時	内容	詳細
第1回	11/20	登録・調整・決定顔合わせ(自己紹介)内容紹介	グリーンケミストリーの基本的な考え方と今回の学習の目的を担当教諭の講義形式によって伝えた。
第2回	11/27	グリーンケミストリーの講義とワークシート1	学習履歴シートの意味についての紹介、学習前の「三つの文章を書きなさい。」を実施。ワークシートの1,2の目的を説明し、その後ワークシートの1を行った。(半分以上の生徒は、ワークシート1を終わらすことができなかった。)
第3回	12/4	ワークシート1	ワークシート 1を完成させた。
第4回	12/18	ワークシート2	ワークシート 2を行い、完成させた。
第5回	1/8	ワークシート3,4を始める前に ワークシート3	ワークシート3,4を始める前について説明をし、記入させた。 ワークシート 3を行い、完成させた。
第6回	1/15	ワークシート4	ワークシート 4を行い、完成させた。
第7回	1/22	ワークシート4 学習履歴シート1の完成 NO ₂ の演示実験	ワークシート4までが完成していない生徒のための時間とした。また、NO ₂ の発生と観察させた。(銅と濃硝酸)その後化学反応式を書かせた。(あわせて銅と希硝酸の化学反応式も書かせた。)
第8回	1/29	ワークシート5	ワークシートの5を行った。
その後	2/7 〆切	学習履歴シート2	学習履歴シート2を小論文形式にして提出させた。

5. 活動の様子

第1回 (02/11/20) 登録・調整・決定顔合わせ(自己紹介) 内容紹介

体育館で集合している生徒を各グループの教員が自分たちの活動場所に引率していく。活動場所ではお互いも初めて顔を合わせる生徒もいるので自己紹介をしあい、活動に移った。

グリーンケミストリーの基本的な考え方と今回の学習の目的をプリントを参考にしながら担当教諭の講義形式によって伝えた。

生徒ははじめ緊張した面持ちであったが、講義をしているうちに学習の意図をつかみ環境に対する興味を持ち始めているようであった。

学習履歴シートの説明をしたが、生徒は初めての内容で大いに興味を示していた。

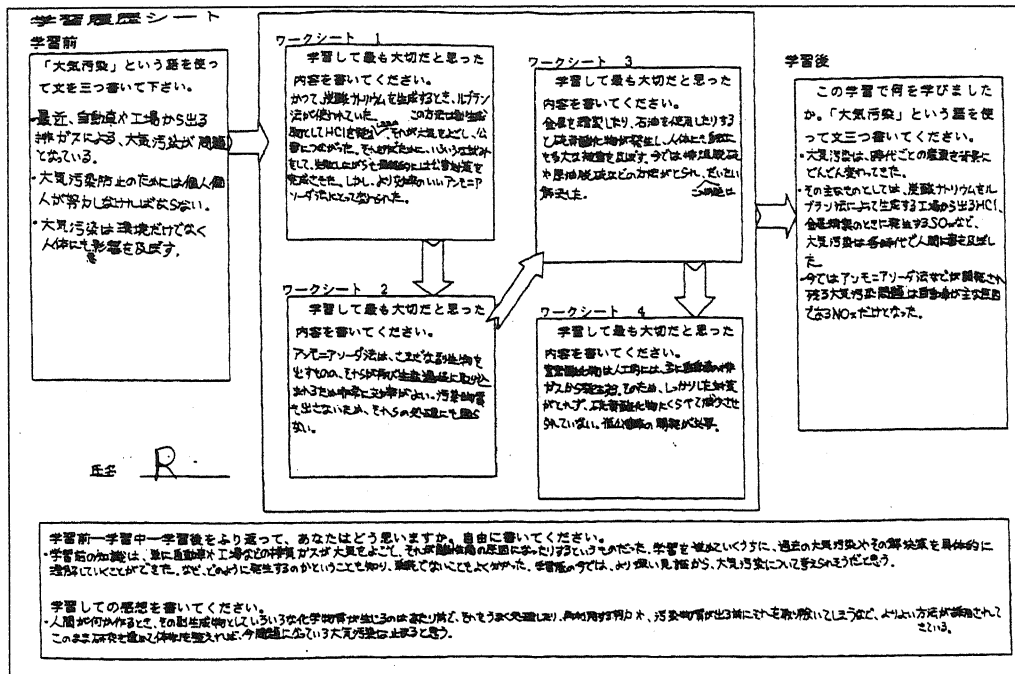


図 1 学習履歴シート 1

第2回 (02/11/27) グリーンケミストリーの講義とワークシート1

学習履歴シートの進め方についての紹介、学習前の「三つの文章を書きなさい。」を実施。かなり集中して文章を書いていた。ワークシートの1、2の目的を説明し、その後ワークシートの1を行った。生徒は始めてこのような形式で学習をするようで、はじめはかなり戸惑っている様子もあった。資料プリント苦勞しながら見て、何とか情報を引き出すようにしていた。また、普段の化学の授業でも教科書や図説等をよく見る習慣があるので化学の内容の部分は索引を引くなどしてよく調べながら進めている様子であった。しかし、半分以上の生徒は、ワークシート1を終わらすことができなかった。

第3回 (02/12/4) ワークシート1

進捗にかなり差が出たが、全員の生徒がワークシート1を完成させた。

塩酸と二酸化マンガンから塩素が発生する化学反応式を2人の生徒が記述間違いをしていた。そのほかは、非常によく記述している。「この反応を見ながらどのようにして、塩化水素を得たのかことばでまとめてみよう。」という部分では、わかっている生徒は記述するのをやめているものもいた。

ワークシート1 塩化水素について (Na₂CO₃の古い製造法-アンモニアソーダ法以降)

酸性の物質を弱する塩酸は、18世紀初頭のイギリスですでに製造されていた。当時、酸性ガスと呼ばれていた二酸化硫黄(SO₂)や塩化水素(HCl)はほとんどが気象条件などの原因で自然に発生したり、動物を腐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規制のないまま進行し、19世紀末に解決された。

① 塩化水素(HCl)はどのようにして得られたのか?

塩化水素の主な発生源は、かつては炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)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世紀までは水産中核塩類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、毛織物の洗淨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、原料や材料からまとめてみよう。

a. 性質	水に溶けやすい。工業利用価値が高い。火山ガスに多く含まれ、大気中に放出されると、大気汚染を引き起こし、生物を取り除く。悪影響がある。
b. 工業的用途	水の漂白剤として使われる。また、化学工業に使用され、漂白剤、薬品、マーカー、塩化ビニル原料となる。
c. 自然環境での存在	火山ガスなどに多く含まれ、大気中に微量に存在する。
d. 人体への影響	刺激作用があり、皮膚や粘膜を刺激し、呼吸器や目などを傷める。また、塩化水素は水に溶けると塩酸となり、強い酸性を示す。

② 炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)をつくるルブラン法とはどのような方法か?

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。

$$2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{Na}_2\text{SO}_4) + 2\text{HCl}$$

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

$$\text{Na}_2\text{S} + \text{CaCO}_3 \rightarrow (\text{Na}_2\text{CO}_3) + (\text{CaS})$$

この反応式を見ながら、どのようにして、塩化水素を得たのかことばでまとめてみよう。

「塩化ナトリウムを硫酸と反応させ、硫酸ナトリウムと塩化水素を得た。」

③ 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に下線を引いてみること)

下線が引かれたらどうか。この方法による炭酸ナトリウムの生産は、19世紀に入り急激に拡大したが、同時に塩化水素(HCl)が副産物として発生し、塩化水素(HCl)が原因の大気汚染も発生した。皮膚アトピー、気管炎、目や喉の痛み、塩化水素による環境汚染

④ ルブラン法は問題点だけだったのか? もしルブラン法による副産物がなかったら生活はどうなっていたら良かったか? (資料を参考し説明しよう。)

「もしルブラン法で副産物が出なかったら、塩化水素が不足して、塩酸が不足して、漂白剤や薬品が不足して、工業や生活に大きな影響があったと思います。」

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. 新たな問題が起きた対策 (資料を参考にして表にまとめてよ。)

○どう解決しようとしたか	◎問題中に記載された。	◎水で希釈した。
1) 具体的な方法	高濃度の塩酸を生成し、HClガスと水に溶かし、塩酸として回収し、再利用した。	HClガスと水に溶かし、塩酸として回収し、再利用した。
2) 結果としてどのような影響があったか	汚染地域がなくなった。工場周辺の大気汚染が軽減された。	塩酸が希釈された。HClガスと水に溶かし、塩酸として回収し、再利用した。

b. 問題が起きた対策 (資料を参考にして表にまとめてよ。)

○どう解決しようとしたか	◎問題し利用価値の高いものか	◎塩化水素の発生しない方法にした。
1) 具体的な方法	HClガスと水に溶かし、塩酸として回収し、再利用して工業に使用した。	アンモニアソーダ法。
2) 結果としてどのような影響があったか	HCl公害がほぼ解決した。	原料が安くなり、生産量が増え、塩化水素の製造コストが下がった。

※ ③の塩酸 回収された塩酸はさらに塩酸やナトリウムとして利用されるようになった。その反応を化学反応式で書いてみよう。

$$4\text{HCl} + \text{MnO}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{MnCl}_2 + (\text{Cl}_2)$$

$$\text{Cl}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow (\text{CaCl}_2) + (\text{H}_2\text{O})$$

塩酸

図 2 学習履歴シートの記入例

第4回 (02/12/18) ワークシート2

2学期の最後の総合学習であったので、学習内容が一段落できるワークシート2を確実に終わるよう指示をした。進捗にかなりの差は出たが全員がワークシート2を完成させた。

時間内にどうしても終わることのできない2名の生徒は、放課後残って完成させていった。

アンモニアソーダ法については、未学習の部分であったので生徒は、教科書や図説など

※ 課題学習の進捗のはやい生徒と遅い生徒の進め方の様子

はやく課題が出来る生徒は、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く。目的のワークシートの全体的なデザインを見通して作業に移る。資料なども必要な部分を上手に読み、課題の記述も手際がいい。一方、終わることのできなかった2名に共通するのは、はじめからただただ丁寧に進めていくため、はじめの記述くらいで授業の時間が終わってしまった。さらに、今回の「ワークシート1、2のまとめ」の部分や学習の振り返り(学習履歴シートの段階)では、学習が定着していないのか、何を学習したのかがわからなくなったようで(単なる作業になっていた)、何度も自分の記述と資料を見直して、必死でその部分の記述を行っている様子であった。(ここで初めて定着できた。)

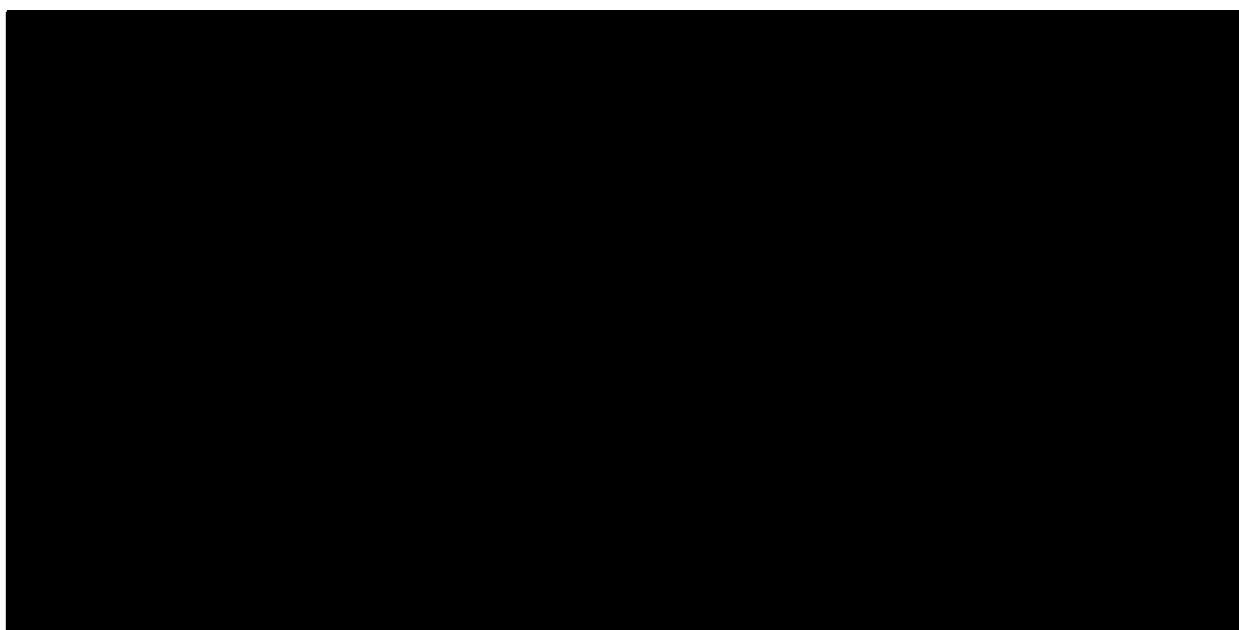
第6回 (03/1/15) ワークシート4

ワークシート4を実施した。生徒は、熱心に取り組んでいた。特に、課題9においては、ずいぶん考えてから記入しているようであった。多くの生徒が完成していたが、時節がら風邪で休んだ生徒も4名おり、また、完成しきれない生徒も3名いた。

第7回 (03/1/22) ワークシート4、学習履歴シート1の完成、NO₂の演示実験

ワークシート4までが完成していない生徒のための時間とした。また、作業の途中、NO₂を発生と観察させた。(銅と濃硝酸) 生徒は、まだ、無機化学を学習していないのでこの実験は、はじめて観察するようで、発生のさせ方、捕集方法、二酸化窒素の色、多少漏れるにおいなど大変興味深く、大いに関心を示した。「目の当たりすることでイメージが広がった」と喜んでいた。中には、「気持ちが悪くなった。」等と言っている生徒も1名ほどいた。その後、化学反応式も書かせた。(あわせて銅と希硝酸の化学反応式も書かせた。) かなり生徒は苦労していた。

早い生徒は、ワークシート5を行い始めている生徒もいた。



ワークシートを行っている様子

窒素の対策についての記述は生徒たちは様々な発想を記した。多少稚拙なものもあるがよく考えられたものも多い。空欄の生徒は、2人だけであった。すべての生徒のこの蘭の記載を掲載する。

生徒 A

窒素酸化物は回収するのがむずかしい。ゆえにそれを出さない政策が必要である。たとえば発生源である。

自動車→電気自動車の普及

工場→燃料の交換

また、この問題は化学的な力で解決できないのは明らかである。よって政治的な政策を活用して私たち人民一人一人が関心を持てるような対策を考えていくべきだ。

生徒 B

低公害車以外に税金をかける。

(その金は新しい低公害車の開発に当てる。)

生徒 C

電気自動車の普及などで窒素酸化物の発生量を抑える。燃焼法を変えて発生量を抑える。その後、窒素酸化物をその場で(回収しないでも)無害な物質に変えられるような方法を考える。

生徒 D 空欄

生徒 E

NO_x を作りたくなるぐらいすごい回収法を見つける。他のものと違って車によってそこら中にばらまいているので車に変わるものを作る。

生徒 F

燃料をガソリンから電気や水素にする。

火力発電による発電を押さえるため、1世帯あたり毎日2kWの発電を義務づける。工場を1カ所に固まらせず分散させる。

火力発電をすべて原子力発電にする。

生徒 G

太陽エネルギーで利用するソーラーカーの開発を進めて排ガスがでないようにする。

生徒 H

自動車で排ガスの中のNOを酸化しNO₂とし、冷却して水に溶かす。

その水はスタンドなどで回収し、ろ過して工場に送り、HNO₃の原料とする。

生徒 I 空欄

生徒 J

まず出さなくてすむように工場のシステムを改良する。

アルカリ溶液に溶けやすいなら溶けさせて中性にしてから処理すればいいと思う。

第一、自然界で発生するものなんだから自然界の中でそれを上手に扱う方法があると思う。

生徒 K

小型排煙脱硝装置の開発

生徒 L

火力発電に変わる発電法をみ出し、または、発展させ、石油石炭を燃やさない生活。その電力を使って電気自動車も増える。

生徒 M

化石燃料を使わない。そしてSやNを含まない微生物や植物(バイオマスエネルギー)から炭化水素C_nH_mをつくる。コストはかかるだろうが、環境にはよい。もしくは、電気ですべてのものを動かす。その際にも、大規模な工場で大量の化石燃料のでないメタンガスなどをそこら中つまり家畜や微生物、植物から作る。

そこで大量の二酸化炭素の発生があるがそれはどうするか。

大きな発電所で電気を作るので集めるのが簡単なはず。そこでその間に触媒で、CとOに分けられればそれに越したことはない。なかったら巨大な植物園でも作ってたくさん光合

成をする。植物を遺伝子を組み替えて作ればよいのでは。

生徒N

NO_xを回収する。(ほとんど不可能?)

NO_xを発生させない。

NO_xを主原料とする製品を開発する。

地方分権を進める(工業を一カ所に集中させない。)

× 大気圏外に捨てる

生徒O

発生したNO_xすべてを同時に処理するという考えには無理があると思われるので、むしろNO_xを発生させる根本を閉じてしまうのが現実だ。つまり、出たもの処理するのではなく、「出さない」。現在、日本では環境への関心が強まっておりハイブリッドカーや水素を燃料とした車において、日本の技術力は世界 No.1 である。だからエコカーのビジネスを世界で発展させることによってNO_xに夜環境問題を解決する礎となるだろう。また、エネルギーの面においても石炭・石油の代替エネルギーの発明は急務である。特に近年、経済発展のめざましい中国では、石油、石炭(特に石炭)の大量の使用によって多量のNO_xを生み出している。また、重化学、鉄鋼などの重たいオールドエコノミーが中国では強い。それゆえ、日本としては、代替エネルギーの技術を供与し、隣国の近代的な環境問題を解決することが必要だ。

生徒P

① 電気自動車を全国的に普及してそれを義務化する。

② NO_xを分解できる動植物を見つけてそれを大量に増殖する。

③ 自動車にできたNO₂をためる装置をつけてそれを低温でどっかにとかして蒸発しないようにしてその後きれいに自然に帰す。

生徒Q

大都市や工業地帯で部分的に濃度が高くなるだけの話なら、高い煙突を用いて拡散するのも有効だと思う。

また、火力発電で用いる燃料などに窒素がふくまれていなければ話は早いと思う。

生徒R

火力発電所や工場では排煙脱硝法というのを積極的に利用。

設備費は募金などを利用。

自動車は低公害者を開発、大量生産して、世界に出回るようにする。

生徒S

二酸化窒素を水に溶かす。

ソーラーカー、自然発電所など、開発、発展

第8回 1/29 ワークシート5 ワークシートの5を行った。

全員が、ワークシート5に取り組んでいた。学習履歴シート2を小論文形式にしたために、1時間では完成できないようであった。その後これは、メ切 2/7 とし、提出させることとした。

環境化学物について

つぎに環境化学物について書いてみよう。

1. 大気汚染の原因である窒素酸化物が人体に及ぼすおそれとそのことを説明せよ。

【酸性雨の原因は硝酸酸化物と硫酸酸化物とが原因とされている。酸性雨は酸性化し、河川・湖沼・森林・農作物に悪影響を及ぼす。また、呼吸器・肺・腎臓を痛める。】

2. 環境汚染を引き起こす有害物質(NO)にはどのようなものがあるか?

【環境汚染を引き起こしている有害物質は、おもに一酸化窒素NOと二酸化窒素NO₂であり、これらの物質について、都市圏や交通量をもとにまとめてみよう。】

	都市	人口への影響
一酸化窒素	褐色の気体で視力低下、呼吸器系に悪影響を及ぼす。また、大気中の酸素と反応して二酸化窒素になる。	呼吸器系に悪影響を及ぼす。また、大気中の酸素と反応して二酸化窒素になる。
二酸化窒素	褐色の気体で視力低下、呼吸器系に悪影響を及ぼす。また、大気中の酸素と反応して二酸化窒素になる。	呼吸器系に悪影響を及ぼす。また、大気中の酸素と反応して二酸化窒素になる。

3. 環境化学物とはどのようなものか?

【環境化学物とは、大気汚染の原因となる物質であり、人体健康にも悪影響を及ぼす。】

【 $N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$
 $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$ 】

4. 身近な二酸化窒素の発生場所を調べよう。

【身近な二酸化窒素の発生場所は、自動車の排気管、工場、発電所、家庭用ガスコンロなどである。】

【 $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$
 $2NO_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + NO$ 】

5. 身近な二酸化窒素の発生場所を調べよう。

【身近な二酸化窒素の発生場所は、自動車の排気管、工場、発電所、家庭用ガスコンロなどである。】

6. 身近な二酸化窒素の発生場所を調べよう。

【身近な二酸化窒素の発生場所は、自動車の排気管、工場、発電所、家庭用ガスコンロなどである。】

7. 身近な二酸化窒素の発生場所を調べよう。

【身近な二酸化窒素の発生場所は、自動車の排気管、工場、発電所、家庭用ガスコンロなどである。】

8. 身近な二酸化窒素の発生場所を調べよう。

【身近な二酸化窒素の発生場所は、自動車の排気管、工場、発電所、家庭用ガスコンロなどである。】

9. 身近な二酸化窒素の発生場所を調べよう。

【身近な二酸化窒素の発生場所は、自動車の排気管、工場、発電所、家庭用ガスコンロなどである。】

10. 身近な二酸化窒素の発生場所を調べよう。

【身近な二酸化窒素の発生場所は、自動車の排気管、工場、発電所、家庭用ガスコンロなどである。】

図 5 ワークシート4の記入例



ワークシートの作業をする生徒

2. 学習履歴シートの考察

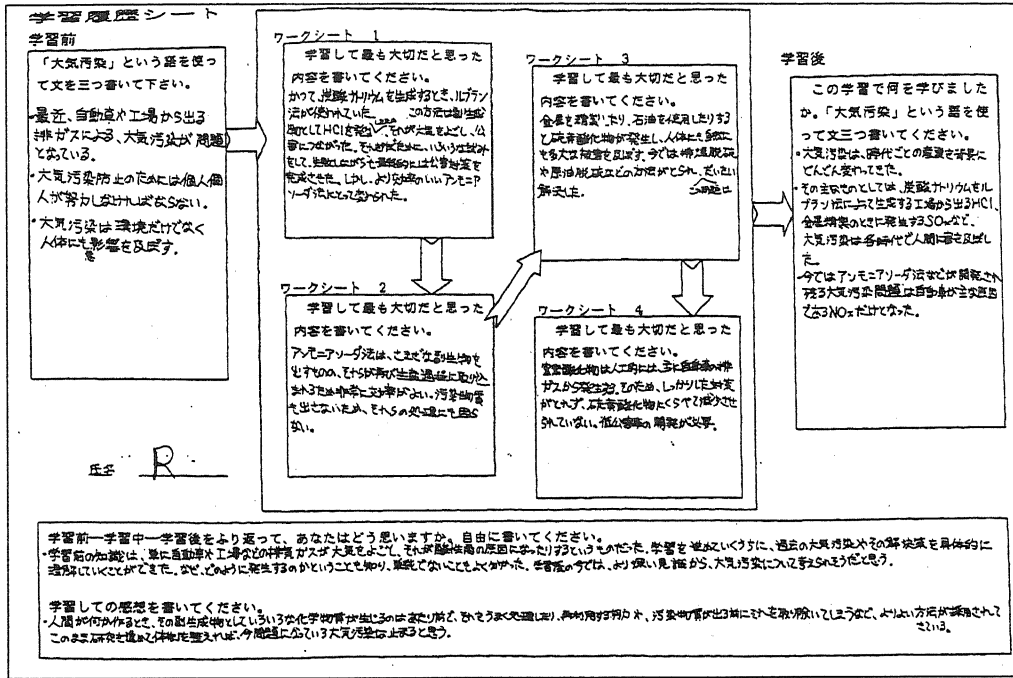


図 1 学習履歴シートの記入例

学習前の「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください。」と学習後の「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください。」という課題の比較検討をおこなう。また、これら文章を元に、「学習の振り返り」、「学習をしてみた感想」などに対して考察を加える。

1. 文の長さの考察 (量的な考察)

表1は、生徒が書いた文章の文字数を単純にカウントしたものである。

生徒が記入した文字数で見ると減った生徒はごく一部でほとんどの生徒で文章の長さが長くなっていることがわかる。学習前では生徒は書く事柄が見出せず表現しきれないため文章自体も短くなっているあらわれであろう。学習後は学習した内容が確実に頭に入り、説明する内容も増え、自分の主張すべきことなどをいれるため文章が長くなる傾向があった。

また、一般に「学習前」で短い文章を書く生徒は「学習後」も短い文章を書く傾向がある。しかし、今回の試行授業では、記述が倍以上(200%以上)増えた生徒が調査20名中8名と多く、これは学習が効果的に進み、学習内容に関心を持つことができ、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ことができたあらわれといえる。

表 1 使用した文字数の変化

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

(使用した文字数)

2. 記載内容の考察 (質的な考察)

「学習前」は、書いている内容自体も学習前では断片的な文やごく身近な文(たとえば、生徒 C 「「屁」は大気汚染だろうか。」や生徒 P 「浦和高校の旧体育館の中は大気汚染なのか何なのか」、生徒 L 「あなたの存在は大気汚染」など)、関心が感じられない文が多かった。ところが、「学習後」は学習の影響もおおいに受ける文章になっているのが特徴的である。これは次節「3.特徴的な記述の例」で詳しく述べる。また、全員が今回の学習内容に影響を受ける文章を記述した。大気汚染の原因の内容に具体的な原因物質などの記載が多くなるようになったのも学習の成果といえる。小中学校の社会科などの知識であった地域的な視点の記述は減り、今回初めて学習した歴史的な記述が増えているのも学習の成果といえる。また、人類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圧倒的に増え、自分自身の問題ととらえ自分の意見を書く生徒が出てくるのも特徴的であった。

また文章の構成の面でも大きな質的变化を遂げた。課題は「三つの文」でありながら内容的なつながりを持ったものが多かった。また、文字数で劇的な変化を遂げた生徒は多く、その意欲や関心、喜びや感動、問題解決に向けての意志などが加わるため記載の表現内容が力強く、また、断片的でなく、構成され、内容的に統一性をもったものに変化していった様子である。

さらに、生徒自らが自分の記載について評価を下し、自分の学習の進展を感じ取っているものもあった。

記載内容がどのように推移したかを示す。判断できないものもあったので参考までにとどめたい。

	学習前	学習後
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
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
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」をひとつの内容に構成したと思われる記載をした生徒	2人	7人
自分の主張を「三つの文」に加えた生徒	5人	8人
「学習の振り返り」などで自分の学習を検証できている生徒		18人

(20名中)

2. 特徴的な記述の例

※ 学習の効果が著しく見られた記述の例

(生徒 A)

記載の文字数が大変増えた「生徒 A」について考察すると、「学習前」では大気汚染の今までの知識を列挙、一般的な内容を記載したにとどまっているが、「学習後」では学習の効果を感じさせる結果になっていることがわかる。キーワードの「大気汚染」いう語を使いながら、大変具体的に問題点を指摘しながら記載を進めていることがわかる。また、「学習前」では「三つの文」の関係はありながらも全く断片的であり、知識の羅列にとどまっているが、「学習後」の「三つの文」であるという制約を守りながら、三つの文に見事につながりを持たせて、ひとつの内容に収束させていく¹。

しかも本人の主張したいことを記述し、内容的にも説得力を持たせながら簡潔に記述されている。「断片」から「構成」へという流れができており、「学びの深さ」をうかがわせる。学習内容を完全に理解し知の獲得を表現し得た例といえよう。

生徒	学習前		学習後	
A	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

この生徒は、この学習履歴シートの「学習の振り返り」のところでも

「今現実に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。」

と書き、自分が学習によって気がつけた喜びを素直に表現している。学習後の感想でも

「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。」

と化学学習との関わりまで指摘できており、広がりをもった学習でき、大変有意義な時間であったことが実感込めて記載し締めくくっている。

¹ この傾向は生徒 E、生徒 H、生徒 J、生徒 K、生徒 M、生徒 R にも見られた。また、これらの生徒はすべて「学習後」の文も「学習前」に比べて文章が長くなっている。

(生徒 H)

この生徒も「学習後」の文と「学習前」の文とで学習の効果を感じさせ、質的に大きな成長の後をうかがわせる例である。「学習前」の文では、大変よくまとまった「三つの文」がかけているが、それぞれの「三つの文」は断片的である。しかし、「学習後」は生徒 A と同様、「三つの文」でありながら文章にまとまりが出てきて見事に構成されている。さらに具体的に表現することができている。

生徒	学習前		学習後	
H	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

試行授業後の学習の振り返りでは、

「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。」

と、高校生らしい率直な意見を書き、初めて知った塩素ガスの解決に至る過程など大気汚染対策の人類の取り組みについて、興味と関心を示していることがわかる。

(生徒 J)

生徒 J は、「学習前」と「学習後」で獲得した知識が記載内容に大きく影響し、質的变化をもたらした一例といえる。「学習前」は、課題に対して全く自信のない様子が記述によってよくわかる。「・・・と思っている。」や「特に本で調べたことが無いから詳しいことが全く分らないが・・・」などを「三つの文」に含めていることからよくわかる。ところが、「学習後」は具体的な内容も含めて記載することができ、記載内容も自分の得た知識を「・・・よくわかった」などと、素直な喜びを含めて表現している。そして、さらなる質的な変化は、「学習前」は、断片的な記述であったが、「学習後」はひとつのまとまった内容に構成されて三つの文が成立している点にもあらわれている。さらに、自分が学習に参加し、内容が理解できた喜びと、自信によって最後は「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。」と自分の主張につなげている。

生徒	学習前		学習後	
J	<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<u>思っている</u>。大気汚染が起こると生物に悪影響が及ぶ。<u>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</u>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_xやSO_x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<u>よくわかった</u>。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。<u>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</u>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

(生徒 K)

生徒 K は「学習前」では文章まとまっているものの具体性に欠けた記述になっている。「学習後」は大気汚染の与える影響、原因、対策を全体的にまとまった構成をとりながら説得力も持たせながら記述している。

生徒	学習前		学習後	
K	<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

(生徒 M)

生徒 M は記述が一番多い生徒であった。学習の前後での文字数の増加の割合が一番大きかった生徒である。「学習前」ではすべて「大気汚染」で終わる体言止で文章になっていなかったが、「学習後」は文章の中にキーワードの「大気汚染」を組み込んで力強いしっかりし文章でかけている。「学習前」では現象のみを書くにとどまっているが、「学習後」は学習内容をふまえ、現実を直視し、危機感を募らせ、問題解決や対策を地球規模でしかも自分も関わりながらしっかりと考えている様子が見え文章となっている。

生徒	学習前		学習後	
M	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「必要とされていなかった」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。 こ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。しかしこの問題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

(生徒 N)

「学習前」「学習後」の変容が大変見事に現れている一つの例だろう。「学習前」は知識も乏しく、ごく一般的なことのみしか記述することができていないが、「学習後」は問題点を解決する記述までには至っていないものの、また、「三つの文章」がひとつの内容には収束はしていないものの、学習内容を踏まえ原因を具体的に記述することができている。

生徒	学習前		学習後	
N	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 _x とSO _x でSO _x 対策はできているが、NO _x 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

※ 自分自身の記載内容を分析できている例

(生徒 D)

生徒 D は「学習前」「学習後」で自分の学びが大きく変わったことを学習の振り返りで意識できた例である。

「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(?)されていったかがはっきりと分かった。」

とふりかえり、さらに感想で

「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。」

と自分が行った3文を書くという行為を客観的に見ることができている。この生徒も目標を達成できている一例といえよう。

生徒	学習前		学習後	
D	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	105	大気汚染の原因は塩化水素や硫黄酸化物、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	116

自動車からの排気ガスに含まれる有害物質だと思う。		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。	
--------------------------	--	-----------------------------	--

本人が分析しているとおおり、「学習前」では、「有害物質が原因であるなど曖昧」であるが、学習後では「具体的」に書くことが確かにできている。さらに生徒 D は学習前から「大気汚染については国際的な協力が問題の解決に必要である。」などと意識が高い一面をのぞかせているが、学習後ではこの発想に立ちながら新たな問題に気づいて自分の理解、見識につなげて言っている様子が伺える。

※ 生徒が書いた文章の文字数が「学習前」より「学習後」のほうが減ってしまった生徒の例

(生徒 O)

生徒 O は学習の効果は学習後に認められる。大気汚染についてより内容が具体化されることがわかる。内容自体は地域的なことを「学習前」には多く記述しているが、「学習後」では視野が少しは広がっているように思われる。各内容はあまり整理されているとは言えず、意識としては「課題をただこなした」といった感がある。

生徒	学習前		学習後	
O	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 _x による汚染と、SO _x による汚染の2つがある。 現代は大気汚染に敏感だ。	66

この生徒の特徴は「学習の振り返り」の部分で多くの記述をしたことである。

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。

などと書き、歴史的なイメージと、対策などを「三文書きなさい」の部分ではなく、この欄に書いている。これが、文字数を減少させた結果につながったと考えられる。また、学習全体での感想では、

化学と産業の密接な歴史を知った。とても楽しい。環境汚染というものを知るのに役立つと思う。

と意欲・関心がわいている様子、歴史的なことを学べた喜びを強く表現している。肯定的

な意見を書いていることより、文字数の減少は大きな意味はないように感じた。

(生徒 I)

生徒 I は「学習前」に自分の知っている知識をとにかく多く書くようにしたようである。

「学習後」は要求に沿って「三つの文」を何とか探し当てたといった感がある。ただ、解決するまでの葛藤を具体的には記述はしなかったもの十分理解できている様子である。

生徒	学習前		学習後	
I	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 _x 、SO _x 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

「学習の振り返り」では、

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、対策を行ってみて悪化するなど、なんだか馬鹿らしく思えた。

と比較的否定的な意見も書き人類の努力に対して、それが報われない様子に対してもどかしさを感じたようである。これらの文章からは、学習内容の理解から自分がどの様な振り舞いをするのか、意思決定が少し希薄である。よって「学習後」の文章自体も比較的断片的である。ただ、

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。

と書き、知らなかったことを知ることの喜びは素直に表現することができている。

(生徒 P)

生徒 P は、「学習前」は抽象的な表現とごく身近な表現で終わっている。「学習後」においては、学習内容は一応は反映されているものの、自分の中で受け止めて、更なる表現につなげる工夫まではいたっていない。さらに観念的になって記述内容が続き、学習の効果が一番希薄な例とすることができよう。

P	<p>大気汚染は体にとっても悪い気がする。</p> <p>大気汚染はぜん息を引き起こす一つの原因である。</p> <p>浦和高校の旧体の中は大気汚染なのかなんなのか。</p>	64	<p>NO_xは大気汚染の原因の深刻な物質。</p> <p>大気汚染は人の力できつと何とかなるものである。</p> <p>大気汚染を解決するのは俺様だ。</p>	56
---	---	----	--	----

「学習の振り返り」では、

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。

と学習したことを具体的にうまく書くことが苦手である様子うかがえる。

また、感想の欄では、

大気汚染を防ぐには一番にNO_xの問題を解決することが重要だと思った。

と書いていた。

結 論

今回試行授業を行ってみての以下がまとめである。

- ① 本学習では各自のペースで行うことが出来、生徒はきわめて熱心に、興味、関心を持って取り組んでいた。
- ② 特に学習履歴シート1での「大気汚染ということばを用いて三つの文章を書きなさい。」では、学習後、生徒が記入したほとんどの生徒で文章の長さが長くなっていた。学習後は学習した内容が確実に頭に入り、説明する内容も増え、自分の主張すべきことなどをいれるため文章が長くなる傾向があろう。
- ③ 学習が効果的に進み、学習内容に関心を持つことができ、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ことができていた。
- ④ 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るため、あやふやな学習をしていた生徒は、そこで再び学習をし直す機会を得ていたようだ。
- ⑤ 実験にはたいへん関心を示した。化学反応式との結びつきも熱心にもとめ興味を示していた。
- ⑥ 学習の速い生徒と遅い生徒の進め方の様子は特徴的であった。一般的に作業の速い生徒は、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る。遅かった生徒の作業を観察していると、丁寧すぎて全体像を把握する前に時間が来てしまっているようだった。まとめになっても逆に苦勞している様子だった。
- ⑦ 学習後の感想からもおおむね学習に対して満足している様子で、興味関心が広がったようである。

今後の課題

今回は試行授業であり、ワークシート2の内容を小論文の形式で書かせるところにとどまったが、生徒の意欲関心は大いに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創造することが可能であろう。

資料一覧

今回の実践では、ワークシートや学習履歴シートなどいろいろな形で生徒に記述させる欄が多かったが、それらの結果を以下に示す。

資料 1. 生徒の学習の様子「学習履歴シート」・・・・・・・・ 26

資料 2. 各ワークシートへの回答・・・・・・・・・・・・ 32

資料 3. 総合小論文としてのまとめ・・・・・・・・・・・・ 39

資料 1 生徒の学習の様子 「学習履歴シート 1」

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	学習前・・・「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。	後
A	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に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 返り	今現実に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。			
B	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 _x 、SO _x 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 返り	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。			
C	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 返り	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。			
D	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黄酸化物、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 返り	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(?)されていっ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いている。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。			
E	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	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	136

	る。 大気汚染は広がっている。		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行かない。	
ふり 返り	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。			
F	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、そもそもは人間のせいである。 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 返り	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。			
G	大気汚染の原因は工場や車から出る排ガス(SO _x 、NO _x など)である。 大気汚染では深刻な問題はダイオキシンである。 大気汚染は生物に害を与える。	70	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。 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。 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 _x は発生源が固定されないため解決されてない。	148
ふり 返り	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。			
感想	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。			
H	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 返り	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。			
I	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 _x 、SO _x で	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	94

	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。		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。	
ふり 返り	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、対策を行ってみ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。			
J	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。	109	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 _x やSO _x 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。	225
ふり 返り	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。			
K	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。 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。	97	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。 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。 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。	225
ふり 返り	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。			
感想	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。			
L	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。	55

			私が大気汚染を解決してみたいな。	
ふり 返り	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、化学質でやった方がモチベーションがあがる気がする。			
M	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「必要とされていなかった」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。こ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 返り	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、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。多く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、どれほどの力があるかを知り、かつ抑えてそれが、どれほどの力あるかを知りかつ抑えていきたくないと思う。			
N	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 _x とSO _x でSO _x 対策はできているが、NO _x 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	126

			こす。	
ふり 返り	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らなかった。			
感想	人間は罪深い生物だなあとと思った。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ぬ問題だと思う。			
O	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 _x による汚染と、SO _x による汚染の2つがある。 現代は大気汚染に敏感だ。	66
ふり 返り	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。環境汚染というものを知るのに役立つと思う。			
P	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。 浦和高校の旧体の中は大気汚染なのかなんなのか。	64	NO _x は大気汚染の原因の深刻な物質。 大気汚染は人の力でできる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 _x の問題を解決することが重要だと思った。			
Q	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 _x 、SO _x 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 返り	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以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。			
R	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 _x など大気汚染は自動車は主な原因であるNO _x だけとなった。	111
ふり 返り	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。		
S	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。
ふり 返り	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。		

資料2. 各ワークシートへの回答

ワークシート1-5a

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(資料を参考にして表にまとめよ。)

表中の上段:1) 具体的な方法、下段: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。
A 高煙突の工場を建設。 さらに汚染地域が広がった。		HClガスを水で溶かして塩酸として回収した。 塩酸を川に捨てたので、河川の汚染が発生した。
B 高煙突の工場を建設した。 さらに汚染地域が広がってしまった。		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。 塩酸の使い道があまりなくて、川に流して捨てたので、河川の汚染が発生した。
C イギリスのリバプール市に高煙突(90m)の工場を建設した。 さらに汚染地域が広がった。		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。 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。
D 工場の煙突を90mにした。 汚染地域が広がった。		水にHClガスを溶かして、塩酸にした。 塩酸の使い道が少なかったため直接河川に流され、河川が汚染した。
E リバプール市に90mの高煙突を作り、拡散した。 さらに汚染地域が広がった。		水に溶かして塩酸として吸収塔で、回収しようとした。 川に流して捨てたので、河川の汚染が発生した。
F 高い煙突(90m)を持つ工場を建設。 さらに汚染地域が広がった。		水にHClガスを溶かし塩酸にした。 塩酸の用途が少なく、川に流したため、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HClガスを拡散しようとした。 さらに汚染地域が広がった。		水にHClガスを溶かし塩酸としてかいしゅうする吸収塔を開発した。 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。
H イギリスのリバプール市に高煙突(90m)の工場を建設した。 さらに汚染地域が広がった。		HClガスを溶かして塩酸として回収し、川に流し捨てた。 河川の汚染が発生した。
I イギリスのリバプール市に高煙突(90m)の工場を建設した。 汚染地域が広がった。		HClガスを溶かして塩酸として回収する吸収塔を開発した。 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。
J イギリスのリバプール市に高煙突(90m)の工場を建設した。 さらに汚染地域が広がった。		HClガスを溶かして塩酸として回収する吸収塔を開発した。 塩酸の用途が少なく、川に流して捨てたので、河川の汚染が広がった。
K 高煙突工場を建設しHClガスを空気中に拡散しようとした。 汚染地域が広がった。工場は人口の少ない地域へ移転させられた。		HClガスを水に溶かし、塩酸として回収しようとした。 塩酸の用途が少なく、川に流して捨てたため、河川が汚染された。
L 高煙突の工場を建設した。 汚染地域が拡大した。		川に流し捨てた。 河川の汚染が発生した。
M イギリスのリバプール市に高煙突(90m)の工場を建設 さらに汚染地域が広がった。		回収する吸収塔を開発。 塩酸の用途が少なく、川に流したので、汚染が発生。
N 高煙突工場を作った。 汚染地域がさらに広がった。		川に流し捨てた。 河川の汚染が発生。
O 高煙突工場の建設。 汚染地域の拡大。		水にHClガスを溶かし塩酸として回収する吸収塔を開発。 塩酸の用途が少ないため河川に捨てられ汚染を引き起こした。
P イギリスのリバプールに高えんとつの工場を作って、HClを拡散しようとした。 汚染がひろがっただけであった。		HClガスを水に溶かして回収する吸収塔をつくった。 河川に流したため、川が汚染された。
Q 90mもの高煙突の工場を作った。 さらに汚染地域が広がってしまった。		水にとかして塩酸として回収する。 回収した塩酸の使いみちがなかったため河川に流したところ、川が汚染した。
R 高煙突(90m)の工場を建設した。 汚染地域がさらに広がった。		HClガスを溶かして塩酸として回収するための吸収塔を開発した。 塩酸の用途が少なく川に流し捨てたため河川の汚染が発生した。
S 煙突を高くする。人口の少ないところに工場を。 汚染地域が広がった。		水に溶かし、塩酸にして川に流す。 川が汚染された。

ワークシート1-5b

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？

b. 効果があった対策(資料を参考にして表にまとめよ。)

表中の上段:1) 具体的な方法、下段: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。	④塩化水素の発生しない方法にした。
A	ウェルドン法(塩酸を原料とする、さらし粉の製造) HCl公害はほぼ解決した。	アンモニアソーダ法 汚染物質を出すこともなく、炭酸ナトリウムの価格を下げることができた。
B	a の②の工場回収した塩酸を使って、さらし粉を作った。 HCl公害はほぼ解決した。	硫黄の回収法を發明した。 ほぼ公害対策は完成した。
C	ゴーンジー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)の普及。 HCl公害はほぼ解決した。	アンモニアを原料とするアンモニアソーダ法の確立。 生産効率がよく、製品を安く作ることができ、汚染物質を排出することもない。塩化アンモニウムを副産物としてとりだすこともできる。
D	塩酸を原料とする漂白剤をつくった。 塩酸が河川に流されなくなった。	アンモニアソーダ法を用いた。 原料のアンモニアが安く供給され、NH ₃ やCO ₂ を回収して再び、原料として利用できた。
E	吸収塔で回収した塩酸を原料として漂白剤を製造した。 製造量が増えた。	硫黄の回収法の發明 工程が複雑で、設備が必要なので、製品のねだんが上がった。
F	回収した塩酸でさらし粉を製造した。 HCl公害はほぼ解決した。	アンモニアソーダ法を確立。 ルブラン法の公害対策はほぼ完成。
G	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)した。 HCl公害はほぼ解決した。	アンモニアソーダ法 生産効率がよく製品を安く作ることができた。
H	HClガスを水に溶かして塩酸とし、それを原料としてさらし粉を製造した。 HCl公害はほぼ解決した。	アンモニアソーダ法。演歌ナトリウムの飽和水溶液にアンモニアを十分に溶かしたのち、二酸化炭素を通じてNaHCO ₃ を得、それをNa ₂ CO ₃ を得る。 生産効率がよく、製品を安く作ることができるようになった。汚染物質を排出しなくなった。農産物の肥料となるNH ₄ Clをとりだすことができるようになった。
I	ゴーンジー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。 HCl公害はほぼ解決した。	廃棄物のガリギH ₂ S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)の回収法を發明した。
J	吸収塔で回収した塩酸を原料とするさらし粉(漂白剤)の製造をした。 HCl公害はほぼ解決。	ルブラン法の公害対策はほぼ完成した。 アンモニアソーダ法に変えた。 生産効率がよく、製品を安く作ることができるようになった。汚染物質を排出しなくなった。農産物の肥料となるNH ₄ Clをとりだすことができるようになった。やすく作ることができるようになった。汚染物質をださなくなった。
K	HClガスを水に溶かして塩酸として回収、それを原料としてさらし粉を製造した。 HCl公害がほぼ解決した。	アンモニアソーダ法。 原料が安く、生産効率も高いので炭酸ナトリウム製造の主流となった。
L	塩酸を原料とするさらし粉(漂白剤)の製造。 公害はほぼ解決した。	アンモニアソーダの法の発見。 汚染物質を排出しない。生産効率が上がり、製品を安くつくれる。
M	さらし粉(漂白剤)の原料とした。 HCl公害は、ほぼ解決。	イギリス人のチャンスが硫黄(S)の回収法を發明した。 公害対策は、ほぼ完成。
N	塩酸を原料とするさらし粉(漂白剤)の製造法ができた。 HCl公害は、ほぼ解決。	ソルベー法ができた。 ルブラン法にかわり、炭酸ナトリウム生産の主流になった。
O	回収した塩酸を原料にする漂白剤の製造が普及した。 HCl公害は、ほぼ解決。	新たにアンモニアソーダ法が確立。 HClは、発生しなくなり、農産物の肥料になるNH ₄ Clが取り出せるようになる。
P	回収した塩酸をさらし粉にかえてつかった。 公害がほぼなくなった。	チャンスさんが硫黄の回収法を發明した。 公害対策ができた。
Q	水にHClガスを溶かし、そこから漂白剤を製造した。 HCl公害は(河川の汚染)がほぼ解決した。	アンモニアソーダ法という新しい製法を發明した。 より生産の効率が良くなった。
R	回収した塩酸を原料としてさらし粉(漂白剤)の製造をする。 HCl公害は、ほぼ解決した。	あらたにアンモニアソーダ法が確立された。 ルブラン法では炭酸ナトリウムは作られなくなった。
S	塩酸にして、それを漂白剤の製造に使った。 公害が解決された。	アンモニアソーダ法を確立。 Hclがでなくなった。

ワークシート2-4

4. ルブラン法がすぐ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。

ID	回答内容
A	ルブラン法で排出される副生物は、主に Cl_2 や $\text{CaCl}(\text{ClO})$ (さらし粉)・ H_2O であり、これらは、飲料水のK滅菌・消毒に大いに利用されていたことから、ルブラン法の需要も多
B	ルブラン法で副生 Cl は、飲料水の滅菌・消毒に必要なので、当時も多くの需要があった。よって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立。
C	副生物から、 Cl_2 を作り出し、 Cl_2 が水道水の滅菌・消毒になくてもならないもので、当時も多くの需要があったから。 $\text{CaCl}(\text{ClO})$ (さらし粉)・ H_2O も有用であったため。
D	HCl や CaS を有用な $\text{CaCl}(\text{ClO})$ (さらし粉)・ H_2O ・ S ・ Cl_2 に変えた。 Cl_2 は飲料水の滅菌・消毒のために多くの需要があったためルブラン法は残った。
E	ルブラン法の副生物のうち、 Cl_2 は、都市生活を支える飲料水の殺菌・消毒になくてもならないもので多くの需要があったため、 Cl_2 などの需要に支えられて経済的に採算が成り立っていたため。
F	副生物のさらし粉などの需要が多く、経済的には採算が成り立っていたため。
G	飲料(水道)水の滅菌・消毒に Cl_2 はなくてはならないもので、当時も多くの需要があったから。さらし粉も殺菌(プールなど)に使われ需要があったから。
H	副生物の HCl を利用して生産された Cl_2 は、都市生活を支える水道水の滅菌・消毒になくてもならないもので、当時も多くの需要があった。また HCl を利用したさらし粉も、漂白剤として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、副産物の需要に支えられ、経済的に採算が成り立って
I	Cl_2 が都市生活を支える飲料(水道)水の滅菌・消毒になくてもならないもので、多くの需要があった。このため、ルブラン法による工場は、 Cl_2 は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。
J	ルブラン法は副生物によるさらし粉の需要に支えられていたが20C初めの食塩水の電解法が確立し Cl_2 が安く生産されるようになるとすたれていった。 Cl_2 は都市生活を支える飲料(水道)水の滅菌・消毒になくてもならないもので多くの需要があった。
K	副生物の HCl 、 CaS を変化させて発生する Cl_2 が飲料水の滅菌・消毒に必要なものだったから、また、ウェルドン法によるさらし粉も必要とされた。
L	副生物であるさらし粉の需要があったため。飲料水の滅菌・消毒に必要だった。
M	反応が複雑であり、そのために、たくさんの施設を作らなければならなかったことが一番の大きな問題であり、害をなくすために、たくさんのお金を汚染者が出すことは、汚染者自身にとって利益にならなかったから。
N	副生物のさらし粉や Cl_2 は、需要が多く、経済的に採算がとれていたから。
O	ルブラン法のときに出てくる塩酸から出る塩素はこの当時とても貴重なもので塩素からできるさらし粉は高く売れたので、高い設備を使っても採算が取れるのですぐにはき
P	ルブラン法のときに出てくる塩酸から出る塩素はこの当時とても貴重なもので塩素からできるさらし粉は高く売れたので、高い設備を使っても採算が取れるのですぐにはき
Q	漂白剤となる HCl や、水道水の滅菌などに利用される Cl_2 の需要が当時たかかったから。* HCl 、 Cl_2 はルブラン法による副生物。
R	ルブラン法による工場は、消毒などのための Cl_2 やさらし粉などの需要に支えられて、採算が成り立っていたから。
S	副生物の Cl_2 は、水道水の滅菌・消毒に必要で、さらし粉も需要があった。

ワークシート2ーまとめ

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。

ID	回答内容
A	①副産物(公害物質含む)を何か他のものに利用できないかという発想。EX:さらし粉やCl ₂ →消毒。 塩化アンモニウム→肥料 ②公害物質を出さない外の反応過程を考えた。EX:アンモニアソーダ法。
B	HClは水に溶かして塩酸にして、さらし粉にして、ガリギ(H ₂ Sなどの発生源)は、Sにする。
C	公害問題の原因となる副生物を有用な物質に作り変えようとしたところ。工程が複雑で、お金がかかったが、公害問題は解決した。その後、全く新しい公害問題の発生しない生産法が発明された。
D	同じNa ₂ CO ₃ を得るにも副生物が有害でなく利用価値の高いものが得られる反応にしていっていったところ。
E	回収したHClをさらし粉にしてとにかく再び売ろうとしたところと、同じ回収された塩酸を使ったところが工夫である。
F	最初はHClガスを広地域に拡散して、一定体積あたりのHClガスの密度を小さくし、公害を解決しようとした。しかし、汚染地域が広がっただけだった。次に水に希釈し、塩酸にし、大気汚染を解決しようとした。これで大気汚染は解決した。しかし、塩酸の用途が少なく、川に流すしかなかったため、河川の汚染が発生した。次に回収した塩酸をさらし粉にする方法を考えた。さらし粉は利用価値が高いので、どの業者も出たHClガスを無駄にしないという工夫があった。そして、ソルバーさんは、公害の根本のHClガスが出ない方法を確立。有害なガスが出ないので、大気汚染もすることがなかった。
G	ルブラン法では副生物を有用な物に変えることによって、HCl公害を解決したところ。アンモニアソーダ法では、アンモニアや二酸化炭素を回収し、再び原料として使うところや、HClそのものを出不さない方法だから公害問題(HCl)の解決につながった。
H	副生物のHCl、CaSを廃棄物として処理するのではなく、さらし粉、塩素、硫黄など有用な物に変えたため、廃棄物による公害が発生しなくなった。
I	まず、HClにより大気汚染に対し拡散をはかったが失敗し、汚染地域を拡大。次にHClを水に溶かし回収。用途がなく河川に流し河川の汚染。が、大気汚染の減少。HClの使用法を考え出し河川の汚染がなくなる。そして、最後に硫黄の回収法を考案し、ルブラン法の公害対策完了。新しい代わりになる、より効率のよい方法の確立。
J	①最初から汚染物質を出さないようにする。 ②もしでたとしても、少し工夫をして利用できる、また再利用できるものに変えられるようにする。この二つを基本として大気汚
K	排出物に何の処理もせず、放出したりするのではなく、何らかの手を加えて、少しでも無害なものにしようとし、また、捨てるだけではなく、捨てるはずのものを再利用しようと
L	・汚染物質を出さないこと。 ・副生物は再び生成に使われること。
M	初めは対策もなかったし、利益優先だったが、時代が進むにつれて、はじめは、塩酸の有益なものへの無害化、そして硫黄化合物(H ₂ S、SO ₂)の回収し、水と硫黄とに分けて回収することができる。その過程で大切なのは、環境への関心の高まりが一番の工夫であると思う。
N	有害な副生物を有用なもの、あるいは無害なものに変化させたところ。また、生産方法を変えて、そういったものを出不さない生産方法にすること。有害なものをなくさなければ問題が全く解決しなかった点はよく覚えておきたい。
O	有害な塩酸を、塩素にしてそれからさらし粉を作ることによってエコになった。また、途中でCaOは、自然界に放たれるとH ₂ SやSO ₂ の有害なものになって大気汚染をしてしまう。そのH ₂ SやSO ₂ の硫黄を回収しようとしたのが、いい工夫で害を及ぼすものをなくしてくれたのであった。
P	有害な塩酸を、塩素にしてそれからさらし粉を作ることによってエコになった。また、途中でCaOは、自然界に放たれるとH ₂ SやSO ₂ の有害なものになって大気汚染をしてしまう。そのH ₂ SやSO ₂ の硫黄を回収しようとしたのが、いい工夫で害を及ぼすものをなくしてくれたのであった。
Q	その付近の気象観測データを生かし排ガスを出す煙突を高くして、排ガスを拡散させようとした。*ルブラン法では単に汚染地域が広がっただけだったが、それは気象のデータをとり入れなかったから。また、排ガスとなる物質を水に溶かして回収しようとした。
R	副生成物を再び生産に取り込んだり、汚染物質を出さないようにする。汚染物質は結局処理するのが大変である。
S	・HClをガスから塩酸に変えたことで、大樹への影響をなくした。また、その塩酸を別の用途で使用して処理したので、ゴミにならなかった。・方法自体を変えてHClが出ないようにすれば、当然効果はある。

ワークシート3, 4をはじめる前に

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。

ID	回答内容
A	・銅像などを溶かす。・森林が枯れる。・湖が酸化し、魚が死ぬ。
B	・森林を枯らす。・湖沼の酸性化。・金属やコンクリートの建造物を溶かす。
C	木を枯れさせ、森林を破壊し、湖を魚が住めない環境に汚染し、建造物を溶かしている。
D	・森林を枯らす。・湖が酸性になって魚が死ぬ。・金属やコンクリートがとける。
E	草や葉を枯れさせ、水を酸性にして魚がすめないようになり、金属やコンクリートの建造物をとがしている。
F	酸性雨は木を枯らし、森林を減少させる。湖を酸性化させ、その水質に順応できない魚を殺す。銅像を溶かす。ハゲさせる。
G	・ヨーロッパでは、歴史的建造物が溶かされてしまった。・ヨーロッパでは森林が枯れてしまって、木が減っている。・湖の中で住んでいる生物が死滅し
H	スウェーデンでは、酸性雨の影響で、ほとんどの湖で魚が死滅した。シュバルツバルトの大部分の木々が枯死。中国の重慶では、鉄柵が腐食されて切れるといった被害が出ている。ヨーロッパでは、歴史的に重要な彫刻やブロンズ像、大理石でできた建築物などが侵食されている。
I	森林を枯らし、湖の生物を殺し、金属やコンクリートの建造物を徐々に溶かしてゆく。土壌は、アルカリ性の物質をまいて、中世に戻そうとしている。
J	酸性雨の原因となって、広範囲に植物を枯らし、湖を酸性化させ魚類などに影響を与える。金属やコンクリートの建造物を溶かす。
K	・植物の葉も変色、変形させる。・湖の水に混ざり、魚類に影響を与える。・金属をさびさせる。・コンクリートなどを劣化させる。
L	森林で木が枯れ、みすぼらしくなる。湖では、生物が住めない死の湖に、歴史的建造物が溶け出すことも
M	まず、酸性雨は、石油の中に含まれる硫黄と、また、化合しやすい酸素がSO ₄ が生じ、また、窒素も同じようにNO ₄ となり、それが雨が降ると雨水に溶けて、酸性を帯び、酸性雨となって地上に降りそそぐ。つまり、風に乗って、広範囲に広がりやすい。(風下へ)それは、汚染者でなくとも被害者になりやすいということ。それは、はげの原因となるだけでなく、森林を枯らし、湖や沼を酸性にし、魚や微生物の住めない所とし、金属は、酸により、溶け、コンクリートも溶ける。それはさらに老朽化を早め、建て直すことで再び、石油などの化学燃料を使用し、自己矛盾をおこしている。それは、考えれば、大したことはないかもしれない。しかし、10年使えるものが7年になってしまったら、そして、それらも、数十億のものだったら、それはたいへんな資源の労費になるだろうことが予想できる。さらに、二酸化炭素の問題も深刻である。
N	枯らす。溶かす。魚がすめないような湖になる。作物が育たなくなる。
O	・歴史的建造物の破壊→パルテノン神殿。・森林の消失→シュバルツバルト。・魔の三角地帯。・頭髪への被害。
P	酸性雨は森を枯らし、山で水をたくわえることができず、洪水などをひきおこしてしまう。また、湖に酸性雨が増えると、その中にすんでいる生物が死滅してしまうこともある。町では、建て物やなにかの像などがとがされてしまい、とつてもあわれなすがたになります。
Q	・木が枯れる。→森林が減る。・コンクリートの建造物につららのようなものができる。
R	酸性雨は森林の生えている土じょうを酸性化し、そのために森林は枯死してしまう。湖も同じように酸性化し、生物が住めないような環境にしてしまう。金属やコンクリート、石灰岩などと反応し、それを溶かすため、歴史的な建造物にも多大な被害を与える。ヨーロッパで特に深刻。最近中国でもさか
S	・立ち枯れ(森林)・石像がボロボロになる。・池や湖が酸性になり、魚やその他の生き物が死ぬ。

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。

ID	利点	問題点
A	多量の硫黄酸化物を大気中に放散させない。	原油中の硫黄分を完全には取り除けない。取り除くにも金がかかる
B	多量のSO ₂ を大気中に放散させずにすむ。	複雑で大規模な装置が必要。金かかる。
C	多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ。	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、経済的な面が問題。
D	石油製品を燃焼させる前に取り除くので、硫黄酸化物を大気中に拡散させないですむ。	現在の方法では、原油中の硫黄を完全に取り除くことができず、それらを取り除くためには、複雑で大規模な装置が必要なため、経済的にも問題がある。
E	石油製品を燃焼させる前に硫黄分をとりのぞくので、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ができない。また、原油の中にわずかにのこった硫黄分を完全にとりのぞくには、複雑で大規模な装置が必要で、経済的に
F	多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ点。	原油中の硫黄分を完全に取り除くことはできない。取り除くには、複雑で大規模な装置が必要で、経済的にも
G	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。	原油中の硫黄分を完全に取り除くことはできない。
H	70～90%の脱硫ができ、SO ₂ の発生を押さえられる。	依然、硫黄濃度は高く、大気汚染を引き起こしている。
I	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ことはできない。もし完全に取り除こうとするならば、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る。
J	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	完全に取り除くには複雑で大規模な装置が必要で、経済的にもキビシイ。
K	硫黄酸化物を大気中に拡散させずにすむ。	原油中の硫黄を完全に取り除くことができない。
L	多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ。	完全に取り除けない。
M	水素ガスを数十気圧、300から400℃で、触媒を用いて反応させてH ₂ Sとして除	重油の硫黄濃度が0.05%以下が望ましいが、まだ、0.1～0.5%である。
N	燃焼する前に硫黄分を除くのでSO ₂ を大気中に放散させずにすむ。	完全に取り除くことはできず、完全に取り除こうとすると、経済的な問題が出てくる。
O	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空気中に放散させずにすむ。	原油中の硫黄を完全に取り除くことができない。
P	大気中に放出する硫黄酸化物を最小にとどめることができるということ。	わずかにのこったものをとりのぞくには、大変な装置をつかわなければならないこと。
Q	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。	原油の中の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る。
R	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。	現在の方法では硫黄分を完全には取り除けず、完全に取り除くのは大変。
S	多くの硫黄酸化物を大気中に出さずにすむ。	100%取り除くには経済的にも問題がある。

ワークシート4-8

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。

ID	回答内容
A	量的には少ないが、大都市や工場地帯などの地域では、部分で木に濃度が高くなり、その分影響が大きいから。
B	主な発生源の一つが車なので、無数の小さな発生源が動き回り、発生者が一ヶ所に固定していない。
C	かたまった地域で発生し、そこで公害を起こすから。
D	大都市や工場地帯など限られた地域では部分的に濃度が高くなり影響の度合いが大きいから。
E	大都市、工場地帯などの部分的に発生量の多い地域があることと、車より小さな発生源を無数につくったため。
F	人間活動によるものは、限られた地域であるため、部分的に濃度が高くなるため。
G	発生者が一ヶ所にこいていないし、主な発生源の一つが自動車であるため、無数の小さな発生源が動き回っているため、大規模な設備で徹底的に汚染物質を回収する方がとりにくいから。
H	大都市や工場地帯など限られた地域では部分的に濃度が高くなり、スモッグや酸性雨の原因となるため。
I	全体的ではそうであるが、局部的にすなわち、大都市や工場地帯などの限られた地域では、濃度が高くなるので、人工的な発生量の影響が大きい。
J	大都市や工場地帯などで部分的に濃度が高くなる。車から出るのはまとめて工場では処理できないので、メンドウだから。
K	局部的に大量に発生するので、その地域での分解が間に合わない。また、発生源が車なので、発生源が絶えずうごき回っているということになり、回収が追いつかない。
L	大都市、工場地帯などでは、局所的に高濃度になる。
M	大都市や工業都市など限られた地域では、部分的に濃度が高くなるから。また、大規模な設備で回収できないから。
N	都市部などで発生源が集中しているため、そこにいる生物は強い影響を受けてしまうから。
O	大都市や工業地帯などの限られた場所では、部分的に濃度が高まり、住民に被害がでる。
P	自然界で、 N_2O は、そのまま分解者が分解してくれるが、人工的にできた NO や N_2 などは、分解者が分解できないものであるから。
Q	大都市や工業地帯などの限られた地域では、部分的に濃度が高くなる。発生源(自動車)が動き回るのだから、対策をたてにくい。
R	大都市や工業地帯など限られた地域では部分的に濃度が高くなったり、主な発生源の1つが自動車であるため、汚染物質を回収しにくいから。
S	局所的に見ると、人工の窒素酸化物が多いところがあり、そこがやばい。

なお、ワークシート4の9番については、pp.9~11参照のこと。

資料3. 総合小論文としてのまとめ

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

A 記述内容

1 リスクはリスク=危険性×暴露量という式で表される。危険性がいくら高くても暴露量が小さければ人々の感じるリスクは小さく、危険性が小さい事でも暴露量が大きければリスクは高いということである。これまでの社会はこの暴露量を小さくするのに躍起になっていたが、グリーンケミストリーという新しい考え方に危険性そのものを分子の科学としての化学を駆使することで減らそうというものである。そして、このような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考え方が研究者にも、技術者にもそして、一般市民にも求められるようになってきているのである。

A 記述内容

2 これからの科学技術、21世紀の科学技術は何より環境にやさしいという事が必要だと思う。人が科学を手にした事で、人間が地球に与える影響はそれ以前とは比べられない程のものとなった。このことは核について考えてみれば一目瞭然である。文系の最大の役目は価値判断をとまなわな科学の暴走を止めることであると言われていたが、これからはこれに加えて「環境にやさしい」ということも考えていかなければならないと思う。そして、そのためにはより多くの人がこのことについての理解を深める必要がある。その理解を深めるための1つの手段が科学技術なのであり、科学技術を理解することだけを目的としてはならないと思う。「環境にやさしい」ということは、「人にもやさしい」ということである。(人は地球という「環境」の中で暮らしているから)有害物質を排出する、環境を汚染するなど地球にダメージを与えることは結局のところ自分達で自分の首をしめているのに他ならず、最終的には人に害がまわってきてしまうのである。これは人の健康面について見た「人にやさしい」という見方であるが、少し見方を変えてみると「人にやさしい」ということは「使う人にとって使いやすい」という意味にもとれる。このことはこれからの日本のことを考えてみるとよいかもしれない。これからの日本は高齢化社会を迎えることとなる。そのようにお年寄りが増えた中で複雑な仕組みをもった機械しかなかったらどうであろうか。カメラや音楽が聴ける携帯電話が発売される中で、何もついていないシンプルな携帯電話が注目を集めたのはそのためだろう。つまりこれからの科学技術は使う人(ユーザー)一人一人のことを考えていくべきではないだろうか。「環境にやさしい」「人にやさしい」のどちらの科学技術についてもそれを根底で支えるのは人々の意識レベルであり、心がけである。科学技術を「地球にやさしい」「人にやさしい」ものへとしていくためには、社会全体にそのような土壌が必要なのである。つまり、将来の科学技術は「地球と人にやさしい」ものになっていくべきだと思う。そしてそれを支える土壌としての人々の意識を高める必要があるのではないだろうか。

A 記述内容

3 普通の化学の授業とは違い、調べ学習的な授業だった。有害な物質が出ないようにし、なおかつ発生する副産物を利用価値のあるものへしていくことはまさに循環型社会への第一歩だと思う。最初に書いた三つの文と最後に書いた文を比べて自分の理解が深くなっていたのを実感した。最後に書いた文の方がより具体的になっていた。このグリーンケミストリーという考え方はこれからますます広がっていくと思う。そのようなことを知れたことも含めてこのアドグルをとってよかったと思う。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

B 記述内容

- 1 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。科学技術に科学技術者とともに一般市民も主的に関われるように移行していきだろう。また、研究者や技術者も考え方を切り替え、その一つとしてグリーンケミストリー(環境にやさしい化学)を実践しはじめてきた。これは、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。

B 記述内容

- 2 21世紀を迎え、私達の生活に多くの科学技術の産物が入り込むようになってきた。そのため、生活の質、利便性が瞬く間に向上し、私達もその生活の利便性に少々麻痺しながらも、その恩恵を心ゆくまに受けている。
しかし、このような利便性の裏には、必ず恐ろしい現実問題が水面下に潜んでいて、その1つが環境問題なのだと思う。人々は科学技術の利便性にはまり、次々と便利な商品を産み出し、その結果利便性のインフレーションを生んだ。その反動が現代になって急速に姿を表しはじめ、環境問題という危険因子が問題になってきた。人々はこの問題から自分達が犯してきた無秩序なインフレーションに気づき、それを抑制しようとしたが、とてつもなく速い勢いで進んだ。それはなかなか止められず、技術者を筆頭とする私達人間は、こうしておこった二重の「負の恩恵」に挟まれ、現在もその打開策を見つけようと必死になっている。
ところで、なぜこのような深刻な状況に陥るまで、人類は自分達が科学技術のフィールドの上を間違ったベクトルの方向に進んでいたという事実には誰一人として気づかなかつたのだろうか。僕個人の意見としては、それまで、科学技術関連の諸事物に科学者以外の一般市民がほとんど干渉の意志を示していなかったからではないかと考えている。確かに科学を進歩させ、私達に科学の恩恵を与えてくれたのは科学者達ではあるが、それを享受してきた私達一般市民も立派な科学に関わる人々なのではないかと思う。例えば、窒素酸化物のところでも学習したが、窒素酸化物は、他の公害物質とは違い、その回収に大変な困難を要している。窒素酸化物発生源が私達一般市民の生活の一部からきているからである。しかし、一般市民はそれでも、この問題に関心を示さず、その解決に至るすべてを科学者任せにしようとしている。ここに問題があるのだと思う。もう私達一般市民一人一人が関心を示し、積極的に問題の解決策を考えなければならない時代がやってきてしまっているのかもしれない。今回、この総合学習で勉強した「グリーンケミストリー」は、一般市民にもその趣旨が理解しやすく、とても環境問題を考える上で大事な分野の1つであると思う。先ほど、技術のインフレーションの抑制は難しいと言った。これは紛れもない事実かもしれない。しかし、だからといって、「科学技術をなくす方法」だけを考えるのではなく、「科学技術とうまく付き合っていく方法」を考えるべきなのではないかと思う。これは将来の理想の科学技術の在り方なのかもしれない。その姿を作り上げるためにも、私達一人一人が科学技術について関心をもち、よく考えていく責任を荷っていくべきなのだと思う。

B 記述内容

- 3 より環境問題への関心が深まりました。大学入試のためだけの化学だけではなく、このように実践的な化学を学んでいくものとても大切なことだと思いました。グリーンケミストリーは、これからの時代には欠かせないし、もっと他の人々にも紹介して、その認識度を上げる必要があると感じました。個人的には、とても素晴らしい勉強になったと思います。ありがとうございました。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

C 記述内容

1 環境基準は現在「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。この値は、研究者や、技術者でない一般の人々には分からない。しかし、これからの社会では一般市民がいろいろなものの意志決定に参加する機会が増える。だから、文系を含めた一般の人々にも自然科学的な素養、総合的な自然観を身につけることが大事である。リスク=危険性×暴露量である。これまでは暴露量を抑えることでリスクを低くしてきたが、グリーンケミストリーでは、危険性も減らそうとしている。そのためには汚染そのものの発生を断つ必要がある。

C 記述内容

2 科学技術の発達とともに、いろいろな有害物質を多量に作り出し、環境を汚染してきたことを学んだ。その際は、その汚染物質を人里から遠ざける。→発生したら汚染物質を集めて無害な物質に作り変える→発生した汚染物質を有益な物質に作り変える。→有害な物質を作り出さないようにする。という順を追って解決してきた。しかし、これからは「汚染物質が出た。さて、どうしよう？」ではなく、先ほどの例で行くと最後の段階である「有害な物質を作らないようにする。」を初めから実行しなくてはいけないと思う。なぜなら、上の過程を毎回追っていくのでは、地球が汚染物質だらけになってしまうし、過去の過ちの繰り返しになってしまうからである。これからは、過去の失敗から学び、環境にやさしい科学技術を目指していかなければならないと思う。また、現在、上の過程の途中にある状態のもの、つまり、今もなお汚染物質を作り出しているものについてだが、それそのもの自体の製造を止めてしまえば、汚染物質が発生することがない。しかし、私達はきっと昔の生活に戻ることにはできないだろう。今、自動車を運転することが禁止されたら、大変にちがいない。電車や飛行機もそうだ。もし、なくなったら、大変なことになる。このようなものについては、なるべく早く解決策を見つけなければならない。そのためにいろいろな研究もされているようである。しかし、これから、科学技術は何も上の過程を順に追う必要はない。初めから、最終段階でもいいのである。もちろん順を追って問題を解決していても良いが、最終段階を見据えて、解決策を練って欲しいと思う。

科学技術をどうするという話ではないのだが、今の世界は、科学技術が一人歩きをしていて、一般市民がその技術についていけないような気がする。この状況を何とかするためにも一般市民が現在の科学技術を知ろうとする努力をする必要があると思う。実際、私も、科学技術について知らないことばかりである。現在、私達が使っているものの中には危険なものもいっぱいある。それを私達が何も知らずに使うのは危険すぎる。リスク=危険性×暴露量で表せると言われる。積ということは、危険性か暴露量のどちらかが0になればリスクも0になるということである。暴露量が0になることはありえないと思うので危険性を0に近づける努力がやはり必要になってくる。そのためにもこれからの科学技術は危険性を0に近づけるようにしていく必要がある。

C 記述内容

3 初めは「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けれども、学習していくうちに「グリーンケミストリー」の表すところが分かってきた。化学式を覚えるというのももちろん大事なことだが、それを理解した上で、環境を汚染する物質は何か、無害な物質は何かということを知り、有害な物質を発生させないようにすることも「科学」の大事な1分野であると感じた。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

D 記述内容

- 1 科学や技術に関連した社会問題に関して、判断・意思決定するとき、文科系を含めた一般の人々にも自然科学的な素養、総合的な自然観を身につけること、また、科学技術の推進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必要だと思われる。研究者や技術者も、グリーンケミストリー(環境に優しい化学)という考え方を重視するようになってきている。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として、分子の科学としての化学を駆使してリスクを減らそうとすることがある。これは、「リスク=危険性×暴露量」の危険性を減らそうというものである。これからの科学技術の推進のためにも、判断・意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が研究者、技術者、そして一般市民にも必要な素養となってきたのである。

D 記述内容

- 2 科学技術は、人間の生活をどんどん変化させている。この発達はある程度のレベルで安定しそうな様子はまったくない。それどころか、今までに達成された以上に伸びていくかもしれない。ここで、個人的な意見としては、科学技術をどうするというよりもむしろ、そういった進歩に人間がうまく適応していくべきだと考えます。

しかし、実際、科学技術による人間生活の変化に十分早く適応できているのであろうか。

人間と科学との場合には全く新しい要因、つまり人間自身が環境の変化を作り出し、これまでにないスピードでそれに適応しなければならないであろうという問題がある。しかし、人間はその科学技術によって環境の変化の原因になっているが、これらの変化の大部分は人間の望んだものではない。それは人間の働きによって生じたものではあるけれども、その中には厳然として不可避な自然のさまざまな力のようなものがある。少なくとも今まではあった。人間が自分自身の技術によってもたらした環境の変化に耐えて生き延びることができるかどうかは未解決の問題である。

生き延びることができるようにするためには、人間は科学的な考え方を彼ら自身および彼らの諸制度に適用しなければならないであろう。科学にたずさわる者やまた、そうでない者も、人間を取り扱うさまざまな研究を相手に奮闘しなければならないのみでなく、数多くの人々を説得して、自分たちが発見したことに耳を傾けさせなければならないだろう。

そして、科学技術というものを一般市民に受け入れてもらい、さらに科学技術というものを理解してもらおう。これによって科学にたずさわる者や、またそうでない者も自己の純粋な立場において科学技術に深く関わっていきけるようになっていくのである。

これからの科学技術にうまく適応していくためにも、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のである。

一方、新しい科学技術が経済的な繁栄を生み出すであろうことは確実である。少なくとも、先進工業国においては、我々が知っているような貧困に終止符を打つことができるだろう。実際、発展途上国の人々は当然のことながら、科学と科学技術がきっとこの格差を埋めてくれ、豊かな資源に恵まれた先進国の人々が自分たちが受け入れ、味わい楽しんでいる繁栄のいくらかを発展途上国の人々

しかし、現在、先進国における富の使い方はどこか非常に間違っているといえる。反省がまだ達成されてなくて、増えつづける人口が今後、何世代ものあいだ、その達成を阻むことになるかもしれない。

D 記述内容

- 3 新しい科学技術の進歩というのは、大変重要なものではあるが、それにもなって次々と生まれる地球環境問題とその歴史、また、そういった地球環境問題に対してさまざまな手段を講じてきた先人たちの知恵というのは、やはり人として知っておくべきだと思った。

ところで、科学技術がますます進歩して、もし、機械が人間よりも速く、能率的にさまざまな仕事をするようになったら、人間の重要性はどうなるのか？もし、自分はほとんど価値のない存在なのだと感じ始めたら、メンタル面での問題が起こる。それらを考えると科学技術も微妙である。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

E 記述内容

1 リスクとは、(危険性)×(暴露量)で表せられるもので、グリーンケミストリーでは、対症療法ではなく、化学の力を持ちいて、これを根本から取り除くことを目標としている。グリーンケミストリーでは、その過程において環境に問題となる物質が、どこからも発生しないためリスクは激減する。今まで暴露量重視だったことに比べれば、大きな発想の転換である。また、現在では、発想をする場、議論をする場自体にも転換の時期がきている。今までは、理系の人間、それを職業とする人があくまでも議論の中心であったが、これからは一般社会とのつながりを重視する観点から、ジャーナリストや一般市民など文科系を含めた一般のPublic Commitmentの考えのもと協力して社会全体に利益をもたらしていかなければならない。

E 記述内容

2 産業革命以後の科学技術は急速に発達することとなり、そんな中で人間は新たな分野の開拓を押し進め、利益と合理化を第一としてきた。それは莫大な富を生み、新たな社会のしくみを作り出すきっかけともなった。その流れは、その後も続き、私達の生活はとて便利なものとなり、また、技術力の差が国力の差に如実に繁栄される状態へとかわっていった。

そんな人間が技術の発展に勤しむ中、今までの革新への反動が人間をおそう時がやってきた。それはまず、周囲の草木、動物などからはじまりすぐに人間の健康を害するまでになった。当時は、環境破壊という概念が存在していなかったであろうから、その原因の究明や打開策には多くの苦労があったと思う。そして、またこの時から人間は科学技術の副作用について理解し、考え始めたはずであった。しかし、実際は、環境に対する影響を重視したのは一部で、その後も以前の考え方がそのまま用いられていた。そのため現在は、抜き差しならない状況になっている。

だから、まず、私達は科学技術の副作用について、しっかりと認識すべきである。科学技術は私達の生活を楽に、そして新しい領域へといざなう媚薬であり、それは高い確率で副作用がでる。周辺環境の変化による、生態系への影響や人体への直接の影響である。だからといって、今の私達がこの薬を使わずに生活してゆくことができるかと言えば“NO”と言うしかない。今の私達はあまりにも科学技術にたよりすぎている。そして、薬に対して耐性のついてしまった私達は、これからも科学技術を進歩させ続けるだろう。

では、他には今の状況を打開することができる方法はないのだろうか。1つあるとすれば副作用のない科学技術を開発するということである。この方法が現在最も期待されている技術であり、必要とされている技術である。しかし、科学技術から副作用を取り除くことは生半可なことではない。数々の実験、試行錯誤をへてはじめて実用に耐える方法が発見されるかもしれないというレベルである。

もし、私達がこれを実行しようと思ったら、大幅なコストアップが生じるのは避けられない。しかし、これからの21世紀科学技術は、新たな段階に入らなければならない。昔のように個人の利益のみを考えていればよかった。そんな時代はもう終わった。科学技術を使い続けるには、今までの利益、合理化などよりも環境に対する影響を優先すべきである。そうでなければ地球の寿命をする減らすことになってしまう。また、その解決策も、後付け触媒方式ではなく、本質的な排出量の減量をねらえるものでなければ意味がない。

私は、これからも科学技術は発展させてゆくべきだと思う。しかし、その時に忘れてはならないのが、開発と同時進行に行われる環境への影響調査ならびにその解決策である。これからは、もう、新しい技術は、その副作用を解決しなければ世に出せないのである。そして、その解決する技術こそが日本に求められているのではないだろうか。そうすれば、日本の社会にも明るいきざしが見えてくると思う。

E 記述内容

3 私は、今回かなり昔から汚染物質に対する努力があったことに驚いた。しかし、その一方で、現在まで、その努力が他の広い分野まで伝わっていない。だから、現在の状況が生まれてきたんだと思う。そんな中このグリーンケミストリーの話を知り、私は単純にすごいと感じた。最初は単なる夢のようなものかと思ったが、実例を示して説明されると、実際に可能なものなのだと納得できた。

しかし、グリーンケミストリーという言葉について世間での知名度は決して高くないと思う。だから、まず知名度を上げることが必要ではないかと思う。そうすれば、私達は、未来に対して希望をもてるようになると思う。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

F 記述内容

1 エネルギーと環境問題などいろいろな判断、意思決定に役立つ方法として、バックグラウンド法、バランス法、比較法、リスク-便益法がある。これからは、これらの判断に一般市民も含まれるようになる。そのために、あらゆる人が科学技術の知識を持つ必要性が生まれてきているのである。また、研究者や技術者も考え方を切り替え始めていて、その1つがグリーンケミストリーなのである。この方法は危険性そのものを減らすことによってリスクを小さくすることを目的とし、(リスク=危険性×暴露量)その精神は12か条にまとめられている。このように、これからは科学技術はリスク低減を目指し、その意思決定のために、一般市民にもしっかりした知識が必要なのである。

F 記述内容

2 人間は、いかなる生活状態にあっても、それをよりさらに素晴らしい生活を求めて生きていると思う。むしろ、そのために生きているのかもしれない。とにかく、人間の生活を豊かにするのに一役買ったのが科学技術だった。科学技術はもっとも具体的に人間の生活を豊かにし、しかもすさまじい速さで進歩した。確かにここ数十年で人間の生活は一部の地域では飛躍的に便利で快適になった。しかし、手痛いしっぺ返しもくらっている。それは、過去の大気汚染、水質汚染、原子力発電所の事故などからみてとれる。人間が都合よく利益だけあげるのは非常に難しいらしい。

科学技術の使命が人間に豊かな生活を持たらすことだとしたら、利益と一緒に生じるかもしれない不利益にも気を配らないといけないと思う。将来のことを考えずに行われた開発のせいで、現在取り返しのつかないしっぺ返しをくらおうとしている。科学技術の何より大切な使命は、まさにこれを防ぐことであると思う。そのために、グリーンケミストリーの考え方は非常に重要なものになっている。過去の歴史で、汚染物質を出してから、処理するのでは遅いということが分かってきたのであるから、当然といえば当然である。現在の科学技術は、より高度に複雑になっているから、将来性の議論についても、高度で複雑で、さらには深い倫理問題までもがからんでくる。その科学技術による成果を正しい道に導くためには、世間一般の人々がそれを認識することが必要である。一般の人々は無責任に利益を受けるだけではもう通用しないのである。

今までの科学技術は資本主義経済の競争の中に置かれていたから、直接肌で感じない害は無視されてきた。この方針が行き詰まった今、科学技術は調和のとれた大きな生態系の1つに組み込まれるべきである。すなわちグリーンケミストリーを徹底して、さらには物質の完全な循環を目指し、限られた資源に頼らない社会を築いていくべきである。人間は地球の環境に対して責任を持たなければならないし、その罪を償う必要もある。

F 記述内容

3 最後に書いた小論文はうまく書けなかったけれど、学んだものはとても多かったと思う。現在問題になっている大気汚染は、自動車から出る窒素酸化物以外はほぼ解決されているということには驚いた。その自動車も環境にやさしいものの開発がだいぶ進んでいるのだから、あとはそれが普及すればよいなんて、だいぶいい方向に進んでいると思う。グリーンケミストリーの考え方が広まってきているから、新たな開発や生産は安全で無害になると思う。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

G

記述内容

- 1 これからは、一般社会における問題と科学技術との関連が、さらに強まっていくと考えられるので、一般の人や文科系の人なども科学的な素養や自然観を身に付けていくことが重要である。また、研究者や技術者は暴露量だけでなく危険性からもリスクを減らしてグリーンケミストリーをより推進していくべきである。

G

記述内容

- 2 今後 科学技術は安全性を重視しつつ、さらに進歩していった欲しいと思う。科学技術は、私達によりよい生活をもたらしてくれ、いろいろなものを与えてくれるものなので、やっぱりさらに進歩していき、私達の生活をさらに向上させて欲しいと思う。
しかし、あるよいものを得るために悪い部分すなわち、環境を害する汚染物質や直接人体などに影響を与える物質などをうみだしてしまうならばそこにはストップをかけることを考えなくてはならないと思う。なぜならば、今は昔と比べて環境はより一層悪化していて、昔のように汚染物質を排出して、影響が出てから対処するのでは遅いからである。
なので、研究者などはやる前からいろいろな判断をし、廃棄物を出さないようにしたり、人体や環境に害の少ない反応物、生成物にするといったグリーンケミストリーをより推進していくべきだと思う。また、研究者などだけでなく、文科系の人やジャーナリストなどもちゃんとした科学の知識を得て科学に対する正しい理解をして、社会に対して利益をもたらしたり、いろいろな情報を広めたりして欲しいと思う。
また、科学の進歩によって環境をよくしていくことができれば、とても素晴らしいと思う。

G

記述内容

- 3 今までは、環境汚染といってもあんまりどんなものか分からなかったけれど、これをしてある程度理解をし、知識を得ることができ、また、環境汚染に対する興味関心、さらには科学技術に関する関心も少し得ることができました。将来自分に何ができるかは今はまだ分からないけれど、今回学んだことは、きっと生きると思います。

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

H 記述内容

1 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リスク評価の方法がある。それは、バックグラウンド法、バランス法、比較法、リスクー便益法である。これからは、インフォームド・コンセントのように一般市民も環境や医療について考えて判断・意思決定をしていかななくてはならない。そのような時にリスク評価の方法は役にたつであろう。また、リスクとは危険性×暴露量であらわされる。これまでは、危険性が同じなら暴露量を減らしてリスクを減らそうとしてきた。しかし、これではもしいかなの拍子で暴露量がふえて(漏れて)しまったら、全くリスクは減っていないことになる。そこで、グリーンケミストリーでは、そのような対症療法ではなく、危険性(すなわち危険物質)を完全になくす(初めから出さない)ようにしようとしてきた。グリーンケミストリーにはその精神を表した12ケ条があるが、それはとてもシンプルで初学者にもわかりやすくなっている。このように、これからの科学技術の発展のために研究者だけでなく、一般市民も意識改革(必要最低限の素養)が求められている。

H 記述内容

2 生産者として必要なのは生産力を中心に生産していくのではなく、環境に対して害がないこと(グリーンケミストリー)を第一に考えいべきだと思う。だが、これを実現させるには、考えられるだけで次のような問題がある。1. 企業とは利益を追求していくことが基本なので、環境対策にかかるコストの増大や生産力の低下がその点で相反してしまう。2. 工場で実際に働いている人に危険物質が漏れたときの危険性が分からないと状況改善の意志がおこらない。これは働いている人に限らず工場付近に住んでいる一般住民にもいえることだ。3. 社会的に力をもっている企業、行政が率先してやる気をおこさないと社会全体にグリーンケミストリーの考えが浸透するのが難しい。また、研究費の面でもグリーンケミストリーの更なる発展や実用化が難しくなってしまう。これらの問題を対処しないと科学技術を望ましい方向へ進めるのは不可能だと思われる。では、実際にどうしたらよいのだろうか。

今までは政治は政治家、研究は研究者のようにそれぞれの分野を分業して行われてきたことが少なくない。そのため環境問題の深刻さをあまり知らない政治家や研究ばかりしてその成果をどう実用的に扱ってよいのか分からない研究者がいたはずだ。一つの事に集中してその分野を発展させることは決して悪いこととはいえないが、他の分野に無知であるのは能率が悪いとしかいえない。そこで大切なのは科学と政治の融合である。今では世界的な問題となってしまった環境問題を解決するには様々な分野で連携して対処していくしかない。科学と政治がうまく連携されれば上記の問題も解決とはいかなくてもよい方向へもっていくことはできるはずだ。例えば、1, 3に関していえばグリーンケミストリーの考え方を法律で義務化してしまえば公害は少なくなるし、その法律内で利益をあげようと企業が研究をし、グリーンケミストリーの発展を促すことができるかもしれない。また、2に関していえば、各自治体にグリーンケミストリーの考え方を宣伝させたり、外国で行ったような環境都市コンテストを開催すれば市や町をあげての参加になり、グリーンケミストリーの意識が地域に根づくかもしれない。コンテストは他にも町おこしや企業がイメージアップをしようとして環境問題に取り組む利点がある。このように上手く連携が行われれば今よりも環境に対する強い意識づけができるだろう。

最終段階科学と政治の融合だとして、そこまで持つていくにはどうしたらよいか。それは科学者は、一般市民にも理解できるように宣伝をすること、一般市民は必要最低限の知識を身につけることだろう。これは小・中・高などの教育の場でも必要なことだし、情報を提供するマスコミにも必要なことだ。結局大切なのは科学と他分野の融合だ。最終的には政治との連携にもっていきたいのだが、そこまでいくのに様々な分野との連携が必要だ。このことは環境問題に限らずにいえることだ。科学技術を発展させるにはまず、将来に他分野との連携を始めるべきだ。

H 記述内容

3 大切な考え方を学習したと思った。でもこの論文を書く前に授業で、現在直面している問題や開発中の技術をわかりやすく教えてほしかった。そうすればもっと論文が書きやすかったと思う。

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

I 記述内容

1 環境汚染などに対するリスク評価として、バックグラウンド法、バランス法、比較法、リスク(コスト)-便益法の4つの方法が考えられている。この方法で求められた危険性について、「危険性は普通の個人や社会が許せる程度に小さい」と判断される環境基準があって、これを守ることによって、安全が図られている。

また、これからは一般社会と科学技術の関連が強くなっていくと考えられている。つまり、研究者、科学者だけでなく文科系の人間や、我々一般人も科学の基礎や総合的自然観が必要になってくるのである。同時に科学者研究者も考え方を切り替え始めている。その1つがグリーンケミストリーで、今までのように暴露量を減らすことでリスクを減らすのではなく、危険性、つまり、物質そのものを無害にしてリスクを減らそうという考え方である。このような科学技術を実現するためにも、判断、意思決定に役立つ科学的な見方や考え方がすべての人間に必要なのである。

I 記述内容

2 今まで、私達人間に有益な多くの科学技術が考えられてきた。しかし、その中の大半は使用される内に欠点が見つかり、環境に影響をあたえ、さらには我々人間にも害を与えてきた。このようにして、最近では、身近に新しい科学施設や研究所ができるとなるとどうしても抵抗を感じてしまうように思われる。しかし、科学の今日までの発展なしには今の世界は考えられないし、人類の更なる発展もないだろう。「失敗は成功のもと」とか失敗から何かを学ぶということもあるだろうが、成功につながるからと、原子力発電所などで失敗を繰り返されてばかりいてはどうしようもない。今までの失敗というのは初歩的なもので、人間が利益ばかりを追い求めたため、排出物の環境への影響を考えることがなかったために発生した。さらにその有害物質への対処が雑であったためにさらに拡大してしまうことになった。ここで、利益を求める企業側の開発者、研究者に環境、つまり自分の考える範囲外、普段なら考えもしないことへの配慮がわずかでもあったら、どうだろうか。結果は違はずである。これと同じことが一般人にも必要だと私は思う。今は「科学」と聞くだけで難しいと思い、そういうことは専門の人に任せようとしてしまっている。理系の人間は化学や物理、数学を重点的にやり、文系は国語、歴史、公民に重点を置く、さらにその中で細分化され、数学者は数学のみを、物理学者は物理のみを、政治家は政治のみをと完全に分業化され、他の分野には興味を示さない。例えば政治家に大学の研究所が自分達の成果を報告しても、一方的に話すだけで、会話は成立しないだろう。政治家が理系の知識を持ったらどうだろうか。少なくとも理系の知識を持った補佐はどうだろうか。これから必要になる、またはこれから有望な可能性のあるところに予算を多く振り分けるといったことができるようになるだろう。建築現場などで力仕事をする人が物理の知識を持ったらどうだろうか。より効率がよくなるだろう。やはりどんな種類の人にも利益の知識は有益で、必要なのである。家庭の主婦にだってそうである。これからは、私達の周りにも高度な科学技術があふれてくるだろう。そうなったら、何をしているかも分からない。未知のものに囲まれて平気だろうか。知識がないままでは、欠点があって、それが重大な影響を与えていても気付けない、取り返しがつかなくなってから気付くだろう。これでは昔と同じことを繰り返すだけである。こうならないためにも、私は今は一部の人間だけが持っている知識の大衆化、つまり、科学技術の大衆化がされて欲しい。そして、人類全体のものとして科学技術が発展し、現在のような利益をもたらす一方で私達の首をしめる両刃の剣のような状況から脱却し、過去の失敗を埋め合わせるに十分な、さらには人類全体の本当の利益となるものになってほしい。

I 記述内容

3 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によって、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。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

I 記述内容

1 環境汚染に対しての環境基準がある。「現在の科学知識で、普通の人の体にも、その子孫にも異常が起きないであろうと考えられる量」がそれである。これからは、科学者、研究者以外でも、化学の知識をつけ参加することが求められている。また、科学者・研究者も環境にやさしい化学ーグリーンケミストリーへと考えを切り替え始めている。環境汚染のリスクとは、 $\text{リスク} = \text{危険性} \times \text{暴露量}$ と表せる。今まで、暴露量を減らすことが中心だったが、危険を失くそうという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には、その精神を表した12か条がある。

I 記述内容

2 今まで、科学技術はものすごいスピードで進んできた。これからは前進するだけでなくしばしば後ろを振り返ってみるべきだと思う。ひとつには科学技術の発展に伴い汚染されてきた地球環境を見直すこと。今回のグリーンケミストリーで学んだように、苦勞の末、解決できる問題も多々ある。CMのキャッチコピーではないが、捨てる世紀から活かす世紀だと思う。今まで、垂れ流しにしてきた汚染物質や排廃物、また、それらによって引き起こされた環境の悪化。これらを返済して帳消しにし、全くきれいになってから、技術の発展を望んでも遅くはないのではないだろうか。科学の発展は止められないのだから、それ以上のスピードで環境の浄化を目指していく。むしろ科学の発展は、環境の浄化をメインに進んでいくべきだと私は思う。そして、私が科学技術に期待することには今、環境そして人体に悪影響とされているものも科学技術によって無害にしていくことだ。例えば、今日学んだように塩化水素をルブラン法やアンモニアソーダ法などにより長い時間かけ無害に変えていった感じである。しかし、今までの技術では大掛かりな装置で何重にも変化した末の無害化などかなり手のこんだものである。私は、ダイレクトに、一発公式で無害になって欲しい。そうすれば低コストだしお手軽だし、各々の発生場(大工場ではない所)でも無害にできると思う。授業の余談にもあったが、自動車のフロンガスをそのまま捨てているという事実もあるそうだが、完全に解決されたとされる問題でも、もっと欲を出せば、終わりはないのでは。いっそのこと塩化水素自体を無害にできないのか。塩化水素を例に話をすすめたが、今でも、深刻な問題となっている多くの物質に対してだ。科学技術は、環境問題とともに発展して欲しいと思う。

I 記述内容

3 今回の学習でいろんなことがわかった。週一回あるかないかの授業だったが、本当に内容が深くわかりやすいと思った。小学生のころから、環境問題には大変、興味があったが、このような切り口は新鮮だった。

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

K

記述内容

- 1 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。科学技術に科学技術者とともに一般市民も主的に関われるように移行していきだろ。また、研究者や技術者も考え方を切り替え、その一つとしてグリーンケミストリー(環境にやさしい化学)を実践しはじめてきた。これは、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。

K

記述内容

- 2 21世紀を迎え、私達の生活に多くの科学技術の産物が入り込むようになってきた。そのために、生活の質、利便性が瞬く間に向上し、私達もその生活の利便性に少々麻痺しながらも、その恩恵を心ゆくまに受けている。

しかし、このような利便性の裏には、必ず恐ろしい現実問題が水面下に潜んでいて、その1つが環境問題なのだと思う。人々は、科学技術の利便性にはまり、次々と便利な商品を産み出し、その結果利便性のインフレーションを生んだ。その反動が現在になって急速に姿を表しはじめ環境問題という危険因子が問題になってきた。人々は、この問題から自分達が犯してきた無秩序なインフレーションに気付き、それを抑制しようとしたが、とてつもなく速い勢いで進んだ。それはなかなか止められず、技術者を筆頭とする私達人間は、こうしておこった二重の”負の恩恵”に挟まれ、現在もその打開策を見つけようと必死になっている。

ところで、何故このような深刻な状況に陥るまで、人類は、自分達が科学技術のフィールドの上を間違ったベクトルの方向に進んでいたという事実には誰一人として気づかなかつたのだろうか。僕個人の意見としては、それまで、科学技術関連の諸事物に科学者以外の一般市民がほとんど干渉の意志を示していなかったからではないかと考えている。確かに、科学を進歩させ、私達に科学の恩恵を与えてくれたのは科学者たちではあるが、それを享受してきた私達一般市民も立派な科学に関わる人々なのではないだろうかと思う。

例えば、窒素酸化物のところで学習したが、窒素酸化物は、外の公害物質とは違いその回収に大変な困難を要している。窒素酸化物発生源が私達一般市民の生活の一部から、きているからである。しかし、一般市民はそれでも、この問題に関心を示さず、その解決に至るすべてを科学者任せにしようとしている。ここに問題があるのだと思う。もう、私達一般市民一人一人が関心を示し、積極的に問題の解決策を考えなければならない時代がやって来てしまっているのかもしれない。

今回、この総合学習で勉強した「グリーンケミストリー」は一般市民にもその趣旨が理解しやすく、とても環境問題を考える上で、大事な分野の一つであると思う。

さきほど、技術のインフレーションの抑制は難しいと言った。これは紛れもない事実かもしれない。しかし、だからといって、「科学技術をなくす方法」だけを考えるのではなく、「科学技術とうまく付き合っていく方法」を考えるべきなのではないかと思う。これは、将来の理想の科学技術の在り方なのかもしれない。その姿を作り上げるためにも、私達一人一人が科学技術について関心を持ち、よく考えていく責任を荷っていくべきなのだと思う。

K

- 3 より環境問題への関心が深まりました。大学入試のためだけの化学だけではなく、このように実践的な化学を学んでいくのもとても大切なことだと思いました。グリーンケミストリーは、これからの時代には欠かせないし、もっと他の人々にも紹介して、その認識度を上げる必要があると感じました。個人的には、とても素晴らしい勉強になったと思います。ありがとうございました。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

L 記述内容

1 科学技術に関連した問題に関して判断・意思決定する場合には、研究者や技術者ばかりでなく、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である。また、現在では、問題そのものの発生を断つグリーンケミストリーの考え方が注目を浴びている。これによってリスクを減らし、環境汚染を防ごうとしている。

L 記述内容

2 科学技術を研究者や技術者だけではなく、一般の人にも、受け入れてもらうために、一般の人にも分かるように説明をして、理解した上で、推進していけばよいと思う。なぜなら、科学技術に関する問題は、研究者や技術者だけの問題ではなく社会全体の問題だからである。

また、科学技術は人間の生活をより豊かにする反面で、環境に対する汚染問題が生じる場合がある。何も考えずに科学技術を使用すると、今日、世界が抱えている様々な環境問題につながってしまう。だから、今までに、塩化水素、硫酸化物、窒素酸化物の問題を解決してきたように、汚染物質が外に出る際の処理、外に出ないように処理、発生しないようにする処理まで考えた上で、科学技術を使用したらよいと思う。僕は、特に、電力発電に関して科学技術をこれから、考えていくべきだと思う。やはり、火力、原子力発電では、環境に対する危害がある。火力、原子力が我々が使用する電力の大半を占めているが、これからは、太陽、風力、地熱、波力発電といった自然のエネルギーを利用する発電方法を織り混ぜて、電力のバランスをとることが必要だと思う。これも、グリーンケミストリーにつながると思う。

最後に科学技術は、使い方によって、良くも悪くもなる。科学技術を善用してるか、悪用してるのかを一般の人が理解するために、化学の基礎的素養を一般の人もしっかり身につける必要があると思う。そして、研究者や技術者が何をやってるか見張り、悪用していたら口出しするくらいのつもりでいれば、科学技術は正しい方に使われていくと思う。また、科学技術が正しく使われれば、人間の生活がより豊かになるばかりでなく、環境も守ることができ、ひいては地球全体を守ることにつながると僕は思う。

L 記述内容

3 グリーンケミストリーに関する話題がとても興味深く面白かった。汚染物質が外に出る際の処理から外に出ないようにする処理へそして、汚染物質が発生させないようにする方法への転換が特に興味深くすごいと思った。学習して勉強になっただけでなく、グリーンケミストリーへの関心が深まり、もっと多くのことを学びたいと思った。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

M 記述内容

1・環境汚染などのリスク評価は、 $\text{リスク} = \text{危険性} \times \text{暴露量}$ の式で表されたものを、自然状態と比較するなどして評価する。
・最近では、一般社会における問題と科学技術との関連が強まったため、科学技術の知識が必要な対象は、研究者や技術者ばかりでなく、一般市民も含まれるようになってきている。
・研究者や技術者も、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものを防ごうと考えている。

M 記述内容

2 どんなに腕の良い料理人でも、味覚が狂っていたら、まずおいしい料理は作れない。それは、技術者においても言えることだと思う。どんなに発達した科学や技術を持っていたとしても、それを物としておさめるときの「テーマ」のようなものがない加減だったら、良い発明はできないはずだ。
では、21世紀の技術者における「正しい味覚」とは何か？「機能性の高さ」「コストの低減」など色々あるが、特に大切なのは「環境に対する意識」であると思う。
科学技術を駆使して、たとえどんなに便利なものを発明したとしても、それが私達の身の周りの環境に害を与えるのなら、それは決して「おいしい料理」ではないのだと私は言いたい。つまり、将来の科学技術は「(地球)環境にやさしいもの」でなくてはならない。
このようなことは、もはや言い古されたことだと思う。今、地球の環境があやういという事は、周知の事実であり、その問題を解決するために今の技術者達が、日夜努力していることもまた事実である。
私が言いたい「意識」というのは、環境問題への「対策」でなく「予防」である。今の技術者達は、選んだ科学を持ち、数多くの環境問題とも直面してきた。
自動車が発明された当時は、大気汚染・酸性雨・温暖化などの問題が起こることなど夢にも思わなかったのではないだろう。しかし、その頃と今とでは技術者のレベルがまったく違う。今のレベルなら、ある程度の「予防」はできるはずだと思う。
これから先、特に医学の分野では、より科学技術が取り入れられていくはずだ。そして、いずれまた、新しい問題が発生してしまうかもしれない。その可能性を最小限におさえつつ、より便利さを求めるのが、将来の科学技術のあるべき姿だと思う。

M 記述内容

3 私は以前から、「大気汚染」などの環境問題には興味があり、将来はそれらの問題に関する研究をしていきたいと思っている。このアドバイザーグループを受講したのもそういう理由からで、何かの参考になれば良いと思っていた。
しかし、このアドバイザーグループを通して勉強しているうちに、自分が環境問題について、いかに「知ったかぶり」をしていたか思い知らされた気がした。そういった意味で、この学習は非常に有用なものであったと思う。
環境問題についての興味も深まったし、知識も少しは増えたと思う。この学習は自分にとって良いきっかけになったような気がする。

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

N	記述内容
1	<p>リスクの考え方は「ある人工物からの量と自然からの発生を比較する。」「発電等のコストや、問題点などを比べる」「全く異なった種類の危険性を比べる。」「害と利益を比べる」などたいてい比較によってなされている。そういうリスクの考え方が市民の中に根ついてきており、また、市民の中に生まれてきたため、研究者や技術者も考え方を替え始めている。その結果、汚染が発生してから、処理する従来の考え方から、汚染の発生そのものを断つナノケミストリーも、注目を集めている。また、今までは、暴露量を減らし、リスクを減らそうとしてきた。しかし、これからは、一般市民が一体となって、暴露性を高め、危険性を減らさせていく必要になる。ちなみに、僕は、これからは、リスク=危険性×(暴露量)²もしくは3乗の時代になると思う。</p>

N	記述内容
2	<p>今やらなければならないことは、たくさんあると思う。それをこれから書こうと思うのだが、将来のことまではわからない。それは、どんな技術がこれから登場し、それがどのような形で、人間生活や自然環境を脅かすようになるかは、これからのことだからであり、そのたびに解決していくしかない。</p> <p>ということで、今やらなければならないことを書きたい。今回大気汚染ということで学習してきた、そこで最も強く感じたのが、今、人間が生きようとするれば必ず人間の害となる大気が発生する。それは、現段階では、避けられない。これだけ、科学万能が叫ばれていてさえ、全然万能なんかじゃなくて、むしろ自然に害を与え、自然を支配する力を手に入れたにすぎない。それは、自然の支配を力で行うだけで、決して支配するだけ、自然を守る知恵「グリーンケミストリー」が、科学の中でも、遅れて登場してきたからである。人間中心、特に利潤中心の社会では、「グリーンケミストリー」など、どうでもいいことであった。</p> <p>しかし、100年前とは、状況が大きくかわった。人口は60億にまで、増え、さらにその増加は、今や避けられない。60億人をまかなうだけの食料、その食料生産のための大量の化石燃料の使用、そして、発展途上国での環境など無視した燃料消費、僕が考えるだけで、100年前の1000倍以上の化石燃料を今使っているだろうし、これからは1万倍にもなるだろう。そんな時どうするか。化石燃料がなくなってしまえば、人々はみな考えるだろうが、CO₂が400ppm位になって、地球の気温が900年ごろより、10℃も上昇したとしても人々は「標高が低い。国が沈む。」というくらいしか考えないだろう。しかし、それは今の状態では必然である。ということで、人間がいると必ず、地球を汚す。</p> <p>では、どうするか。人間がいないのが一番、さらに人工が1億人ぐらいになるのが二番、人間が科学技術に頼らないで昔の生活に戻るのが三番。それらは、どれ一つとってもできそうにない。</p> <p>僕が思う中で最も良いと考えられるのが、今までの科学技術は十分に高まった。しかし、それを抑制するほど力をもった化学がまだ、登場していない。今は守るための力をもった科学技術をもっともっと、ずっと発達させるしかない。それは早速にやらなければならない仕事だ。さらに、政治や経済のかねあいとも、大切であると考え。 (そういう法律をずっと力を強くするのがよいだろう。)</p> <p>そんな夢物語のようなことが起こせるだろうかと思われるかもしれない。しかし、地球が減びるとどっちがよいと聞かれたら、きっと多くの人々が地球が減びるとは思いながらも夢物語のことを知ればやりたいと願うだろう。また、科学技術だけではだめだと言った。それはすでに人間はものすごい力を得ている。しかし、それを止められるのは、また、人間しかいないはずである。ではどうやって、その力の使用を止めるのか。もちろん今のアメリカ合衆国ブッシュ大統領のように力でねじふせるもの一つの手ではあるが、それはよい策ではない。人間の憎しみは、また人間の憎しみを生むからだ。それは政治上の問題なので、ここで述べるのは避けるが、戦争は地球にも大きな被害を及ぼし得るのは勝った人だけだからだ。そこで、その使用を人間の頭の力で止めるのが法律という力である。これは、これまでは、犯罪に多くの力を占めてきたが、これからは、科学技術の方に力を傾けるべきであると考え。</p>

しかし、理系の僕としては、あまり、法律ばかりに頼ってられない。科学技術の欠陥は科学技術で抑えるしかないと思って、そのすべての技術を地球がゴミや大気汚染で、沈没する前に開発すること。ゴミ問題はグリーンケミストリー自身にとっても深刻で人間が住む環境に、人間の出したゴミと一緒に暮らすなんてものすごくばかげていると思う。それは、大気汚染も同じであるのだが……。日本やアメリカの使い捨て社会に生きる僕たちは、それが必要であり、そのゴミを発展途上国にもっていきなんてものほかだ。そしてゴミ(製品)をたくさんつくり出して、先進国の人々は、景気がいいとか、また、ゴミの生産が低くなると景気が悪いとか言って僕に言わせればばかじゃないかと思ってしまう。もし、その問題が解決できて、利潤という考え方がなくなってきたとしたら、それは、最良の状態であり、そうなったとき、壊れにくく、一生使える製品を作るという考え方が出てくる。家だって、今は30年で家、10年で車などほとんどが使い捨て、それを少なくとも5億人がやっているのだからたまらない。それを10倍もつもののができれば、それは理想というものであり、まだまだ、時間がかかりそうだ。本題に戻らなければならない。まず、化学燃料の使用をやめ、それをいざという時のために、とっておく、そして、再生可能なエネルギー(燃料)例えば草や木などによって、現在行っているのと同じレベルの生活を行う。また、車などすべてのことは電気によって、その電気は、大きな工場で再生可能エネルギーを燃やして得たもの、そしてそこから出たCO2は集めて、遺伝子でもかえて、大量の光合成を行うものをつくり、それを大きな施設で光合成する。そんな上手くいくことはないだろうが挑戦していくことは必要である。

N

記述内容

- 3 人間が何をしても、自然がすべて完全に浄化してくれる時代はすでに終わったのは明らかで、化石燃料の大量消費、また、大きいのが、原子力の使用済核燃料と核戦争のおそれである。今でも、すべてのシステムをかえていかなければならない時であるのに、違いないのに、動こうとする人がいない。それは昔のやり方に慣れてしまっている人が多く問題が深刻になればなるほど、人間は考えようとしないうし、それを知らうともしない。

学習して、さんざん自然を破壊して、それから、対処をし、そして解決していく、そういう経過は、よく学んだ。しかし、核でさんざん自然を破壊して、それから、対策をするのは、必ずうまくいかない自然には、手におえないものを人間は無力であるにもかかわらず、危険な術を手に入れてしまった。そうってしまったからには、どうすることもできない。それを解決するには、(地球を破壊しないように人間がもっと賢くなるしかない。何も知らない人間がその武器をふりまわすのは危ない。価値観の決定は、力の強い(武装した)人々が手に入れてしまった。でも、それではいけないと思う。日本は核を落とされた。日本は世界全体を敵にしても、反対していかなければならない。また、戦争を推し進める人々を全世界をもって、人間絶滅を遅らせるためにも、反対する力が人間が、この世で危険な力を持ち続けている限り、ずっと持ち続けていかなければならない苦しく、つらい状態にあることを科学の便利さとともに学んでいかなければならない。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

○ 記述内容

1 環境問題を解決していく上で、これからは研究者や技術者だけでなく、一般の人々も、科学技術の知識が必要になるだろう。現在では大衆の人々などの意見も重要視されているから、地球みんなの協力で解決していかなければならない問題なのである。また、研究者、技術者たちもグリーンケミストリーという考え方を取り入れ始めている。グリーンケミストリーは、汚染してから、それを防ぐという考え方でなく発生させないという考え方なのである。また、今までは暴露量を減らす方向で、いっていたがグリーンケミストリーでは、その物質を変化させて危険をなくそうというものである。このような技術が発達するためにも一般人はもっと科学を知る必要がある。

○ 記述内容

2 今までに失ってきたものを取り戻すように科学技術が進んでいってほしいと思う。もし、本当にある映画のような科学技術の発達した未来があるならば、逆に大切な自然や大事なものを失って発達しようとしてしまった未来があるならば、それならば、現在の方がまだ、まだと思うから。今日も地球温暖化や酸性雨、オゾン層の破壊、エネルギー問題、ゴミ問題やたくさん問題はあはるけれど、それはもともと科学技術の発達によって引き起こされた問題なのは確かである。だからこそ取り戻す考え方のリサイクルやグリーンケミストリーというものが重要視されているのである。たぶん多くの人たちが地球が危ないということに気がつき始めているだろう世界中の科学者達だってどうにかして、地球を守りたいと頭を悩ませてがんばっているにちがいない。本当に1コの地球を守るためにはやっぱりそこに生きているものがみんなが何か感じとって理解し始めることからだと思う。少しずつでも、一般人がそういうことに介入して意見をふるって闘ってほしいと思う。

また、それだけじゃなく、夢のある科学技術の進歩も必要だと思う。まあそれでも裏側には、グリーンケミストリーの考え方があってのことだけれど今まで科学技術っていうのは、人間の暮らしを少しでも快適に少しでも便利にしようとしてたぶん、発達してきたのだと思う。人間は夢を追って、ここまでできたのであろう。つまり、今までは、人間に役立つものだったのだけれど、本当の夢のある科学技術とは人間が役立つものだと思う。人間が役立つというのは、科学技術と人間自身の世界はほとんど切りはなされた状態で考えられてきたものを人間も科学技術の中の1部のパーツと考えるもので、そこにははかりしれない可能性がある。科学技術をそれと見ないで1つの世界だと考えるのだから、科学技術は、人間がつかう道具でしかないという考え方を超えて、人間をつつんでいる1つの世界だと考えるのである。そうすると周りの何もかもが変な風に見えてきそうだけれども、逆に科学技術を暖かく感じるようになるのではないかと思う。今現在も悩まされている核についての問題もそのような感覚を持っていれば決して悪い方向に使うようなものじゃないのに！

科学というものを子供の頃は、遠くに感じていた。でも今は、大きく感じている。本当におもしろくなっていくのはまた、これからの時代だと思った。科学を敵とは見ないでライバルと見てゆきたい。

○ 記述内容

3 大きな科学技術の前には必ず誰かの失敗や挫折があり、そして、必ず誰かの多大な努力や思いつきがあったことを知った。科学者は、ただただ試験管をのぞいたりしてへらへらしているだけじゃないということも思い知った。これから先、地球が危ないとかどこもかしこでも騒ぎたてているけれども、その中でグリーンケミストリーという考え方が自然と出てきてくれたことはとても嬉しかった。一般の人も努力しなきゃいけないことや、出来ることがあるってことを知ってしまった今からは、少しずつ、そういうことに何かを感じていきたいと思います。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

P 記述内容

1 一般社会における問題と科学や技術との関連が高まっている中、研究者や技術者のみならず、ジャーナリストや一般の人々も科学技術の知識を必要とされてきている。また、これからの技術革新において、科学技術者とともに一般市民も科学技術に関われるようにする必要がある。

一方、研究者や技術者も、グリーンケミストリーのような新しい考え方に切り替え始めている。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処理ではなく、汚染そのものの発生を断つという方法論である。これまでは、危険物質の暴露量を減らすことを中心に考えられてきたが、グリーンケミストリーでは、同時に危険性を減らそうというものである。

P 記述内容

2 これから新しい科学技術が開発された際、それを利用する前に十分に安全性や効率を調査・研究すべきだと思う。これまでは、科学技術を利用し、問題が起きてから対処してきた。このため、オゾン層の破壊など、すでに取り返しのつかないことが起こっている。また、そうでなくても、自動車の廃ガス、原子力発電所から出る放射性廃棄物など、いまだに対処しきれていないものもある。

ここで思ったのが、なぜ今まで無責任に科学技術が社会に放出され続けたのであろうか。まず、考えられる理由としては、企業が利益を優先し、環境に対する配慮を怠ってきたということが挙げられる。これを解決するには、最近の「環境にやさしい車」、「省エネエアコン」などのように、いかに環境に負担をかけないかということで競争すればよいと思う。

次に挙げられる理由は、科学技術を利用する前に危険性について考えなかった、もしくはそれを無視したということである。例えば、殺虫剤として利用されたDDTは、何十年も経った後になって、催奇形性などの毒性が発見され、使用が禁止された。実際に奇形の魚が発見されたり、野鳥の数が減少したりしてから危険性が認識されたのである。開発された際に十分に研究を行っていれば、このようなことは起こらなかったはずだ。

他にも、科学技術のもたらす利益のみに捉われ、無造作に受け入れてきた社会にも問題があり、解決するには、一般の人々も科学の素養を身につけ、また、上記の2つのことも含め、社会の体質そのものを改める必要がある。科学技術に対して、慎重に対処できるように社会が改まれば、これまでのような新たな科学技術がもたらす被害は減少すると思う。

しかし、社会の体質が改まれば、環境汚染が解決するというわけではない。これまで排出されてきた、また、今も排出され続けている汚染物質をどうするかが問題となってくる。まず、今排出されている汚染物質については、先進国では、生産の方法を変えることによって、排出を抑えたり、環境への負担の小さいエネルギーを使うなどの方法が考えられる。それを実行するには、多少のコストは、省みず、また、技術も向上させなければならない。次に発展途上国の一部では、コスト削減のために、汚染物質を取り除く設備を取り付けなかったり、古い技術を使っているために廃棄物を大量に出しているという事態が起こっているが、これは早急に改めなければならない。先進国は、今持っている技術を提供したりODAなどで資金を出して設備を改めたりする必要がある。この際、環境になるべく負担をかけないようにする技術は、世界中の国々で共有すべきだと思う。

これまで、排出されてきた汚染物質は、なるべく排出者の責任で、手に負えなければ国の負担で回収し、回収できないものについてはそれを無害化するための技術を開発すべきだと思う。

P 記述内容

3 これまでは、環境汚染は科学技術を用いて解決すればよいと思っていたが、学習を通して、科学技術の向上だけでなく、環境汚染を引き起こしてきた。科学技術の体質を替える必要があると思い直した。

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

Q 記述内容

1 リスク評価の方法は四つある。自然状態との比較による方法、代替となるものとの比較による方法、全く違った種類の危険性との比較による方法、当面している問題の利益と害との比較による方法である。また、環境汚染に対して、環境基準などが決まっているが、それは、「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。

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と考えられる。そのような中で、科学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である。グリーンケミストリーとは、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原理と方法論のことである。また、「リスク=危険性×暴露量」と表されることがあるが、グリーンケミストリーは危険性を減らすというものである。

Q 記述内容

2 もう、何年も前から、地球上の環境汚染がいろいろなところで話題になり、その深刻化が心配されているのは事実です。また、このような事態の中なので、環境にやさしい化学であるグリーンケミストリーが注目されるのは当然です。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あると資料にかいてありました。それでは、どうしたらグリーンケミストリーを実践し、成功させることができるのだろうかと考えました。それで、どうすればいいのかというと、僕は研究者たち自身の質を良くするのが一番だと思います。なぜならば、グリーンケミストリーを実践するための、「汚染そのものの発生を断つための原理や方法論を発見したり、開発するのはあくまで、大学や研究所などで働く研究者だからです。つまり、研究者の質を上げれば、より良いグリーンケミストリーを実践できるだろうということです。

研究者の質を上げるには、研究施設を増やしたり、改良するとか、資金援助をたくさんするとか、色々ありますが、僕は、教育制度をもうちょっと変えたら良いと思います。ここからは、日本についてだけ書きますが、今日本で働いている研究者はみんな、義務教育の小中学校から、高校そして大学へと進んできたはずで、そこで、よく世間でも言われますが、今の受験制度はまずいと思います。よく日本の大学は入学が難しく、アメリカの大学は卒業するのが難しいと言われますが、僕はアメリカの大学の制度の方が良いと思います。それは、日本の大学では、学生は入学することばかり考えて、いざ大学に入ってみると、あまり、真面目に、勉強や研究をやらなくなってしまうと思われるからです。反対にアメリカの大学では、学生にとっては大学に入ってから勝負で、みんな真面目に勉強や研究に打ち込むと思われま。もしかしたら、ここで大きな発見があり、グリーンケミストリーに貢献するかもしれません。そうでなくとも、一生懸命勉強や研究を行う学生が増え、質の高い研究者がたくさん現れると思います。

確かに、今の日本の大学の学生の中には、たくさん真面目で一生懸命な人たちがいて、そういう人たちが研究者になるのでしょう。しかし、もし今の日本の大学の制度をアメリカ式に変えれば、今の状態では怠けていたであろう学生たちも、やる気を出して、勉強や研究をがんばるようになり、今のままよりか、たくさんのやる気のある学生が現れると思います。そうすれば、例えば競争の原理で、互いに刺激し合いながら、質の高い学生が育成され、質の高い研究者がたくさん現れるようになると思います。だから、僕は、今の日本の受験制度は入学試験にばかり力をいれて、えりすぐりの学生を育てることが出来るように、制度を変えるべきだと思います。そしてそれが、質の高い研究者を生み出し、グリーンケミストリーの発展につながるのではないかと思います。

Q 記述内容

3 今回の学習をして、少しびっくりしたことがありました。それは塩化水素や硫酸化合物などを人間が工夫することによって出さなくさせることができたからです。それで、その工夫することがグリーンケミストリーなのかなあと思いました。窒素酸化物についてはまだ未解決らしいけど、工夫次第で解決できると思いました。

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

R 記述内容

1 グリーンケミストリーとは、危険性×暴露量で表せるリスクを危険性を減らすことで減らしていくという考え方である。グリーンケミストリーは研究者や技術者の新しい考え方であり、一般市民にも科学技術に対して新たな認識を持たなくてはならない。それは、一般市民が科学技術の知識を持ち主体的に科学技術に関われるようになることである。これからの科学技術を望ましい方向に進めるためにも全ての人が科学的な見方や考え方を身につけるべきである。

R 記述内容

2 今まで、科学技術とは「人間の生活を豊かにする」ものだった。つまり、人間以外の生物や地球については全く何も考えていなかった。そのせいで今、人類は環境問題に頭をかかえている。これから直科学技術は「人間の生活を豊かにする」のではなく「人間を含めたすべてのものの生活を豊かにする」ものでなければならないと思う。

これはすべての生物を人間が管理するとか、世話をするとか、そういった意味ではない。すべての生物があるべき姿で生活できるようにしていくという意味だ。今ある地球上の様々な生態系を崩すことないように、科学技術を発展させていかなければならない。今の科学技術は壊してしまった環境を元に戻していく技術だが、これからは環境を破壊せずにする技術、逆に環境にプラスに働く技術が必要になっていだろう。

科学技術がこうした方向に発展していくためには、どうしたらよいのだろうか？まず、一部の人にしか理解できないようなものはいけない。その一部の人自分達の利益を求め始めても、誰にも分からないからだ。多くの人理解し、間違っていればいつでも指摘できるようにしなければならない。事実、これまでの科学技術を理解していたのは研究者や技術者などの一握りの人間だけだった。それが全てではないが、今こうして科学技術が環境を破壊している現状の一因だと思う。

また、科学技術を理解するだけでなく、その知識にもとずいて、自分自身で意志決定できるようにしなければならない。また、その意思決定にもとずいた行動をとれるようにしなければならない。そうでなければ知識を理解していても意味がない。そのためには正しい判断と正しい行動がとれる社会でなければならない。科学技術は現在の社会に深く、とても深く根付いている。科学技術が変わるならば、社会も変わっていかなければならないだろう。

科学技術はすごい。今の時代、科学技術でしかできないようなことばかりなのに、それでもまだ、科学技術は進化し続けている。少し前までは、科学技術といえば環境を破壊するものだったが、これからは環境を再生させていくものになるだろうし、ならなくてはならない。そうでなければ、人類は、人類自らの手で滅亡してしまうかもしれない。

R 記述内容

3 何も知らないというのは怖いことだと思った。SOxやNOxが危険なことを初めから知っていたら、もっと早くから排出量を減らそうと思うし、排出しないでsuむ方法をもっと必死で探したと思う。これまでの時代は、一部の人だけが知っていて、多くの人知らなかったから環境問題もここまでずるずるしてきてしまったのだと思う。もう、ひきずってきたものはスッパリと切りはなすべきだと思う。

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

S 記述内容

1 環境汚染などに対するリスク評価は4つの方法がある。(1)自然状態との比較による。(バックグラウンド法)(2)代替となるものとの比較による。(バランス法)(3)全く違った種類の危険性との比較による。(比較法)(4)当面している問題の利益と害との比較による。(リスクー便益法)

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、一般市民の科学技術の理解や技術革新における意思が必要となるだろう。

最近では、研究者や技術者の考え方が変わり、グリーンケミストリーという考えがある。グリーンケミストリーとは、リスク=危険性×暴露量としたとき、暴露量の低減、廃棄物の低減、危険性の低減を目指した12か条がある。とにかく環境にやさしい化学のことである。

S 記述内容

2 私は、科学技術は、将来、グリーンケミストリーの12か条の精神を守って発展させてゆくべきであり、また、世間にもっと広く理解してもらおうべきであると思う。

その理由としては、今現在においてでも、科学技術における環境への影響というのは大変大きいものである。例えば、原発事故による放射能、自動車の排ガスや化石燃料による発電によって発生する大量の二酸化炭素、硫酸化合物、窒素化合物。しかも、今挙げたものは、エネルギーの確保、移動手段として、生活に密着し、切り放すことができないものである。これらのことを考えても、これ以上、公害の原因となるような物質を大量に発生させるような科学技術の出現は避けたいところであるし、できれば、今問題となっている公害の原因となる技術に代わるより無害な技術が欲しいからである。

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と方法論のことではあるが。それでもやはり限りがあると思う。また、すぐには出来ないと思う。だから、今までと比べたら規模や被害を小さくするとは思いますが事故が起きる可能性はあるはずである。そういったとき、世間の科学技術に対する理解が必要と考える。もし、理解知識がなければ、事故の説明原因の理解や、何が危険であるのかや対処法、危機感などが果たしてできるだろうか。また、事故でなくとも科学技術が発展する過程で、研究者、技術者達だけでは気づかないようなことも、外から見ている一般の市民の疑問や質問によって気づくこともあるかもしれない。そう考えると、私達は、世間の人々の科学技術に対する知識・理解は必要と考えるのである。

S 記述内容

3 今まで、公害に対しては、地理の授業とかで、サラッと触れるとか、テレビで少し見る程度で公害を少し分かったつもりでいた。しかし、過去に起こった公害の対処や原因、時代の背景など今まで、全く触れる機会のなかったことを今回学習し、理解が深まったし、原因物質の危険性や被害の出方も知ることができた。

そして、現在、自分が置かれている状況、そして、これからの科学技術がどう発展していこうとしているのかが知ることができた。だから、これからの科学技術の発展を理解するだけの知識を身につけておきたいと思いました。

総合小論文

- 1 その5で学習した内容を要約してください。
- 2 将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それは何故ですか。
- 3 学習しての感想を書いてください。

T 記述内容

1 環境汚染などに対するリスク評価としては、自然状態との比較による方法、代替となるものとの比較による方法、全く違った種類の危険性との比較による方法、当面している問題の利益と害との比較による方法の四つの方法がある。

また、これからは一般社会における問題と科学技術との関連がさらに強まっていくだろう。そうなったとき、ジャーナリスト、一般市民にも科学技術の知識が必要となるだろう。そのことが多くの個人や社会全体に利益をもたらす方向になるだろう。

また、これからの技術革新においても、一般市民がその意思決定に参加する機会の増加、さらには一般市民を交えた科学技術の推進が必要となるだろう。いつかは一般市民も主体的に科学技術に関われるようになるだろう。

一方、研究者や技術者は、グリーンケミストリーを考えるようになってきている。グリーンケミストリーとは環境汚染を防ぐために、その原因物質の発生を断つための原理と方法論。

T 記述内容

2 科学技術は今よりも更に発達させる必要があると思います。しかし、兵器のための科学技術は完全に廃止するべきであると思います。また、自然に影響を与えない、守るような科学技術を考えるべきであると思います。

なぜ、科学技術を発達させる必要があるのかと思う人が必ずいると思います。なぜなら、科学技術の発達が新しい兵器、新しい事件につながっているからです。例えば、ダイナマイトの開発です。本来は、土木事業等に使うはずでした。けれども、ダイナマイトは実際には戦争にも使われてしまっていることです。また、科学技術の発達で、新しい兵器が生まれるとしたら、先に私の述べた意見そのものが矛盾していることになるでしょう。

では、なぜ科学技術を発達させる必要があるのでしょうか。それは科学技術にはまだ、やり残していることがあるからです。例えば、宇宙で初めはなにもない状態からどうやって物質ができたのか。また、ブラックホールの中心はどうなっているか、宇宙は無限なのか、有限なのか、人間は光速を超えるものを作ることはできないのか、末期ガンの治療法の開発などです。これらは、今の科学では不可能ですが、科学技術を発達させれば必ず可能また判明するに違いありません。これらは、今の我々の知りたいこと、したいことです。つまり、科学技術を発達させるのが必要な理由は、人間の飽くなき探究心、今まで助けられなかった人を助けるため、また、化学が今までに破壊して生きた環境を元に戻す必要があるからである。

次に兵器のための科学技術の廃止は、世界から戦争をなくし平和になってほしいと思うからである。しかし、これを実現するのは非常に難しいと思います。なぜなら、国家があれこれ規制しても、最後は科学者の道徳にかかっているからです。

最後に自然に影響を与えない、守るような科学、つまり、グリーンケミストリーの推進です。おそらく、これに反対する人はいないと思います。私がこれを支持する理由は地球を元の状態にし、それを維持させるためです。また、グリーンケミストリーを実現するにも、科学技術の発達は不可欠だと思います。

故に私は最初に述べた三つの意見が科学技術には必要だと思います。

T 記述内容

3 学習するまでは、グリーンケミストリーについて、ほとんど何も知らなかったが学習を進めていって、今までの大気汚染に対してのグリーンケミストリー的な解決方法がとても素晴らしいと思いました。今後また必ず新しい科学技術による環境破壊が起こるだろうが、その問題についてもグリーンケミストリーで必ず解決することが大切だと思います。

1 調査について

1. 調査対象生徒 茨城県立伊奈高等学校 3年生

推薦で進路決定した生徒6名

2. 調査期間と内容と方法

平成15年1月28日(火)～1月31日(金)

その後は家庭学習にて実施

〈1月31日(金)第1回目の提出〉

ワークシート1～4と学習履歴シートの状況を確認してワークシート5を渡し残った課題は各自家でしあげてくることとした。

〈2月3日(月)第2回目の提出日〉

ワークシート1～5と学習履歴シートの状況を確認し自己分析シートを渡しその場で今までの自分の学習を学習履歴シートと今までのワークシートを使いながら再度ふり返り自己分析シートに記入してもらった。

3. 実施してみた

①時間について

学習にかかったおおまかな時間を生徒に自己申告させたがワークシート1～4までで4時間～6時間、ワークシート5が1時間、自己分析シートが30分～1時間となった。授業時間ではなく実質時間なため授業として考えるともっとかかると考えられる。

②動機付けについて

この教材を実施するにあたって言ったことは「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」とだけだった。センター試験後一般受験の生徒が化学Ⅱの演習をしている時間の2～3時間の自習と家庭での課題学習ではあったが生徒の反応は最初は鈍かったが1～2時間後にはかなりモチベーションが上がっていた。

③今後に向けて

授業で実践していくのが理想であるがそのためには8時間以上の授業時間の確保が必要(浦和高校の実践報告より)である。その実践報告からみるとこの教材に取り組むことによって生徒が得るものは予想以上である。となると授業が現実的に難しいのであれば今回のように課題学習として取り組ませることも視野にいれて考えることが必要かもしれない。今回実施してみて課題学習でも十分効果があることが分かったのでその方向性もさぐってみたい。考えられる実践場面や生徒の動機付けとしては以下のことが考えられる。

ア 3年生の推薦入試対策の1つとして位置づけて実施

成蹊大学のAO入試のように講義理解力が求められる入試形態が増加すると思われる。またOECDの調査でも長い文章を読んだ理解力が試されている。ものごとを筋道立てて論理的に理解していくことが今後ますます必要になってくると予想できるし、そのことを生徒に説明してから実施することでモチベーションは高まる。

イ 年度(学期)の終わりの化学の授業の総まとめとして位置づけて実施

化学という学問が実際の社会の中でどう生かされていくのか化学の可能性を実感するための教材として、また学んできたことの意義を実感する教材として考えられる。

ウ 夏休み、冬休みなどの長期休業中の課題として実施

今回この課題に取り組んだ生徒からも同様の提案があったが化学を学ぶ意義を実感としてつかむことでその後の化学に対する取り組み方は大いに違ってくるのではないだろうか。何人かの生徒がそれを実感するだけでもその後の化学の授業の展開がよくなる可能性を秘めていると思われる。

④その時の留意事項

授業での実践はもちろん課題学習においても学習効果を高めるためにはいくつかのポイントが考えられる。今回は課題学習におけるポイントを以下にあげてみる。もちろん、授業でも同じではあるが限られた時間の中で実施して生徒にとって意味のあるものとするためにはポイントを整理して実施することが大切なように思われる。

ア 動機付けが大切

まず動き出すためにはこれに取り組むことが生徒にとってどういう意味を持つのかを生徒自身が理解するのが最低条件となる。その動機付けが生徒に理解された時がスタートとなる。あくまで動機付けにすぎないのでくどい説明はなくても十分である。

イ 学習履歴シートの使い方は説明が必要

生徒にとってはじめて取り組むものなので、自分の学習を振り返る手段の1つとして、または自分の進歩の足跡があとでわかるものとして重要なものだからきちんと取り組んでみようなどの呼びかけは必要だが、生徒は取り組む中で学習履歴シートの役割は実感していくので簡単な説明で十分である。それがこの学習履歴シートの良いところでもある。

ウ 課題学習として生徒が実践してくるために

最初から全てを生徒に預けてしまうには量的にも内容的にも無理があるので最初1~2時間は時間をとることが必要となってくる。3年生であれば1時間でも十分であろう。さらに少人数であれば、昼休みのちょっとした時間でも可能であろう。そしてここでは最大の効果を上げるための時間的に最低限かけるべきことをおさえておきたい。

- a 学習履歴シートの学習前の「大気汚染」という言葉を使って文を3つ書いてください。は何の説明もなく時間をたとえば5分間とかくぎって書かせてみるのが大事である。というのは、全ての出発点がここなので生徒が自分の出発点を認識することが1番大切な事だからだ。難しいことは書かなくて良い、思いのまま書けばいいし、これからどう成長していくかが大切なんだと話をしておくだけで、生徒は安心して取り組むし今後の学習に意欲を持つようになるようだ。
- b ワークシート1～4を生徒が取り組んでいる中で生徒の学習状況を1回は個別に把握して簡単なアドバイスを送ることが必要である。授業であれば期間巡視をすればよいが課題学習としてすすめるのであれば最低1回はフォローをいれることが大切となってくる。その時もこまかくみる必要はなく、よくできている点だけを見つけてほめてあげるだけで、この教材に関しては生徒のモチベーションが高くなる。答えは資料にあるので丁寧にすすめていけばほとんどの生徒はある程度空白を埋めることができるので、やったことそのことを認めてあげるだけで最後までこの教材に取り組むモチベーションを得ることができるようだ。また、その時の生徒の学習状況を把握する上で、一目でわかる学習履歴シートが役に立つ。その時に学習履歴シートの役割を確認しておくと同時に、学習の振り返りをすると生徒の学習に深まりができるように思われる。
- c ワークシート1～4までを1つのまとめとして1回提出した後で又はその場で教師がみた後で、ワークシート5に取り組ませると生徒も1区切りついて自分のまとめに入れるようである。この時にも簡単なアドバイスを送ることができる。あくまでも簡単なアドバイスで十分である。

エ さらに深まりのために

ワークシート5までと学習履歴シートが終わった後に今回は振り返りを深めるために自己分析シートを書かせてみた。結果は後ほど報告するが予想以上に生徒が書いてきた文章は自分の事を掘り下げて書いてあった。これは学習履歴シート1及び2を足がかりとして書かれた結果だろう。今回は自己分析シートという形をとったが浦和高校の実践のように小論文として振り返りを深めてもよいだろう。振り返りを深めることで生徒の可能性はさらに広がっていくように感じられるし、教師の側も自分が教えてきた成果を確認することができるように思う。

2 結果と考察

1 ワークシート 1, 2 について

3月 日 水

塩化水素について

HCl, CO₂の回収装置 (アンモニアソーダ法)

副産物の回収と再利用は、19世紀中のイギリスで既に開始されていた。当時、酸性ガスと称していた二酸化炭素 (CO₂) や塩化水素 (HCl) はほとんどが廃棄されたものになったり、即ち枯草などの被害をもたらしていた。塩化水素 (HCl) による植物の被害はさまざまな被害や環境的被害をもたらし、19世紀に解決された。

1. 塩化水素 (HCl) はどのようにして回収したか?

塩化水素の回収装置は、かつてはアンモニアソーダ法 (NH₄CO₃) であった。アンモニアソーダ法は工業的に安価な方法である。19世紀末までは水素や炭素などから抽出された。ヨーロッパで塩化水素が抽出されるにつれて、副産物の回収装置としてアンモニアソーダ法が出現した。1790年フランスのアンブロン、アンモニアソーダ法の大規模な工業的応用 (アンブロン法) に成功した。

2. 塩化水素はどのようなものか? 用途や性質がわかるようにしよう。

① 性状	無色、刺激性、有毒、水に溶けて、その水溶液は塩酸
② 工業的用途	塩化水素とアンモニアの複塩二重炭酸アンモニア (NH ₄) ₂ CO ₃ (重炭酸アンモニア) の製造原料として使用される。また、塩化水素はアンモニアの製造原料として使用される。
③ 自然環境への影響	大気中に放出されると、酸性雨の原因となる。また、水に溶けると酸性水溶液となる。
④ 人間への影響	刺激性、毒性、水に溶けて、その水溶液は塩酸。また、大気中に放出されると、酸性雨の原因となる。また、水に溶けると酸性水溶液となる。

3. アンモニアソーダ法 (NH₄CO₃) を用いたアンモニアソーダ法はどのような方法か?

アンモニアソーダ法は、かつてはアンモニアソーダ法 (NH₄CO₃) であった。アンモニアソーダ法は工業的に安価な方法である。19世紀末までは水素や炭素などから抽出された。ヨーロッパで塩化水素が抽出されるにつれて、副産物の回収装置としてアンモニアソーダ法が出現した。1790年フランスのアンブロン、アンモニアソーダ法の大規模な工業的応用 (アンブロン法) に成功した。

① NH₄Cl + NaHCO₃ → (NH₄)₂CO₃ + NaCl
 ② NH₄Cl + NaHCO₃ → (NH₄)₂CO₃ + NaCl
 ③ NH₄Cl + NaHCO₃ → (NH₄)₂CO₃ + NaCl

4. アンモニアソーダ法によって回収された副産物 (NH₄CO₃) はどのようにして再利用されたか?

アンモニアソーダ法は、かつてはアンモニアソーダ法 (NH₄CO₃) であった。アンモニアソーダ法は工業的に安価な方法である。19世紀末までは水素や炭素などから抽出された。ヨーロッパで塩化水素が抽出されるにつれて、副産物の回収装置としてアンモニアソーダ法が出現した。1790年フランスのアンブロン、アンモニアソーダ法の大規模な工業的応用 (アンブロン法) に成功した。

5. アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

6. 塩化水素の回収装置 (アンモニアソーダ法) はどのようにして回収されたか?

① 回収装置	1) 回収装置	2) 回収装置
② 回収装置	1) 回収装置	2) 回収装置
③ 回収装置	1) 回収装置	2) 回収装置
④ 回収装置	1) 回収装置	2) 回収装置

7. 塩化水素の回収装置 (アンモニアソーダ法) はどのようにして回収されたか?

① 回収装置	1) 回収装置	2) 回収装置
② 回収装置	1) 回収装置	2) 回収装置
③ 回収装置	1) 回収装置	2) 回収装置
④ 回収装置	1) 回収装置	2) 回収装置

8. 塩化水素の回収装置 (アンモニアソーダ法) はどのようにして回収されたか?

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

① NH₄Cl + NaHCO₃ → (NH₄)₂CO₃ + NaCl
 ② NH₄Cl + NaHCO₃ → (NH₄)₂CO₃ + NaCl
 ③ NH₄Cl + NaHCO₃ → (NH₄)₂CO₃ + NaCl

3月 日 水

アンモニアソーダ法の原理

塩化水素 (HCl) についての回収装置は、さまざまな被害や環境的被害をもたらし、19世紀に解決された。

1. アンモニアソーダ法 (NH₄CO₃) を用いたアンモニアソーダ法はどのような方法か?

アンモニアソーダ法は、かつてはアンモニアソーダ法 (NH₄CO₃) であった。アンモニアソーダ法は工業的に安価な方法である。19世紀末までは水素や炭素などから抽出された。ヨーロッパで塩化水素が抽出されるにつれて、副産物の回収装置としてアンモニアソーダ法が出現した。1790年フランスのアンブロン、アンモニアソーダ法の大規模な工業的応用 (アンブロン法) に成功した。

2. アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

3. アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

① 回収装置	アンモニアソーダ法	アンモニアソーダ法
② 回収装置	アンモニアソーダ法	アンモニアソーダ法
③ 回収装置	アンモニアソーダ法	アンモニアソーダ法
④ 回収装置	アンモニアソーダ法	アンモニアソーダ法
⑤ 回収装置	アンモニアソーダ法	アンモニアソーダ法

4. アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

アンモニアソーダ法の原理と反応式 (その化学式で反応から成分を推定できるようにしよう)

ワークシートの記述

- 副産物を需要の多い物質に変え、自然の中に有害な物質を出さないようにしたこと。有害な物質をそのまま排出しないことが大切だと思う。
- 塩化水素を水に溶かして塩酸として回収することによって塩酸を原料とするさらし粉を製造し利用することによって、大気汚染の原因である塩化水素をうまく活用できるように工夫した。塩化水素を利用したことによって植物を枯らすなどの被害が減少していった。

3 学習履歴シートについて

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。

- ・大気汚染は電気をとるための火力発電や車の排気ガスが原因だ。
- ・現在、先進国の方が大気汚染はなまされていく。
- ・大気汚染による動植物への影響が心配されている。

ワークシート 1

学習した内容を要約してください。

1. 大気汚染は、公害の一種で、人間の健康に悪影響を及ぼす。また、生態系にも悪影響を及ぼす。特に、酸性雨や光化学スモッグなどの問題が深刻化している。また、大気汚染による気候変動や温暖化の問題も懸念されている。

ワークシート 2

学習した内容を要約してください。

大気汚染は、主に化石燃料の燃焼によって発生し、健康被害や環境汚染を引き起こす。また、酸性雨や光化学スモッグなどの問題も深刻化している。大気汚染を減らすためには、省エネルギーの推進や再生可能エネルギーの利用が重要である。

ワークシート 3

学習した内容を要約してください。

大気汚染は、公害の一種で、人間の健康に悪影響を及ぼす。また、生態系にも悪影響を及ぼす。特に、酸性雨や光化学スモッグなどの問題が深刻化している。また、大気汚染による気候変動や温暖化の問題も懸念されている。

ワークシート 4

学習した内容を要約してください。

大気汚染は、公害の一種で、人間の健康に悪影響を及ぼす。また、生態系にも悪影響を及ぼす。特に、酸性雨や光化学スモッグなどの問題が深刻化している。また、大気汚染による気候変動や温暖化の問題も懸念されている。

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。

- ・大気汚染はさまざまな物質が関係して起こる。
- ・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。
- ・大気汚染は生物に大きな影響を及ぼす。

5組 番

氏名

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ならないと思います。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。

学習しての感想を書いてください。

- ・大気汚染は公害の一種で、人間の健康に悪影響を及ぼす。また、生態系にも悪影響を及ぼす。特に、酸性雨や光化学スモッグなどの問題が深刻化している。また、大気汚染による気候変動や温暖化の問題も懸念されている。

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ならないと思います。大気汚染についてこれから色々考えてみようと思いました。
- ・はじめは面倒だなあと感じていたが、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。
- ・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かもわかっていなかったの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。
- ・被害の出る前にくい止めるべきだった。

4 ワークシート5について (学習履歴シート2)

学習履歴シート2

3年 姓 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、地球上でやさしい化学のことである。
 今回の有害物質削減活動による環境汚染削減だけでなく、
 CO₂削減、反応効率、有害物質削減など環境と化学の両方で
 化学を望ましい方向へ進めようとするのが、高層決意に一致し、
 日々の詳細な科学的な見解や考え方が多くの人の心を動かしている。

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物質が排出
 されなくなると、今よりも壊れた自然環境をもっとよくなるから)
 未来、科学技術による未発達な技術の援助も必要だ
 と思う。発展途上国では、未発達な技術で
 いるので、援助を援助すべきだと思う。

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」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。

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。発展途上国では、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。
- ・将来、科学技術はますます発展していくと思うので、利便性だけを追求してだけでなく、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。

- ・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。
- ・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。
- ・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。
- ・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。

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」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。

- ・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。
- ・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。
- ・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思う。
- ・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。
- ・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ヶ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。

学習しての感想を書いてください

- ・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。
- ・実験やこういうプリント学習はとてもいいと思う。
- ・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思う。
- ・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。
- ・大気汚染も色々な原因があるのでおどろいた。
- ・自分にも関係がある重要な問題だと思った。

5 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ことがあげられる。

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か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られる。

自己分析シートの記述より

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ぬ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。
- 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言うことがなかった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。
- 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ました。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。
- 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ばいいと思う。
- 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。

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ぬ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。

環境問題について真剣に取り組むことがなかった。今回の教材を通して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ました。また、グリーンケミストリーという言葉の意味や重要性がわかりました。これからは環境問題に関心を持ち、自分自身も環境にやさしい化学の発展に貢献したいです。

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。

環境問題の現状を知り、環境問題に興味を持つことができました。また、グリーンケミストリーという言葉の意味や重要性がわかりました。これからは環境問題に関心を持ち、自分自身も環境にやさしい化学の発展に貢献したいです。

- ・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。

- ・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便利かったです。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。)
- ・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。
- ・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と思う。
- ・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。
- ・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。

- ・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。
- ・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。

- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。

推薦で進路が決まった3年生にGSC教材のレポートをやらせてみて思うこと(メモ)

・ モチベーションがひくい時期で、しかも説明をほとんどしないまま実施したが生徒の反応は予想をはるかに上回るものであった。この教材を実施するにあって言ったことは「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」とだけだった。特に優秀だったメンバーではない。進路も様々である。公務員系の専門学校に進学が決まった生徒もいるのである。逆にその生徒が1番印象深いことを自己分析シートで書いてきている。生徒の文章をそのまま抜粋してみる。

“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もので、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心持てたことです。

“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。

正直、文系の生徒でしかも受験で化学を使ったわけでもなくただ授業を受けていた生徒であったため、このレポートが提出されるかどうかかもあやふやであったが、かえ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』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みだしている点は驚きであった。自分なりの根拠を持って判断できるように、そして自信を持って意見を書けるように、そのきっかけがこの教材に取り組むことでできたら生徒が社会に出て自分なりの判断基準をもつ時に有効なことではなかろうか。

～全体を通して～

3年間のまとめとして、また今まで化学を学んできたまとめとして取り組ませたが、生徒にとってなぜ化学を学ぶのかということを考えるよい機会となったようだ。判断するためには知識が必要なことも実感としてつかめたのではないかと思われる。そして、化学を学ぶ自分なりの意義を見いだせたのではなかろうか。生徒が自信を持って自分の言葉で自分の意見を表現していることが1番大切なことだと思う。そして自分の意見の根拠が、今まで学んだ化学が出発点であることが認識できれば、高校で化学を学ぶ意味がある程度達成されたのではなかろうか。その教材としてこの教材は色々な可能性を示してくれている。

今後に向けて

- ①教師がどのような目的でこの教材を活用するか明確にすることが大切である。生徒の実施時期においてその目的が変わってくるし、展開の仕方によっても変わってくるからである。(最終的なねらいは変わりませんが…)
- ②実施の方法を工夫することが大切である。全て授業で展開するのはカリキュラム上、総合的な学習の時間などで確保する以外難しいが、2～3時間なら十分確保することができると思われる。そして、その効果が今までの化学の授業の枠の中では望めないような結果が得られるとしたら積極的に2～3時間を確保することはさほど難しいことではないように思われる。
- ③どの場面でどう学習の援助をしていくのか、学習の効果又はモチベーションをあげるためにどこでどのような実験を挿入していくのか、全体の指導計画の中でどう指導のアクセントをつけていくのかを学校の実態にあわせて考えて実施することで本来のねらいが達成できるのではないだろうか。

Ⅱ. 評価法の開発

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 (堀 哲夫)

- 1 これまでのポートフォリオ評価法の問題点・・・・・・・・・・ 74
 - 2 これまでの自己評価の問題点・・・・・・・・・・・・・・・・ 75
 - 3 学習履歴を重視した「一枚ポートフォリオ評価法」の開発 77
 - 4 学習履歴を重視した一枚ポートフォリオ評価法による
教育内容構成の適切性の評価・・・・・・・・・・・・ 79
- 資料シート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 81

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

一枚ポートフォリオ評価法を中心にして

山梨大学教育人間科学部
堀 哲夫

はじめに

近年、総合的な学習の時間の導入に伴って、ポートフォリオ評価法が取り入れられてきている。それは、総合的な学習の時間がこれまでの教科のように教育内容があらかじめ決められていないことによる。そこでは、学習の過程で得たさまざまな情報をファイルして、学習に活用していこうとするものである。

周知のように、ポートフォリオ評価とは、特定の学習課題への追究の経緯やその成案をコンパクトにファイルにまとめ、子どもによる自己評価や相互評価を可能にしたものである。教師にとっても、子どもの学習の過程が分かり、総合的な学習の時間などの評価活動に生かすことができると考えられている。

このような評価方法は、教科の中にも取り入れられようとする動きがある。また、ポートフォリオ評価は学習履歴を重視することにもつながっているので、今回われわれが取り組んできた新しい教育内容を構成する場合に、生徒がたどった学習履歴の内容を基礎にして、その妥当性を検討することに活用できるのではないかと考えられる。

この章では、教育内容構成の妥当性を検討することにとどまらず、これまでに行われてきたポートフォリオ評価法の問題点、ポートフォリオ評価法と一体で取り入れられることの多い自己評価の問題点、学習履歴を重視した一枚ポートフォリオ評価法の内容およびそれを基礎にした教育内容構成の妥当性の評価について検討する。

1. これまでのポートフォリオ評価法の問題点

これまで用いられてきたポートフォリオ評価法には、以下に述べるような、主として五点の問題点が存在している。

(1) 学習履歴の自由度を大きくするだけでよいか

学習履歴の自由度を大きくすればするほど多彩かつ多量な情報を集めることが可能である。ただ、学習においてあらゆる情報を収集しようとする、言い換えると学習履歴の自由度を大きくしようとする、評価に利用することが難しくなる。これまでのポートフォリオ評価は、学習履歴の自由度を大きくしすぎたために、集積したデータを十分に使いこなすことができなかった。したがって、評価を適切に行うところにまで至らなかった。

(2) 学習履歴の何をどう振り返るのか明確か

これは、ポートフォリオの内容が多彩かつ多量になればなるほど、それを活用する場合にどのような視点から何を振り返るのかが不明確になるという問題である。ポートフォリオとして情報をたくさん集めても、その中から何を取り出すのか、そしてそれをどのように振り返らせるのか明確にしないと、評価として成立しない。これまでのポートフォリオ評価には、学習履歴の何をどう振り返るのか、明瞭になっていなかったと考えられる。

(3) 学習の集積物の多さだけでよいのか

そこで、学習の集積物が多いことは、はたして望ましいことなのか、ということが問題になる。情報はたくさんあれば良いというものではない。逆に、たとえたつ一つの情報であったとしても、活用の仕方如何で、たくさんの情報に勝るとも劣らぬ評価が可能になってくるのである。ここで提案する「一枚ポートフォリオ評価法」は、まさにこのことをめざしている。

(4) 学習の集積物を評価として活かしているか

学習により集められた情報が多ければ多いほど、それを評価に活用することが難しくなってくる。さきにも述べたように、学習の集積物は、それを活用して、学習者に学習の意味を感じ取らせることが重要になってくる。それができないのであれば、ただ多く集めることだけが目標になりかねない。それゆえ、必要な情報が一つあればよいのではないか、ということになるのである。

(5) 指導に活かす評価になっているか

評価においてきわめて重要な視点の一つは、教師の立場からいえば、指導に活かすということになる。これは、口で言うことはたやすいのだが、実際に行うことは至難の業である。しかし、ポートフォリオ評価も、評価のために集めた集積物を学習後に利用するのではなく、学習過程で使っていく必要があるだろう。これまで、学習過程の中で学習を通して集めた情報を具体的にどう利用するかという提案は全くなかったといつてよい。

2. これまでの自己評価の問題点

ポートフォリオ評価法の中で必ずといってよいほど導入されているのが自己評価である。自己評価は、その本来の趣旨からすると、自己評価を行うことを通して、学習者がメタ認知能力を育成することにある。そのような視点をもちつつ、これまで行われてきた自己評価を検討してみると、主として次にあげた七つの問題点が存在する（人間教育研究協議会編『授業に生かす自己評価活動』金子書房、p. 12、1998）。なお、項目以下の説明は筆者による。

(1) 評価は過去の反省が目立ち、将来に向かって伸びていく力にする形成評価的な面が弱い

言うまでもなく、自己評価は自らの学習履歴を振り返り、その具体的事実をこれからの

学習に活かすためにある。さらに言えば、学習履歴を振り返ることは、学習の意味を自覚させることが究極の目的であると考えられる。

それが、ただ単に過去の反省や形成的評価に活かされることがないのであれば、厳しい見方をすれば、利用者の目的意識、言い換えると哲学の欠如に他ならない。要するに、一番簡単な自己評価（否、これは自己評価といえないのだが）をしているに過ぎないといえるだろう。

(2) 学習者の内面に関する評価手法として考えられ、人間形成の上で土台となる部分の教育を進めていく手だてとしての理解が弱い

人間形成の土台とは、おそらく学習内容の基礎・基本の理解、自らの学習の意味などの育成を意味していると考えられる。その意味から考えると、単に次のような自己評価を行うことは、ほとんど意味がないと考えられる（人間教育研究協議会編『学力 向上をめざす教育』金子書房、p. 55、2001）。

「1. 自分から選んで取り組めたか。A、B、C」（A、B、Cに印をつける。）

すなわち、単なる振り返りを伴った評価の一手段になり果ててしまっているのである。最も大切なことは、具体的内容を伴って可視的に振り返ることの大切さであろう。やはり、このことも（1）で述べた哲学の欠如につながっていると考えられる。

(3) 自己評価の習慣化が子どもにとって自己評価の必要を感じられないで逆に形骸化を招いている

自己評価の形骸化とは、先の（2）で引用した内容にもつながるのだが、たとえば「A」、「B」、「C」、「◎」、「△」などの形で評価が行われることを意味していると考えられる。つまり、自己評価の結果を記号化することは、教師にとっては必要なことかもしれないのだが、学習者にとっては、それがどのようなことを意味するのか感じ取ることはできにくいのである。

すでに述べたように自己の変容が具体性および可視性に欠けると、自己評価の意味、つまりその必要性を感じ取ることができないのである。

(4) 自己評価活動の結果が授業の改善や子どもの変容に結びついていない

これは自己評価を行おうとするときに、きわめて重要な指摘であると考えられる。つまり、「指導に活かす評価」は評価の基本中の基本になるのだが、これまでの自己評価ではそれができにくい、ということになる。さらにいえば、これまた自己評価が具体性や可視性をともなわないために起こっているということができる。子どもの変容についても同じことが指摘できる。

(5) 時間がかかり長続きしない

この意味する内容は、現在行われているポートフォリオ評価を思い浮かべてもらえば分かりやすいと思われる。すなわち、自己評価は単に一時間だけの学習だけで行われるのでは、活用方法もまたその効果についてもはかばかしくないので、どうしても長時間学習した上でそれが用いられることになり、時間がかかるのである。このとき、時間がかかるこ

とは学習者にとって意味があればそれほど問題はない。「またやらされている」という思いが強くなったりすると、当然長続きしないことになる。ポートフォリオ評価も、その問題点のところであげたように、たとえ大部な情報を長期にわたって収集したとしても、使い道が子どもや教師にとって意味ある形にならないのであれば、長続きしないのである。

(6) 子ども自身のための自己評価であるにもかかわらず教師が子どもを評価する際の手軽な評価道具となっている

子ども自身の自己評価ということは、彼らにとって学習の意味を感じとる、今後の学習に対する方向性を見つけるということの意味している。それを教師が道具として使っているということは、結局自己評価の主旨が十分に活かされていないわけである。自己評価に求められているのは、学習者と教師双方にとって活用できるものなのである。つまり、学習者にとっては自らの学びの変容を自覚し、今後の学習に活かし、教師にとっては学習者の変容から指導の修正を行い教育目標の達成をめざすことが重要なのである。それが可能になる自己評価が望ましい。

3. 学習履歴を重視した「一枚ポートフォリオ評価法」の開発

上記2および3の問題点を克服するために、また教育実践において有効に機能する方法として、一枚ポートフォリオ評価法を開発した。一枚ポートフォリオ評価法とは、文字通り一枚の用紙の中に、学習前の既有的知識や考え、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方法である。

今回構成した教育内容に基づいてその具体的内容を示せば図1のようになる。図1をもとに、この「一枚ポートフォリオ評価法」の骨子を説明すると、以下の七点になる。

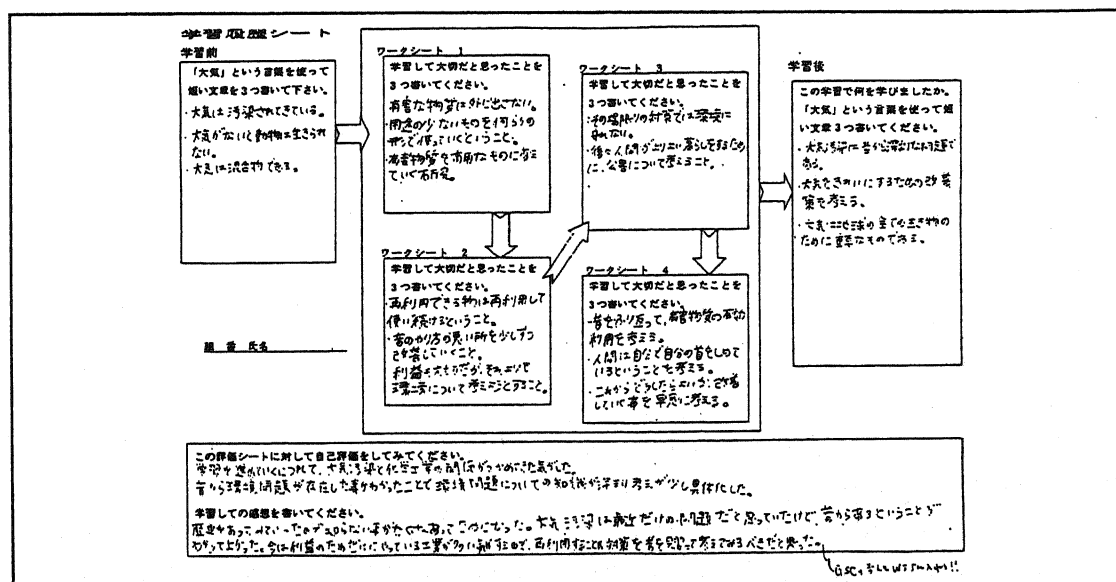


図1 一枚ポートフォリオ評価法の骨子と自己評価例

(1) 既存の知識や考えを前提にした学習の変容の明確化

まず、図1の左に学習前の知識や考えを書かせるようになっている。その後、学習過程の履歴を何回かに分けて書かせる。右側には、学習後の知識や考えを書かせる。この学習前・中・後を通して、学習による変容に気づかせていくことになる。

これまでの自己評価では、学習前・後がないものが多かった。とりわけ、学習前についてはほとんど意識されていなかった。そのような状態では、変容を意識しようにも、かなり片手落ちにならざるを得ない。やはり、学習前・中・後が明確に押さえられて始めて、変容の把握が可能になるのである。

(2) 指導計画の構造化

ところで、図1のように記録させることは、指導前に全体で何時間かけ、何時間目が終わったらどのような内容を書かせるか明確になっていなければならない。そうでなければ、記入欄がいくつ必要でそこに何を書かせるかが明確にならない。このように計画することは、指導計画を構造化することに他ならない。

これまでも、指導計画として似たようなことは行われてきたが、生徒にどこで何を書かせるかという評価まで意識して構造化が図られたことはない。

(3) 指導と評価を一体化する形成的評価

上で述べた生徒にどこで何を書かせるかという指導計画の構造化は、書いた内容を教師がそれを読み、指導が適切であったかどうか半断することができる。したがって、もし生徒の書いた内容が不適切であったならば、次回に書かせる内容に教師が意図したことを表現できるように、生徒が書いた内容に添削をして返却することにより、指導に活かすことができる。これがまさに指導に活かす評価なのだと考えられる。

これまでのポートフォリオを使った自己評価では、たくさんの学習による情報を得たとしても、指導に活かすために何をどうすればよいのか明確になっていなかった。

(4) ワークシートの再活用化

授業において理科の教師は、ほとんどの場合ワークシート（ここでいうワークシートは図1のものとは違う）を使っている。しかし、このワークシートも一時間の中で書かせることに主眼がおかれていて、授業が終わればそれを使うということは、まずない。たいがいは、書けばその役目が終わっているのである。

だが、せっかく作成したワークシートを死なせておくのはもったいない。そこで、ここで記入した図1を用いて、学習後に自分の履歴を振り返るとき、ワークシートを活用することも出来るのである。

つまり、学習終了後、学習過程で書かせた内容を学習後に振り返るとき、自分があまり明確に学習内容を思い出せないとき、あるいは不安があるとき、学習過程の中で該当するワークシートを取り出して再度確認させるのである。これは、学習を学習に活かすという意味で効果があるといえる。このようにすれば、ワークシートが一度限りで日の目を見ないということとはなくなる。ワークシートの活用法にもつながる。

(5) 具体的内容を通して可視的に変容を自己評価

さて、学習前・中・後に学習履歴を書かせる意味は、学習後にそれがどのように変容したのか知るために書かせている。そのため、これらを振り返って何を思ったのか図1の一番下の欄に書かせるようにしてある。これが自己評価なのだが、このとき最も大切なのは、自分の学習履歴が具体的内容を通して、目に見えるようになっていることである。教師だけがそれをわかっているだけでもだめである。いみじくも自己評価という以上、学習者自身がそのことを実感できるということが重要なのである。

このことは、後述の(7)と密接に関係している。

(6) 学習履歴に基づく授業評価

ここで述べている学習履歴に基づく一枚ポートフォリオ評価法により、指導に活かす評価が可能になることは先に述べた。これも授業評価といえる。なぜならば、学習途中で生徒の書いた内容を基に指導計画の変更を可能にしているからである。

これを押し進めると、学習後に当該単元の授業がはたしてどうであったのか評価することが可能になる。それは、生徒の書いた内容および自己評価により、教師の意図と反すること、あるいは意図しないことが表現されているのであれば、授業計画、内容、教材、指導方法等々の妥当性を判断する材料を提供してくれるからである。

これまで、授業評価をこのような形で行ってきた提案は存在しない。

(7) 変容による学習の意味の感得

上述の(5)で、具体的内容が書かれた学習履歴を基に可視的にとらえることの重要性を指摘した。それは、このことにより、学習の意味が感得できるからである。なぜならば、学習者はほとんどの場合、学習によって何も変わっていないと思っているからである。たとえ、たった一時間といえども変容はある。それが、学習者にとって具体的に目に見えないことが問題なのである。具体性をもって目に見える形で変容を感じ取ることができるとき、「勉強したんだ!」、「勉強によってこんなふうに変わるんだ!」などと気づくことが可能になるのである。さらに、「勉強って大切なんだ!」ということにつながっていくのである。一枚ポートフォリオ評価法の最大のねらいは上述の点にあると言える。

4. 学習履歴を重視した一枚ポートフォリオ評価法による教育内容構成の適切性の評価

本報告書では、グリーンケミストリー用の教材開発に主眼がおかれている。そのとき、開発した教材の妥当性をどのようにして検討するかが問題になる。これまで、教育内容構成において、その妥当性をどのようにして検討するかという研究はほとんどない。

ここでは、3で述べた方法を基に構成した内容の妥当性を検討可能であることを指摘しておきたい。つまり、生徒の記入した学習履歴がその妥当性を検討する手がかりになるのである。具体的には、教師の意図することと全く異なる内容が大半の生徒により記されていたり、まったく書いていなかったり、内容に対する疑問が書かれていたりする場合に、その構成では不適切であるということを示していると判断するのである。

ここで述べた検討方法は、上述3の(2)、(3)、(6)の延長線上に位置しているとい

える。これは、生徒の実態から教育内容評価に迫っていく方法の一つであると考えることができる。これまで、教育内容構成の評価がなぜ難しかったかといえば、理論の方面からのみ迫ることしか考えてこなかったからであろう。教育内容構成の妥当性は、理論的枠組みからなかなか迫ることが難しいのは、これまでのこの方面の研究がほとんどないことから明らかであろう。

上述の方法によれば、たとえ毎時間学習履歴を書かせていなかったとしても、それを基にして、どこをどのように修正すればよいのか手がかりを得ることができる。生徒の実態から、教育内容構成の妥当性を検討していくことは、現実的な意味で今後重要性を増してくると考えられる。

おわりに

本稿では、学習内容構成の妥当性を検討する評価方法として、「一枚ポートフォリオ評価法」について考察してきた。しかし、その妥当性に関する評価方法としては、まだまだ検討の余地が残されているので、生徒の実態調査を基礎にして、さらなる研究を進める必要がある。

学習履歴評価法 (ポートフォリオ評価法)

いろいろな力の
世界について考
えてみよう

「力」という言葉を使って3
つ以上文章を書いてください。
3つ以上書いてもいいです。

学習前の
知識や考え

(文章分析法など)

1. 今日勉強した中で一番大
切なことを書きましょう。

(学習内容)

- ☆ 力のはたらき
 - ・物体の形を変える
 - ・物体を支える
 - ・物体の運動の様子を
変える
- ☆ 重力

4. 今日勉強した中で一番大
切なことを書きましょう。

(学習内容)

- ☆ 圧力
 - ・単位; Pa
 - ・圧力を求める式

5. 今日勉強した中で一番大
切なことを書きましょう。

(学習内容)

- ☆ 大気圧
 - ・標高と大気圧の関係
 - ・四方八方から働く

2. 今日勉強した中で一番大
切なことを書きましょう。

(学習内容)

- ☆ 力の大きさの単位
(ニュートン)
- ☆ 力の矢印
 - ・力の三要素
 - ・作用点
 - ・力の向き
 - ・力の大きさ

3. 今日勉強した中で一番大
切なことを書きましょう。

(学習内容)

- ☆ 2力のつり合い
(条件)
 - ・一直線上
 - ・向きは反対
 - ・大きさは等しい
- ☆ 垂直効力
- ☆ 摩擦力

「力」という言葉を使って3
つ以上文章を書いてください。
3つ以上書いてもいいです。

学習後の
知識や考え

(文章分析法など)

「いろいろな力の世界について考えてみよう」の学習をふりかえってみて、何がわかりましたか。また、1～5の勉強を通して、あなたは
何がどのように変わりましたか。そのことについてあなたはどう思いますか。感想でも何でもかまいませんから、自由に書いてください。

自己評価

(自ら学び自ら考える力の評価)

学習履歴と自己評価 を活かした ポートフォリオ評価

1. 学習者の既存の知識や考えの変容を把握できる（文章分析法などにより学習前・後の知識や考えを記録する）
2. 学習履歴を最も重要な視点から可視的に振り返ることを可能にする（必要最小限の情報で学習過程を明確にする）
3. 記録した学習履歴を次の指導に活かすことができる（教師の意図する内容を明確にしておき、それが記録されていないときは、「○○についてはどうかな」などと指示を出しておく）
4. 自己評価することにより学習の効力感を引き出すことができる（学習前・後の知識や考えの相違、学習過程の変容と知識や考えの深まりに気づかせる）
5. 学習履歴により学習者が学習内容を全体として把握することができる（学習の構造化への手助けになる）

学習履歴明確化の意義

1. 既存の知識や考えを前提にした学習の変容の明確化
2. 指導計画の構造化
3. 指導と評価を一体化する
形成的評価
4. ワークシートの再活用化
5. 具体的内容を通して
可視的に変容を自己評価
6. 学習履歴に基づく授業評価
7. 変容による学習の意味の感得

Ⅲ. 高等学校実験教材

グリーンケミストリー教材の開発ー水質の簡易測定法の開発と イオン交換膜法による海水の濃縮と淡水化ー (山本勝博)・	86
1 蛍光測定による環境水の簡易水質測定法の開発・	87
2 紫外スペクトル法による天然水中の有機成分の 簡易測定法の開発・	90
3 イオン交換膜を利用した海水の濃縮と淡水化の教材化・	93
グリーンケミストリーを基本にした、高校化学実験の検討 (深野哲也)・	96
アルミナ触媒反応実験に対する生徒の評価 (臼井豊和)・	102
環境問題を理解するための授業実践ー実験後の廃液処理方法に ついてー (高野裕恵)・	106
「グリーンケミストリー」の普及を目指した授業実践報告 (藤原 大)・	110
毒性一覧 試案 (清田三郎)・	116

グリーンケミストリー教材の開発

－水質の簡易測定法の開発とイオン交換膜法による海水の濃縮と淡水化－

大阪府教育センター 山本勝博

環境問題が、昭和 40 年代の公害問題から都市・生活型公害さらには地球規模の環境問題へと多様化していく過程で、国民一人ひとりがこれらの環境問題への深い理解と認識を持ち、環境に配慮した生活や行動をすることが求められるようになってきた。すべての年齢層の人々に対し、家庭・地域・学校・職場など様々な活動の場で環境教育や自主的な環境に対する取り組みが重要視されている¹⁾。

このような背景の中で、学校教育の場では平成元年の小・中学校及び高等学校学習指導要領の改訂によって、多くの教科、道徳、特別活動において、環境教育に関わる内容が重要視されるようになった。また、学校における環境教育は、環境に関わる内容の理解だけにとどまらず、環境問題の解決に必要な能力を育成することが重要である。さらに今回の改訂により、社会の変化に主体的に対応できる能力や態度の育成、体験的学習や問題解決能力の育成が強調されている^{2,3)}。

学校教育における環境教育は、生涯学習の一環であり、その基礎的な部分として位置づけることができる⁴⁾。しかし、実際に学校教育において環境教育を実施する場合には、多くの問題点がある。それは知識を伝達することは、従来からの教育方法が優れているが、実験・実習、フィールド調査等を含む体験的学習は、現在の一斉授業では困難であり、あまり実施されていないのが現状である。また、化学的手法を取り入れた環境教育を実施する場合には、現地調査を含む大気や水質などの測定を行うことは不可欠の要素であるが、測定器具、技術、時間、経費など様々な問題が残されている。そこで、学校教育の場で種々の調査を行う場合には、ある程度の精度を維持しつつ短時間の測定法の開発が必要となる。しかも、安価で簡単に測定できるものでなければならない。

次に、環境教育や環境問題と密接に関連するグリーンケミストリーの 12 箇条の精神をまとめると次のようになる⁵⁾。

1. ゴミ（廃棄物）を減らす。
2. 危険な物質を出さない。
3. エネルギー消費を減らす。ということになるので、この目標に沿った教材を開発することが重要になる。

1. 蛍光測定による環境水の簡易水質測定法の開発⁵⁾

現在、各家庭において最も多く使用する物質は、水や食物を除くと合成洗剤と石けんである。また、合成洗剤の使用量は石けんの5～6倍となっている。このように多量に使用される合成洗剤は、生活排水として河川等の環境中に流し出され、その毒性や分解速度等が問題となる。また、合成洗剤（陰イオン界面活性剤として）の定量には、クロロホルムを使用し環境にも問題があるばかりでなく、測定にかなり手間を要する。今回、この合成洗剤を直接測定するのではなく、この中に含まれる蛍光増白剤を自作の紫外線（ブラックライトブルー蛍光灯使用）を用いて目視測定を行い、その濃度差を比較した。

1 蛍光増白剤について⁶⁾

洗濯用合成洗剤に約 0.3 % を含み（羊毛用合成洗剤には使用しない）、台所用合成洗剤には含まれない。紫外線を当てると青白く光り、食品添加物・ふきん・ガーゼ・トイレトペーパー・コーヒー漉しのネルやろ紙などへの使用は禁止されている（ただし、経口毒性の有無とは別問題である）。また、化学的に安定で、衣服に付くと一年以上残留する。環境中に排出されたものは、一部泥や生物に吸着する。日本では、8種の主要蛍光増白剤について安全性試験の結果が蓄積されている（現在まで特に懸念する結果は出ていない）。

【蛍光増白剤の歴史と使用量】

- (1) 1929年、ドイツの P. Kraus が西洋トキノキ成分から Aesculine を取り出し、これで白布を処理したところ、輝かしい白さを得ることができた。これが最初の天然蛍光増白剤である。
- (2) 1936年頃からドイツを中心に Cumarin 系、Stilbene 系の合成化合物の特許が出始めた。
- (3) 日本では 1950年頃より輸入され、最初、洗濯用粉石けんに使用された。1960年頃よりほとんどすべての洗濯用合成洗剤に 0.3%程度配合され現在に至っている。
- (4) 洗剤に添加されている量は、2000～3000トン/年で界面活性剤やリン酸塩に比べて微量であるので問題にされなかった。
- (5) 1970～1980年の洗剤論争のため、現在の粉石けんには使用されていない。
- (6) 1975年には、ヨーロッパの染料会社を中心に数多くの研究がなされ、安全性の問題は一段落している。
- (7) 1981～1982年、欧米から遅れたが日本でもお茶の水女子大グループの矢部章彦らにより詳細に研究された。

2 実験および結果⁷⁾

2.1 蛍光増白剤の蛍光による閾値（限界値）測定

濃度調整した市販の蛍光増白剤（ケイコール BZ コンク：田中直染料店製）の水溶液に、暗室で紫外線照射し、そのときの蛍光を目視による測定を行い閾値を求めた。

- (1) 1000ppm：非常に強い蛍光あり、(2) 100ppm：強い蛍光あり
- (3) 10ppm：蛍光あり、(4) 1ppm：わずかに蛍光あり
- (5) 0.1ppm：ほとんど蛍光なし、(6) 0.01ppm：蛍光なし

この場合の閾値は、0.1～1ppm程度であった。

2.2 合成洗剤の蛍光による閾値（限界値）測定

市販の合成洗剤（ハイトップ：ライオン株式会社製）を用いて、2.1と同様に暗室で合成洗剤の水溶液に紫外線照射し、そのときの蛍光を目視による測定を行い閾値を求めた。

- (1) 1000ppm：非常に強い蛍光あり、
- (2) 100ppm：強い蛍光あり
- (3) 10ppm：わずかに蛍光あり、
- (4) 1ppm：ほとんど蛍光なし
- (5) 0.1ppm：蛍光なし この場合の閾値は、1～10ppm程度であった。

2.3 環境水中の蛍光測定

上記2.1や2.2と同様の方法で、目視により環境水中の蛍光を調べた。比較のため湧水、水道水、海水、水槽水なども調べた。

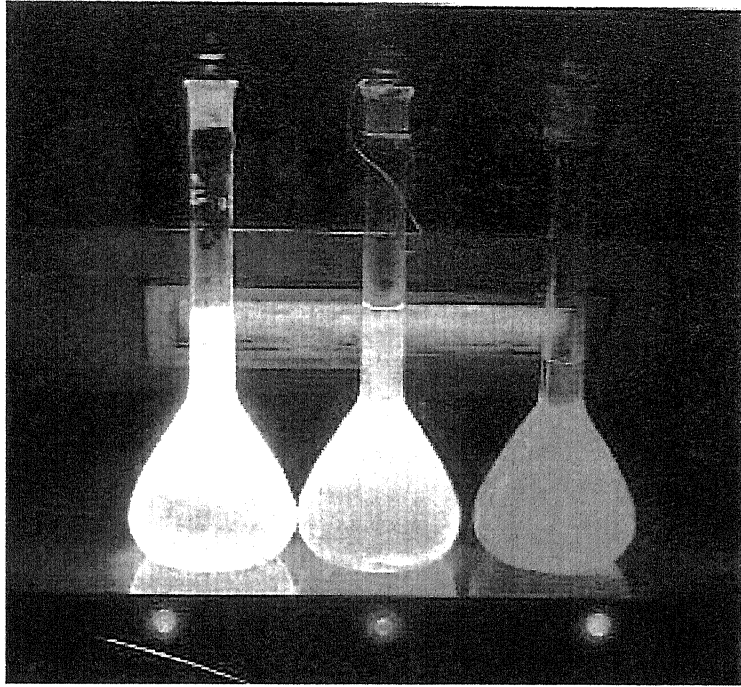
- (1) 榎尾川（大阪府和泉市、H10.8.18採水）：上流では弱く、下流に行くほど強い蛍光が見られた。
- (2) 和田川（大阪府堺市、H10.8.6採水）：上流では弱く、下流に行くほど強い蛍光が見られた。
- (3) 飛鳥川（奈良県明日香村、H10.11.16採水）：上流では全く蛍光が見られず、下流では蛍光が見られた。
- (4) 十三間川（大阪市住吉区、H10.8.6採水）：2ヶ所採水したが共にわずかに蛍光が見られた。
- (5) 石川等（大阪府河内長野市他、H10.7.31～H10.8.5採水）：滝畑（上流）では蛍光なし、汐ノ宮・太子町ではいくらか蛍光が見られた。
- (6) 初瀬川支流（奈良県桜井市、H10.7.31採水）：8ヶ所採水したが、上流ではほとんど蛍光が見られず、下流に行くほど強い蛍光が見られた。
- (7) 箕面川（大阪府箕面市、H10.11.12採水）：3ヶ所採水したが、中流の百年橋と支流の地獄谷では蛍光が見られず、下流の石橋では蛍光が見られた。
- (8) 湧水（亀岡市の神池・寺田湧水、H10.8.24採水）：全く蛍光は見られなかった。
- (9) 海水（和歌山の小島海岸、H10.7.22採水）：全く蛍光は見られなかった。
- (10) 屋外水槽（H10.12.4採水）：4ヶ所採水したが、褐色水溶液（フミン質）のみ緑色の蛍光があった。
- (11) 屋内水槽（H10.12.4採水）：ほとんど蛍光が見られなかった。
- (12) 水道水：蛍光なし

以上の結果、定量的な測定はできないが、河川水では上流と下流で、その蛍光の強度差を見ることができた。湧水・海水・水道水では蛍光は見られなかった。

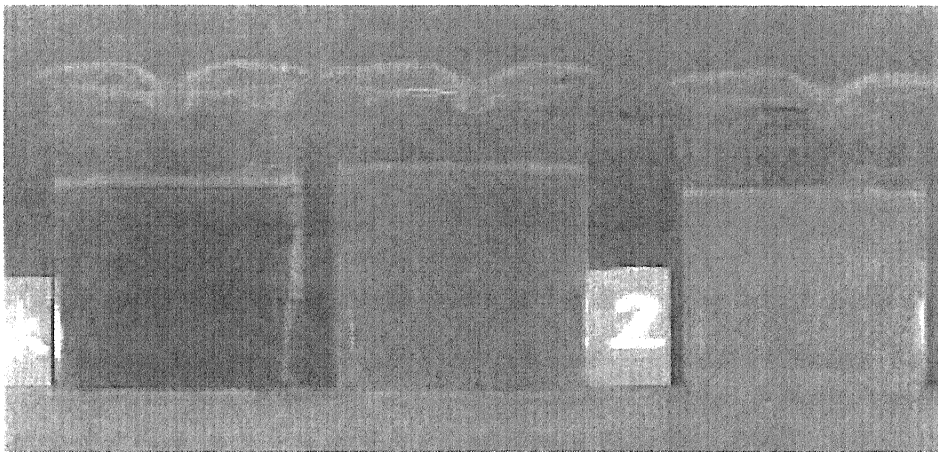
衣服の「白さ」に対する考え方は、年齢・性別・地域によりほとんど差がなく、より白いものを好む傾向にある。これは長い歴史の中で人々は、白いものをより白く見せるために追求してきた結果である。

蛍光増白剤の毒性に関する検討は、日本で使用されている主要蛍光増白剤8種について厚生省を中心として各種の安全性試験が行われているが、現在のところ特に懸念する結果は出ていない。しかし、より効果の高い新蛍光増白剤が出てくる可能性もあり、今後ともより慎重に扱うべきであろう。

有機合成化合物だけでなく、自然界にも蛍光を発する物質は存在し、その代表的なもの



左：1000ppm、中央：100ppm、右：10ppm
図1 合成洗剤の濃度による蛍光の違い



左：水道水、中央：河川水（上流）、右：河川水（下流）
図2 河川水の蛍光の違い

は、クロロフィル・ペクチン・タンニン・フミン酸などである。

この紫外線照射による蛍光強度の測定は、非常に簡単な実験装置と方法により、天然水中の合成洗剤の汚れを間接的に知ることができ、環境指標の一つとして今後もっと活用されてもよいと思われる。

2. 紫外スペクトル法による天然水中の有機成分の簡易分析法の開発

児童・生徒にとって最も身近な環境問題の一つとして、河川、湖などの水環境の悪化がある。河川の水質汚濁は、現在では生活排水が汚濁原因の 80 % を占めている。これは、台所や洗濯排水などが十分に処理されないままに河川に流出することにより、引き起こされるものである。そして下流に行くほど河川水の汚濁はひどくなっていく⁸⁾。このような河川水の汚濁を調べるのに有機成分による汚れ（化学的酸素要求量の COD や生物的酸素要求量の BOD）を測定することが多い。種々の簡便法を用いて水質調査が行われているが、精度や費用等に難点がある。

また、紫外線を水に通過させたとき、水中の有機物量に応じて光エネルギーが減衰する。そのため、COD と紫外線の吸光度 (absorbance) の相関性が高く、人為的な有機物汚染の高い水質については有効な測定方法とされている⁹⁾。そこでいくつかの河川での KMnO_4 (過マンガン酸カリウム) 法による COD との比較による検討を行い、さらに、合成洗剤や石けんおよび代表的な有機化合物や無機化合物の紫外 (UV) スペクトルに対する影響も調べた。

1 実験

1.1 天然水の COD と UV との関係¹⁰⁾

生活排水における COD の増加の最も大きな原因は、石けんや合成洗剤の流入のためであると考えられる。合成洗剤として最も多量に使用されている直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (LAS) は芳香族化合物であり¹¹⁾、UV の芳香族特有の 230 ~ 270nm に吸収帯が表れる。従ってその濃度に比例して、COD も UV の吸光度も変化するものと考えられる。

また、天然由来の有機物質としては動植物等の腐植物質によるフミン酸やフルボ酸などの影響も考えられる¹²⁾。これらも同様の影響が考えられる。ここでは、UV の 260nm の値 (以下 UV_{260} と表す) を基準とし、(1)~(6) の水質測定を行い、比較検討を行った。

また、COD の測定は、試料水の上澄み液 50cm³ を採取し、その中にホールピペットで希硫酸 (体積比で水 3 : 濃硫酸 1) 5 cm³、ファクターのわかった 0.002M - KMnO_4 10cm³ を加え、沸騰水浴で 15 分間反応させる (KMnO_4 溶液の赤色が消失した場合は試料水の体積を減らして再度行う)。まだ温かい内にホールピペットで 0.005M - シュウ酸 10cm³ を加え、ビュレットで上記と同じ 0.002M - KMnO_4 溶液で滴定し、わずかに赤色に変わった所を終点とした。

UV_{260} は、ダブルビーム分光光度計 (島津 240 型) を用いて (10mm 石英セルを使用し) 試料水の吸光度を求めた。次の (1)~(6) の河川水等について、それぞれの COD と UV_{260} の相関を調べるために、相関係数と回帰直線を求めて、測定データの検討を行った。

(1) 和田川 (大阪府堺市) の河川水 : 1 回目は 1998.6.27 に、2 回目は 1998.8.6 に共に

5カ所から採水した。

(2) 石川水系の河川水（大阪府河内長野市）：滝谷、汐ノ宮、太子町の3カ所から1998.7.31に採水した。

(3) 初瀬用水系の河川水（奈良県桜井市）：上流域の支流を含む8カ所から1998.7.1に採水した。

(4) 飛鳥川水系の河川水（奈良県明日香村）：最上流域の支流を含む7カ所から、1回目は1998.7.17に、2回目は1998.8.27に採水した。

(5) 槇尾川の河川水（大阪府和泉市）：最上流域から下流域までの支流を含む10カ所から1998.7.7に採水した。

(6) 屋外水槽内の水（大阪市住吉区）：河川水以外のものとして、当センターの敷地内にある屋外水槽内の水を4カ所から1998.8.7に採水した。

2 考察および結果

2.1 天然水のCODとUV₂₆₀との関係

(1) 和田川の河川水：すべてが河川水であり、同じ場所で二回採水した。採水日の違いによる影響はほとんど見られない。1回目は相関係数（以下 r という） $r = 0.994$ 、 $y = 33.7x - 0.233$ 、2回目は $r = 0.995$ 、 $y = 26.7x - 0.086$ の回帰直線が得られた。

(2) 石川水系の河川水：すべてが河川水である。測定ポイントが3カ所と少なかったが、 $r = 1.000$ 、 $y = 23.8x + 0.259$ の回帰直線が得られた。

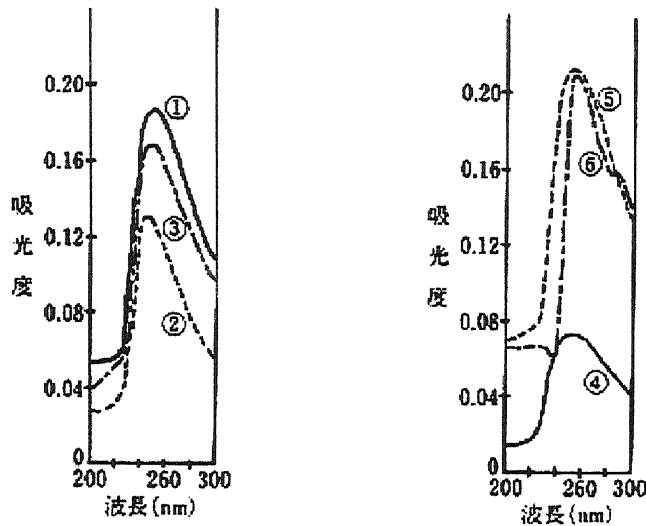
(3) 初瀬川水系の河川水：すべてが河川水ではなく、一部湧水も含み、支流からの水も多い。多少バラツキもあるが、 $r = 0.894$ 、 $y = 22.0x + 0.315$ の回帰直線が得られた。

(4) 飛鳥川水系の河川水：すべてが河川水ではなく、一部湧水も含み、最上流域の支流からの水も多い。多少バラツキもあるが、1回目は $r = 0.873$ 、 $y = 27.8x + 0.013$ 、2回目は $r = 0.995$ 、 $y = 35.4x + 0.023$ の回帰直線が得られた。同じ場所で二回採水しているが、採水日の違いによる影響はほとんど表れていない。

(5) 槇尾川の河川水：すべてが河川水ではなく、一部湧水も含み、支流からの水も多い。多少バラツキもあるが、 $r = 0.886$ 、 $y = 26.7x + 0.456$ の回帰直線が得られた。

(6) 屋外水槽内の水：屋外水槽の水の供給は雨水であり、それぞれ個別に水草が成育されている。また、合成洗剤の流入はなく、CODの原因はフミン酸等の影響が考えられる。お互いに別の槽であるにもかかわらず、 $r = 0.996$ 、 $y = 36.3x + 2.60$ の回帰直線が得られた。

(1)～(6)の天然水のUVスペクトルを図1に示す。この場合、UVスペクトルはそれぞれ天然水の代表的なものを選んだ。(6)の水槽内の水のスペクトルは、他と少し異なっているが、(1)～(5)の河川水についてはほとんど同じスペクトルであった。さらに、(1)～(6)のCODとUV₂₆₀との関係を図2に示す。いずれの場合も相関係数 (r) は1に近い値を示し、CODとUV₂₆₀の間には非常によい相関が見られ、十分にUVの分光学的手段によってCODの測定が可能であることが分かった。



①和田川、②石川、③初瀬川、④飛鳥川、⑤槇尾川、⑥野外水槽

図1 天然水の UV スペクトル

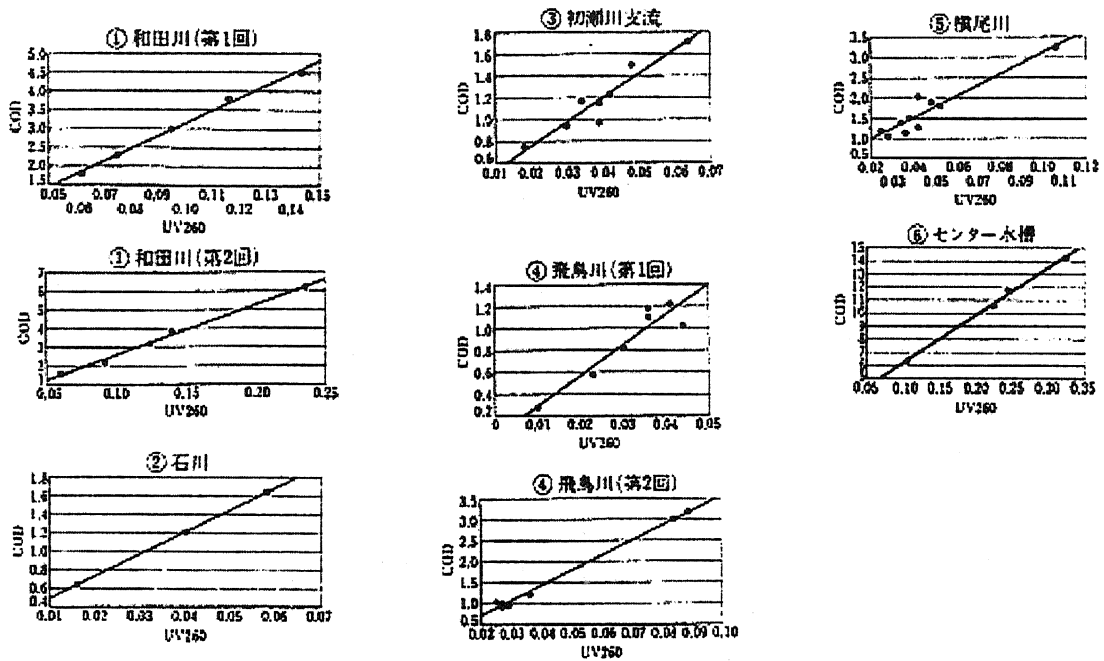


図2 天然水の COD と UV₂₆₀ の回帰直線

通常、合成洗剤中の陰イオン界面活性剤を定量的に測定するには、クロロホルムを使用するので、環境教育の面からあまり好ましいことではない。また、公定法の COD 測定は、手間と時間がかかるが、それに比較して UV スペクトルの測定は、操作が簡単でかつ短時間に実施できるのが特徴である。また、本法により河川水中の UV スペクトルを測定し、一度回帰直線を作成すれば、その後 COD の化学的な測定は不用になり、繰り返し同じ河川の有機的な汚れを測定する場合には、大変有効である。

3. イオン交換膜を利用した海水の濃縮と淡水化の教材化¹³⁾

塩は人間にとって必要不可欠なものであり、それをめぐっての歴史は、様々に興味ある展開をしてきた。現在では大量生産が可能になり、塩を容易に手に入れられるようになってきたが、それゆえに塩に対する関心が薄くなるようになってはならない。実際に塩は食料用だけではなく、工業原料としても重要なものであり、また各種伝統文化や宗教などの中でも意義あるものとして幅広く登場してくる。このような点から考えても総合的学習のテーマとしても興味ある課題である。

今回はイオン交換膜法の検討を行った。本来イオン交換膜法は電解ソーダ工業において、陽イオン交換膜（陽イオンのみを通す膜）を利用した食塩水の電解から水酸化ナトリウムや塩素ガスを得る方法として確立されてきた。その応用として、陽イオン交換膜と陰イオン交換膜とを交互に配置した多槽の電解槽で食塩水を電気分解すると、中間槽において電気透析が起こり、交互の槽に原液よりも濃い食塩水と薄い食塩水が得られる（図1）。この方式による海水の濃縮は場所も経費も非常に効率良く使えるため、最近では日本での食料用の製塩はほとんどこの方式によっている。また食塩水を薄くできる点から、中近東等では海水から飲料水を得るための淡水化プラントとして活躍している。

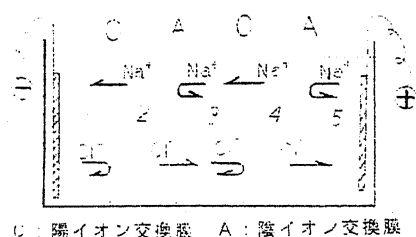


図1 イオン交換膜による濃縮原理

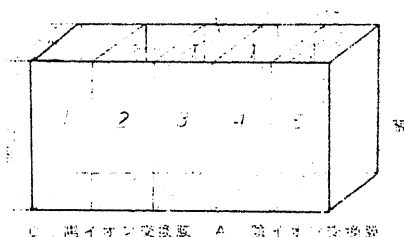


図2 製作した電解槽の概略図

従来イオン交換膜を利用した教材はほとんど無かったが、あるメーカーの好意によりイオン交換膜が手に入ったので、教材用イオン交換膜電解槽を試作し、それによって食塩水の電気分解に伴う膜の特性を調べ、食塩水の濃縮と淡水化の再現を試みた。

1 イオン交換膜電解槽の製作電解

イオン交換膜は硬質性のポリスチレン系（k.k トクヤマ製 NEOSEPTA-CMX、-AMX）で、水に対して膨潤しても硬いままなので、隔膜として取り付ける時、基材に強く挟み付ける方法と、シリコンゴム系接着剤のようなもので伸縮をカバーする方法を併用した。今回試作した電解槽は基材は厚さ3 mm のアクリル板を用い、膜の取り付けは図2のように陽イオン交換膜、陰イオン交換膜2枚ずつを交互に取り付け、5槽からなるものを作った。使用した交換膜のサイズは5×8 cm で接着面を除いての実効面は4×7 cm である。

実験1 適性電解電流の決定

電解槽に、ある一定以上の電流（限界電流）が流れると、中間の交換膜での膜透過イオン量に比べ膜面へのイオン拡散が追付かず、膜面濃度が下がって水が分解されはじめ、

H⁺、OH⁻が移動する。それを防ぐために、電気透析に際しての限界電流を、次のようにして調べた¹⁴⁾。

すべての槽に3%食塩水を入れ、両端の電極は3.5 × 2.3cmの大きさの白金電極を用いて電流-電圧曲線を求める。得られた結果は、図3のようになった。これから、この電解槽で電気透析を行うには、0.7A以下で行えばいいことが分かった。

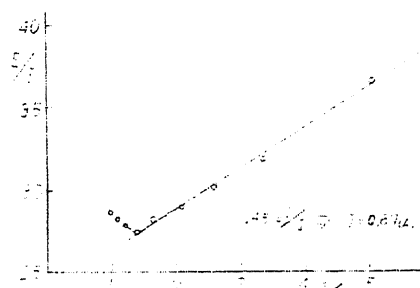


図3 限界電流の測定

実験2 食塩水の電気透析の確認実験

試作したイオン交換膜電解槽で、表1に示したような各種条件で一定時間電気透析を行った。透析後、各槽の溶液のpHおよび塩化物イオン濃度(モル法:クロム酸カリウムを指示薬として硝酸銀溶液で滴定する方法)を調べた。透析条件はいずれも、1800秒、0.5Aで行った(電気分解による変化量は電気量(電流×時間)によって決まる)。電圧は電極、溶液構成などによって若干異なるが、ほぼ10~14Vの間であった。食塩を含む溶液を電気分解する際、+極では塩素ガスが発生するので電極に白金を使用している。ステンレス極を+極にする場合は、その電極槽のみ塩化物イオンを含まない溶液にして、酸素を発生するように工夫した(II)、(III)。

この結果から、どの実験でも各槽の塩化物イオンが交互に濃淡を示していることが明らかである。イオン交換膜が選択的に働いている証拠である。アルカリを使用した(II)を除いて、+極側はいずれも酸性を示している。発生する塩素ガスが溶けて、次亜塩素酸水になっているからである。酸性は隣の槽まで影響しているが、これはイオン交換膜を水素イオンも透過しているためである。-極では水素が発生しアルカリ性を示しているが、その影響は隣の槽まで及んでいるのは+極と同様である。おなじ透析条件で電極の極性だけを変えた(I)と(IV)の時の濃度を比べると、(I)では2、4槽が濃くなり、真ん中の3槽が薄くなるが、(IV)では全く逆になっている。

(I)-3槽では、+側の2槽へ塩化物イオンが、-側の4槽へはナトリウムイオンが透析流出するため食塩濃度が薄くなり、逆に(IV)-3槽では、2槽より塩化物イオンが、4槽よりナトリウムイオンが移動流入し、濃度が濃くなってくると考えられる。

実際の海水を長時間透析することによって、濃度の濃い^{かんすい}灌水をつくり、加熱濃縮して固体の食塩を得たり、逆に淡水を作り出すと面白い。隔膜の交換能も考慮してイオン移動の定量的な考察もできる。また気体発生量を測定して、物質質量の変化を調べてもよい。さらに2槽ないし3槽にして単一の膜の性質を調べたり、溶液に着色イオンの溶液を使用してイオンの移動に関する教材にも発展するであろう。

この教材を通じて、イオンの電気化学的な挙動についての理解を深めるだけでなく、科

学技術と人との関係において、科学の進歩が古典的な製塩法を根本的に変えたり、淡水化などのように幅広く応用されていることを知るきっかけになるであろう。

表 1. 電気透析後の各槽での塩化物イオン濃度とpH

	1槽	2槽	3槽	4槽	5槽
電極	白金(+) / スチール(-)				
電解液	3%食塩水	食塩水	食塩水	食塩水	食塩水
電解後Cl ⁻ 濃度	2.16%	2.75%	1.92%	2.79%	1.90%
電解後pH	2.0	2.4	5.8	11.5	12.5
電極	スチール(+)				スチール(-)
電解液	0.5M NaOH	3%食塩水	食塩水	食塩水	食塩水
電解後Cl ⁻ 濃度	0	2.74	1.82	2.54	1.78
電解後pH	12.7	6.2	6.2	11.4	12.5
電極	スチール(+)				スチール(-)
電解液	0.5M食塩水	3%食塩水	食塩水	食塩水	食塩水
電解後Cl ⁻ 濃度	0	3.45	2.55	3.48	2.49
電解後pH	2.2	2.5	7.4	11.5	12.5
電極	スチール(+)				白金(+)
電解液	3%食塩水	食塩水	食塩水	食塩水	食塩水
電解後Cl ⁻ 濃度	2.23	1.86	2.68	1.92	2.23
電解後pH	12.4	9.5	4.6	2.8	1.8
電極	白金(+)				スチール(-)
電解液	海水	食塩水	食塩水	食塩水	食塩水
電解後Cl ⁻ 濃度	2.77	3.52	2.66	3.54	2.63
電解後pH	2.4	4.2	7.8	8.1	10.2

引用文献・参考文献

- 1) (財) 経済調査会：“最新環境キーワード第2版”(1997)。
- 2) 大阪府教育センター：“だれにでもできる水質調査ガイドブック”(1997)。
- 3) 大阪府教育センター：“水と私たちの生活”(1995)。
- 4) 文部省：“環境教育指導資料 中学校・高等学校編”(1991)。
- 5) 拓殖秀樹・荻野和子・竹内茂彌，環境と科学，東京化学同人(2002)。
- 6) 奥山春彦・皆川基編，洗剤・洗浄の事典，朝倉書店。
- 7) 山本勝博：蛍光測定による環境水の簡易水質測定の試み，大阪府高等学校理化教育研究会 理化紀要 36号，pp61-63 (1999)。
- 8) 山本勝博，平成10年度 日本環境教育学会 関西支部第7回研究大会 発表資料集。
- 9) 水道水質問題研究会編，水道の水質調査法，技報堂(1997)。
- 10) 山本勝博：紫外スペクトル法による天然水中の有機成分の調査の試み，化学と教育 47.5，pp338-341 (1999)。
- 11) (社) 日本水環境学会編，水環境と洗剤，ぎょうせい(1994)。
- 12) 日本分析化学会北海道支部編，水の分析 (第4版)，化学同人(1994)。
- 13) 山本勝博：平成9年度助成研究発表会報告集，ソルトサイエンス研究財団(1998)。
- 14) 日本化学会編：新実験化学講座 19・高分子Ⅱ (丸善、1978) p986。

1 はじめに

"グリーンケミストリー"という言葉は、ここ数年いろいろな場所で叫ばれるようになり、ようやく私たちの耳に届いてきた。それは、"物質を設計し、合成し応用するとき有害物質をなるべく使わない、出さない化学"という概念と紹介されている。

(グリーンケミストリーの12箇条)

1. 予防：廃棄物を出してから処理するのではなく、はじめから出さない。
2. 原子の利用効率：原料中のできるだけ多くの原子が最終製産物に残る合成法を設計。
3. 毒性の少ない方法：可能な限り環境や人間に対して毒性のない物質を使って合成する。
4. 安全な化学物質の設計：機能が同じならできるだけ毒性の小さいものをつくる。
5. 安全な溶媒や反応補助物質：溶媒や分離の為に補助物質はできるだけ使わない。
6. エネルギー効率の向上：化学プロセスのエネルギー消費は最小限にする。
7. 再生可能な原料：原料は、枯渇性資源ではなく再生可能な資源から得る。
8. 化学修飾の削減：途中の修飾反応はできるだけさける。
9. 触媒の利用：選択性の高い触媒は反応の効率を高めるのにすぐれている。
10. 環境中で分解する製品：使用後は環境中で無害なものに分解し、残留性が無いように。
11. 汚染防止のためのリアルタイムの分析
12. 事故防止のための本質的な安全性：爆発、火災、有害物質漏出等の事故をおこさない。

つまり、「リスクを低減する」という今までの化学の考え方・方法とは根本的に異なり、つくる材料から、つくる方法、目的とする物質まで、トータルで有害物質を出さない化学を、化学者が主役となって開発しようという考え方である。

2 高校化学の現場でどう取り組めるのか

グリーンケミストリーの内容は、有機合成化学の分野での話だと考えられ、教育の現場とは縁遠い概念であると言われるとも聞く。

しかし筆者は、これまでによく見られた負の遺産の列挙や、リサイクルや省エネへの啓蒙だけに限られた環境教育教材では、受け手である生徒を、これからの地球規模の環境問題に前向きに主体的に取り組む次代の担い手として育成するには不十分ではないかと考えてきた。

本校は、国公立を主にほぼ全員が大学進学、中でも理系進学の希望者が多い。

そこで、このグリーンケミストリーの内容をうまく教材として生かすことが、卒業後の生徒の様々な場面での意志決定に大きなプラスの影響を及ぼす公算が大きい。

グリーンケミストリーの内容を教育活動に取り入れようとしてきたこれまでの例を見ると、まず今までの生徒実験を見直そうという流れと、化学史の中の先駆的な取り組みを正しく学んで生かそうという流れがある。

筆者は、ここで生徒実験の見直しという流れに沿った実践を報告する。

2-1 東京都理科教育研究会の冊子に見る生徒実験見直しの具体的な例

「環境にやさしい化学実験の紹介・高校化学実験のグリーンケミストリー化Part1.2（村田・浜田）」

- (1) 硫黄の同素体・・・危険な溶媒をなるべく身体や環境にやさしい溶媒にする。
- (2) 17族元素の単体の製法・・・危険な気体の実験を少量化と密閉化により安全化。
- (3) 炭化水素の不飽和結合の検出・・・より安全な試薬の利用を追求。
- (4) アルコールの酸化・・・危険な酸化剤を使用しない方法への転換。
- (5) 芳香族炭化水素の反応・・・有害物質の代わりに身近な物質をうまく利用。

これ以外にも、様々な教育活動の場面の中で取り組みが進められつつある。

そして、各社の新教育課程の「化学Ⅰ」の教科書を見てみると、この大きな流れが生徒実験にも良い影響を及ぼしつつあることが読みとれる。

2-2 教科書に見る工夫された実験例

- (a) ハロゲンとその化合物 塩素の発生と性質（啓林「化学Ⅰ」）
 - ・危険な気体の実験を少量化と密閉化により安全化。生徒に考えさせる工夫。
- (b) 一酸化窒素と二酸化窒素（第一「化学Ⅰ」）
 - ・危険な気体の実験を密閉化により安全化。
- (c) 遷移元素の性質（三省「化学Ⅰ」）
 - ・使用する有害金属イオンの少量化と再利用。
- (d) 3種の金属イオンの分離と確認（数研「化学Ⅰ」）
 - ・有害な試薬をより安全な試薬へと工夫。有害ガスの発生を低減化。

危険な物質を安易に使わない、使う場合にも生徒の安全性や環境への配慮を全面に打ち出した実験が多くなっている。

また、課題として生徒に実験方法をより安全にうまく進める方法を考えさせる実験例まで取り入れられつつあるのである。

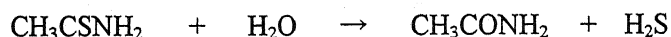
2-3 提案例 硫化水素の代わりにチオアセトアミドを用いた金属イオンの系統分析

本校は理系進学希望の生徒が多く、金属イオンの系統分析をあえて生徒実験に取り入れている。硫化水素を用いた沈殿反応も、その中であえて取り入れてきた。

当然、硫化水素はドラフトを使用し十分注意させつつ実験しているが、それでも若干の暴露の危険性はある。

新課程「化学Ⅰ」東京書籍に、金属イオンの硫化水素との反応をチオアセトアミドを用いておこなっているものが記載されており、次のような記述がある。

チオアセトアミド CH_3CSNH_2 は、加熱すると分解して硫化水素 H_2S を生成する。



この試薬そのもののグリーンケミストリー的な客観評価は不明であるが、有害な硫化水素を多量に使った金属イオンの分析をするよりは、生徒の安全上好ましいと考えられる。そこで、この試薬を使った金属イオンの系統分析法を試行したので紹介する。

チオアセトアミドを用いた金属イオンの系統分析法の一例

Ag^+	Cu^{2+}	Fe^{3+}	Zn^{2+}
---------------	------------------	------------------	------------------

(各0.1mol/l 等量混合物 10ml)

↓ HCl (6 mol/l) を約3滴加える。

→ AgCl (白色沈殿) をろ過

↓ H_2S の代わりに CH_3CSNH_2 (0.1 mol/l, 3 ml) を入れ沸騰水浴中で約10分間加熱。

→ CuS (黒色沈殿) をろ過

↓ 約5分間煮沸し H_2S を追い出す。(突沸に注意。ドラフト内で行い、酢酸鉛Ⅱ溶液紙で確認)

↓ 放冷後 3% H_2O_2 , NH_3 (6 mol/l) を適量加える。

→ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (赤褐色沈殿) をろ過

↓ CH_3CSNH_2 (0.1 mol/l) を約1ml加える。(お湯で加温すると早い。)

ZnS (白色沈殿) をろ過

* 金属沈殿や溶液は個々に回収し、

- ・可能な範囲で他の実験で利用する方法
- ・廃棄する場合は処理の方法

などを、発展的な生きた課題として生徒に考察させることも意味がある。

3 これらの取り組みの中で生徒がどう変化したか

実際は、筆者は提案例にある系統分析の実験を、授業での実験として実施した段階ではない。ところが、本レポートのために化学教室で実験していると、そのそばで自分たちの研究を進めていた理化部の生徒達が大いに興味を示してきた。

そこで、教科書の中にもまだまだグリーンケミストリーの観点から見れば、改良の余地のある実験があるかもしれないと生徒に伝えたところ、自分たちが検証して改善できる点を探し、自分たちで改良案をつくりたい。三国丘理化部製作の「高校化学実験書」がつくりたいと言い出した。

理化部のメンバーは2年が天文部掛け持ちの女子1名、後は化学未履修の1年男子6名である。この壮大な夢を実現するには少々力不足の感はある。

そこでとにかく、手元にあった新課程「化学Ⅰ」の数社の教科書見本を彼らに貸し与えた。

彼らは、最初から生徒実験をやってみて、気づいたこと、改善すべき点を探すことにした。

つまり、受け身の学習ではなく、自らが実践者となつての自発的な学習のスタートである。

学習とは入試のために教科書を学ぶこと、という意識から飛躍し、目的をはっきり持ち、主体的に学びを創造しはじめている点が重要ではないだろうか。

ここにグリーンケミストリーの実践を日々の教育活動の中にとり入れ、生徒とともに試行錯誤することの大きな意義を見出すものである。

生徒の実験例（実験メモの紹介）

3-1：硫黄の同素体の観察方法についての改善案

斜方硫黄の観察

*教科書実験の現状

A社 試薬の硫黄をそのまま観察

問題点

→ 結晶が小さく見づらい。
結晶がきれいな形ではない

B社 二硫化炭素に溶解し、再結晶させ観察。 → 二硫化炭素の毒性が問題

*改善案

硫黄の溶剤を変えてみよう。

*実験方法

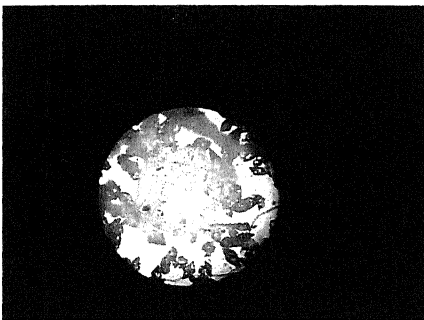
理化部の手に入る範囲でいろいろな溶剤を試行。

試した溶剤・・・シロヘキサン・トルエン・オクチルアルコール・イソamilアルコール・
メタノール・エタノール・水・塩酸・水酸化ナトリウム

*結果とまとめ

シロヘキサン・トルエン で硫黄が溶解したが、安全性の面からシロヘキサンを選択する。

具体的には、時計皿上で少量の硫黄をシロヘキサン 1ml 程度で溶解する。



シロヘキサン蒸発させると顕微鏡で70倍程度の倍率できれいな結晶が観察できる。

時計皿上で再結晶させることで、そのまま顕微鏡またはルーペの観察が可能である。

(顕微鏡観察の様子 70倍)

単斜硫黄・ゴム状硫黄の観察

*教科書の現状

観察後の単斜硫黄やゴム状硫黄は
どう扱えば良いのか。

問題点

→ 焼却処分には適さない。
酸性雨の原因物質二酸化硫黄のもとになる。

現実はそのまま廃棄されているのでは。

*改善案

調べると、斜方硫黄が最も安定な状態とある。再利用できないのか。

*実験方法

単斜硫黄は実験後すぐに、ゴム状硫黄も数日で完全に硬化する。



これを粉砕し材料にしても、ゴム状硫黄の実験は可能であった。

この時点では単斜硫黄の実験はできなかった。
また、シロヘキサンにもあまり溶けなかった。

さらにもっと放置すると、単斜硫黄の実験ができるまでになるか
調査を続行。

3-2：酸化還元滴定についての改良案作成の試み

*教科書の現状

過マンガン酸カリウムの滴定を
紹介する教科書が多い。

問題点

→ 過マンガン酸カリウムを使うことに是非。
廃棄処分法が面倒である。

*改善案

過酸化水素とヨウ化カリウムの反応で生じるヨウ素を、デンプン指示薬を用いてチオ硫酸ナトリウムとの反応で見るヨウ素滴定がよく問題集などに扱われている。

この方法のほうがより良いのでは。

*実験結果

せっかく消えたヨウ素デンプン反応の青色がしばらく振るとまたでてきてしまった。

硫酸酸性にするときのpH条件などが問題なのか。各反応物のちょうどよい濃度の設定にも苦勞。

過酸化水素の扱いづらさなど、研究の余地あり。だから教科書の実験になっていないのだろうか。

生徒の様子

3-1,3-2と生徒による実験メモを2つ紹介した。

3-1はうまくいった例である。

生徒は上機嫌でデジカメ撮影し、結果をまとめていた。このままいけば来年の発表会にいいレポートができるぞと息巻いていた。

そのほかにも、金属イオンの反応では、教科書によって少量化をうまく実践しているものがあること、実験後の廃液をうまく次の実験に利用しているものがあることなど、複数の教科書を見比べることでも、いぶん同じ目的の実験でも、違いがあることにも気づいている。

うまくまとめられていて、改善点が見つからない実験もよくある。そんな実験には、先人の工夫の跡を垣間見ることも多い。

実際、教科書の実験は実によく考えられたものが多いことにもあらためて気づかされる。

また、3-2のように問題集の問題文の数字をもとに実験してもうまくいかないという経験もした。

しかし、化学をまだ系統立てて学習していない段階の生徒階でも、目的がはっきりしていると教科書や資料集、問題集など手に入る学習材料だけでもずいぶん深い学習ができるものだと感心する。

彼らは、そんな苦勞をしながら格闘しているが、来年度には何らかの中間報告的なまとめをつくりたい、途中経過であっても本校生の枠を越えて、他校の高校生や中学生にも報告をしたいと考えている。

4 今後の課題

- (1) より安全な実験計画を考える。
- (2) 使用後の薬品を計画的にリサイクルする実験を計画する。
- (3) 生徒が廃棄物を可能な範囲で処理するまでを実験の計画に入れる。
- (4) 上記(1)(2)(3)の立案には、生徒の主体的な参加を促す。
- (5) より良い触媒の研究開発とその利用。
- (6) 教育実践や研究成果を積極的に公表し、意見交換を図り、全体のものとする中でグリーンケミストリーの実効を高める。
- (7) 将来的には使う試薬にグリーンケミストリー的な客観評価がなされること。

試薬そのものの毒性・危険性、その試薬の製造過程からの評価、原材料からの評価製品化するために必要なエネルギー面からの評価等が誰にでも判る表示で示され、その試薬を使うことの是非が判断できるようになることが望ましい。

- 参考文献 (1)「グリーンケミストリー」P.T.Anastas,J.C.Warner著/日本化学会訳編(丸善)
- (2)「環境と化学」柘植・荻野・竹内編(東京化学同人)
 - (3)「東京都理科教育研究会冊子」2002
 - (4)「実験で学ぶ化学の世界4」日本化学会編(丸善)
 - (5)「高等学校 化学I」新課程用採用見本(三省堂・数研出版・啓林館・第一学習社)

なお本研究の一部は、

研究代表者 松原静郎

平成14年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)課題番号14380066

「グリーンケミストリー教材の開発と、

それを使つての意思決定能力育成に関する調査研究」によるものである。

アルミナ触媒反応実験に対する生徒の評価

生徒に内在するグリーンケミストリーの視点

臼井豊和

1. 目的

本研究は、グリーンケミストリーについて何も学んだことがない生徒が、グリーンケミストリーの視点をもっているのかいないのかを調査することにある。

グリーンケミストリーの12箇条として、「廃棄物は“出してから処理”ではなく出さない」、「できるかぎり触媒反応をめざす」、「化学事故につながりにくい物質を使う」などが上げられている¹⁾。エチレンの合成実験の場合には、教科書に記載されている濃硫酸を触媒とした方法に比べ、活性アルミナ（以下、単にアルミナとする）を触媒とした方法²⁾の方が、薬品の安全性や廃棄物の量などの点でグリーンケミストリーの観点により適合していると考えられる。そこで、アルミナ触媒によるエチレンの合成実験を生徒に行わせた後、濃硫酸触媒による方法と比較させ、グリーンケミストリーについて何も学んでいない生徒がグリーンケミストリーの視点をもっているのかいないのかを調査した。

2. 調査の方法

2002年10月7日に、3年生化学Ⅱ選択者（36名）を対象として「エチレンとアセチレン」の実験を行い、その中の操作Aとして「アルミナ触媒を使ったエチレンの合成²⁾」を行った（図1）。操作Aの方法で実験を行った後、濃硫酸を使った方法に比べて優れている点を問いの形式で記述させた（図2）。なお、濃硫酸を使った方法の図には、比較し

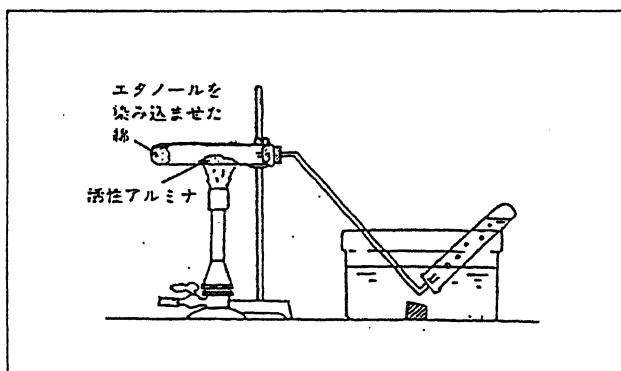


図1 操作Aとして実際に行った方法

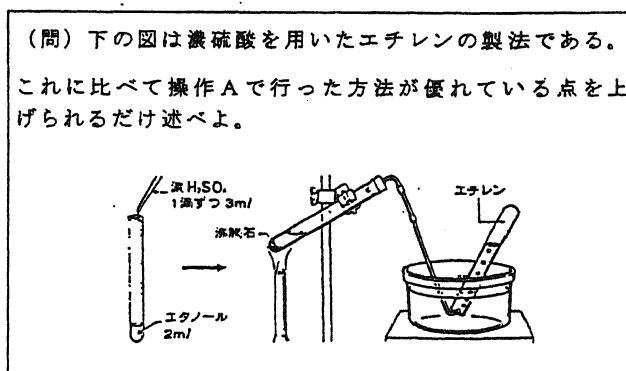


図2 問いとして示した方法

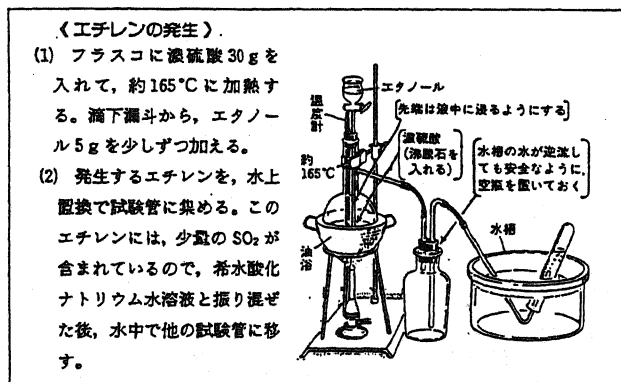


図3 教科書に記されている方法

やすくするために古い教科書³⁾に記されている簡便な装置の図を用いた。今回、この実験は実際には行っていない。また、生徒が使用している教科書には濃硫酸を使用した一般的な装置を使った方法⁴⁾が示されている(図3)。

3. 結果と考察

生徒が問いの答として記述した内容(アルミナ触媒を使った方法が濃硫酸を使った方法に比べて優れている点)は、次のように分類できた(表1)。

表1 アルミナ触媒を使った方法と濃硫酸を使った方法の比較 (n=36)

アルミナ触媒を使った方法が優れている点	のべ人数	割合(%)
○アルミナが再利用できる。	12	33
○副生成物(ジエチルエーテル)が少ない(温度コントロールに気を遣わなくてよい)。	12	33
○濃硫酸を扱わないですむ。	9	25
○反応がはやい(高温で実験できる)。	7	19
○突沸に気を付けなくてもよい(沸騰石がいらない)。	4	11
○SO ₂ が生じない(教科書の図を参考)。	3	8
○逆反応が起こりにくい(触媒が水で薄まらない)。	3	8
○準備が簡単。	3	8
○エタノールの反応量がわかりやすい。	1	3
○安全である。	1	3
○熱するまで反応しない。	1	3
○コストがかからない。	1	3
○変色するのでエタノールの反応がはっきり確認できる。	1	3
○装置が簡単(教科書の図を参考)。	1	3

アルミナと濃硫酸は、ともにアルコールの脱水反応において触媒としてはたらくが、生徒実験の場合には、濃硫酸は最終的に廃棄しなければならない。アルミナの場合には、使用回数が増すとタール状の副生成物が生じるが、数回の使用は可能であり、また、加熱により再生させることができる。これらのことは、生徒に説明していないものの、実験操作の中に「アルミナは再利用できるので回収する」という記述があるので、これを受けて濃硫酸は再利用できないだろうと考えた生徒(操作Aの方が優れている理由として「アルミナが再利用できる」と答えた生徒)が33%いた。

また、アルミナ触媒反応における副生成物の存在については定かではないが、濃硫酸を触媒とした場合には130～140℃でジエチルエーテルが生じるという知識があるため、アルミナ触媒の場合には副生成物が少ない、温度コントロールに気を遣わなくてよいと答えた生徒が33%いた。なお、教科書の知識から、SO₂が生じないことを答えた生徒も、さらに8%いた。劇薬である濃硫酸を使用しないですむことを答えた生徒は25%、突沸に気を付けなくてよい(沸騰石がいらない)と答えた生徒は11%であった。

これらの結果から、グリーンケミストリーについて何も学んでいなくても、グリーンケミストリー的な視点のある程度持ち合わせている生徒が少なからず存在することがわかった。

文献

- 1) 日本化学会, 「グリーンケミストリー」, 丸善(1999).
- 2) 日本化学会 編, 「実験で学ぶ化学の世界3」, 丸善(1996), pp. 5 - 8.
- 3) 長倉三郎, 渡辺啓ほか, 「改訂 化学」, 東京書籍(1993), p.296.
- 4) 小林正光, 野村祐次郎ほか, 「改訂版 高等学校化学I B」, 数研出版(1997), p.237.

エチレンとアセチレン結果 (2002. 10. 7 実施)

再：アルミナが再利用できる。

副：副生成物（ジエチルエーテル）が少ない（温度コントロールに気を遣わなくてよい）。

濃：濃硫酸を扱わないですむ。

早：反応がはやい（高温で実験できる）。

突：突沸に気を付けなくてもよい（沸騰石がいらない）。

S：SO₂が生じない（教科書の図を参考）。

他：その他

番号	問の答え	再	副	濃	早	突	S	他
A03	濃硫酸を扱わないですみ、エタノールの反応がわかりやすい。			○				
A19	劇薬である濃硫酸を扱わないですむ。エタノールがどれだけ反応したか見た目で見やすい。			○				
A25	アルミナの方が扱いやすく安全である。濃硫酸の場合、温度が低いとジエチルエーテルが出てきてしまうが、アルミナは高い温度でないと反応しないため、エチレンができる確率が高い。		○					
A33	濃硫酸を使わなくてもよい。変色するので、エタノールの反応がはっきり確認できる。			○				
B12	操作 A は濃硫酸を用いる製法に比べアルミナを再利用できる。濃硫酸を用いるとき、160 ~ 180 °C に保たねばならず、130 °C くらいまで温度が下がるとジエチルエーテルが発生するので、温度に気を遣わなければならない。	○	○					
B13	下の実験法に比べ、不純物（ジエチルエーテル）が発生しにくい。エチレンを得やすい。		○					
B27	アルミナが再利用できる。A の方は沸騰しない。	○				○		
B35	Al ₂ O ₃ は液体ではないのでエタノールと混ぜる必要がなく、手際良く実験できる。Al ₂ O ₃ は融点が非常に高いので溶けることがなく、容易に気体を集めることができる。							○
B36	活性アルミナを再利用できること。	○						
C07	濃硫酸を使わないので安全。			○				
C10	入れたらすぐ気体をとれる。							○
C16	入れたらすぐ気体をとれる。							○
C23	アルミナが再利用できる。エチレンだけが得られる（ジエチルエーテルが混じらない）。	○	○					
C24	アルミナが再利用できる。	○						
C26	アルミナは再利用できるので、むだがない。濃硫酸はあぶない。温度調節がむずかしい。	○	○	○				
C27	エチレンは C ₂ H ₅ OH → C ₂ H ₄ + H ₂ O の反応により生じるため、水ができる。濃硫酸を用いると H ₂ O により液がうすくなってしまい反応速度が遅くなるが、操作 A ではうすくなることのない。							○
C31	反応が進むにつれて水がふえるので、硫酸の濃度が下がってしまうが、A は水の量と無関係に反応が進む。A はエタノールの気体が直接反応するから、A でない方に比べて温度が上がりにくい。反応がおこりやすい。A でない方は、温度によっては、2 分子間で脱水が起こることもあるが、A は触媒が違うから起こらない。		○		○			○
D01	3C ₂ H ₅ OH + Al ₂ O ₃ → 2Al(OH) ₃ + 3C ₂ H ₄ 水ができない。手についても濃硫酸より安心。濃硫酸の場合、130 ~ 140 °C では分子間脱水によりジエチルエーテルが生成され、160 ~ 180 °C で分子内脱水によりエチレンが生成されるため、温度調節が必要。（ジエチルエーテルも生成される可能性あり?）。		○	○				○
D07	エタノールと硫酸を混ぜると反応が始まってしまうのに対し、熱するまで反応しないという点で優れている。							○
D08	こんな大それた道具を使わなくてもできるから。							○
D09	時間がかからないと思う。				○			
D13	アルミナの融点が非常に高いため、硫酸を用いた製法よりも高い温度に耐える。触媒とエタノールが別々なので、純粋にエチレンのみを集めることができる。アルミナは再利用することができる。	○	○		○			
D14	試験管を横に倒すことによってアルミナをまんべんなく熱せて、反応を早く進めることができる。				○			
D21	A の方がエタノールと触媒が混ざりにくいので、検出しやすい。H ₂ SO ₄ も一緒に気体として出てきてしまうかもしれないので、その場合、出てきた気体を分ける手間がかかる。沸騰石を入れなければならない（A よりあぶない）。					○		
D27	SO ₂ ができるから。						○	
D35	濃硫酸は 160 °C 以上の温度まで反応温度を高めるために使うが、活性アルミナなら融点 2054 °C で耐熱材にも使われるほどなので、よりはやくエチレンが集められる。よくわかりませんでした。				○			

番号	問の答え	再	副	濃	早	突	S	他
E13	H ₂ SO ₄ は扱いが危険だ。沸騰石分コストがかかるはず。反応速度が速いはずだ。アルミナ再利用可⇒自然にやさしい。	○		○	○			○
E14	アルミナの再利用で、地球にやさしい。触媒（酸化アルミナ）を使っているから、エネルギーが少なくすむ。温度調節が簡単。	○	○					
E23	濃硫酸を使わなくてすむ。（危険がへる！）			○				
E33	突沸がない。強酸を使ってない。			○		○		
E38	濃硫酸を用いた場合、ジエチルエーテルができてしまうかもしれないが、操作 A の方法だと、エタノールの中の C は全てエチレンになる。温度をそんなに上げなくても反応する。沸騰石を使わなくてよい。		○			○		
F11	濃硫酸を用いると集めた気体の中に SO ₂ が混ざるのに対し、A の方法で集めた気体の方がエチレンの純度が高い。						○	
F13	この方法は触媒として H ₂ SO ₄ を使うが、操作 A の方は Al ₂ O ₃ を使っていて、これは内部まで酸化されず、再利用できるので得。	○						
F15	下図のときでは温度（エチレンのとき 160 ~ 170 °C）を気にする必要があるが、A ではその必要がない。		○					
F29	この製法では少量の SO ₂ が含まれるが、操作 A では純粋なエチレンが集められる。						○	
F33	活性アルミナ（水分を吸着除去する）を使うことで、より早く気体を得られる。アルミナは再利用できる。	○			○			

環境問題を理解するための授業実践

－実験後の廃液処理方法について－

大阪府立天王寺高等学校 高野 裕恵

1 はじめに

数年前に勤務した高等学校で環境問題を中心に据えた化学の授業を一年間行った。物質について生徒の理解を深めるための目的で公害の歴史から汚染物質の測定なども含めて、年間授業計画を組み立てた。そして、一年を通して講義や実験の中に環境問題を取り入れた。そのころの大学入試は、小論文のテーマに「環境」が取り上げられることが多かったため、その授業は受験生からも好評であった。授業を受けた生徒達は、現在環境問題に対してどのように対峙しているのだろうか。いまでも環境問題を常に頭に置いた生活をしているのだろうか。できれば現在の意識調査を試みたいと考えている。

加えて最近、環境・環境と声高にいわずとも、環境にやさしい生活を普段から自然にできるような教育を、授業の中に組み込むことができないだろうかと考えるようになった。

授業中に環境に関わる物質の話題を取り上げたり、実験時に生成される物質についての廃棄の仕方を啓蒙したりすることで、生徒が自然と環境に留意できるようになるのではないかと。現在の勤務校で行っている実験時の薬品の廃棄の方法を考察し、これからの指導の参考としたい。

2 学校での環境教育（化学の授業において）

インターネットで見た毎日新聞（2000年9月16日静岡版）に「環境汚染をしているのは教育関係だ」とのコラムがあった。学校の化学実験で使う薬品を未処理のまま下水道に垂れ流しをしているとの指摘である。最近の学校での環境教育への取り組みは積極的であるが、地球温暖化、オゾン層破壊、リサイクル、ゴミ問題、省エネルギーなど、どれ一つとっても子ども達が解決できるものではない。環境教育を掲げながら、一方で環境への配慮を欠いた教育を続けるのはどうかという意見であった。

確かに使用した薬品の管理は難しい。筆者がつとめた学校の中にも廃液・廃棄物処理を完全には行っていない学校が確かにあった。それは、化学の担当教師が日頃から環境問題に対してどのような考えを持っているかによる。

学校の化学実験において環境への負荷をできるだけ軽減する方法としては、①実験に使う薬品の量を減らす、②危険な薬品は使わないようにする、③廃液・廃棄物について後処理を必ず行うなどである。このうち、①については、マイクロスケールの実験が最近話題になってきた。しかし実験のすべてがマイクロスケールというわけにもいかない。②については、実験方法を工夫することである程度可能である。しかし、マイクロスケールで実験をしたとしても、また、薬品の種類を変えたとしても、廃液・廃棄物はごく少量でも出る。だから③について、わずかな量の薬品であっても、安易に自然環境に放出せず、実験の都度、生徒に処理方法を説明していく。それによって、生徒の環境への関心を積み上げ

ていく。また、自然環境への負荷をできるだけ少なくするためには、普段から物質の正しい知識と環境への関心を生徒に持たせることが重要である。

3 学校の化学実験での廃棄物・廃液の後処理について

高等学校化学 I B の教科書に記載されている廃液や有毒ガスの処理は次の通りである。

東京書籍；有毒ガス・廃液の扱いを表記。『実験で排出される有毒または、悪臭のある気体を多量に発生させる場合にはドラフト中で扱う。室内にもれたときは窓を開け、場合によっては、室外に出る。』『水銀、カドミウム、銅、鉛、クロム、マンガンなどの貴金属イオンを含む溶液は有毒なので流しに捨てず、指導者の指示に従い廃液だめに捨てる。』

数研出版；東京書籍とほぼ変わらず。廃液の記載は『酸・塩基の水溶液は中和して下水に流す』の記載のみ。

実教出版；有害イオンと強酸・強塩基で記載。内容は東京書籍と変わらず。

三省堂；一番詳細に表記。まず、廃棄物に関する注意が記載されており、生徒への啓蒙、環境への配慮が見られる。

三省堂「化学 I B」に記載されている廃棄物処理の表記

実験で生じた廃棄物の処理法

化学の実験では、危険な薬品や有害な物質を使うことが多い。実験で不用になった物質は廃棄することになるが、その場合、自然環境や生活環境を汚染しないように、十分な注意を払わなければならない。

1. 廃棄物が不必要に増加することをできるだけ避けるように心がける。
2. 回収し、再利用することを心がける。
3. 有害物質を含む廃棄物どうしをむやみに混合せず、それぞれについて分別処理することを基本とする。
4. 有害無機物は、固体（沈殿など）として回収処理することを基本とする。回収処理後に残る水溶液（ろ液など）にも、微量の有害無機物が含まれることがあるので、放流する場合は十分に希釈する（その場合の希釈度は、その物質の海水中の濃度に近づけることを目標とする）
5. 可燃性有機物は回収・保管する。液体はできるだけ種類別に分け回収・保管し、専門業者に廃棄を依頼する。

この教科書の実験で生じるおもな廃棄物の処理法

廃棄物の内容	処理法の指針
硫黄粉末, Cu, Ag などの非金属および金属単体	回収保管または再利用
HCl, LiOH, NaOH, KOH 各水溶液, CH ₃ COOH, H ₂ SO ₄	中和後希釈放流
FeCl ₃ 飽和水溶液, CuSO ₄ , AgNO ₃ , ZnSO ₄ , FeSO ₄ , (CH ₃ COO) ₂ Pb, K ₄ [Fe(CN) ₆], K ₃ [Fe(CN) ₆] などの廃液	重金属イオンは沈殿回収する。 その滲液は希釈放流
KIO ₃ , NaHSO ₃ , デンブレン混合水溶液, KNO ₃ , KSCN, さらし粉などの廃液	希釈放流
イソアミルアルコール, サリチル酸メチル, アゾ染料, ポリエステル, ナイロンなど	回収保管
K ₂ CrO ₄ , KMnO ₄ の水溶液	Na ₂ SO ₃ 水溶液などにより還元した後, 重金属イオンと同様な処理をする

学校での実験にともなう廃棄物・廃液処理については、文部省の「高等学校の実験実習に伴う排水・廃棄物の処理に関する手引き」があるが、これを埼玉県高等学校理化研究会がまとめた「実験準備ガイドブックー化学編ー」に丁寧に記載されている。

一部要約して紹介する。

・廃棄物の保管

- ① 一般的注意…有害なものとの分別、濃縮減量
- ② 保管場所…冷暗所、ドラフト、換気扇付き薬品庫
- ③ 貯蔵の際の分別…廃液の分類、貯留に際しての注意点

・廃液処理の基礎知識

- ① 処理しなければいけない廃液の最低濃度
- ② 廃棄物処理操作上の一般的注意事項
- ③ 混合してはならない廃液

・廃液の処理方法 ① 処理方法…無機物質・有機物質 ② 廃棄業者について

・規制対象となる排ガスについて ①有害物質 ②特定物質 ③悪臭物質

その他、京都高等学校理化教育研究会連絡協議会実習助手部会の「理化実験ハンドブック」、化学同人の「実験を安全におこなうために」、大日本図書「実験室・廃棄物の処理」、講談社「化学実験事典」に学校での実験による廃棄物の処理方法が記載されている。

4 学校での実践と生徒のようす

現在、筆者が勤務している学校は2校（非常勤講師）ある。一つは私立の中学校高等学校で六年一貫教育を行う女子校、もう一つは大阪府の府立高校である。今年度は、どちらも化学 I B を最初から始め、実験は10回程度（私立）行っている。廃棄物・廃液処理につ

いては、私立校では、危険物有害物質をほとんど取り扱わなかった。また、銅イオンや鉄イオンを含むものについては廃液タンクに貯留している。府立高校では、実験ごとに生徒に指示をして廃棄物処理をさせている。生徒は実験上の操作としてとらえ、そのため特別な感想はもっていない。これまでの廃棄物処理について、主なものを次に記す。

実験	使用・生成した危険物質	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水溶液と反応させ、中和して放流。
	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水溶液で中和させて水道で放流。すべてドラフト内で行う。
	濃硫酸	硝酸と同様炭酸水素ナトリウム水溶液で中和させる。

また、筆者が今まで勤務した他の学校での有機物実験の廃棄物処理は、貯留→放置濃縮→固化させて廃棄のパターンが多かった。

以前、環境問題をテーマにして化学の授業を取り扱ったときに、「廃棄物処理について」生徒の方から「環境浄化に関わる廃棄を考えているのか」との質問が出たこともある。当たり前のようにして自然に廃棄の仕方を身に付けさせるか、環境を意識して廃棄させるか、筆者はこれからの学校の実験では、意識させる方がよいと考えている。

5 まとめ

筆者は、授業中に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って見ること「物質をよく理解するためには」必要ではないかと考えている。物質の反応過程の中で無駄なものが出てくることを知るのも教育の一環として重要であるからだ。それは、学校での実験だからこそできる。工業的に大量に有害物質がつけられるのではなく、汚染物質がどのようにしてつけられるかを理解するために最小限の量で実験することは、教育の一貫としてできることである。生徒に、環境に負荷を与えるような物質をつくらないためにはどうすればよいかを考えさせる。実験で出てくる廃液・廃棄物の後処理をすることが当前と認識させる。そのために生徒には、実験の都度、実験からの廃棄物について説明を加え、環境への啓蒙をしておく。そのような授業を繰り返し行うことで、生徒に地球環境を大切にす姿勢を自然に身に付けさせることができるのではないかと考えている。

まだまだ、生徒への啓蒙もこれからの課題で、実験・廃棄物処理を化学の授業の中に組み入れて、生徒の変化をみていきたい。

大阪府立平野高等学校
教諭 藤原 大

1. はじめに

大阪府立平野高等学校は、昭和55年（1980年）に創立された、今年度23年目を迎える、比較的新しい学校である。平成7年（1995年）に環境コース・人間専門コースが設置され、文系進学コース・総合コースの4つのコースが2年次よりクラス編成されている。環境コースでは校内にあった千坪ほどの池を半分ほど埋め立てて、新しく「ビオトープ」として創造したり、埋め立て地を利用し地域の人の支援を受けながら無農薬野菜を栽培したりしている。また、危険物取扱者の資格取得を目指した勉強もしている。環境コースのカリキュラムは2年次において「環境科学」として2単位、3年次には「環境科学」として4単位あり、その4単位を「水質大気研究」と「太陽エネルギー研究」に分けて構成していることが特徴としてあげられる。本実践報告は環境コースにおける「水質大気研究」という授業の中で、「グリーンケミストリー」を紹介したものである。



造成中のビオトープ

2. 授業内容

①地球の水

太陽系の惑星の中で地球だけに豊富に「水」が存在している。金星、火星と地球を比較してみると大気圧・表面温度・大気組成などが大きく異なっている。このことから地球だけに液体の水の存在が可能であるということ。地球上には海、川、氷河などいろいろなところに水があるが、人間が利用できる水は地球上の水のごくわずかでしかないこと。また、地球上の水の循環について、人間が汚した水が結局は人間の健康などに影響するという事など。

②おいしい水とは？

普段何気なく飲んでいる「水」について、どのような基準があるかを知るために7つのサンプル（水道水、浄水器を通した水道水、ミネラルウォーター、雨水、校内池の水、琵琶湖の水、石川上流の水）を用意し、それぞれについて i) COD、ii) 残留塩素、iii) pHについてパックテストを用いて調べる。その後、水道水質基準46項目を紹介し、人間が水をおいしく感じる条件を提示。

③COD（化学的酸素要求量）

前回のパックテストで用いたCODを理解するために、BOD（生物化学的酸素要求量）とともに汚れの目安として考えられること。イワナなどが生息するきれいな水、河川下流、下水、米のとぎ汁、みそ汁などのCODがどれくらいかを説明。また、過マンガン酸カリウムを用いていることを解説。

④過マンガン酸カリウムとは？ [実験①]

汚れていないきれいな水と有機物を含む汚れた水に、酸性にした過マンガン酸カリウム水溶液を加える。汚れた水では過マンガン酸カリウム水溶液の紫色を消すことを確認させる。また、家庭から出る排水がどの程度の汚れかを確認するために、過マンガン酸カリウム水溶液を入れた試験管にごはん、牛乳、合成洗剤などを入れ、各試験管の色の変化を観察する。

【実験1】

沸騰した汚れた水ときれいな水に対して、硫酸を加え酸性にし、両方に KMnO_4 水溶液をピペットから1滴ずつ加えるとどんな変化が見られるだろうか？

【実験2】

- ① 0.001 モル/リットル KMnO_4 水溶液 100 ml に 6 モル/リットル H_2SO_4 を 3 ml 加えて酸性にし、5本の試験管に 3 ml ずつ入れる。
- ② ①で用意した試験管に、5種類の試料を少しずつ入れる。
- ③ ビーカーにお湯を沸かしておき、各試験管をその中で加熱する。

⑤ビデオ学習

ブラジルのある川では合成洗剤の影響で川に泡が発生し、悪臭を放っている。子供が家で魚を飼うとき水槽に泡を浮かべる、というエピソードなども紹介。また、同じ川の下流に行くと、周辺からの水が大量に流れ込む影響で、水が見違えるほどきれいになっている。(テレビ朝日「素敵な宇宙船地球号」で放映された。)

ビデオを見た後で感想、水を汚さないために何ができるかなどを書かせた。

⑥廃油からのローソク作り [実験②]

家庭における廃棄物をそのまま捨てず、再利用できることを紹介。廃油をクレヨンで色をつけ油凝固剤を使って固めて作る。

【手順】

- ①電気鍋で油を80℃くらいに加熱する。
- ②ロウを溶かし、芯にするたこ糸にしみ込ませておく。
- ③削っておいた好みの色のクレヨンと廃油処理剤を紙コップに入れ、さらに加熱して油を入れてかき混ぜる。
- ④マドレーヌ用型に③を流し込む。
- ⑤芯にするたこ糸を④の中心にたて、固まるまで待つ。

⑦水道水の処理

ビデオ学習の後を受けて、例えば使用済み油やみそ汁をそのまま川に流した場合、魚がすめる水質にするために必要な水量はどれくらいか、人間が飲み水としている水道水は浄水場でどのような処理しているか。日本では1920年代から塩素を使用しているが、そのメリット・デメリットなどを紹介。

⑧トリハロメタンの危険性

トリハロメタンとはどのような物質か、脂肪に溶けやすく体内に蓄積すること。発ガン性や催奇性、その他の危険性についても指摘されていること。飲み水だけでなく、プール、池、噴水などでもトリハロメタンの発生がみられることなどを説明。

⑨「グリーンケミストリー」とは？

「グリーンケミストリー12箇条」を紹介し、アメリカからしだいに広がりつつあることなどを説明。

⑩塩素処理から高度浄水処理へ

人体に有害なトリハロメタンを発生させないよう大阪府では高度浄水処理に切り替わったこと。高度浄水処理は従来の浄水法に加えて生物処理・オゾン処理・粒状活性炭処理を行っていることやそれぞれの処理の効果などについて説明。

⑪炭（活性炭）の効果 [実験③]

高度浄水処理において粒状活性炭処理が取り入れられているが、その効果を知るための実験を実施した。内容は、割りばしを試験管内で木炭にすることで炭の作り方を示し、次に粉末活性炭を使ってコーラをろ過するというもの。黒いコーラがろ過された後には無色透明になっているので生徒は活性炭により色の成分が吸着されたことがたやすく理解できる。

【実験1】わりばし木炭を作ろう！

【手順】・わりばしを三分して試験管に入れ、ガスバーナーで加熱。
・しばらくすると煙と液体（木酢液）が出てくる。
・ガラス管の先にマッチの火を近づけてみよう。すると・・・。

【実験2】コーラの成分を活性炭に吸着させよう！

【手順】・活性炭の入ったビーカーにコーラを注ぎかき混ぜる。
・漏斗（ろうと）にろ紙をセットする。
・ろ紙の上にコーラを含ませた活性炭を入れてろ過する。

【結果】・漏斗から出てきたコーラの色は？（ ）
・味は元のコーラと比べて？（ ）

⑫アンケート実施

人間にとって水は…、家庭の生活排水は…、使用済みの油は…、グリーンケミストリーは…などに続けて文章を書かせたり、グリーンケミストリーの考えを学んで意識や行動に変化した点について書かせたもの。

3. 生徒の反応

アンケート結果より

☆グリーンケミストリーは（以下に文章をつづけて書かせたもの）

- ・ゴミをできるだけ出さない。（複数）
- ・まったく普通のことを書いてる。
- ・できる限り一人一人が協力して環境をより良くしようとする事。（理想論だが時と場合によっては机上の空論となる恐れがある。）
- ・少しでもより良い環境にしようとする努力すること。

- ・簡単にまとめると、ゴミを出さない、有害物質をできるだけ出さない、エネルギーのむだ使用をやめること。
- ・地球によいことをすること。
- ・地球にやさしいこと。(複数)
- ・もっと多くの人に知ってもらうことが必要。知らない人が多いかもしれないのに「グリーンケミストリー」を実際にはできない。
- ・生物を守るための12箇条であり、環境を守るためにもっとしていかねばならないものである。
- ・大切な考えだと思うけど、ちょっとくらい‘いい’と思ってしまうからなかなかできない。
- ・生物を守るための12箇条である。

☆「グリーンケミストリー」の考えを学んで、あなたの意識や行動において変化した点について書きなさい。

- ・なるべくストーブをつけないようになった。
- ・別に普段からほとんど実践しているので変化ない。(複数)
- ・風呂や洗顔の時に、水を出しっぱなしにせず止めるようになった。また、あまりゴミを出さないように努力している。
- ・特にはないが、全般的にむだ水を使わないようになった。
- ・ゴミの分別をすること。
- ・エアコンの設定温度を決めている。シャワーの水量を必要以上に多く使わないように気をつけている。
- ・電気、水、紙などのむだ使用をしないよう心がけている。
- ・今まで以上に水を節約するようになった。
- ・洗剤を少しだけにしたり、お風呂のお湯を洗濯に使うようになった。
- ・卵の殻は薄膜を取ってカルシウム剤としてカメにあげるようにしている。(スーパーなどで食品の入っている)プラスチックトレイをリサイクルに出すようになったため、ゴミの量が減った。
- ・油を何も思わず流しから捨てていたけど、その水をきれいにするのに風呂おけ330杯分もの水が必要と知ってから、捨てないようにしている。
- ・天ぷらをしたあとは、油凝固剤を使って捨てるようになった。
- ・環境のことをもっと考えないといけないと思った。
- ・これから、エネルギーのむだ使用やゴミをできるだけ出さないようにしたいと思う。

4. まとめ

今回、水道水の浄化に伴うトリハロメタン発生について発ガン性が指摘されていることから、高度浄水処理に転換されてきていることを題材にして、グリーンケミストリー12箇条を授業の中で紹介した。

グリーンケミストリー12箇条の中には一般の高校生には難解なものがあるので、「ゴミをできるだけ少なくしたり、エネルギーのむだ使いをやめようとする……」などのかみ砕いて伝えと、生徒は人間や地球にとって大切な考えであることを理解できるように思われる。人間にとって大切な「水」に関する内容であったからか、生徒も興味を持って取り組んでいたように思われる。また、アンケート結果を見ても大部分の生徒が授業後、環境に与える影響を考えるようになったことがうかがえる。今後、グリーンケミストリーを高校生に普及させていくためには、日常生活に関わりのある身近なものを取り上げ、実践可能な具体例を示すことが大切だと考える。

(参 考)

杉原先生の理科室 <http://web.kyoto-inet.or.jp/people/sugicom/kazuo/neta/rika.html>

高度浄水処理水について <http://www.pref.osaka.jp/osaka-pref/suido/suisitsu/newkoudo.html>

水の話 <http://www.wamy.hi-ho.ne.jp/t-kurihara/index.htm>

水の科学エッセイ <http://www005.upp.so-net.ne.jp/wanatra/waterSessey.html>

やってみようなんでも実験 <http://www.tomio-hs.nara.nara.jp/butsuri/nandemo/kagakuindex.htm>

化学 I A 実験書 大阪府高等学校理化教育研究会

毒物・危険物・公害物質 毒性一覧(試案)

清田三郎

物質名	化学式	発生・使用場所	毒性・被害・公害	ランク
プルトニウム	Pu	原子炉	放射能(肺癌等)	A
ウラン235	U	原子炉、核燃料製造	放射能、核分裂	A
水銀	Hg	殺菌、触媒等の工業・アマルガム	水俣病、五大湖の汚染	A
カドミウム	Cd	鋳工業(鋳業廃水)(亜鉛製錬)	イタイイタイ病、腎障害	A
ヒ素	As	鋳工業	森永ヒ素ミルク、土呂久鋳山	A
鉛	Pb	車(有鉛ガソリン)、工業用鉛含有ペイント	鉛中毒、腎障害、神経障害	B
クロム	Cr	メッキ、ステンレス工業、顔料	発癌性、鼻中隔	B
銅	Cu	鋳工業	水産業、ハドソン川汚染	C
亜鉛	Zn	鋳工業、メッキ	ハドソン川汚染	C
スズ	Sn	鋳工業、船底塗料、漁網防汚剤	海洋汚染、内分泌かく乱(有機スズ)	C
ベリリウム	Be	発電(石炭燃料)、金属工業	肺炎、発癌性	B
ホスゲン	COCl ₂	有機化学工業、化学兵器(ウレタン)	肺浮腫	A
二酸化窒素	NO ₂	自動車、発電、化学工業	肺・気管支炎、酸性雨、喘息	A
二酸化硫黄	SO ₂	自動車、発電(火力)、鋳工業	肺・気管支炎、酸性雨、喘息	A
塩素	Cl ₂	消毒(プール・水道)	呼吸障害、酸化による害	A
シアン化水素	HCN	メッキ、化学工業	呼吸困難	A
塩化水素	HCl	ソーダ工業(昔)、化学工業・製菓業	粘膜刺激	A
一酸化炭素	CO	火災、製鉄業、自動車	一酸化炭素中毒	A
オゾン	O ₃	NO ₂ +hy→NO+O O ₂ +O ₆ O ₃	呼吸障害、酸化による害	A
一酸化窒素	NO	自動車、発電(火力)	呼吸障害	B
フッ素	F ₂	石炭燃焼(発電)、化学工業	呼吸障害、酸化による発癌性	A
フッ化水素	HF	化学工業	粘膜腐食	A
ベンゼン	C ₆ H ₆	自動車、化学工業	発癌性、骨髄に毒性	A
エチレン	C ₂ H ₄	自動車、石油化学工業	植物の生育制御、果実の熟成を早める	B
フロン	CFCl ₃ , CF ₂ Cl ₂	自動車、冷蔵庫等のクーラー冷媒、洗浄剤	オゾン層破壊、温室効果	B
メタン	CH ₄	沼・水田の植物の腐敗、凍土の融解	温室効果	B
二酸化炭素	CO ₂	自動車、火力発電	温室効果	C
アンモニア	NH ₃	化学工業(肥料)	刺激臭、粘膜	B
ホスフィン	PH ₃	化学工業	P ₂ H ₄ 、P ₄ と共存で自然発火、毒性強い	A

毒物・危険物・公害物質 毒性一覧(試案、続き)

物質名	化学式	発生・使用場所	毒性・被害・公害	ランク
リン酸アンモニウム	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$	化学工業(肥料)	富栄養化	C
亜硫酸	H_2SO_3	自動車・発電(火力)	酸性雨	B
亜硝酸	HNO_2	自動車・発電(火力)・発色剤	酸性雨	B
次亜塩素酸	HClO	漂白剤・殺菌	酸化作用で火傷、強い酸で塩素発生	A
亜塩素酸	HClO_2	漂白剤・殺菌	酸化作用で火傷、強い酸で塩素発生	A
塩素酸	HClO_3	漂白・殺菌・爆発物	強い酸化力を持つ	A
過塩素酸	HClO_4	殺菌・爆発物	強い酸であり、酸化力も強い。	A
硫化水銀	HgS	顔料(朱)	水銀中毒	A

IV. 中学校実験教材

生徒から見た実験教材の長所と短所—中学校の熱分解の
学習を例に— (宮内卓也) 120

酸、アルカリの学習におけるアサガオに含まれる天然
色素の教材化 (重藤英一) 124

生徒から見た実験教材の長所と短所

～中学校の熱分解の学習を例に～

宮内卓也

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おり、基本的な取り扱いについて指導する程度で十分である。中学生の実態や義務教育であるということを考えれば賢明であるが、実験を通して有害物質について考える機会は無と云ってよい。「科学技術と人間」の単元では有害物質についてふれることはあるが、トピックとして取り上げる程度である。

理科の教員は生徒実験の指導計画を検討する場合、さまざまな条件を勘案しながら、内容を検討している。例えば、「化学変化と原子、分子」の単元の場合、学習指導要領では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。教科書出版会社5社でとりあげている熱分解の実験を調べてみると、4社が炭酸水素ナトリウムの分解、1社が酸化銀の分解を取り上げている。図示実験やグラビアページではその他の分解も紹介しているが、生徒実験として何を取り上げるかということについては、各社の判断がうかがわれる。

そこで、本実践では、熱分解の学習がひと通り終わった後、生徒自身に熱分解を学ぶための生徒実験の教材としてどの方法が適切であるかを考えさせ、アンケート形式で、その意識をさぐってみた。

2. 実験の内容と調査の方法

2-1 実験の内容

実験1 炭酸水素ナトリウムの熱分解（生徒実験）

炭酸水素ナトリウムを加熱すると気体が発生し、加熱した試験管の口付近には透明な液体がたまり、加熱部には白い固体が残る。石灰水の変化から二酸化炭素が発生したことを見出し、塩化コバルト紙の色の変化から水が発生したことを見出し、溶け方とフェノールフタレイン溶液の色の変化から炭酸水素ナトリウムと加熱後に残った白い固体が別の物質であることを見出す。炭酸水素ナトリウムはベーキングパウダーなどで用いられており、比較的身近な物質である。二酸化炭素と水が発生したことは中学生にも容易に調べることができるが、加熱後に残った物質は炭酸水素ナトリウムと同様に白い固体であるので、変化したことが実感として伝わらず、物質の同定も難しい。炭酸水素ナトリウムとは別の物質であるという結論を出すところまでが一般的には限界である。

実験2 酸化銀の熱分解（生徒実験）

酸化銀を加熱すると気体が発生し、加熱部には白い固体が残る。線香の火のようすから酸素が発生したことを見出し、磨くと金属光沢が得られること、電気を通すこと、展性・延性があることから金属であることを見出す。酸化銀は大変高価であるが、中学

生の興味をひく物質である。発生した気体が酸素であることや残った白い固体が金属であることは中学生にも容易に調べることができる。また、黒い固体が白い固体に変化することから、別の物質に変化したことを視覚的に実感することができる。厳密に銀であることを同定するにはさらに実験操作が必要だが、一般的には金属であることを確認できれば十分である。

実験3 酸化第二水銀の熱分解（映像による演示）

酸化第二水銀を加熱すると気体が発生し、加熱部よりわずかに試験管の口に近い部分に水銀の液滴がつく。酸化銀の熱分解と比べたとき、その反応のメカニズムや実験操作には共通点が多く、生じた水銀蒸気は猛毒であるので、映像による演示で現象を見せるのみとした。あらかじめ、教員が行った実験をデジタルカメラで撮影し、実際に実験を行ったときに観察できる状態にできる限り近づけるように配慮し、撮影した。酸化第二水銀は劇物であり、加熱後に残る水銀は毒物である。生徒実験の教材としてはもちろん適していないが、黄色の固体が金属光沢を持った液体に変化することから、化学変化を視覚的に実感することができる。

2-2 実験後の課題

実験1～3を行った後、以下のような課題を投げかけた。

もしあなたが理科の先生だったとしたら、分解という現象を教えるためにどの実験を生徒実験として行いますか。それぞれの実験の長所と短所を表にまとめ、どの方法がよいか決めなさい。

生徒はプリントにそれぞれの方法の長所と短所をまとめ、実験1～3のうち適していると思う実験1つに○をつけさせた。

3. 課題の結果と考察

3-1 結果

それぞれの実験方法の長所と短所について生徒が記述したものをいくつかの観点にまとめたものが以下の表である。調査対象は実践校の中学校第1年生1クラス38名である。それぞれの長所短所については複数答えた生徒も含まれている。

(1) 炭酸水素ナトリウムの熱分解

長 所		短 所	
観 点	人数 (人)	観 点	人数 (人)
現象がわかりやすい	10	やりにくく、手間がかかる	13
操作や試薬が多様である	9	現象がわかりにくい	7

身近に使っている薬品である	6	薬品(炭酸ナトリウム)の同定が難しい	3
安全な薬品である	6		
薬品の値段が安い	1		
その他	7	その他	5
無回答	5	無回答	11

(2) 酸化銀の熱分解

長 所		短 所	
観 点	人数 (人)	観 点	人数 (人)
現象がわかりやすい	21	薬品の値段が高い	11
安全な薬品である	9	薬品(銀)の同定が難しい	6
興味をひく試薬である	4	試験管のムダが出る	3
		現象がわかりにくい	2
		結果が予想できてしまう	2
その他	5	その他	6
無回答	7	無回答	12

(3) 酸化第二水銀の熱分解

長 所		短 所	
観 点	人数 (人)	観 点	人数 (人)
現象がわかりやすい	11	薬品が危険である	24
興味をひく薬品である	8	薬品の値段が高い	2
その他	1	その他	4
無回答	18	無回答	11

(4) 適していると思う実験

炭酸水素ナトリウムの熱分解	12
酸化銀の熱分解	17
酸化第二水銀の熱分解	1
無回答	8

3-2 考察

(1) 炭酸水素ナトリウムの熱分解について

現象のわかりやすさ、操作や試薬の多様さという点で長所があがっている。身近な二酸化炭素や水が発生することや、1つの物質が3つに分解することからいろいろな操作や薬品を経験できることをあげている記述がみられた。一方、生成する炭酸ナトリウムがなじみのない物質であるためか、わかりにくさを感じていることをうかがわせる記述や、多様な操作や試薬をめんどうであると感じていることをうかがわせる記述があった。ホットケーキで使用しているベーキングパウダーを事例としてあげたため、安全性を心配する声はなかった。適切な実験としては、3つのうち、2番目に支持を集めた。

(2) 酸化銀の熱分解について

現象のわかりやすさという点で長所があがっている。固体と気体の2つの物質に分解し、生じる物質がどちらも日常生活でなじみの深い物質であるところが大きいのであろう。また、貴金属であるという点で、興味をひく薬品であるようだ。短所としてあがったなかで最も多かったのがコストの問題である。導電性、展性、延性、金属光沢からだけでは銀であると断定するのは難しいため、それを短所としてあげた記述もあった。適切な実験として3つのうち、最も支持を集めた。

(3) 酸化第二水銀の熱分解について

現象のわかりやすさ、興味をひく薬品であるという点が長所があがっている。酸化銀と同様のわかりやすさとともに、液体の金属ができるという点で同定もある程度、納得のいくものになる。水銀の液滴ができる点でも、反応の意外性という点で興味深いようだ。一方、水銀が有毒な物質であることは半数以上の生徒が認識しており、短所として薬品の安全性に対する疑問が多くあがっていた。

4. まとめ

生徒は主に以下のような観点で実験をとらえていることがわかった。

- ①現象のわかりやすさ。②操作や試薬の多様さ。
- ③薬品の安全性。④薬品のコスト。⑤興味関心

あげられた観点と記述例については次の理科の授業時に紹介し、クラスの中で共有した。今回は熱分解の実験について検討したが、ひとつの実験方法について、さまざまな観点から検討を加えることは大変重要なことである。中学生の段階では科学的なデータから根拠を示して意志決定することは難しいが、物事を多面的にみる習慣はぜひ身につけさせたいところだ。化学実験の場合、わかやすさ、興味関心とともに、試薬の安全性という観点をはずすことはできない。安全管理と環境保全の立場から、生徒の薬品に対する意識は高めておきたいものである。

酸、アルカリの学習におけるアサガオに含まれる天然色素の素材化
重藤 英一 (大阪府門真市立第二中学校)

1、はじめに

中学では化学に関する領域は環境教育の浸透に伴い、理科の時間のみならず、選択、総合の各時間へと拡大している。とりわけ酸、アルカリの学習は化学の基礎的な部分でもあり小学校、中学校とも取り扱われている。この単元ではBTB等の合成指示薬の使用や酸、アルカリ廃液の処理が述べられている。

本実践は、環境学習をより発展させるために、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、比較し、あえて、天然色素を積極的に使用する意味としてグリーンケミストリーの視点の育成をめざした。また、小学校時代の酸、アルカリに対する意識も調査した。

2、アントシアニン色素の利用について

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。¹⁾ それに代わるものとして沖縄特産の乾燥紅いも粉²⁾ やハーブティー³⁾ として市販されているマローブルー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。

3、アサガオを用いた酸、アルカリの学習の意義

理科教育では、実験観察を通して学習することが大切であることから、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ている。さらに、枯れた花卉を採集、保存し、適時指示薬として利用している。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">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。2、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。3、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。4、学習者自らが作る、身近で安価な指示薬となりうる。5、開花時は酸性雨の指標として使え、乾燥後は天然指示薬として使える。6、合成指示薬でないため、反応も自然であり、環境へのリスクが少ない。 |
|---|

4、小学校理科における酸、アルカリについてのアンケート結果

新1年生133名に、実験、酸・アルカリの学習、環境教育についてアンケート調査を行った。「小学校時の酸・アルカリについてどんな説明がありましたか」については「忘れた、覚えていない」(34%)、「やっていない」(7%)、「無回答」(11%)、「リトマス紙が関するもの」(42%)であり、他に果物など家にあるものをリトマス紙で調べたことな

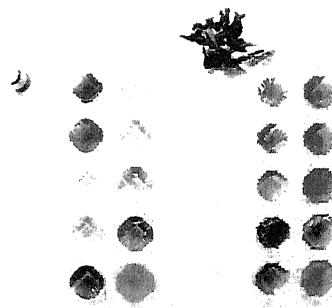
どが具体的にあげられていた。(表-1) また、「小学校で使った酸、アルカリの化学薬品、実験器具をあげなさい」の質問に対して、リトマス紙、BTB液、石灰水、塩酸、水酸化ナトリウムなどがあげられていた。結果、リトマス紙などの指示薬に対する学習や、実験後の廃液処理についてあまり生徒は学習していないように思われた。

・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。

(表-1) 小学校では酸、アルカリについてどんな説明をききましたか。

5、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、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た後、BTB液を数滴たらして色の変化を見た。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卉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。



酸塩基反応 左) BTB液、右) アサガオ

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。

6、さいごに

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和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の関連を考える、新たな視点が獲得できたものと思われる。

- 1) 「ムラサキキャベツ液の教材化と長期保存」 松尾涼子 『化学と教育』47巻8号 1999
- 2) 「紅いも粉を利用した身近な実験」 瀧口公夫 『化学と教育』48巻4号 2000
- 3) 「紫キャベツからハーブティーへ」 吉田哲 『理科・化学からの提言』p153 日本化学会 2001

V. グリーンケミストリーデジタル教材

グリーンケミストリーデジタル教材（石川朝洋）

メニュー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・128

ワークシート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・136

学習履歴シート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・152

参考資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・154

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が重要なことである。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(HCl問題を中心に)

ワークシート 1 : 塩化水素の問題(Na_2CO_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

《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

<閲覧>

1 内容別検索

2 ワークシート別検索

<印刷>

印刷用原稿

GSC学習の資料（内容別）

<化学物質と生活>

大気汚染物質一覧

脱硫法

環境汚染物質の濃度と生物への影響

<化学工業>

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

炭酸ナトリウムの新しい製法(アンモニアソーダ法)

<公害と対策の歴史>

大気汚染関係年表

塩化水素による大気汚染の対策(ルブラン法の改良)

硫黄酸化物による被害とその対策

窒素酸化物の大気中での増加の影響・環境汚染・被害

四日市公害とその対策

日本の主な大気汚染

<社会の変化と課題>

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)

<化学反応のしくみ>

酸性雨の化学反応式

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\(Yahoo\)](#)

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、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_x ）や窒素酸化物（ NO_x ）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_2CO_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。

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 (SO₂) 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 (Na₂CO₃ 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

Na₂CO₃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（SO₂）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）はどうして出ているのか？

塩化水素の主な発生源は、かつては炭酸ナトリウム（Na₂CO₃）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。



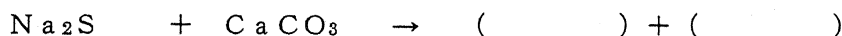
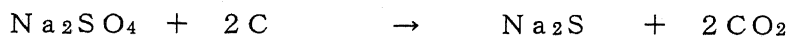
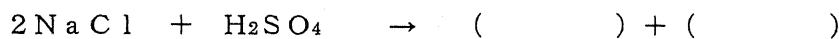
ルブラン

※ 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（Na₂CO₃）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？

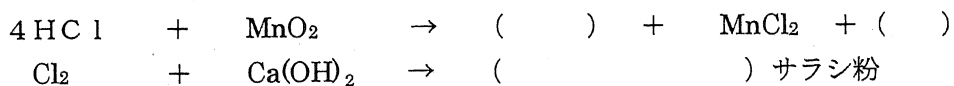
a. 新たな問題が起こった対策（資料を参考にして表にまとめよ。）

○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。

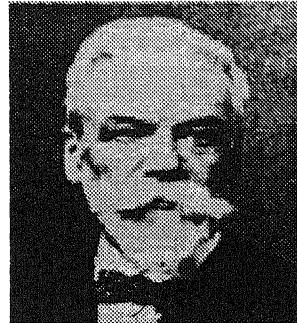


アンモニアソーダ法の登場

塩化水素 (HCl) 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なくならなかった。

4. ルブラン法がすぐ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みよう。



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气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。

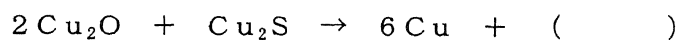
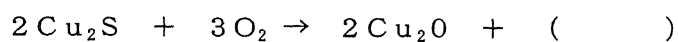
a. 性質	
b. 人体や生物への影響	

3. 硫黄酸化物はどうして発生するのか？

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_x) 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_2 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_2 と酸素 O_2 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。

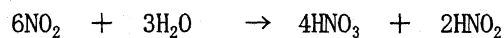
[]

4. 生じた二酸化窒素は水に溶解すると何になるのか？

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_3 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_x)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 (Na ₂ 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 (Na₂CO₃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、ソルベ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通常その100分の1程度として安全を図るようにしている。

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、分子の科学としての化学を駆使してリスクを減らそ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は減らすことができることを中心に考えてきた。グリーンケミストリーでは、危険性も減らそうというものである。グリーンケミストリーでの手段を使えばリスクは確実に減り、物質そのものを無害にかえていくわけだから、漏れて増えることはありえず、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、特定の反応経路の速度を速くするので、このことを利用して、必要とする反応だけを選択的に起こすようにするために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 _____

ワークシート1

学習した内容を要約してください。

ワークシート3

学習した内容を要約してください。

ワークシート2

学習した内容を要約してください。

ワークシート4

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、あなたはどのように思いますか。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）

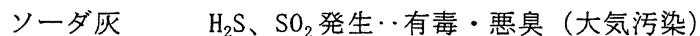
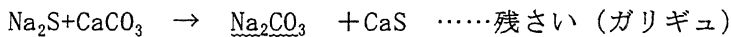
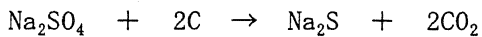
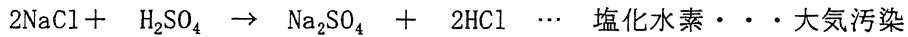
[WS1]

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]



↓
製品

【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。

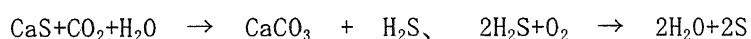
1823 イギリスのリバプール市に高煙突（90m）の工場を建設した。HClガスを拡散しようとしたが、結果は、さらに汚染地域が広がった。

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。

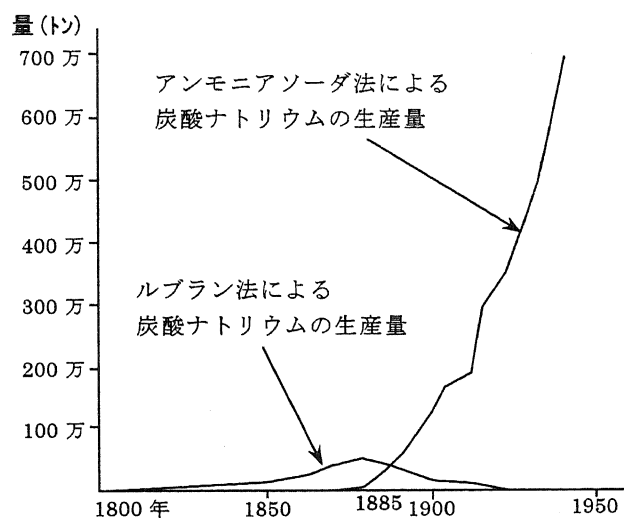
1836 イギリス人のゴッセージが水にHClガスを溶かし塩酸として回収する吸収塔を開発した。しかし、塩酸の用途が少なく、川に流し捨てたので河川の汚染が発生した。

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。



ガリギユ



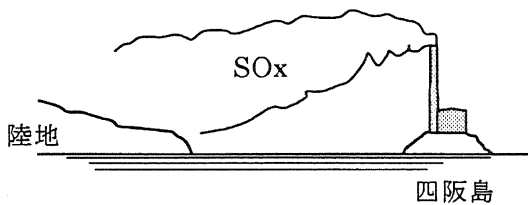
世界の炭酸ナトリウムの生産量

	塩化水素(HCl)	硫黄酸化物(SO _x)	窒素酸化物(NO _x)
工業的利用方法	<p>塩化水素HClは水に溶解易く、水に溶解すると塩酸になる。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_xはS(硫黄)やH₂SO₄(硫酸)として回収し、工業に利用される。また、水と石灰を用い石膏にする。</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;">石膏</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 ₂ 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 _x を吸収すると肺に障害をおこす。 NO ₂ 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 _x 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 _x 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。

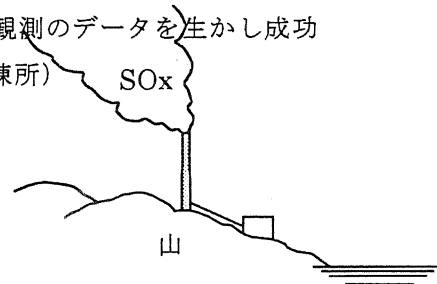


高煙突による拡散の効果

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。

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、生産効率がよく、製品を安く作ることができる。塩化水素 (HCl) や硫化水素 (H₂S) 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 (NH₄Cl) を副産物としてとり出すもできる。NH₄Cl 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、有用なサライ粉 (CaCl (ClO) · H₂O)、硫黄 (S)、塩素 (Cl₂) 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。Cl₂ 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、Cl₂ 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、Cl₂ 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_x 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_x 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 SO₂ 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、SO₂ 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。

【資料：No.32】 四日市公害とその対策

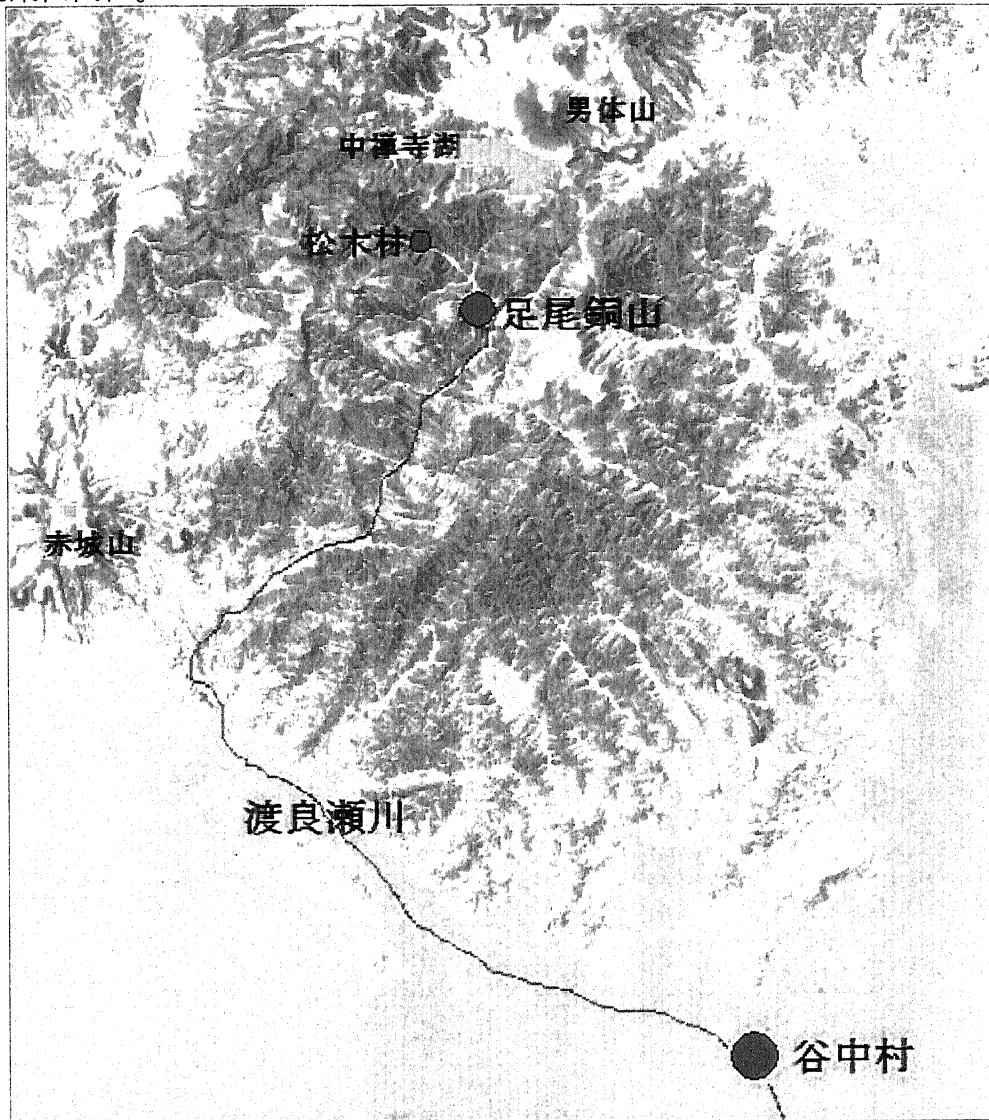
三重県四日市の大気汚染の主な原因物質は二酸化硫黄 (SO₂) と、硫酸ミスト (硫酸を含んだ霧) である。これらはぜんそく、気管支炎、肺炎などの呼吸器障害をひき起こした。四日市コンビナートは、わが国の高度経済成長に役立ったが、同時に大気汚染、水質汚濁などの公害を招いた。

- 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 SO₂ 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 SO₂ 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。

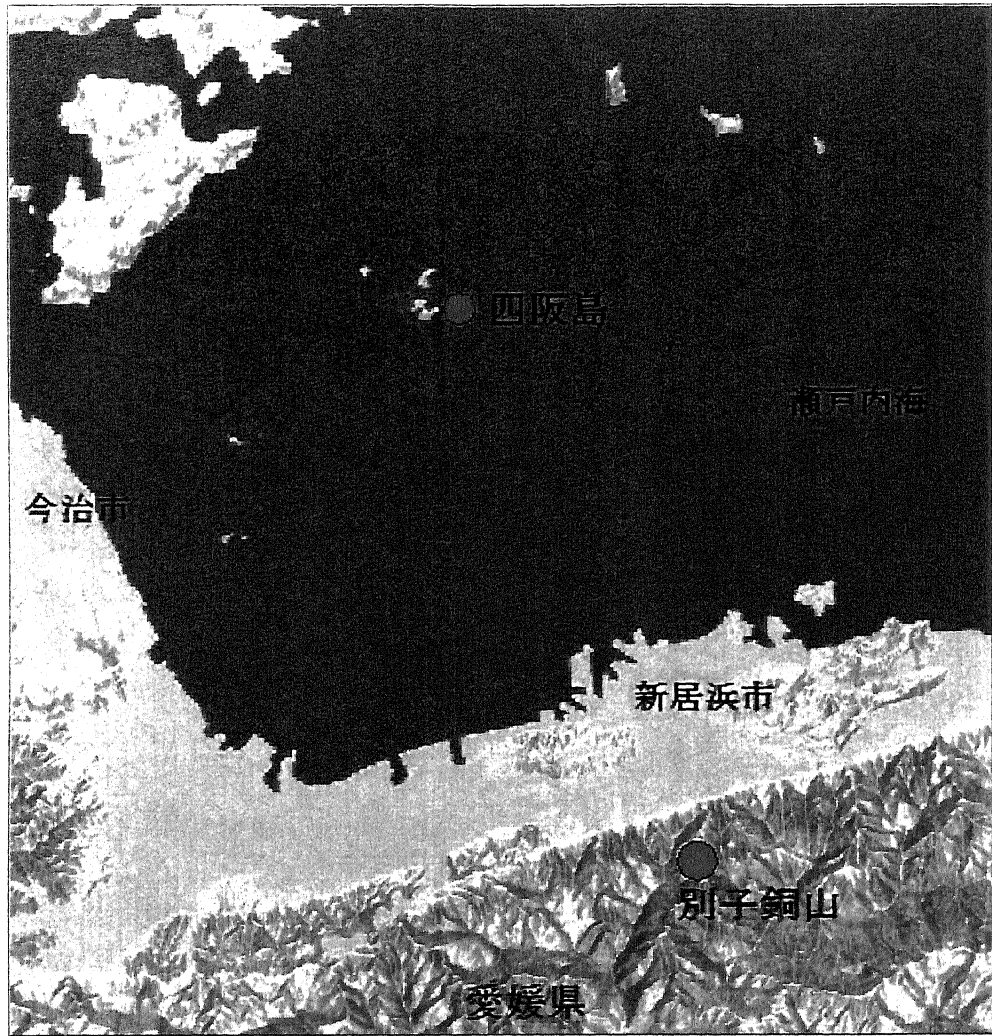
a. 金属精錬による硫黄酸化物

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_x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_x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。

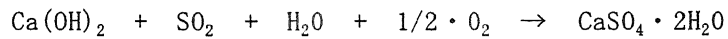
**愛媛県別子銅山の煙害**

- 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SO₂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、SO₂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。

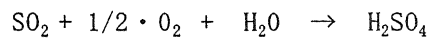


a. 排煙脱硫

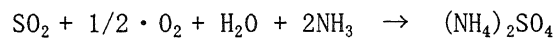
1. 石灰乳または石灰石粉末の水スラリー（泥状の混合物）に SO_2 を吸収させる。
生成する亜硫酸カルシウムを空気酸化して石膏にする。



2. 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。

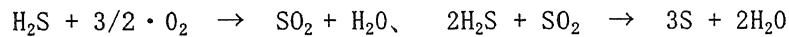


3. NH_3 と H_2O により SO_2 を硫酸アンモニウムに変える。



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、 $300\sim 400^\circ\text{C}$ で触媒を用いて反応させると、硫化水素(H_2S)として除去できる。 H_2S 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除去することはできない。

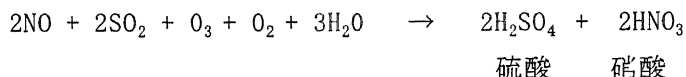
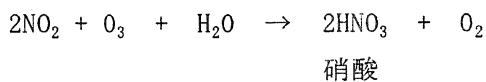
原油の中にわずかに残った硫黄分を完全に除去するには、複雑で大規模な装置が必要となり、経済的にも多くの問題が残っている。

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炭
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	(米)最初の大爆、広島、長崎
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 (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 (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知らされた	
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	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	
1985	(ノルウェー)南部の酸性雨の被害深刻	
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	
1990	(日)粉じん公害の原因であるスピクタイトの使用を規制する。	

【資料：No. 41】 酸性雨の化学反応式

[WS3, WS4]

大気中でSO_x、NO_xはおもにO₃、O₂、H₂O、H₂O₂などと反応し酸性雨となる。



【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。

NO₂ガスの発生する工場などで働く人について、NO₂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。CO₂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たると、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。

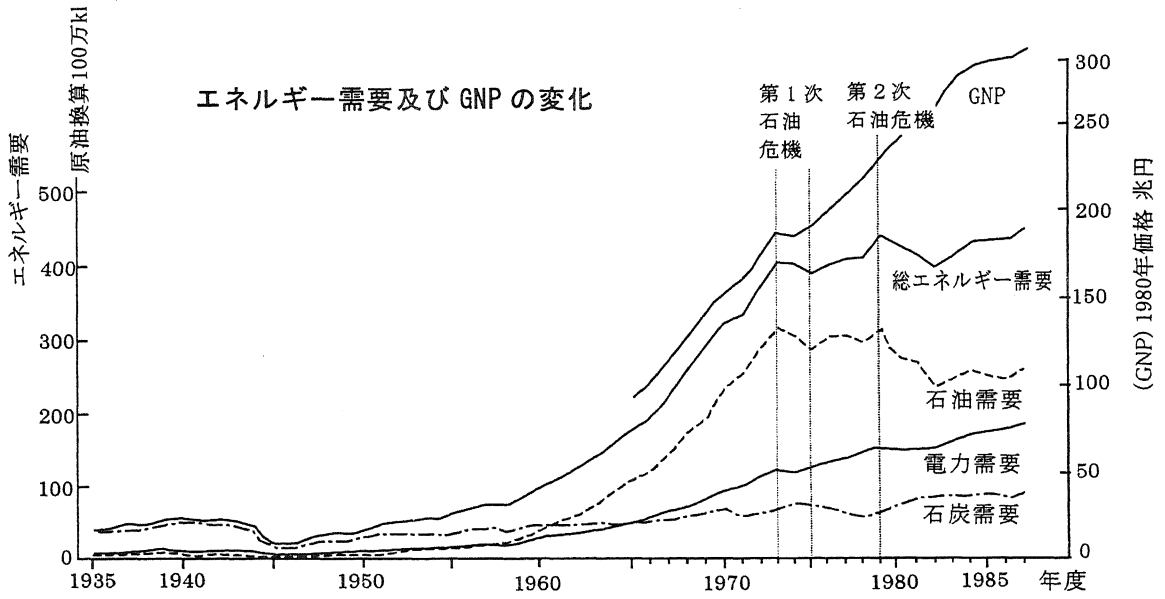
オキシダントとは、工場や自動車などから排出された窒素酸化物や炭化水素などが、太陽光線中の紫外線をうけて光化学反応を起こして生成する酸化性物質のことである。オゾ

ン (O_3) 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。

【資料 : No.51】 年表 (1900年代の日本)

[WS5]

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_2 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_x 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



グリーンケミストリー教材の開発研究

平成 15 年 3 月 20 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 株式会社プリカ

