

高校生を主な対象とした グリーンケミストリー教材の開発と実践

MATSUBARA Shizuo
松原 静 郎

国立教育政策研究所 総括研究官

生徒の多くは理科が自然や環境を守るのに役立つと考えており、グリーンケミストリーは理科や化学の学習の意味づけをする点からも中・高等学校へ導入する意義があると考えられる。これまでに化学工業の歴史をとおしてグリーンケミストリーの考えを学んでいく教材を開発し、高等学校を中心に実践してきた。実践後の生徒の感想などの記述から、科学や技術に対しても、本教材に対しても好意的な反応が認められた。その中で、科学者や技術者の努力を知ることにより科学や技術に対する信頼感の増すことが示唆された。

1 はじめに

児童生徒は理科をどのような教科と捉えているのであろうか。IEA 国際理科教育調査等によって小学校での理科はどの国でも好きな教科であることが知られている¹⁾。また、国内の教育課程実施状況調査²⁾でも理科の勉強の好きな児童生徒は5教科の中で最も多い(図1参照)。一方、理科の勉強が大切かどうかという点については、小・中学校を通して大切だとする割合が過半数を示しているもの

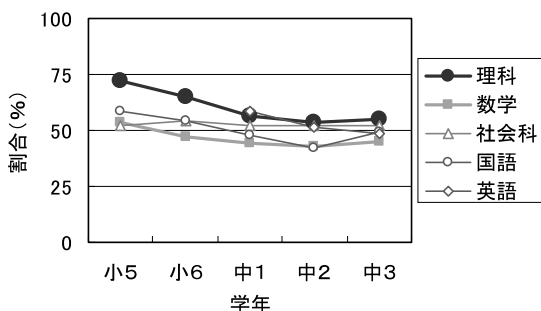


図1 各教科の勉強が好きだ。

資料：平成13年度教育課程実施状況調査—理科—より作成。

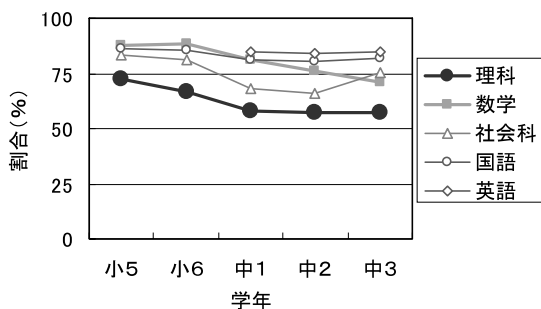


図2 各教科の勉強は大切だ。

資料：平成13年度教育課程実施状況調査—理科—より作成。

の、5教科の中でみるとその割合は最小であった(図2参照)。

また、理科だけのデータであるが、「理科の勉強は、自然や環境の保護のために必要だ」に賛成と回答した割合をみると、図3の実線のとおり、中学校で4人に3人、高等学校では物理を除く3科目で3人に2人であり、多くがその必要性を認識していた。しかし、「理科を勉強すれば、私のふだんの生活や社会に出て役立つ」とする割合は、図3の点線のとおり、小学校で半数、高等学校では3人に1人程度と小さい。

児童生徒が理科の学習の意味をどう捉えているのかいろいろな調査での結果を見てもなかなか現れてこない。その中で、はっきりと意識されているのが上記の環境であり、その保護に必要と考えている。これは、理科の中で環境に関連した学習を活かすことで昨今問題となっている理科離れを減らす可能性を示唆しているように思われる。

もちろん、環境に関する学習をした後、人間活動が環境問題の元であるとして、人間そのものの存在を否定する考

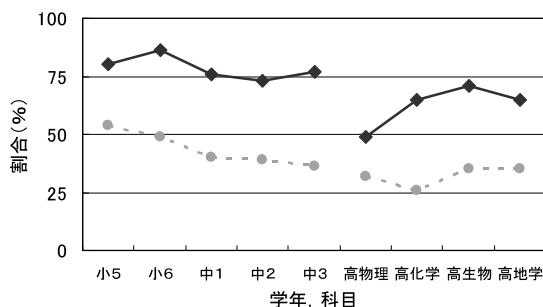


図3 理科の勉強の必要性。

資料：平成13,14年度教育課程実施状況調査—理科—より作成。図中の実線は「自然や環境の保護に必要」、点線は「日常生活や社会で役立つ」の割合。

えや、環境問題を考えても解決は無理ということで、便利だったらそれでよいとする考えに結びついていくようでは理科離れを助長することにもなりかねない。

その一方、科学的な素養の必要性が叫ばれて久しいが、一般社会においても医療での納得診療（インフォームドコンセント）やエネルギーと環境の問題など一般市民も科学や技術に関連した判断・意思決定をする機会が増えてきている。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、科学観を身につけること、さらには科学や技術に関連した事象について、判断・意思決定の能力を培うことが必要となってきている。

グリーンケミストリーは、このような条件を満たす教材を作る基礎となる考え方の一つと思われる。

2 グリーンケミストリーの教材への導入

グリーンケミストリー（環境にやさしい化学）とは環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学である。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であり、廃棄物を出してから処理を、廃棄物ができないようないわば予防にしていこうとする考えである³⁾。なお、わが国での正式な呼称としてはグリーン・サステイナブルケミストリーが使われているので、以下その略称である GSC を使う。

GSC の化学実験への導入については、すでに荻野らによる、マイクロスケール実験がある⁴⁾。

我々は GSC の考え方を学習教材に取り入れ、生徒に知らせるとともに科学の在り方について考えさせる機会をつくること、化学を学習する意味づけからも大事であると考えた。今回開発した学習教材は、「環境対策技術の教材化」プロジェクトとして 1993～95 年度にかけて、渡辺賢寿東京学芸大学教授らとともに開発してきた教材を基礎としている。化学工業における工程が GSC に対応した工程へと移行していることを内容とした大気汚染対策に関する教材であり、生徒自身による判断・意思決定の場面をつくり、その育成も図ることとした⁵⁾。

以前、原子力や放射能を題材とし、そのリスク評価についての中学・高校生を対象とした教材を開発、実践した。その結果、利害両面を考慮するなど科学的な判断・意思決定における考え方についての有効性が認められた⁶⁾。しかし、安全なレベルについて学習し、リスクが非常に小さな確率であった場合でも、その技術に対する判断は学習前と変わらないことがあった。わずかな害でも受けたくないという意識の表れと思われる「安心」のレベルと安全なレベルとの乖離が認められた。

一方、GSC は、危険にさらされる機会を減らしてリスクを小さくすることよりも、そのリスクの元となる危険性を減らしていくことを中心とする考えである。GSC の考え

を学ぶことにより、安全と安心のレベルが近づくことが期待される。

また、理数についての定点調査で自然科学に対する児童生徒の意識の変化を調べてみると、理科の好き嫌いや理科は面白いなどの意識についてはこの 15 年間変化がなかった。一方、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加してきたが、つい最近の調査ではその回答が反転し、科学の価値を認める方向へ変化した結果が得られた⁷⁾。こうした中で GSC の考えは、基幹産業でありながら環境問題ではイメージダウンした化学工業において、環境に対する努力が払われていることを示す好例と考えられ、その学習は生徒に科学の価値について再認識を促すものと思われる。

3 大気汚染対策教材の構成

大気汚染対策教材の構成は表 1 のとおりである。事例を示したワークシート（以下、WS と略記する）の 1 から 4 に加え、生徒が GSC との関連を引き出しやすくするため、WS1 から 4 までの内容と GSC との関連を説明する「WS5 をはじめる前に」と、GSC について解説した WS5 を加えた。

本教材⁵⁾では炭酸ナトリウム工業と環境対策技術をまず扱い、WS1 で炭酸ナトリウムの古い製造法であるルブラン法について学習する。産業革命による織物産業での需要等で成長する一方、塩化水素による汚染が発生したこと、その対策としてまず採られた方法が大気への拡散や河川での希釈による処理であったが、汚染の拡大につながったこと、塩素として回収製品化することで解決したことを学習する。WS2 では、高校化学で扱う炭酸ナトリウムの製造法であるアンモニアソーダ法を取り上げる。ルブラン法からアンモニアソーダ法へと移行することで、ルブラン法での環境汚染物質であった塩化水素そのものが発生しない方法へと移り変わったこと、これは汚染の発生後の処理から、汚染そのものの発生しない工程へと変化したことになり、

表 1 大気汚染対策教材の構成。

導入 WS：大気について考えるワークシート
WS1, 2 をはじめる前に：過去の大气汚染問題の理解と解決（HCl を中心に）
WS1：塩化水素の問題（Na ₂ CO ₃ の古い製造法）
WS2：塩化水素の汚染の問題解決（アンモニアソーダ法）
WS3, 4 をはじめる前に：現在の大气汚染問題の理解と今後の解決に向けて
WS3：硫黄酸化物についての理解と問題解決策
WS4：窒素酸化物についての理解と問題解決策
WS5 をはじめる前に：WS1～4 のまとめ
WS5：グリーンケミストリーとリスク評価

注）表中の WS は、ワークシートを表す。

GSC への変化であったことを学習する。

次に石油工業と環境対策技術について扱い、WS3 では、硫黄酸化物について学習する。硫黄酸化物が銅の精錬や石油の燃焼で発生し、その処理としてはじめは拡散や希釈によったが、多くは汚染の拡大につながったこと、その後排煙脱硫や原油脱硫の技術が開発され、それらを組み合わせることでわが国ではほぼ完全に大気への放出を抑えていること、そしてこの移行はやはり GSC への変化であったことを学習する。WS4 では、窒素酸化物について取り扱う。この窒素酸化物は排煙脱硝法などにより多くは取り除かれているが、まだ完全とは言えない状況であることを学習した上で、生徒自身がその対策について考える機会とした。

最後に WS5 で、リスク評価と GSC の考え方を扱う。大気汚染解決の過程から、最善の対策は大気汚染物質が出ない工程にすることであったが、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た研究開発、すなわち GSC に沿った研究がなされ始めていること、また、技術革新に関する意思決定に科学者や技術者ばかりでなく一般市民も参加する機会が増えていることを学習する。

4 GSC 教材の実践

この大気汚染対策に関する教材は、この3年間に表2にあげる7校(約200名)において、それぞれ実施可能な範囲で実践してきた。表2に示すとおり、それぞれ、高等学校の化学I(年度や学年により旧課程化学IAやIB)のほか、総合的な学習の時間や化学IIの課題研究、中学校での選択教科としての理科など、GSCの内容を扱うことが可能な時間に位置づけて実践をしてきている。

なお、今回の実践では、本教材を学習していく際に教科書や副教材のほか、年表などあらかじめ用意した資料を使った。授業実践の結果、与えられた資料を使う以上の時間的な余裕がないことが報告された。また、生徒の感想の中には与えられた資料をまとめるだけでかなりの調べ学習をしたと感じていることが示されていた。これらのことよ

表2 大気汚染対策教材の実践校とその対象。

実践校	学年	実施時間	年度	実施時間
公立A高	2年	総合的な学習の時間	2002	9校時
			2003	7校時
公立B高	3年	化学II+家庭学習	2002	5~8時間
	2年	化学I	2004	3校時*
公立C高	3年	化学II課題研究	2003	10校時
公立D高	3年	文系化学4単位	2003	1校時*
		化学IA(理系)	2004	1校時+*
国立E中	3年	選択理科	2003	6校時
公立H高	2年	化学IB(理系)	2003	自習+自宅
公立I高	3年	化学演習	2004	3校時*

*) 実施時間が1~3校時の実践は内容を縮約して実施。

り、本教材では与えられた資料を使い、それ以上の調べ学習については特に指示しなかった。

5 教材に対する生徒の反応

本教材を評価するため、一枚ポートフォリオ評価法⁸⁾に基づく学習履歴シートを作成し、そこへの生徒の記述内容を分析した。この一枚ポートフォリオ評価法では、学習前後に同じ用語に関して三つの文を書かせたり、学習後に「学習のふり返し」や「学習の感想」を書かせたりすることで、学習による知識や考えの変容を自分自身で意識(メタ認知)させるよう設計されている。

2002年度に本教材を実施した公立A高校での生徒の記述の一部を示す。次の例は、WS1~4の学習前後の「『大気汚染』という語を使って文を三つ書きなさい」に対して、学習後に記載の文字数が大きく増えた典型的な回答である。

学習前

大気汚染は主に化石燃料の燃焼によって起こる
大気汚染は時間が経てば解消するというわけではない
大気汚染は喘息などの健康に被害を与えている

学習前の回答からは、大気汚染に関する知識をかなり持っている生徒であることがわかる。しかし、どのような対策が講じられてきたかについての記載はない。

学習後

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

学習後の回答では、大気汚染に対してその対策がなされてきたこと、未解決の問題もあること、原因物質を取り除くとしたGSCの考えが入ってきていること、の三つがあげられており、これらは本教材が意図した内容でもある。なお、この内容は中・高等学校学習指導要領理科各科目の内容の取り扱い「合成された有用な物質が人間生活を豊かにしてきたことを扱うこと。その際、合成物質などの利用には自然界に対する配慮が重要になってきたことにも触れること。(理科基礎)」等に対応している。

次は、WS1~4を学習後の特徴的な感想例である。

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。

環境や環境問題について具体的な知識のない生徒が多いこと、また、その知識はあっても、対策が採られておらず改善されていないと思っている生徒もかなりいることが、一連の実践を通して見出されている。

学習前は大気汚染を解決するには原因物質をあまり出さないようにする条例か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。

環境は法律で規制することで改善していると考えられる生徒がいることも発見であった。これには、社会科や国語などでの環境学習の影響も考えられるが、そこには科学者や技術者の姿や科学的な視点が少ない。科学者や技術者の努力している姿を示すことは科学や技術に対する信頼感につながってくると思われる。

利害両面について考えることの重要性については、次の本教材を学習しての感想に表れている。

大気汚染や公害問題など、新聞やテレビ、学校で散々見たり、聞いたりしてきたが、実際具体的に何が原因で何をどうすればよいかほとんどわからない状態だったが、それについて学べて理解を深められた。

また、科学技術についてよい点ばかりを聞いてきたが、今回はその逆の悪い面を考えることが出来た。同時に、その欠点が克服される過程を知ることで、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。

最初の部分はこのような教材を学習した後の感想によく出てくる内容である。続く文では、長短両面を知りその解決過程を学ぶことで、科学者や技術者の姿勢と科学や技術が環境を改善していく可能性を秘めていることがわかったと指摘している。これは、良い面ばかりではなく悪い面についても情報を得ることで、利害両面の知識を基に自分なりの判断・意思決定につながる考えを構築できるようになること、また、悪い面があった事実と克服の過程を知ることが将来の科学や技術の発展を考えることに結びつき、科学の価値に前向きな態度が培われたことを示している。つまり、ありのままの情報を得ることによって、科学や技術に対するより深い理解を得られた例と考えられる。

6 実施上の課題

中・高等学校において GSC 教材をこの 3 年間に実践してきたが、その結果、どの実践校でも学習を進めるうちに生徒たちは本教材により興味を示し、熱心に取り組むようになっており、感想などの記述から科学や技術に対しても、また、本教材に対しても好意的な反応が認められた⁵⁾。生徒に無機物質の知識や環境関連の情報を与えるとともに科学者や技術者の努力している姿を示し、また、生徒自身に判断・意思決定させる機会をつくることで、文科系の生徒にも無機物質各論を学習する意味を与えるものとなった。その一方で、環境問題やその対策については漠然としか知らないこと、また、環境問題は法律で改善しているとして、科学者や技術者の姿が見えていない生徒がいることもわか

った。

これまで、このような学習では科学者や技術者が新しい科学・技術を開発し、一般市民はその科学・技術について利害を考えどのように使っていくか判断するとされてきたように思われる。こうした場合、科学者や技術者は新しい科学・技術の開発を目指すあまり、環境を考慮に入れていないようにも受け取れ、一般市民がその使い方に責任を持たされる感覚もあったと思われる。

今回のような教材の学習により、害の面を強く印象付けられる生徒もいるが、多くは科学者や技術者が努力し、害のより少ない方法の開発を目指している姿を歴史的事実などから見出している。このことが科学や技術への信頼感や安心感を生み、科学者や技術者への期待とともに、自分でもできることから行動しようという生徒の感想があったが、この感想にもつながったと思われる。

しかし、このような学習は理科や化学の中で認められているとは言い難い。そうした中で、10 校時近くの時間を使って学習を進めるのは容易ではなく、この内容に関心を持ち重要性を強く感じている先生で、なおかつ時間配当をある程度自由にできる状況にある場合に限られる。そこで、負担を軽減する試みとして同様の学習を 3 校時で一通り終える縮約版を作成し、B 高で実践した。時間的な余裕は持てなかったが、無機物質各論の章で学習することにより、これまでの教材と同様な結果を得ることができた⁵⁾。

今年から国連持続可能な開発のための教育の 10 年が始まり、持続可能な開発の化学版ともいえる GSC が広く認知され、理科や化学に導入されることを望みたい。

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

参考文献

- 1) 松原静郎, 化学と教育, 49(5), 265 (2001).
- 2) 国立教育政策研究所, 平成 13 年度教育課程実施状況調査報告書, 中学校理科, ぎょうせい (2003) など.
- 3) 渡辺 正, 北島昌夫 訳, グリーンケミストリー, 丸善 (1999).
- 4) 荻野和子, 化学と教育, 49(2), 110 (2001) など.
- 5) 松原静郎 他, 「グリーンケミストリー教材の開発とそれを使つての意思決定能力育成に関する調査研究」 科研費 (代表松原静郎, 課題番号 14380066) 研究成果報告書 (2005).
- 6) 松原静郎, 渡辺賢寿, 日本科学教育学会年會論文集, 15, 555 (1991).
- 7) 理数定数調査研究プロジェクト「理数調査報告書」国立教育政策研究所特別推進経費報告書 (代表三宅征夫) (2005).
- 8) 堀 哲夫, 「グリーンケミストリー教材の開発研究」 科研費 (代表松原静郎, 課題番号 14380066) 中間報告書, p. 73 ~ 83 (2003).



まつばら・しずお

筆者紹介 [経歴] 1977 年東京都立大学大学院修士課程化学専攻修了, 同年法政大学第一中・高等学校教諭, 79 年国立教育研究所研究員, 主任研究官, 化学教育研究室長を経て, 2001 年改組により現職。[専門] 化学教育, 科学教育。[連絡先] 153-8681 目黒区下目黒 6-5-22 (勤務先)。