



奈良県立西和清陵高等学校 サイエンスチーム担当教諭 早川純平

## 1. はじめに

近年、生徒の理科離れが顕著な問題となっている。国際教育到達度評価学会（IEA）が実施した「国際数学・理科教育調査」では、日本の生徒は成績が良いにもかかわらず、理科が楽しいと思う生徒が極めて少ないことが言及されている。その原因として、授業における観察実験数の減少が一つの原因とされる。特に、知的好奇心を刺激する実生活に根ざした科学実験は少なく、生徒の理科離れが加速している。生徒の理科離れは本質的に理系離れを招き、技術立国日本としての国力を落とすことにつながる可能性もあるため、その対策は急務である。また、スーパーサイエンスハイスクール（SSH）に指定されている学校以外では、生徒が自主的に考えて自然科学系研究活動を行う機会も極めて少なく、“自分の頭で考えて実験する”という理科的な素養を身につける環境が整っていないのが現状である。そのため、多くの生徒は紋切り型でない実験を通して論理的かつ科学的思考を身につける経験が極めて少ないといっても過言ではない。特に、様々な連携機関と協同して科学研究を進める機会は皆無であるように感じる。

そのような状況もあり、本校では、2017年度から生徒たちの自主的な研究課外活動である科学研究実践課外活動“サイエンスチームなら”の活動に大学をはじめとする様々な連携機関とも協力しながら精力的に取り組んできた。本論文では、その活動について生徒の成長に特に着目しながら報告する。

## 2. 研究活動の軌跡

### (1) 生徒の募集

本校には科学部が存在せず、本活動はまさにゼロからのスタートであった。しかし、決まりきった形のない自分の頭で考える研究課外活動は必ず生徒の成長につながるという思いが私の中にあり、教科を担当している生徒に趣旨を説明し募集をかけたところ、第2学年の5名の生徒が集まり、研究活動がスタートすること

になった。

### (2) 初期の活動

生徒の負担にならないように毎週金曜日を活動日に定め、まずは、基礎的な器具の使い方を学ぶところから活動をはじめた。あまり堅苦しい雰囲気にならないように、できるだけ会話を多く取り入れ、電子天秤の使い方、メスシリンダーの使い方、ガスバーナーや顕微鏡の安全な使用法など実験機器の使い方を学習した。このような基本的な作業は、意外にも生徒にとっては初めての体験であることも多く、生徒が楽しそうに実習を行っている姿が印象的であった。



また、同時に実験ノートの記入の仕方も指導し徐々に科学研究のスタートアップ活動に取り組んだ。

続いて、身近なモノにも科学的な現象が内包していることを実感するために、身の回りにあるモノを活用した実験を行った。牛乳からチーズを作る実験や、煤（すす）と膠（にかわ）から奈良県の特産品である墨を作る実験を行った。実験を通して、単純な実験技術だけでなく、そこに内在する科学的な知識も同時に吸収していく姿が印象的であった。科学的知識を十分に持ち合わせていない生徒でも、活動を続けることで、実験テーマを見つけることが出来ると信じ、2か月ほど初期の活動を継続した。この活動の中でも、楽しそうに自主的に実験に取り組む生徒の姿が印象に残っている。



ある生徒が、墨づくりの実験を行う際に、原料である“煤”の組成に興味を持った。細かい組成は判らなかったため、調べたところ、煤は不完全燃焼で生じる炭素の微粒子であることは判明したものの、細かい構造等は不明であることが判った。そのような会話をしている中で、煤が炭素の微粒子であるということに着目し、同様にシャープペンシルの芯でも墨ができると予想した。その後、条件を精査することで、実際にシャープペンシルの芯 (HB) で、膠を用いた墨作りに成功した。(図

「Mechanical Pencil Core Ink」(HB): Experimental Protocol

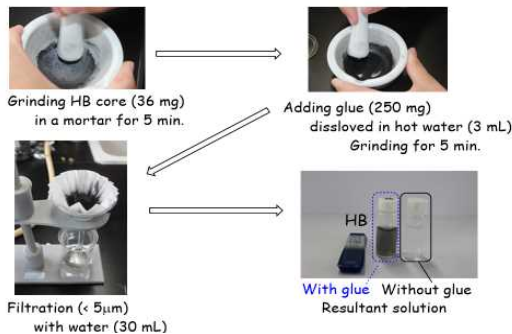


図 1 HB の芯を原料とする墨の調製法

この実験後、別の生徒が「HB 以外の他の芯ではどうなるのだろうか」と疑問を持った。続いて、その疑問を解決するべく生徒は、種々の炭素材料(様々な濃さのシャープペンシルの芯、鉛筆の芯、BBQ の炭等)を持ち寄り、次々と実験に意欲的に取り組んだ(図2)。

"Ink" of Various Types of Mechanical Pencil Core



"Ink" of Pencil Lead, BBQ Charcoal and Graphite



図 2 様々な炭素材料を用いた墨

その結果生徒たちが開発した方法は検討したすべての炭素材料に適用可能であることがわかり、どんな炭素材料からでも墨が調製できることが判った。

#### (4)研究の発展 (高大連携型研究活動)

ちょうど化学基礎の授業で炭素の同素体を学んでいた生徒たちは炭素の同素体の一種であるカーボンナノチューブ (CNTs) やグラフェン等の最先端の炭素材料にも興味を及んだため、生徒と教員が協力しながら、関連する学術論文を読み解き、勉強することにした。この論

文指導は、大阪市立大学理学研究科ハツ橋知幸教授、篠田哲史教授の手助けを頂いた。

その結果、CNTs やグラフェンは電子材料や構造材料として近未来型材料として強く注目されているにも関わらず、水への分散が難しいことが様々な研究阻害につながっており、これらの炭素材料の水分散技術は今現在も精力的に研究されていることが判った(図3)。

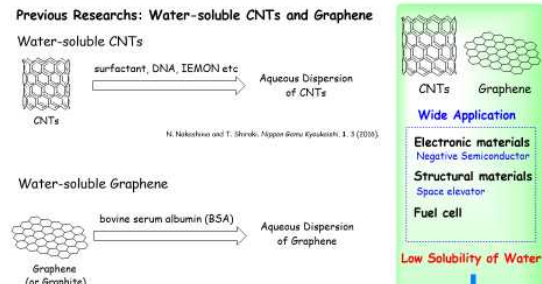


図 3 研究の背景

そのため、膠を用いて簡単にCNTs やグラフェンの水への分散化ができれば極めて有意義なことであると予想された。

これまでの知見を活かして、実際にグラフェンを炭素材料に用いて実験に取り組んだ。活発な議論及び様々な実験を繰り返し、試行錯誤の末、グラフェンの水への分散化に成功した。その成功を皮切りにカーボンナノチューブの水への分散にも成功し、膠を用いた炭素材料の水への分散化の技術を確認した。この成果は身の回りにあるものを活用して、高校現場にある実験機器だけでこれまで困難であった課題に到達した例であると大学の教員からも高い評価を得た。

#### (5)研究の深化 (学会での発表)

大阪市立大学の教員からの勧めもあり、研究としては発展途上であるものの、大学院生や企業研究者たちが参加する2017年9月に開催されるThe 53<sup>rd</sup> Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposiumにおいて、実験の成果を発表することにした。フラーレン、カーボンナノチューブ、グラフェンに関する最先端の研究の発表会である本学会に高校生として初めて参加することができ、口頭発表(1-14)に選ばれた。発表の詳細なデータを集めるため、教員やサイエンスチームならの指導員のアドバイスも生徒達に影響し、UV-Vis(紫外可視分光法)やDLS(動的光散乱法)などの高校化学では扱わない測定機器の勉強を進んで始めた。その後、大阪市立大学理学研究科のハツ橋・篠田先生の協力もあって、UV-VisとDLSの測定を自ら行うところ

まで成長した。

その実験結果も加えて、発表練習を繰り返し、京都大学で行われた学会で高校生ながら立派に発表した。カーボンナノチューブの発見者である飯島先生の質問にも堂々と答えた姿が非常に印象的であった。

その学会で、膠の詳しい組成や分散のメカニズムについて質問をされ、その疑問を解決するべく、新たな連携機関を探し、活動を進めることにした。

この発表からさらに生徒が5名加わり総勢10名程で活動することになった。



#### (6) 研究の広がり (地域連携型研究活動) (図4)

続いて、膠に対する知識を深めるため、膠の主成分であるゼラチンの製造をしている新田ゼラチン株式会社に連絡を取り、研究討議のお願いをした。実際に、新田ゼラチン生産本部を訪問し、膠の作り方や組成および物性について詳しく学習させていただいた。また研究員の方に対して、生徒たちが自分たちの研究発表を行い、今後の活動へのアドバイスをいただいた。生徒たちが自ら様々な質問をし、研究のさらなる醸成のために自ら考えて勉強している姿をよく覚えている。

その際のアドバイスもふまえ、実際に膠の食品分析や膠のアミノ酸組成分析が必要であることが判った。そのため、近畿大学農学部の安藤正史先生に実際に使用している膠の分析をしていただき、膠による炭素材料の水への分散のメカニズムにおける予想ができるようになってきた。

また、新田ゼラチンの研究員の方々にゼラチンを使ったフィルム作りを教えてもらい、生徒から導電性フィルムを作りたいという意見が自発的に湧いてきて、実際に試行錯誤の末、グラフェンやカーボンナノチューブが分散したフィルムを調製することに成功した。実際にフィルムを何種類か作成し、奈良産業総合振興センターで低抵抗率や導電性を測定したが、芳しい結果が出ず、生徒たちが落胆していたのをよく覚えている。導電性フィルムの調製は今後の課題である。

生徒たちが色々な人と関わる中で、物事に筋道を立てて説明することや、物理現象を説明するための様々な実験を自分で考えることができるようになってきたのがこの時期であったように記憶している。

また、この時期には研究内容もかなり専門的になり、生徒と教員が頻りに議論を行い、種々の連携機関とも密に連絡を取り、活動を続けた。

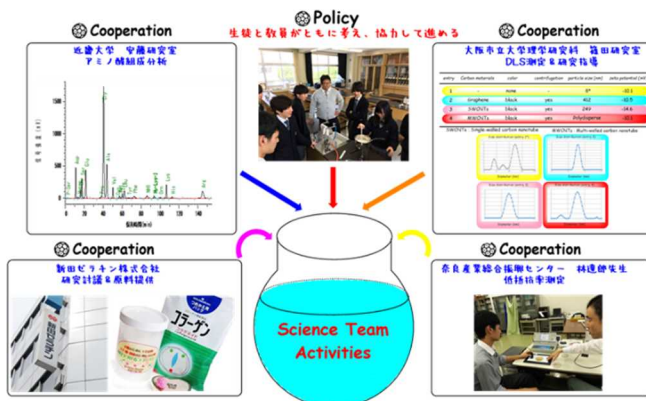


図4 地域連携型研究活動

#### (7) 高校化学グランドコンテストへの挑戦

様々な実験や連携機関との研究討議を重ねる中で、生徒から“化学の甲子園”と呼ばれる第14回高校化学グランドコンテストに参加したいという意見が出た。時期が修学旅行中ということもあり、日程はタイトであったが結局参加を決めた。

大学教員のアドバイスも受けながら、要旨を生徒と教員で作成し、参加申し込みをしたところ100件のエントリーの中から10件の口頭発表に選ばれ、名古屋で発表することになった。当日は修学旅行が終了した次の日から名古屋に向かったこともあり、生徒には疲れが見えたものの、名古屋市立大学で発表を行った。

実際に、発表はなんとか終えたものの、英語での質問にうまく答えられなかったことや他校生の流暢な英語に衝撃を受けた



ことから、生徒にとって、英語の必要性を強く感じた2日間であったようだ。しかし、グランドコンテストでは金賞を受賞することができ、理化学研究所の玉尾皓平先生の講演も聞くことができたので、生徒にとって良い経験になった。



グランドコンテストに関連するエピソードは「高校生化学宣言 PartII」に生徒の素直な表現方法で詳しく記載されている。生徒の思いや感じたことが生徒の言

葉で書かれているため、是非一読してほしい。

#### (8)研究のさらなる深化

高校化学グランドコンテストで英語の必要性を感じたためか、生徒が“英語を勉強したい”と申し出たので、関連する論文を英語で読み込む勉強に取り組むことにした。英語の苦手な生徒にとってはかなりの苦痛を伴うものであったようだが、なんとか2～3報の論文を読み込むことに成功した。この経験を活かし、さらに精力的に活動に取り組み、種々の学会で発表を重ねた。

東京大学で2018年3月に開催された The 54<sup>th</sup> Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposiumにも参加し、ポスター発表を行った。この時、外国人との議論も積極的に行う姿に感動したことをよく覚えている。身振り手振りを活かしながら（近くの研究者に通訳してもらいながら）外国人に説明する姿に成長を感じた。

また、コロイドの知識を吸収するために筑波大学で行われた The 69<sup>th</sup> Divisional Meeting of Colloid and Interface Chemistry にも参加した。この時も高校生の知識をはるかに超えた講演に積極的に参加し、熱心に勉強していたことをよく覚えている。

また3年生になったメンバーは進路に向けた取り組みに並行しながら科学研究実践活動にも取り組み、最後の取り組みとして、2018年11月に開催されたテクノ愛2018に参加することにした。テクノ愛は、京都大学が主催しており、高校生や大学生が新たなアイデアを発表する場である。144件の応募のうち9件の最終審査会に参加するグループに選ばれ、テクノ愛を受賞した。

また、サイエンスチームの発表会等にも多く参加し、生徒たちは高い発表のスキルとコミュニケーション力を身につけることができた。

このような数多くの活動から、本校サイエンスチームは読売新聞、県教育委員会のメールマガジン、日経サイエンス(2018年12月号)など幅広い媒体に取り上げ

られた。

### 3. まとめ

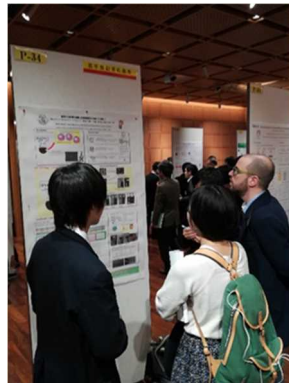
専門的な化学の知識が全くなかった生徒達は、2年間の活動で多くの科学的知識と実験技術そして論理的思考力を身につけた。手際のよい実験技術は指導している大学院生も驚くほどであった。また、彼らの深い思考力は時には大学の教員も舌を巻くほどであった。自分で実験を考え計画し、数多くの失敗をしたものの多くの意見や自らの知的好奇心を武器に、最先端の分析機器を使いこなし、研究を進めた。高校化学の教科書にとられることなく多くの知識を貪欲に身につけようとした姿勢には本当に感動した。さらに、様々な分野の研究者と討議を行い、大学院生や企業研究者に混じって多くの発表を重ね、高いコミュニケーション力と発表スキルを磨いた。生徒たちは生きていくうえで大切な他者と協力しながら、物事に取り組む能力を身につけたと思う。生徒とともに考え研究した2年間はとても楽しく充実した期間であった。日経サイエンスの取材を受けたとき、生徒たちが記者に答えた“誰も知らないことに取り組む楽しさがある”という言葉はまさに研究者の言葉であり、本活動が生徒に研究活動の楽しさを伝えられたことを端的に表している。

教科書の枠を飛び越えた科学研究実践課外活動が生徒の可能性を著しく広げ、生徒の希望溢れる未来を支える強力なツールになることを強く感じた活動であり、近い将来、様々な連携機関と協同しながら進める科学研究実践課外活動が、未来型教育活動になると強く確信している。

### 4. 謝辞

研究助成して頂いた下中記念財団、武田科学振興財団、中谷医工計測技術振興財団、日本学術振興会(課題番号17H00293)、科学技術振興機構(中高生の科学研究実践活動推進プログラム)に厚く御礼申し上げます。

さらに、研究指導していただいた新田ゼラチン株式会社の皆様、大阪市立大学理学研究科のハッ橋知幸教授、篠田哲史教授、膠のアミノ酸の組成を測定していただいた近畿大学農学部水産学科の安藤正史先生、フィルムの導電性を測定していただいた奈良産業総合振興センターの林達郎先生、研究全般をサポートしていただいた奈良県教育委員会の山本先生、村上先生、サイエンスチームならの先生方、関連する論文等を探していただいた奈良教育大学の和田教授には、お忙しい中、本



当にお世話になりました。心から感謝の意を表します。