

## 墨作りの原理を活用したナノダイヤモンド墨の作成および物性評価



実施担当者  
奈良県立西和清陵高等学校  
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、理科を楽しんでいる生徒が極めて少ないことが指摘されている。その原因のひとつとして、授業における実験数の減少が考えられる。特に、知的好奇心を刺激する実生活に根ざした理科実験は少なく、生徒の理科離れが加速している。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、専門家と議論を交わしながら、科学研究を進める機会は皆無であるように感じる。

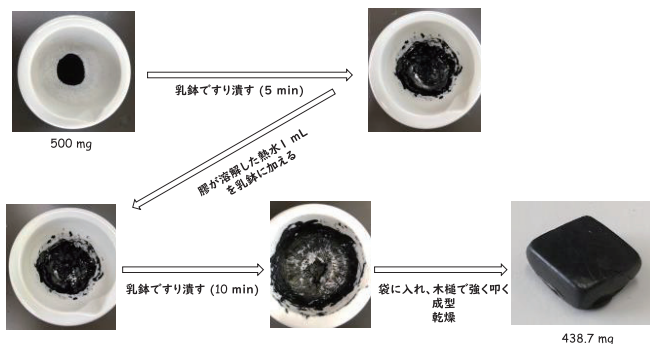
そのような状況もあり、奈良県立西和清陵高等学校では、2017年度から生徒たちの自主的な研究課外活動である科学研究実践課外活動“サイエンスチームなら”の活動に、大学をはじめとする様々な連携機関とも協力しながら、精力的に取り組んできた。本論文では、その活動について、特に生徒の成長に着目しながら報告する。

### 2 科学研究実践課外活動

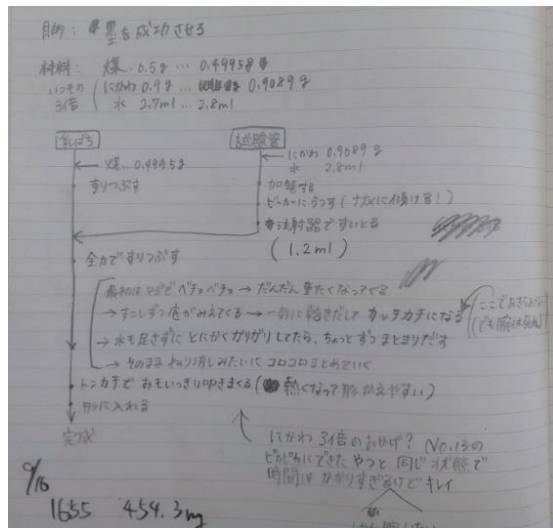
#### 2-1 固形墨の研究のはじまり

まず、新しい実験テーマを選定するうえで様々な基礎的な実験（べっこうあめづくり、フルーチェづくり、墨作りなど）を生徒とともに行った。その中で、サイエンスチームの先輩たちの影響力もあり、生徒たちは、墨作りに興味を持った。生徒たちは奈良で製造の95%が行われている固形墨に特に興味を持った。そして、生徒達は固形墨に関わる研究活動をすることに決めた。固形墨はゲルが乾燥したキセロゲル的一种であり、美しく様々な興味深い特性があると予想したからである。

実際に、生徒たちは固形墨作りを墨運堂に教わりに行った。墨作りの歴史や、裏話なども教えてもらい実際に墨を作る様子も見せていただいた。固形墨作りは職人の手によって脈々と受け継がれ



ており、その技術を再現することは非常に難しいことが判った。さらに、研究室で実際に墨を作る場合は実験のスケールダウンも必要のため、実験室での墨作りは極めて困難な課題であった。しかし、最終的に生徒たちは、教わった方法をもとに、試行錯誤の後、実験室における固形墨作りの方法を編み出した（左上図）。様々な検討を繰り返しながら、非常に美しい“墨”を作り上げた時には感動したことを覚えている。この時の実験ノートを上右図に示す。



驚くべきことに、平易な言葉であるが、要所要所に様々な本質的な工夫が見られる。木槌で叩くこと（中国では墨をたたいて作ることを参考にしたようだ）や、膠の量を工夫することで職人の墨作りを再現したことは驚いた。

これまで職人が感覚で行っていた墨作りを再現性よくできる方法を生徒達が編み出したと考えると極めて本手法は有用である。

## 2-2 固形墨の研究の展開

続いて生徒たちは、種々の炭素材料（カーボンナノチューブ、フラーレン、グラファイト、グラフェン、ナノダイヤモンド）の固形墨作成に興味を持った。最近では、フラーレン、カーボンナノチューブ、ナノダイヤモンドなどの炭素材料に注目が集まっており、その特徴的な物性により、電気材料、構造材料などの実用化に向けて研究が盛んにおこなわれていることが判ったからである。そのうえ、最近では、種々の炭素材料が分散した複合材料が注目を集めていること（①～③）も生徒たちは苦労しながら調べた。例えば、①フラーレンは潤滑油に混ぜ込むことで、エンジンオイルの性能が向上することが報告されていること②カーボンナノチューブがイオン液体に分散したバッキーゲルはアクチュエータとしての活用が見込まれていること③ナノダイヤモンドを潤滑油に混ぜ込んだ複合材料は、日焼け止め、ポリマーコーティングに応用されていることなどである。

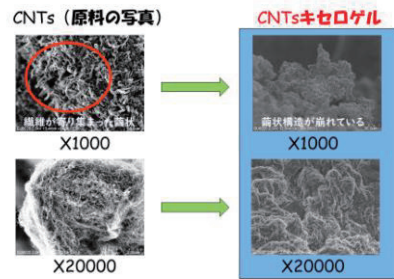
このような背景から、生徒達は種々の炭素材料が分散した複合材料の開発に取り組むことにした。この作業もそれぞれの炭素材料で少しずつ特性が異なり、固形墨を作るのはそれぞれの材料で細かな工夫が必要であった。

最終的には多層カーボンナノチューブ、単層カーボンナノチューブ、フラーレン C<sub>60</sub>、グラファイト、グラフェン、ナノダイヤモンドなど幅広い炭素材料で固形墨（キセロゲル）が作成できることが判った。大学教員などに手伝ってもらい調べたところ、このように作られたキセロゲルはあまり例がなく、物性に強い興味もたれることが判った。

実際に様々な固形墨（キセロゲル）を作成した生徒たちはキセロゲルの物性を種々測定することにした。どのような物性を測定するかを検討する時に何度もメンバーでミーティングを重ね必要な物性を測定したことが印象的である。まず、墨の体積を計測し質量を求め密度を測定した。さらに、硬度計を購入し硬度を計測した。さらに、奈良県総合産業振興センターで表面抵抗率の測定や電子顕微鏡による表面観察を行った

この測定も長期休み等を活用し何度も測定を繰り返し、大学の教員をはじめ、様々な人と議論を重ねたことをよく覚えている。その結果、電子顕微鏡の観察により、極めて興味深いことが判った。

原料の炭素材料と作成したキセロゲルを電子顕微鏡で見比べると大きな違いがあることが判った。例えば、原料の多層カーボンナノチューブを表面観察すると原料は繊維が寄り集まった繭状構造をしているのに対し、作成したキセロゲルを表面観察すると繭状構造は完全に失われており、ブロッコリー状をしていることが判った(右図)。我々の編み出した方法で、困難な課題であるカーボンナノチューブの効率の良い分散法の糸口を見つけたと生徒たちと喜んだことを覚えている。



## 2-3 固形墨の研究の深化

サイエンスチームでは長期休み等を利用し、研究者との交流および研究討議も積極的に行った。一例をあげると、電気化学の知見を深めるために、国立研究開発法人産業技術総合研究所(エネルギー・環境領域 電池技術研究部門 次世代蓄電池研究グループ) 主任研究員の吉井一記先生と研究協議および勉強会を行った。

研究討議を行う際に、吉井先生から「炭素材料を2種類以上混練すると、新しい物性が発現する可能性があるのではないか」というアドバイスを頂いた。

そこで、生徒は学校の実験室で試行錯誤しながら2種類の炭素材料を組み合わせ苦労しつつ新規キセロゲルを様々作り上げた。検討の結果、様々な炭素材料を任意の質量比で混ぜてキセロゲルが作成できることが判った。また詳細は割愛するが、2種類の炭素材料を用いたキセロゲルは非常に面白い表面抵抗率を示すことがわかった。



## 2-4 固形墨の研究のアウトプット

固形墨の研究は、様々な失敗を繰り返しながら、長い時間をかけつつ、様々な研究者からのアドバイスをもらいながら進めてきた。しかし、コロナ禍の中で研究を続けてきたため、発表の機会に恵まれず(高校化学グランドコンテスト2022は中止であった)、たとえ発表があったとしてもオンラインによるものが多かった。そのため、アウトプットは以前の活動に比べて少なく、少し寂しい成果になっている。アウトプットの一つとして、テクノ愛2021による奨励賞が挙げられる。この発表では181件の応募のうち、9件の最終審査に選ばれ、奨励賞を受賞した。

他にも、第38回高等学校・中学校化学研究発表会における奨励賞受賞などがこれまでの発表実績である。最近では、令和4年9月24日に千葉大学にて行われた第16回高校生理学研究発表会に参加し、発表を行った(右図)。出光興産(株)や千葉大学の審査員からの質問に完璧に答えていた姿が印象的である。

この発表会は、コロナ禍のなか、対面で実施されたため、生徒には非常に有意義な機会となったと感じる。大学や企業の人から専門的なアドバイスをもらえる機会は非常に貴重であり、これからも積極的に学会発表を行っていく予定である。この発表会では特別賞である双葉電子記念財団研究奨励賞を受賞した。

今後は第64回フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム等に参加し、さらなる研究の深化を目指したい。最終的には生徒とともに研究成果を学術論文にまとめる予定である。

コロナ禍ではあるが、生徒たちは、種々の発表会で生き生きと、何より楽しそうに発表している姿が印象的であった。



### 3 まとめ

専門的な化学の知識が全くなかった生徒達は、本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わ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付けたと思う。

さらに、チームとして協力しながら先輩、後輩、教員の垣根を越えて精力的に活動することにより、数ある困難に果敢に立ち向かい、問題解決や新たな事実の発見に至ったことは非常に貴重な経験であったと思う。私自身、生徒とともに考え、色々な失敗をしながら、研究した時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。

本研究活動を行った生徒のうち何名かは、本研究に近い化学に強い興味を持ち、化学系の学部に進学することを決めた。この事実からもわかるように、本活動が生徒の知的好奇心を強く刺激し、生徒の隠された潜在能力を引き出すことができることを強く感じている。

また、何より興味深いことは、本活動には理系の生徒だけでなく文系の生徒も多く参加し、それぞれが教科書を飛び越えた知識を身につけ、高度な議論を操り、巧みな実験技術を身につけたことである。この事実は科学研究実践課外活動が文理系を問わず多くの生徒にとって極めて有効であることを顕著に示している。

本活動を実施するなかで、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。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、数多くの生徒の輝かしい将来を形作る未来型教育活動のスタンダードになると強く確信している。また、科学研究実践課外活動“サイエンスチーム”の活動は、文系の生徒も多く参加した活動であり、全国的に見ても極めて珍しい。多くの研究者や企業の協力のもと、SSHとは異なる“理科にあまり興味がない”生徒にも効果のある、理科教育の最先端を走る活動であると自負している。様々な人と議論をし、多種多様な人と関わりを持ち、数多くの発表の機会を設けた本活動は、理科的な能力の成長にとどまらず、人間としての成長が見込める極めて興味深い取り組みである。また、誰も知らないことを明らかにする“研究活動“を、様々な生徒と一緒に“楽しんで”取り組むことは、教員にとっても、何より面白く、かけがえのない時間であることも申し添える。

上記の地域の特産品“奈良墨”を基軸としたユニークな取り組みは、関わった生徒の未来を輝かせる取り組みであり、数多くの生徒の様々な能力に関する爆発的成長を促せる、唯一無二の取り組みであると強く確信している。

### 謝 辞

研究助成して頂いた下中記念財団、中谷医工計測技術振興財団、日本学術振興会（課題番号22H04244）に厚く御礼申し上げます。

さらに、研究指導して頂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八ッ橋知幸教授、篠田哲史教授、名古屋大学工学研究科の森本祐麻准教授、産業技術総合研究所の吉井一記研究員、アミノ酸組成分析をして頂いた近畿大学農学部水産学科の安藤正史教授、表面抵抗率、電子顕微鏡の測定でお世話になった奈良産業総合振興センターの林達郎先生、森田陽亮先生にはお忙しい中、本当にお世話になりました。心から感謝の意を表します。