

1. はじめに

近年、高校生による探究活動の実施が求められている。文部科学省の高等学校学習指導要領（2020 年）では、「主体的・対話的で深い学び」の実現が強調されており、探究活動はその中心的な手法として位置づけられている。

探究活動の中でも、理科学研究は特に重要な手法の一つとされている。その理由の一つは、理科学研究によって、仮説を立て、実験や観察を通じて検証するという科学的プロセスを体験できる点にある。この科学的プロセスを通じて、論理的思考力や批判的思考力が養われるだけでなく、実証的なデータに基づいて、合理的な判断をする力も身につくと期待される。また、理科学研究は、様々な職業や研究分野への関心を高めるだけでなく、データ分析やプレゼンテーションといった他教科で学んだスキルを、教科を横断して活用する場としても機能し、学びの深化に繋がる。

そのうえ、理科学研究では、環境問題やエネルギー問題といった現代社会の課題をテーマに取り上げることが多く、これにより実社会の課題に対する理解を深め、解決策を考える力を育むことができる。さらに、地域に根ざした研究テーマを設定することで、地元の自然や文化、産業といった身近な資源を活用した学びが可能となり、実感を伴う“生きた経験”が得られると考えられる。こうした研究活動は、高校生が自身の興味を発見し、将来のキャリア選択や進路形成に役立つ重要な起点にもなる。

これらの理由から、理科学研究は、理系はもちろん文系にも有効な教育活動であり、科学的な視点で社会や自然を捉える力を育む上で、重要な役割を果たしていると強く示唆される。

そのような状況もあり、本校では 2023 年度から、2 年次に文系の生徒が受講できる、大学などの連携期間と協働して実施する“理科探究”（2 単位）を開講している。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. 研究活動の軌跡

(1) 研究活動のスタート

2023 年度の理科探究の授業には、文系の 7 名の生徒が集まった。ほとんど、実験機器を使った経験もなく理科学研究に取り組んだ経験もない生徒ばかりであった。しかし、理科学研究活動は文系の生徒を含むすべての生徒の成長に必ずつながる活動であるという思いが私の中にあり、4 月からの研究活動“チーム理科探究”がスタートすることになった。

(2) 初期の研究活動（1 学期）

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。できるだけ楽しい雰囲気になるよう、対話を多く取り入れ、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、基礎的な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、生徒が楽しんで実験を行っている姿が印象的であった（写真 1、2）。



写真 1



写真 2

また、徐々に科学研究が自分たち自身で取り組めるように、実験ノートへの記入の仕方等も指導し、基礎的な内容を中心にスタートアップ活動に取り組んだ。6 月頃までゆっくりと基礎的な実験技術および科学的な考え方の習得に取り組んだ。

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、身の回りにある資源を活用した実験を行った。べっこう飴作りの実験、お米をピーカーで炊く実験、牛乳からチーズ作る実験、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、

色変わりのたこ焼きの実験、鶏の脳の解剖などである。

実験を通して、単純な実験技術だけでなく、同時にそこに内在する科学的な知識も意欲的に吸収していく姿が印象的であった。基礎的な科学的知識を十分に持ち合わせていない生徒でも、活動が続けることで、適切な実験テーマを見つけることが出来ると信じ、1学期が終わるまで前述の活動を継続した。この活動の中でも、本当に楽しそうに実験に取り組む生徒の姿が印象に残っている（写真3、4、5）。



写真3



写真4



写真5

同時に、2学期は「自分たちのオリジナルテーマで研究をやろう!」「誰もやったことのない前人未踏の研究に取り組もう!」ということを伝えて、基礎的な実験の隙間の時間を活用し、自由に研究テーマ探しの議論を行った。この際、チョコレートの融点調べなどの意見が出たものの、既知の実験テーマが多かったので、実験テーマの決定には至らなかった。

(3) 中期の研究活動（2学期）

2学期になり、2、3授業時間を費やして、自分たちが取り組む研究テーマを話し合い、決定することになった。ある女子生徒が、「化粧品を作ってみよう」という意見を出した。化粧品と言っても様々な種類がある中で、彼らは実験室に置いてあったフラーレン C_{60} に目をつけた。調べたところ、フラーレン C_{60} は高級化粧品に活用されており、「フラーレン C_{60} を活用した化粧品を作ってみよう」ということになった。一方、フラーレン C_{60} は水に溶けにくい物質であるので、フラーレン C_{60} を水に分散する分散剤が必要であることも予想された。そのような状況の中、一人の生徒が「ウグイスの粉（糞）を分散剤として活用するのはどうだろうか?」と

いう意見を出した。この生徒は、「墨職人さんが、手についた墨を落とすときにウグイスの糞を使っているため、炭素の微粒子（煤）とウグイスの粉が相互作用する」と主張した。さらに、その生徒は「ウグイスの糞は江戸時代から化粧品として活用されており、ウグイスの粉とフラーレン C_{60} の組み合わせによる相乗効果が期待できる」と主張した。この生徒の案を採用し、チーム理科探究では、“ウグイスの粉を活用したフラーレン C_{60} の水分散化による新規化粧品の開発”を研究テーマに残りの期間を費やして取り組むことに決めた。

実際は、ウグイスの粉は、含まれる酵素（プロテアーゼ）によって、手の煤を落としていると考えられているのだが、生徒が出した案にも一理あると考え、そのまま研究を進めることにした。

まず、実際にウグイスの粉をメルカリで購入し、フラーレン C_{60} と組み合わせて種々の分散法を検討した。相談の結果、乳鉢を活用して実験を展開することになった。種々の検討の結果、下記に示す手法でフラーレン C_{60} の水分散と考えられる茶色い分散液が得られた（図1）。

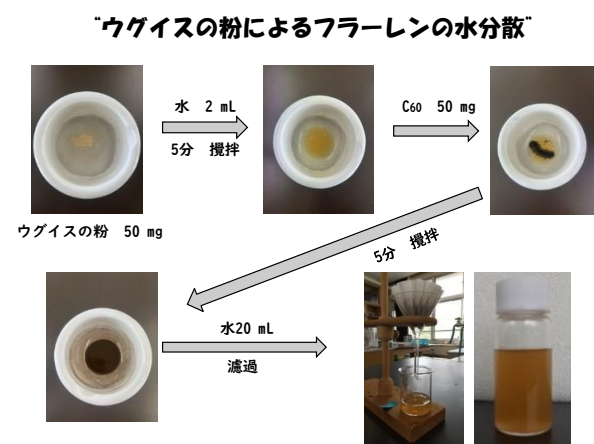


図1

続いて、得られた茶色い分散液の中に、本当にフラーレン C_{60} が分散しているかを確認するために、フラーレン C_{60} をよく溶解させる溶媒であるトルエンを加えた。茶色い分散液にトルエンを加えると、トルエンが鮮やかな紫色に着色し、生徒は「フラーレン C_{60} が存在している!!」と喜んでいた（写真6）。

その後、分散しているフラーレン C_{60} の量を推測するため、分液漏



写真6

斗を用いてトルエンで抽出したのち、ドラフト内で溶媒を留去し、分散しているフラーレン C_{60} の質量を求めた。同時に濾紙に残ったフラーレン C_{60} の回収率も同様の方法で見積もった。

この実験から、我々が作ったフラーレン C_{60} の分散液は、質量パーセント濃度が約 0.5%程度であり、極めて高濃度のフラーレン C_{60} 分散液であることが判った。一般に、フラーレン C_{60} の分散液は質量パーセント濃度が 0.0003%程度でも、しわとりの効果があるとされている¹⁾。そのため、我々が合成したフラーレン C_{60} 水分散液の潜在能力に強い期待が持たれる。この成果は、人類のまだ到達していないフロンティアを少しではあるが、教科書の内容を飛び越えて開拓したという点で極めて意義深い。

(4)研究の発展（高大連携型研究活動）

さらに、ウグイスの糞を活用した“フラーレン C_{60} の水分散化”における詳細な情報を集めることにした。普段から研究に協力してくれている大阪公立大学理学研究科の篠田先生の協力もあって、教室を飛び越えて動的光散乱法（DLS）の測定を行うことになった。DLS の測定をすると“ウグイスの粉の粒度分布”と“ウグイスの粉を使って分散したフラーレン C_{60} の粒度分布”は異なる粒度分布で DLS の結果からもウグイスの粉によるフラーレン C_{60} の水分散が示唆された。

(5)後期の研究活動（3学期の活動）

3学期に入り、第2学年で実施していた理科探究の実験もデータをまとめる時期に入った。また、学年末に校内理科探究発表会の実施を計画しておりその準備をすることになった。

実験における再現性を確かめる実験など、必要な実験を適宜行いつつ、メンバー全員で協力し、原稿作りを行い、発表スライドを作成した。その後、授業時間を活用し何度も発表練習を行い、校内発表会を無事に終了した（写真7）。理科探究の定められたカリキュラムはこれで終了した。



写真7

(6)授業のその後

理科探究に取り組んでいた生徒たちも3年生になり、ウグイスの粉を使った実験も終了したはずであったが、メンバーのうち2人の生徒が「ウグイスの粉によるフラーレン C_{60} の水分散のメカニズムがわからないので、もう少し研究を続けてみたい。」と言ってくれたため、カリキュラムを飛び越えて課外の時間を活用し研究を継続することにした。

ウグイスの粉によるフラーレン C_{60} の水分散のメカニズムを明らかにするため、ウグイスの粉に含まれる主な成分を確認するとグアニン、プロテアーゼ、尿素であった。

続いて生徒たちはグアニン、プロテアーゼ、尿素を用いてフラーレン C_{60} の水分散が達成できるか、丁寧に実験を重ねた。その結果、興味深いことに以下に示すように3種類の成分がそろった時のみ、フラーレンの水分散が達成できることが判った（図2）。

本実験は、“なぜ、ウグイスの粉を使ってフラーレン C_{60} を水分散できるのだろう”という問いに、実験的な手法を用いて解決の糸口を見出したという点で、生徒たちの顕著な成長がわかる理科学研究活動の極めて高い教育効果が示唆されるよい例となった。

“フラーレン水分散のメカニズム” ②分散剤の検討

entry	分散剤	フラーレンの水分散
1	尿素	×
2	グアニン	×
3	プロテアーゼ	×
4	尿素+グアニン	×
5	グアニン+プロテアーゼ	×
6	尿素+プロテアーゼ	×
7	プロテアーゼ+尿素+グアニン	○

3つの成分の相乗効果により フラーレンの水分散を達成している

図2

(7)学会への挑戦

実験を重ね、データがそろいつつある中で、生徒達から「せっかく実験をしているのだから、大学で研究発表をしてみたい」という申し出があった。ちょうど知り合いの先生から、京都大学で開催される日本応用糖質科学会（2024年9月）フレッシュシンポジウムの参加を打診されていたため、チーム理科探究のメンバーとともに参加することにした。

ポスターを苦勞しながら作成し、京都大学での彼ら

にとっては人生初のポスター発表を行った。これまで話したことの無い大学の教員や大学院生と多くの議論を重ねることができ、生徒には極めて良い機会になった(写真8)。

スーパーサイエンスハイスクール(SSH)を実施していない高等学校で、文系の学生が専門的な学会に参加するという点で、本教育活動は極めて特異的で興味深いことを申し添える。

(8)高校化学グランドコンテストへの挑戦

様々な実験や学会参加を経て、「化学の甲子園」と呼ばれる第19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。時期が入試と重なるということもあり、日程に余裕はなかったが結局参加を決めた。

生徒と教員で要旨を作り上げ、参加申し込みをしたところ、89件のエントリーの中から10件の口頭発表に選ばれ、芝浦工業大学で発表をすることになった。当日は、前日まで繰り返し発表練習をしていたので、疲れもあったものの、何とか新幹線に乗り東京に向かった。ホテルについてからも、夜遅くまで、口頭発表の練習や質疑応答の練習をして本番を迎えた。

実際に、発表会場を訪れると会場は大変広く、生徒たちは緊張していたが、練習の成果もあり、堂々と

発表を終えた(写真9)。また、大学の教員の専門的な質問のほとんどにしっかりと答えていた。文系の学生ながら、自分の頭で論理的・科学的に考え、質疑応答を乗り越えることできた。さらに、本グランドコンテストでは長瀬産業株式会社に研究を高く評価していただき、NAGASE賞および金賞を受賞することができた(写真10)。生徒の2年

間の努力が顕著に示された、非常に優れた発表であった。理科研究活動が、生徒の論理的思考力やプレゼンテ



写真8



写真9



写真10

ーション能力に多大な影響を与えることがよくわかる実践となった。

高校化学グランドコンテストに関連する様々なエピソードは、「高校生化学宣言 Part16」に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実直な言葉で書かれているため、是非一読してほしい。

3. まとめ

専門的な化学の知識が全くなかった文系の生徒達は、1年間の理科探究の授業および、授業を飛び越えた研究活動を通して、優れた科学的思考力と論理的思考を身につけた。必要な実験を考え、計画し、教員からのアドバイス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。高校の教科書の内容を飛び越えて多くの知識を貪欲に身につけようとした生徒たちの姿勢には本当に感動した。さらに、様々な研究者と研究討議を行い、大学院生や企業研究者に混じって多くの経験を重ね、教室を飛び越えて優れたプレゼンテーション能力を身につけた。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、物事に真摯に取り組む能力も同時に身につけたように感じる。生徒とともに考え、研究した2年間は教員にとっても極めて楽しく充実した期間であった。本活動に参加した生徒の一人は「研究活動は、自分の高校生活でかけがえのない楽しい経験であった」と語っており、本活動を通して、生徒に研究活動の楽しさを十分に伝えられたことが端的に現れている。

文系理系の枠および教科書の枠に縛られない教室を飛び越えた研究活動が、すべての生徒の潜在的な可能性を著しくひろげる重要なツールになることを強く感じた教育実践である。理系の生徒のみならず、文系の生徒にも理科の研究活動は極めて効果的な教育活動であり、近い将来、決まり切った枠に縛られない、様々な枠を飛び越えた理科研究活動が、生徒のよりよい将来を創造する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、中谷財団、双葉電子記念財団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大阪公立大学理学研究科の篠田哲史教授、研究全般をサポートしていただいた実習助手の丹治育代先生には、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。