

## V. WWLプロジェクト

doi: 10.18999/bulsea.68.95

## 第1章

## サイエンスグループ

大羽 徹・若山 晃治・石川 久美  
西川 陽子・斉藤 瞳

## 1 概要

## (1) 目的

生徒研究員制度は、授業後や長期休暇中に生徒が主体的に課題に取り組む課題探究である。本校では、授業時間内に多くの課題探究の時間がある。中学2年生・3年生の課題研究I、高校2年生・3年生のSTEAMにおいて課題探究に取り組む機会がある。しかし、授業内だけでは、実験・解析などを十分に行うことはできない。そこで、授業時間外で長時間かけて多様な探究活動ができる機会として、生徒研究員制度を設けた。

## (2) 実践内容

高校生と中学生が一緒に活動しており、最大6年間自分の研究を継続することかが可能である。現在は、数学プロジェクト、相対論・宇宙論プロジェクト、色素プロジェクト、粘菌プロジェクト、ヒドラプロジェクトの5つのプロジェクトが探究活動を行っている。

## (3) 評価

「JSEC2022 (第20回高校生・高専生科学技術チャレンジ)」では、相対論・宇宙論プロジェクトに所属する生徒の研究テーマ「地球と月の二体系における太陽の2次摂動による月の軌道」が最終審査会に採択され、「阪急交通社賞」を受賞した。また、「第18回日本物理学会 Jr.セッション (2022)」では、相対論・宇宙論プロジェクトに所属する生徒の研究テーマ「月を24時間追跡する一振り子を用いた装置の作成、月の引力の測定」が「優秀賞」を受賞した。

相対論・宇宙論プロジェクトでは、2015年度から名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室で行っている研究がある。この研究では、愛知県立明和高等学校SSH部物理・地学班に所属する生徒と共同で研究を行っている。2022年度の研究では、プログラミング言語Pythonを用いて原始惑星系円盤 HD163296を画像解析し、円盤長軸上の観測データから、中心星の質量を求めた。研究成果を「第25回ジュニアセッション (主催: 日本天文学会)」にて、研究テーマ「アルマ望遠鏡の電波観測による原始惑星系円盤の解析—プログラミングを用

いた中心星の質量解析—」を発表した。

(文責 大羽 徹)

## 2 数学プロジェクト

## (1) 目的

数学プロジェクトでは次のことを目的として活動している。1. 数学に興味をもつ生徒が集まり、教科書の内容を超えて様々な数学に触れ、知的好奇心を深めること 2. 授業で学んだ内容を生かしながら、自身でテーマを定め探究活動を行い、研究方法や成果のまとめ方を学ぶこと。また、探究成果の発表を行うこと 3. 数学に興味はあるが得意ではないという生徒でも参加できる活動を実施し、数学に取り組む喜びを仲間と共有できる場となること

## (2) 実践内容

本年度は25名の生徒が数学プロジェクトに所属した。

目的1に関連し、中部大学創発学院主催によるオンラインの数学ワークショップへ参加した。ワークショップでは研究者の方から、なぜ研究者になったのか、数学の研究をするとはどういうことか、また数学が社会でどのように役に立っているのかといった話を聞くことができた。生徒の感想として「日常で触れている中から研究題材を探して、それを数学で考えることで研究は完成するのだと改めて感じた」、「社会問題など何にでもバックに数学があり、数学が土台になっているという考え方が面白かった」という記述が見られ、学校の授業では問題を解くことが目的になりがちだが、数学とどのような関わり方があり、数学の世界がどのように広がっているのかを学ぶ良い機会となった。

目的2に関連し、4組のグループや個人が研究を行った。1組目は、数学Bで学習した数列に興味をもち、様々な数列の性質について探究した。2組目は、松ぼっくりやヒマワリなどに現れる黄金角とフィボナッチ数列の関係についてグラフソフトを使いながら調査した。3組目は、特徴的な計算が可能な分数の組について探究した。4組目は、未解決問題であるコラッツ予想について、数字同士の関係に注目し、それを表やグラフにまと

めた。年度末に向け、それぞれの研究成果をまとめていく予定である。また、これらの研究以外にも、京進数学解法コンテストで敢闘賞を受賞したり、日本数学コンクールで優勝賞や奨励賞を受賞したりするなど、様々な取り組みに参加し、その力を発揮した。

目的3に関連し、本年度から新たに「名大附からの数学 数学力グランプリ」という問題冊子を2か月毎に発行し、校内でコンテストを行う取り組みを始めた。掲載する問題はすべて生徒が作成をし、数学プロジェクトのメンバーのみでなく、全校生徒に解答を呼び掛けた。また、提出された解答についても生徒自身が採点を行った。

### (3) 成果と課題

ワークショップの参加や問題冊子の取り組みをプロジェクト外の生徒にも呼び掛けたことで、全校生徒に対し数学に関わる機会を提供でき、年度途中からプロジェクトに所属する生徒も現れた。特に問題冊子については生徒が主体となって作成しており、今後も継続していきたい。一方、それぞれの活動内容や研究成果を互いに共有する機会については多くなく、研究活動をサポートし、内容を深めるような活動を充実させることが次年度の課題である。 (文責 若山晃治)

## 3 相対論・宇宙論プロジェクト

2014年度に創設した相対論・宇宙論プロジェクトは、今年度で9年目である。2022年度は、研究グループ毎に大学の先生のご指導をいただき、研究を進めた。また、生徒がプログラミング言語 Pythonを用いて研究を行う体制ができた。愛知県立明和高等学校 SSH部物理・地学班に所属する生徒との共同研究を行い、Zoomを用いて議論を行った。

### (1) 実践内容

#### 1) 名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室での研究

(愛知県立明和高等学校 SSH部物理・地学班に所属する生徒との共同研究)

指導者：名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室  
福井康雄名誉教授  
立原研悟准教授  
筑波大学情報学群情報科学類産学間連携推進室  
服部 真吾 氏  
京都大学工学部電気電子工学科2年  
山中孝太郎 氏

星間ガスの密度が高い領域を分子雲と呼ぶ。分子雲が自己重力で収縮することで星が形成されるが、遠心力により星の周囲にある一部のガスしか中心に到達できない

ため、図1のように、中心星の周囲に原始惑星系円盤と呼ばれる円盤が形成される。2021年度は、原始惑星系円盤の電波強度の分布を示す画像から目視で円盤長軸上の観測データを取得し、モデルのフィッティングを行うことで、原始惑星系円盤の中心星の質量を求めた。

2022年度の研究では、プログラミング言語 Pythonを用いて原始惑星系円盤 HD163296を画像解析し、円盤長軸上の観測データから、中心星の質量を求めた。

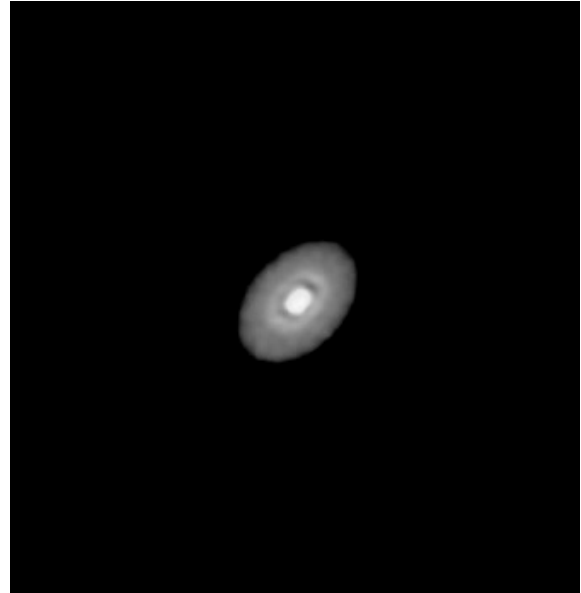


図1 原始惑星系円盤 HD163296 (電波)

発表歴：

○第25回ジュニアセッション (主催：日本天文学会)  
研究テーマ：アルマ望遠鏡の電波観測による原始惑星系円盤の解析  
—プログラミングを用いた中心星の質量解析—

### 2) 地球と月の二体系における2次近似の太陽の摂動による月の軌道

指導者：慶應義塾大学表実名誉教授  
名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程1年  
神田 行宏 氏

地球と月の二体系で考えた場合、月の軌道は地球を焦点とする楕円になる。観測データを楕円のモデルにフィッティングすると、月が近地点にあるとき、地心距離がモデルの値に比べてかなり小さいものがある(図2)。

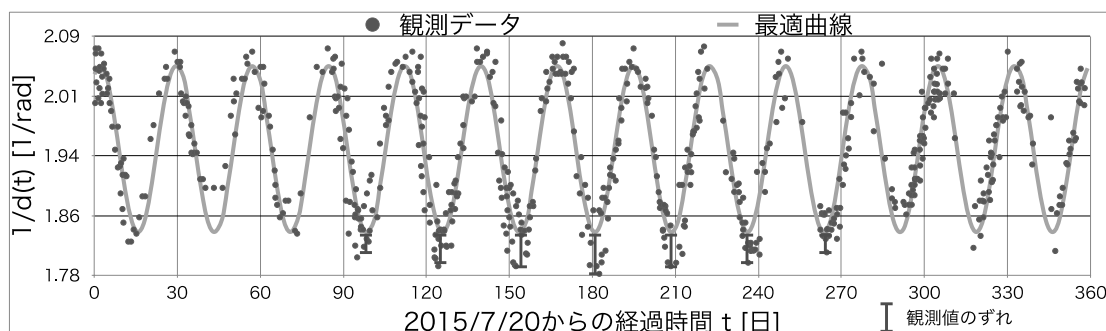


図2 1/月の視直径 (d (t)) の時間変化の最適曲線と観測データとのずれ

2022年度の研究では、この原因が太陽の重力である可能性に着目し、月の運動を地球の他に太陽を含めた三体系で考察した。しかし、三体の質点系の運動は、一般に解析的に解くことは不可能とされている。そこで、我々はこの系を地球と月の二体系に太陽の重力が摂動として加わっていると考え、2次近似の月の軌道を求めた（地球と月の二体系における月の軌道要素、太陽と地球の二体系における地球の軌道要素、太陽と地球、月の質量は分かっているとする）。

解析の結果、地心距離の極小値が半年の周期で変化することが分かり、観測データにおける地心距離の極小値の時間変化を説明できた。また、地球と月の二体系に太陽の潮汐力が影響して月の軌道が変化していると解釈できることが分かった。

発表歴：

○JSEC2022（第20回高校生・高専生科学技術チャレンジ）

（主催：朝日新聞社、テレビ朝日）

研究テーマ：地球と月の二体系における太陽の2次摂動による月の軌道

### 3) DSCOVR衛星が撮像した地球の画像解析

指導者：名古屋大学理学部物理学科2年

石川 陽 氏

筑波大学情報学群情報科学類産学間連携推進室

服部 真吾 氏

京都大学工学部電気電子工学科2年

山中 孝太郎 氏

NASAが操作する DSCOVR衛星（Deep Space Climate Observatory）から撮像した地球を、プログラミング言語 Pythonを用いて画像解析を行なった。また、DSCOVR衛星が地球を撮像したときの太陽—地球間距離、地球—衛星間距離、太陽—衛星間距離から DSCOVR衛星の軌道を算出した。そして、DSCOVR衛星が軌道を維持するためのエネルギーを研究した。

### 4) 月の引力測定

指導者：名古屋大学大学院理学研究科

三浦 裕一 元准教授

主に月の引力による「潮汐力」によって1日に2回、海で干満が起きている。例えばカナダのファンディ湾では、満潮と干潮の高さの差は15mにも及ぶ。海面の高さをこれほど変えるほどの力であるにも関わらず、月の引力を日常生活の中で感じることはない。

そこで、我々は月の引力を直接測定することに挑戦した。専門の研究者でも、月の引力の測定には輸入した専門メーカーの測定器を使用することが多く、測定器の自主開発には大きな困難が予想された。月の引力の絶対値から月の質量を決定することが目標である。

これまで電子天秤（METTLER-AG285）を用いて、地球重力の高さ依存性を精密測定し、その測定値から地球の半径を決定してきた。同じ方法で月の引力を測定しようとしたが、地球の引力（重力）の1千万の1に過ぎず、測れる錘の重さにも制限があるため、精度が不足することが分かった。

そこで、錘の重さに制約を受けない「振り子」を製作し、月の引力による東西方向の「振れ角」を長時間にわたり連続測定することを考えた。しかし、月の引力は非常に小さいため、装置の製作には苦勞した。安定性やノイズ対策など、装置の改良を続け、月の引力による約24時間周期の振り子の振れを検出した。

測定結果から月の質量を求めた結果、文献値とオーダーが一致した。



図3 実験装置の全体写真

発表歴：

○第18回日本物理学会 Jr.セッション (2022) (主催：日本物理学会)

研究テーマ「月を24時間追跡する－振り子を用いた装置の作成、月の引力の測定－」

## (2) プログラミング遠隔教育の構築

筑波大学情報学群情報科学類産学間連携推進室

服部 真吾 氏

天体を対象にした研究では、膨大な観測データを扱い、手作業の解析が困難である。そこで、2022年度からプログラミング言語 Pythonを用いて解析を行うことにした。本プロジェクト卒業生である筑波大学情報学群情報科学類産学間連携推進室の服部真吾氏の協力を得て、プログラミング教育を遠隔で行う環境を構築した。

プログラミン遠隔教育には、服部氏の他に、本プロジェクト卒業生である京都大学工学部電気電子工学科の山中孝太郎氏にも協力を得た。2022年度に服部氏と山中氏は、高校2年生1名、高校1年生6名、中学2生16名の指導を行なった。生徒研究の成果として、原始惑星系円盤 HD163296を画像解析し、円盤長軸上の観測データから、中心星の質量を求めることができた (1-1)。

参考文献：プログラミング教育講座の舞台裏 Vol.04, 高度プログラミング教育研究会、2022

## (3) 成果

本プロジェクトの2022年度の大きな転換点は、筑波大学情報学群の服部真吾氏の協力を得て、生徒がプログラミング言語 Pythonを用いて研究を行う体制ができたことである。生徒が中学・高等学校の段階において、研究でプログラミングを扱うことは、将来、大学での研究に生かされると考える。

「JSEC2022 (第20回高校生・高専生科学技術チャレンジ)」では、研究テーマ「地球と月の二体系における太陽の2次摂動による月の軌道」が最終審査会に採択され、「阪急交通社賞」を受賞した。また、「第18回日本物理学会 Jr.セッション (2022)」では、研究テーマ「月を24時間追跡する－振り子を用いた装置の作成、月の引力の測定－」を発表し、「優秀賞」を受賞した。

名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室での研究は、オンラインで立原研悟准教授からご指導をいただいた。また、愛知県立明和高等学校 SSH部物理・地学班に所属する生徒と共同で研究を行なった。定期的に明和高校の生徒とオンラインを用いて議論を行なった。研究成果を「第25回ジュニアセッション (主催：日本天文学会)」にて、研究テーマ「アルマ望遠鏡の電波観測による原始惑星系円盤の解析－プログラミングを用いた中心星の質量解析－」を発表した。 (文責 大羽 徹)

## 4 色素プロジェクト

### (1) 目的

色に興味を持つ生徒が属する色素プロジェクトには今年度約40名の生徒が登録している。生徒たちは、各自が興味をもっている内容に関する研究テーマを設定することから始める。自分たちでテーマを決めて探究活動を行う中で、仮説の設定、実験、データの分析、考察などの探究のプロセスを身につけることを目標としている。また、不思議に思った現象に対してどのようにその本質に迫るかを試行錯誤の中で学んでいくことを目的としている。小グループに分かれ、グループごとに自分たちでテーマを設定して研究している。

### (2) 実践内容

今年度は、高校1年生はサーモクロミック色素についての研究に取り組んでいる。市販の黒インクを用いて実験する中で、高温時に塩基性条件では黒色が残り、酸性条件では白色になることを見つけた。市販のインクでは、成分比や作成条件を調整できないため、自分たちでサーモクロミック色素を作成して条件による色の変化を確かめた。

このグループは、「サーモクロミック色素の変色と構造変化」について、2022年11月11日 (金) に白鳥ホールで開催された日本生化学会高校生発表会でポスター発表を行った。ここでは、クリスタルバイオレットラクトンで作成した青色のサーモクロミック色素と6-(ジエチルアミノ)1,3-ジメチルフルオランから作成したオレンジ色のサーモクロミック色素について発表を行った。2つの色素ともに、サーモクロミックの性質を示し、液性による色の変化が見られた。水素イオン濃度によってロイコ色素、顕色剤、変色温度調整剤がどのように構造変化をするのかについて考察を行った。自分たちで作成したサーモクロミック色素を手にしながらか説明を行い、日本生化学会に参加した研究者から多くのアドバイスを受けることができた。

高校1年生の別のグループは、色素増感型電池を作成しているが、多くの工程の中のどの部分が電池の出力に影響してくるのかを探っているところである。中学生は、茶葉の色素の抽出と同定、植物のシュウ酸濃度測定、炎色反応を用いたろうそく作りなど基本的な実験に取り組む中で実験技術を身につけている。

### (3) 成果と課題

サーモクロミック色素の作成には、最低でも3時間半の加熱が必要で、平日の授業後では作成できなかった。そのような中でも、昼放課も利用しながら実験を進め、作成条件や液性による発色の違いを考察するところまでは検証できた。日本生化学会でのアドバイスを受けて、

さらに異なる条件下での色の变化から、変色のしくみについて研究を続けていく予定である。

これまで、毛髪中のメラニン含量測定、色素増感型電池、鉱物中の銅の含量測定、蛍光塗料の合成、植物の種類と含まれるクロロフィルの種類の関係、クロマメに含まれるアントシアニン、コムギ糠の発酵によるアントシアニンの合成など多様なテーマを研究してきた。

このように生徒たちが自分でテーマを設定して研究を行うことによって、生徒の興味・関心を深めることができる。しかし、研究テーマが異なると、下級生へのアドバイスも難しい部分もあり、各グループがそれぞれに研究する状態になる。このため、プロジェクト内で発表会を行って、それぞれのグループの進み具合を共有する機会を設けている。(文責 石川久美)

## 5 Slime Mold Project

### (1) 実践内容

スライムモールドプロジェクトでは、真正粘菌であるモジホコリの行動及び生態を研究しており、粘菌の様々なパターンにおける行動からその規則性を調べることを目標としている。今年度も新型コロナウイルス感染症の影響もあり、十分な活動ではないが、中学生は迷路実験を行った。高校生は色による粘菌の動きの変化や寒天のpHによる粘菌の動きの変化について研究を行った。

### (2) 成果と課題

今年度は、光粒祭において中高生がそれぞれ発表を行った。今後は、プロジェクトの生徒たちの目標である「モジホコリの変形体の活動規則に基づくシミュレーション作り」を目指し、十分なデータを集めていく必要がある。しかしながら、生き物を扱うため、限られた時間内で実験を行うことは難しいが、グループごとに計画的に実験を進め、迷路実験の応用、寒天のpHによる動きの変化の実験をより詳しくしていきたいと考えている。(文責 西川陽子)

## 6 ヒドラプロジェクト

### (1) 目的

授業で取り組む実験は、單元ごとに定まった観察・実験対象がある。そのため、生徒が自ら興味を持った現象を研究課題に設定し、自由に実験計画を設定することが難しい。本プロジェクトでは主に生物を実験の題材とする。自身で見つけた題材について生態や特徴を調べ、仮説の設定と、仮説に基づいた課題を解決する力を育てることを目的とする。さらに、実験の題材とする生物を通して生命の大切さを意識させる。

### (2) 実践内容

各自題材とする生物に基づいて事前調査をおこなう。書籍やインターネットなどを活用し、何が知られているのか、何が解明されていないのかを検証する。事前調査後に仮説を立て、自身ができる解決方法について熟考させる。この時、無闇に実験生物を酷使する内容や実現不可能な実験であれば教員から再考すべき点を指摘し、実験手法の再考を促す。また、失敗することが予測される実験であっても、危険性が伴うことや備品の大きな損失がないようならば、難しいことを伝えつつも実施することは止めない。このことで、事前の実験計画の大切さを学習させる。

実験中は実験ノートにまとめることで、正確に記録を残す指導をする。ごく当たり前のことであるが、授業でしか実験を実施したことがない場合、実験ノートを作成できない。実験ノートの作成指導を通して、記録の大切さを意識させる。

プロジェクトの発足時にはヒドラを用いて実験をおこなっていた。しかし、プロジェクトの発足から今年度までの間に、生徒達の興味関心の幅が広がったことで、研究対象を多くの生物に変更している。現在は、カイミジンコ、ゾウリムシ、ケイ藻類、オオカナダモ、コケ類、アサガオ、ダンゴムシ、ショウジョウバエなど、大小様々な分類の生物にそれぞれ興味を持って取り組んでいる。また、近年ではSDGsについて校内で考える機会が多いため、校内の環境調査について積極的に取り組む姿勢が見られる。さらに、既存の実験方法より効率的、もしくは、より結果が明確になる実験方法を研究課題として取り組む姿勢がみられる。

### (3) 成果と課題

前年度から引き続き、仮説を意識すること、実験計画をたてることを指導している。生徒自身も、行動に移す前によく考えるようになった。根気よく指導を続けていく。

昨年度と異なる点は、既存の実験方法をそのままなのでなく、自分たちが調査したいことに適した方法にするにはどうしたらよいかを考えるようになった。この視点から派生して、実験方法自体を課題として研究することの意義も実感できている様子だ。

次年度以降は、校外で発表できるような形に研究結果や考察をまとめさせたい。現在、データ数が少なく、校外での発表に耐えうる内容ではなかった。改めて、生徒と実験データを精査したいと考える。(文責 斉藤 瞳)