

2022年度から始まる新学習指導要領では、「SSHの学校だけでなく、一般の学校にも課題研究や探究的な学習を広めていこう」という趣旨のもと、新たに共通教科「理数」が設置されます。本特集では、現在、学校設定科目やSSHの科目として探究（課題研究）に関するご授業を積極的に行っている4人の先生方の授業の様子や評価方法などをご紹介します。今後の「理数探究基礎」や「理数探究」へのご参考にしていただければと思います。

## 共通教科「理数」における数学に関する探究について

(2019年4月21日 東京理科大学数学教育研究会シンポジウム レポート)

■探究学習の要諦（清真学園高等学校・中学校  
法貴孝先生の発表より）

### 1. はじめに

「どうやったら探究学習ができますか？」  
しばしば聞かれる質問です。はじめにあえてはつきり言います。正直その質問は、究極的に無駄です。場合によっては、質問者が思考停止に陥っている可能性すらあります。

そもそも学校毎に、カリキュラムも違えば生徒も教員も違います。環境が異なるのだから、他校の実践をそのまま落とし込めないのは当然です。また、うまくいっている実践の背景には、それを作り出した人のパッションが存在します。目に見えること以上に、そこには様々なストーリーがあり、そこにこそ学ぶべき本質が隠れています。

要は、WHYのない探究学習は意味をなさないということです。「どうやったら」の前に

「何故、生徒に探究をさせたいのか？」

という問いについて、各教員が対話を繰り返しながら、考え続けていくことが肝要です。

学校として明確なビジョン（目的）を掲げ、共有し、誠実に目の前の生徒たちを見取ること。そして、生徒たちそれぞれが自らの翼をもってビジョンに向かって羽ばたいていけるように、カリキュラム・方法を構築していくことこそが私たち教員の役目でしょう。「ビジョンが先、方法は後」です。この順番を間違えると、方法がひとり歩きし、目的が迷走しはじめ、生徒も教員もやらされ感と疲労感に苛まれるだけの誰も幸せにはなれない時間を過ごすことになります。

### 2. 大切なのは「心」

「探究と研究の違いは？」

これもよく聞かれることです。

批判を承知で言えば、学校教育において探究は究極的な「心」の教育であり、研究は「力」の教育であると私は考えます。

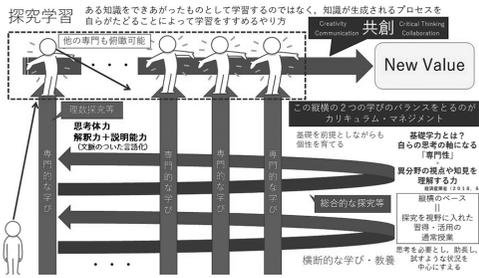
秋山仁氏は20年以上前の著書「オロカ者の定義」（学研、絶版）で、「不思議を感じる心をオレは評価する」と題して、数学の入試を好き勝手に作れるならどんな人を合格にするか、以下の3つに分けると記しています。

- 1：難問を解ける人
- 2：不思議なものを感じる心を持っている人
- 3：難問を解くこともできない、不思議を感じる感性もない、だけど、いったん数学的真理を格闘の末理解すると、とても感動する心を持つ人

次期学習指導要領でも、生徒のやる気・主体性が大事にされていますが、秋山氏のいう2、3がいまだに多くの学校現場で評価されていないように私は感じます。数学に限らず、生徒の「本気の好き」を応援する場、その1つが探究学習なのではないでしょうか。もしも、生徒が1年間何かを続け、外部で表彰されたとしても、その後継続しないという意味を示したならば、それは研究としては成功でも、探究としては失敗なのかもしれません。「本気の好き」にさらに火をつけていく、そういった場が学校内に広がればと思います。

### 3. 私の理想像

気づけば私も数学の探究学習に関わり始めて13年近くがたちました。以下のスライドは私が講演で必ず見せているもので、私の理想像です。



学びには、「専門的な縦軸の学び」と「教科横断的な横軸の学び」が必要であり、これらのバランスを生徒・教員がどうマネジメント・コラボレーションしていくかが問われています。たとえば「理数探究」等で専門的な学びを深める一方、「総合的な探究の時間」では往還のある横断的な学びをすすめるといった、相互に調和をとりつつ、専門性と教養を兼ねそなえた「他分野も俯瞰できる専門家」を育てたい。そして、「個性」を磨いた専門家が1つの教室に集まることでNew Valueが生まれる環境を整えたいと常日頃から考えています。

現在の勤務校は、幸いにもSSH（スーパーサイエンスハイスクール）の指定を受けています。高校1年次には全生徒が内容知としての探究的手法の習得を目標とした「探究基礎」（学校設定教科「探究」）と、実際に約25あるゼミから1つに所属して専門を究める「プロフェッショナルゼミナール」（総合的な探究の時間）との両輪での活動を通し、探究に必要な知識・技能と資質・能力を一体として学ぶシステムが確立されています。

ゼミナールも「教員の大好きを生徒にもっと還元したい」をキーワードに、今では自然科学系だけではなく人文科学、社会科学、音楽や美術、スポーツ科学等、バラエティーに富んだものとなっていて、気づくと、本校に所属する教員のほぼ全員が何かしらの形で探究学習に携わっている体制が整いました。好きの力ってすごいですね。

#### 4. IMMCでの生徒の活躍

昨年、理想が現実となったのが、金沢大学が主となり国内予選を行ったIMMC(インターナショナルマセマティカルモデリングチャレンジ)で、

本校参加チームが国内代表に選ばれたことです。参加した生徒は当時の高校2年生たち4名でした。



IMMCでは、制限時間120時間の中で、ある課題について20ページの論文を協働して作成・提出します。ちなみに2019年の課題は「人の生命に対する地球の環境収容力とはどのようなものであろうか？」で、数学だけでなく幅広い知識を必要とするものでした。しかし、参加したメンバー4名は数学が好きという共通点をもちながらも、数学・化学・生物・物理系のゼミナールにそれぞれ所属していた生徒たちです。それぞれの専門家がそれぞれの視点で1つの課題に向かい合うことで、新たな価値が共創されていく現実が私の目の前で次々と起こりました。何よりも5日間の彼らの集中力は並々ならぬもので、むしろ、学びを楽しんでいる姿が今も私の目に焼き付いています。

また、彼らは以前に同じチームを組んで、「日本数学A-lympiad」にも挑戦していました。そのリベンジという意味合いも強かったのだと感じます。

大会名	A-lympiad	IMMC
国際大会正式名称	The International finale of the Mathematics A-lympiad	The International Mathematical Modeling Challenge
国際大会主催	the Freudenthal Institute of Utrecht University in the Netherlands	the Consortium for Mathematics and its Applications (COMAP)
国内大会正式名称	日本数学A-lympiad	
国内大会主催	金沢大学【実行委員長：教職大学院研究科長 大谷 実 教授】	
参加1チーム人数	高校生 3 or 4 名	
国内大会実施場所	各高等学校	
国内問題解答送付方法	メール添付（国内大会事務局と）	
問題言語	英 語	
解答言語（国内）	日 本 語	
解答言語（国際）	英 語	
参加費	無 料	
解答時間（国内）	7時間	5日間（120時間）
実施時期（国内）	11月末日曜（B-day）	March 11th and May 6th, 2019
実施時期（国際）	3月2日間	【国内大会の解答を国際大会へ送付】

#### 5. 『教育よりも教訓』

自らを振り返ってみると、生徒の探究学習を支援するうえで大切にしていることは、以下の3

点です。

- ① 自らも探究する人であること
- ② 生徒が自分を超えていくことを恐れないこと
- ③ ワクワクを大切にすること

日常の授業でもそうですが、生徒とは「教える・教えられる」の関係ではなく、一緒に「きょうそう（共創・競争）」し合える仲間としての位置取りを私はとっています。そのためにも、生徒に要求することは自分にも課す、生徒が何かを探究しているのであれば、自分も何かを探究し続ける。これがなければ、生徒からのシグナルやシンパシーを感じとることはできません。いざとなったとき、手助けできるのは同じ経験をしている仲間だけだと考えます。

また、これは恥を承知で告白しますが、大体生徒が1年間数学の探究学習をすすめると、その内容を私は理解できなくなります。私自身、数学が得意ではない何よりの証拠ですね（笑）。でも、生徒の出した成果は知りたい（得意ではないけど数学は心から好きなのです）。だからこそ、自分の研究内容をストーリーとして語ることの大切さやプレゼンテーションスキルについては何度も伝えますし、実際に行う場もたくさん提供します。こうすることで、万が一私が何もフィードバックできなくなったとしても、他者から助言・アドバイスをもらうことができます。常に、生徒が成長し続ける未来を見据えて今を見る視点が大切です。

でもなんだかんだいってやっぱり一番大切なのは、やって楽しい、ワクワク感があるかどうかでしょう。単純だけど、結局は好き・楽しいから何事も続けることができます。私たち教員がまさにその典型です。パッションとワクワクに満ち溢れた場づくりができれば、それだけで生徒は私たちの予想をはるかに超えて、目標に向かって天高く羽ばたいていくことでしょう。そのためのスキルを我々教員は獲得する必要はありますが、真に大切なことはいつだってシンプルなのです。

## 6. 終わりに

ときに数学は、登山にたとえられます。そうい

った意味でも私は「数学」をよく「数岳」と表現します。登る山はその高さも含めて人それぞれ違ってよい。でもせつかく登るのならばその途中過程にも目を向けて楽しんでいってほしい。そして、ぜひとも他者の経験を自分の山に置き換えて振り返りながら、一步一步進んでほしいと願っています。

最後に、私の教育観を載せておきます。いつか、これを読んでくださった人々と対話できる日がくることを願って…。

### ビジョン

最高の「素敵」を共創する。

### ミッション

「変容」「最適化」「限界突破」を繰り返し、サバイバルできる自分たちへと成長する。

（サバイバルできる…ものごとの道理を見極め、どのような場面においても生き抜き、より良くできる）

### 授業目的

A：知識獲得と知恵発揮のスパイラルを通して、数学的思考法を獲得し、数学がつかえる・つくれる・見出せるようになる。

B：数学を通して、創造的で批判的な思考力を養いつつ、アントレプレナーシップを高めていく。

### 授業方針

DISCOVER（教師がすべてをカバーしない（discover）からこそ、学び手に気づき・発見（discover）が生まれる。）

### バリエーション

Peer to Peer で「ココロ」と「カラダ」と「アタマ」と「ナカマ」がアクティブになれるように、自らが選択・行動・提案する。

（ア）燃えるほど「しこう」（思考・試行）する

（イ）「とく」（徳・得）な行動をする

（ウ）開始時よりも「しんか」（進化・深化）する

（エ）「あす」（明日・us）を大切にする

（オ）終了後に「ミチ」（道・未知）を切り開く

以上、誠にありがとうございました。

## ■理数探究基礎に該当する「和算の解釈と表現」について（茨城県立竜ヶ崎第一高等学校 小林徹也先生の発表より）

### 1. はじめに

近年和算に関し、伊能忠敬、間宮林蔵の偉業をたたえるテレビ番組がときどき見られます。また映画には「天地明察」、アニメ「算法少女」などの作品があります。中学校高等学校の教科書にも和算に関する記述がみられます。そこで、私たちはSSH 学校設定科目における探究のテーマを和算にしました。

### 2. 探究活動

#### ①和算序論

授業では、まず、飛鳥時代から明治期までの我が国における数学・数学教育全体をスライドにより1時間で学びます。これにより生徒たちは、日本に飛鳥時代から数学・数学教育史が存在したこと、生徒自身がその歴史の延長線上にいることを学びます。

次に、江戸時代における和算の問題を解く活動を1時間行います。これにより生徒は、約400年前の和算の問題を生徒の既習の数学を用いて解くことができることや、それを現代の数学を用い工夫して解を表現することを学びます。

#### ②和算の解釈と表現

さて、これからが本番です。本校SSHでは「協働」が1つのテーマであったため、5人で一班とし活動させました。各班に現代語訳のない異なる和算の原文を与えたことが特徴です。解釈する和算書については、和算研究所の佐藤健一理事長に相談し、本校1年生の既習を勘案してふさわしい和算書の推薦をお願いしたところ、これまで次の3つの和算書をご呈示いただいています。

#### 見立算法規矩分等集

（みたてさんぼうきくぶんとうしゅう）万尾時春 著  
算法勿憚改（さんぼうふつたんかい）村瀬義益 著  
算法闕疑抄（さんぼうけつぎしょう）磯村吉徳 著  
これらのうち2つ目、3つ目は行書のため、そ

のままでは生徒たちは読めません。幸い、現代に翻刻（活字化されたもの）があるので、それを渡します。これらの和算書の特徴は、現代語訳が存在しないことです。このことは図書館、ネット等で調べても答えが見つからないことを意味し、生徒たちに責任と意欲を与える結果となりました。我々は「生徒たちは最先端の和算研究者」といえる状況をつくった、ともいえます。

生徒らは、初めにそれを現代語に訳し、次に現代の数学に表現し、さらに英訳します。何をしていたかわからない状態から、「古典」的な問い、「数学」的な問い、「英語」的な問いを自ら発見し、探究を進めます。「情報」として各種アプリの使い方、ネット上の情報の扱い方も学びます。加えて「日本史」として和算にかかわる江戸文化を調べ、それらをポスターにまとめます。10月にクラス内で中間発表、2月に全校的な発表会があります。台湾の大学関係者も興味を持ってくださいました。これまで5年間異なる課題を与え続け、ポスターは合計280枚を超えています。最終的に校内「生徒研究発表会」でポスター発表を全員にさせました。評価としては、自己評価表を作成しました。さらにGoogle フォームで集計し、傾向を調べました。

このような活動は日本で、世界でここだけと考えています。1年生全クラスに1単位で指導してきたこともあり、この指導は次期学習指導要領「理数探究基礎」にあたります。

### 3. 特徴と価値

#### ①本探究の特徴

(ア) 1年生全員が対話的に行ったこと  
生徒たちは自らのよさと他人のよさを認め合い、活かし合いながら探究を進めることができました。  
(イ) 現代語訳及び解説書のない和算を題材にしたこと  
生徒たちは和算の先端的な研究者となり主体的・意欲的に取り組むことになりました。  
(ウ) 古文から現代語訳、数学的に表現、さらに英訳し、江戸文化を調べ、ポスターに集約したこと



# 課題研究の充実に向けて

愛知県立旭丘高等学校教諭 田中紀子

## 1. はじめに

主体的・対話的で深い学びの充実がいわれ、教育課程に理数探究や理数探究基礎を含んだ学習指導要領（文部科学省，2018）が示された。課題研究を先行的に実施している学校では、内容の深まりに問題意識を持つ学校も多く、また理数探究に取り組もうとする学校では、教育課程編成に頭を悩ませている。

筆者は課題研究において、教科の知識・技能を生かしつつ、深い学びの在り方を追究するとともに、その評価方法を構築してきた。評価については4観点11項目による評価、教員によるルーブリックの評価に加え、生徒自身が評価主体になることを重視し、生徒がルーブリックで自己評価するだけではなく、評価

シートを用いて他者のポスター発表を評価する。本稿では、スーパーサイエンスハイスクール校（SSH校）（愛知県立豊田西高校）で構築した教育課程とその評価手法、そして実践事例を取り上げる。

## 2. 研究の方法

### 1) 課題研究の概要

#### ①課題研究の充実と推進体制の確立

「課題研究」が生徒の主体的・対話的で深い学びに効果的であると考え、SSH事業の中心を「課

表1 課題研究の改善（3年間の流れ）

	第1学年	第2学年	第3学年
H27	SS理科Iの探究活動で扱う(4時間)	SS総合理化, SS物理, SS生物の探究活動で扱う	SS理科課題研究(1単位)
	理型	実施せず	理型
	文型		文型
H28	SS理科Iの探究活動で扱う(4時間)	「総合的な学習の時間」の中で実施(9時間)	SS理科課題研究(1単位)
	理型	教育課程上で明確化	理型
	文型		文型
H29	「総合的な学習の時間」の中で実施(8時間)	SS課題研究I(1単位)	SS理科課題研究(1単位)
	理型	単位数増加で内容充実	理型
	文型		文型
H30以降	SS課題研究I(1単位) SS課題研究II(1単位)	SS課題研究III(1単位) SS課題研究IV(1単位)	SS課題研究V(1単位)
	理型	理型	理型
	文型	文型	文型

3年間（5単位）で学校全体が課題研究に取り組む体制の確立

※H30のSS課題研究IVは「SS情報II」として実施

表2 平成30年度課題研究変容結果

観 点 科 目	興味・関心		姿勢・態度			知識・技能		能 力					
	会・未知や科学(人文・社会・自然)への興味	味 学習成果の応用への興味	自 自分から粘り強く取り組む姿勢(自主性)	仲 仲間と協力して取り組む姿勢(協働性)	真 真理を探究する姿勢(探究心)	記 記述力・説明構成力・分析力	理 実験スキル・データ処理・情報収集	問 問題を発見したり解決する能力(思考力)	断 断する能力(判断力)	事 事実を把握し正確に判断する能力(表現力)	発 発表し伝える能力・対話力(表現力)	開 開かれた能力	創 創造性・国際性などの能力
SS課題研究I(1年)	○	△		◎	○	○	○	◎		○			
SS課題研究III(2年)	○		○	◎	○		○	△	○	○	○	○	
SS課題研究II(3年)		○	◎	○	◎	△		○		○	○	○	○

◎=期待以上 ○=期待通り △=期待以下

題研究」に置き、教育課程の改善を行いながら「すべての生徒が3年間課題研究に携わる」体制へと移行した。そして、SSH第Ⅱ期一年目の平成30年度よりその体制が整備された(表1)。

#### ②課題研究の評価

評価に関しては、SSH科目や各種SSH事業でも利用している4観点11項目(表2の項目がそれにあたる)による評価、ルーブリックによる評価(表3)とポスター発表時の評価票による評価を実施している。ルーブリックは、項目ごとに4つの観点を設定し、評価基準を示した。各活動に

表3 課題研究ルーブリック評価用紙

評価の基準	3年生			
	1年生		2年生	
	1年当初に概ね生徒が到達しているレベル 教員が多くの支援を行って初めて探究が行える	2年生前期に到達して欲しいレベル 教員の支援で探究活動を遂行できる	2年生後期～3年前期に到達して欲しいレベル 教員の支援で概ね自律的に探究活動を行える	実力があると考えられるレベル 教員の最低限度の支援で自律的に探究活動が行える
観点 / 評定	1	2	3	4
探究課題と仮説	課題の設定が表面的で恣意的であり、仮説を立てられない。	教員の支援をうけて課題を設定し、課題に対する自分なりの仮説を立てている。	自ら課題を設定し、課題に対する自分なりの仮説を立てている。	社会・科学的な問題と関連性があり、先行研究を踏まえて課題の意義を明確化している。
研究の計画・実施	教員に示された研究計画に沿って研究を行う。研究の実行において不備が見受けられる。	教員の助言をもとに、仮説を検証できるような研究の方法を考え、計画を立て、実施している。	設定した仮説に対応する研究の方法を自ら考え、計画を立て、実施している。	高校生なりに工夫した研究方法を自ら考え、信頼性や精度のより高い検証法を考え、実施している。
データの解釈(処理)	得られたデータや資料をどのように処理して良いのかわからない。適切なグラフや表を選択できていない。	教員の指示のもとに得られたデータや資料をグラフや表などを用いて表している。	データや資料の種類や調査の目的に応じて、得られたデータ等を適切なグラフや表に表している。	データや資料の種類や調査の目的に応じて、得られたデータ等を適切なグラフや表に表し、多角的に解釈しデータの妥当性を検証している。
説明の構成	主張や証拠の結びつきに誤りを含んでいたり、構成した主張や証拠に誤りがある。そのため主張が恣意的なものになり信頼を得にくい。	概ね正しい主張や証拠を含んでいるが、論理性を欠くところがある。教員の指示のもとに論拠のある主張を形成している。	教員の助言のもとで研究結果に基づく自分の主張とそれを裏付ける証拠を含んだ論理的かつ客観的な考察を構成している。	研究の結果に基づき、課題に対する客観的・多面的な考察を行っている。自分の主張を裏付ける証拠を選び、論理的に主張を形成している。
研究成果の発表	発表の際に、必要なことを伝えず、研究の内容を羅列的に説明する。聞き手を想定せず、適切な答えを返すことができない。	研究全体を通して明らかになったことを発表している。発表全体を通して補うべき情報が不足する。聞き手の質問に対して応答できるが、曖昧さが残る。	研究全体を通して明らかになったことを発表している。聞き手を意識する工夫が見られ、質問に対して概ね適切に答えている。	研究の結果から発表に必要な要素を取捨選択し、研究成果を適切に説明している。聞き手を意識し、他者の意見から学び自分の意見を修正したり論拠をもとに反論できる。

おける評価の観点を、事前に生徒へ理解させてから活動に入るようにし、活動後、生徒は自己評価を行い、それを踏まえた教員による評価を実施するとともに、課題研究全体の評価(表2)も行った。

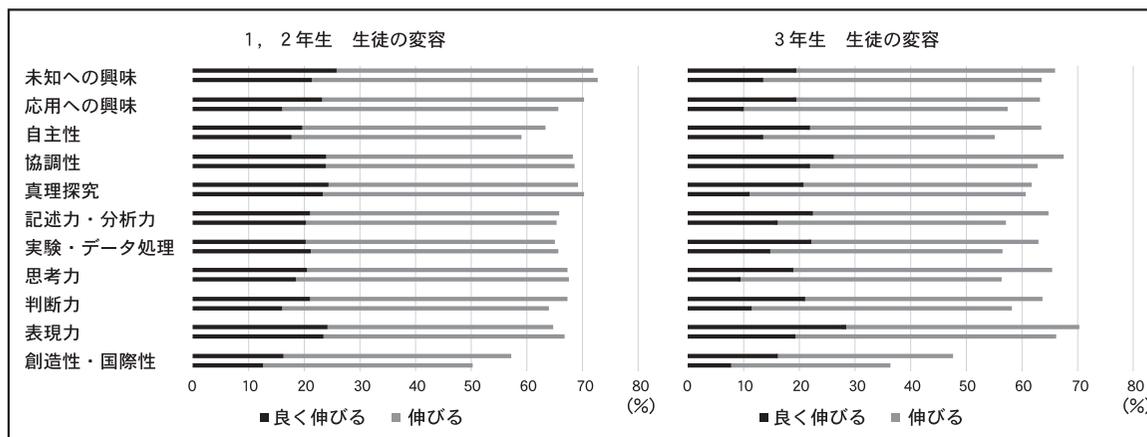
③ SSH 成果発表会

第3学年全員が、課題研究Ⅱの授業内で行った研究内容をポスターまたはスライドにまとめ、9月にポスターセッション・口頭発表を行った。SSH事業や課題研究の成果を発表し、本校生徒・職員だけでなく、地域の中学校・高等学校と共有

することで、理数教育力が向上すると考えている。また、保護者や連携機関にも成果を披露・共有することで、SSH事業への理解と連携深化へ繋げることができる。

評価に関しては、ポスター発表の教員評価と生徒の相互評価だけではなく、SSH成果発表会の参加前と参加後に4観点11項目に関する内容について「よく伸びる」から「伸びない」の5段階でアンケートをとり、分析した(図1)。

図1 「よく伸びる」「伸びる」と感じている生徒(上段参加後、下段参加前)



#### ④課題研究に関する教員研修

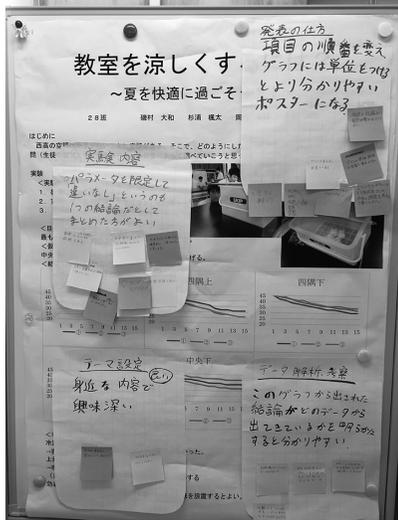
##### ア) 課題研究委員会

各学年で課題研究を指導する教員によって、毎週1回行われている「課題研究委員会」がある。学年ごとに行われる課題研究の授業指導案の作成や、実験室や図書室、コンピュータ室の割り振り、物品の購入・手配や授業時間調整など、課題研究が滞りなく実施されるために重要な機能を果たしている。また課題研究委員会の委員は、担任会や学年会で課題研究の指導案を説明し、滞りなく生徒の探究的学びの支援ができるようにしている。

##### イ) 教員研修

「課題研究委員会」が主催し、校内の教員向けに「課題研究に関する教員研修」を企画・実施した(実施日:平成31年1月10日(木))。全教員が「課題研究でどのような指導・助言を与えると生徒の研究の向上に効果があるか」について、グループごとにディスカッションした。9月に実施した校内の生徒研究発表会のポスターを題材とし、グループをつくり、生徒の研究に対する適切な助言の在り方について話し合った。

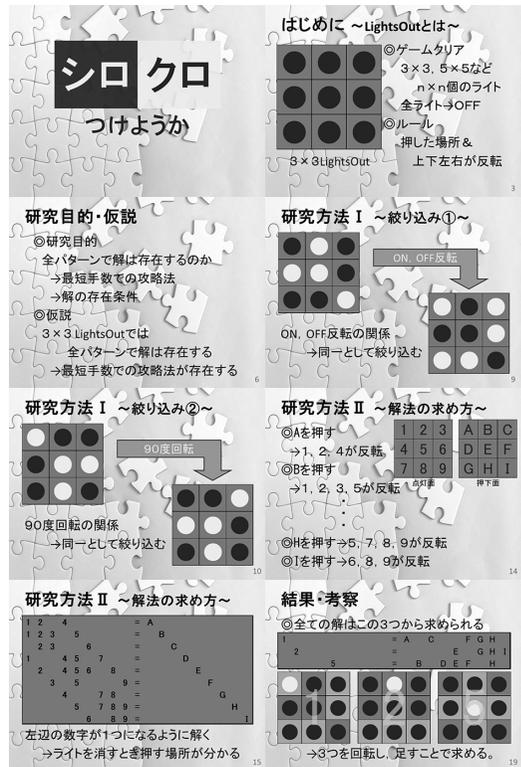
図2 教員研修写真(ポスターの指導の方法)



##### 2) 課題研究における生徒作品例

SSH 成果発表会において口頭発表した数学分野における課題研究の生徒作品例を示す(図3)。

図3 生徒作品(抜粋)



#### 3. 結果・考察

生徒が主体的に探究的学びを行うためには、生徒の中から生み出された課題設定であることが必要であり、それが深い探究活動をもたらす要素の一つであると考えている。協働的に課題研究を実施するためには、クラスルームが生徒にとって安全・安心な空間であることと、指導においては教員が親和的に生徒と一緒に考える姿勢が求められる。評価については、4観点11項目による評価、ルーブリック評価に加え、生徒自身の評価視点の育成として、評価票を用いて生徒同士が評価し合うことも行っている。

今後の課題として、生徒の研究内容が深まるための教員の指導助言の在り方、評価手法の改善、教員の評価視点の公正さ(ルーブリック評価・ポスター発表評価)や生徒の評価視点の育成等があげられる。

附記 本研究の一部は科学研究費奨励研究19H00224の助成事業である。

# 筑駒の課題研究と理数探究に向けて

筑波大学附属駒場中・高等学校教諭 須田 学

## 1. 課題研究概要

本校の高等学校はスーパーサイエンスハイスクール（以下、SSH）の開始時である2002年度からSSHに継続して指定されていて、4期3年目、通算18年目となる。中高一貫校で中学校の約120名が高校に進学し、約40名が新たに入学して、高校一学年は約160名という比較的小規模な学校である。高校入学クラスやSSHクラスは作らず、全教科で全生徒に対してSSHを実施している。

課題研究は、生徒の知的な興味・関心や探求心を伸長し、進路選定を援助することを目指して、現在、高校2年の「学校設定科目」（1単位・選択必修）として設定されているが、SSH指定当初からテーマ研究やゼミナールという名称で「総合的な学習の時間」としても開講し続けてきた科目である。全教科から10講座程度が開設され、その中の数学課題研究を数学科教員2名体制で担当し、毎年20名程度の高2生徒が履修している。生徒個人がテーマを設定し、担当教員2名、助言者である筑波大学の教員1名、希望した大学院生数名のサポートのもと、それぞれで考察・研究を行い、その成果を学校内外の生徒研究発表会等で報告し、最終的には研究論文にまとめるという形で行われている。なお、研究内容が先人によって既に研究されているものもあるが、生徒それぞれにとって未知の事柄の解明を目指し、長い時間をかけて自分なりに仕上げた力作であることに変わりはない。年度末には、SSH予算で研究論文を冊子の形に製本している。

高校3年でも研究を継続したい生徒は、高校3年の課題研究（学校設定科目・1単位・選択）を履修することもできるが、選択者は毎年数名であり、担当教員も履修を希望する生徒本人が直接依

頼する形をとっている。高校2年のように授業時間が時間割に設定されておらず、各自が担当教員を訪れて研究を進めるため、内容も専門的で高度なものになる。

以下では、高校2年の課題研究の詳細について述べていく。

## 2. 課題研究詳細

### (1) 授業日程

2018年度の高校2年の課題研究の授業日程は次の通りである。表中のMIMSとは、明治大学で毎年実施している「高校生によるMIMS現象数理学研究発表会」を表す。

回	日程	時限	内容
	5/12（土）	1・2	オリエンテーション（選択講座の決定）
①	6/2（土）	3・4	ガイダンス、過去の研究報告書の読み込み、研究テーマ・計画の検討と発表
②	6/16（土）	3・4	テーマ検討・発表
③	6/30（土）	1～4	MIMS 概略説明、MIMSへ向けてのテーマ報告・検討
④	9/15（土）	3・4	MIMSへ向けての進捗状況報告・検討
⑤	9/29（土）	3・4	MIMS テーマ確定
	10/7（土）	終日	MIMS 発表、参加（中学3年生も参加）
⑥	10/13（土）	3・4	MIMS の報告
⑦	11/10（土）	2・3	研究の進捗の確認、中間発表
⑧	1/12（土）	2～4	中間発表（中学3年生も参加）
⑨	1/26（土）	3・4	中間発表、論文執筆への確認事項
	3/11（月）	2～4	論文提出

※別途、定期試験（7月、12月、3月）の後の期間に担当教員の判断で授業を実施

## (2) 選択講座決定

オリエンテーションでは、各講座の担当教員が生徒に講座の内容やどのような活動があるかを説明し、生徒は希望する講座とその理由を提出する。募集人数を超える講座があった場合には、希望理由が判断材料になることがある。数学分野では、例年、受講者は20名程度となる。

## (3) 研究の進め方

本校では土曜登校日の午前中に総合的な学習の時間や課題研究の時間を設定している。課題研究の時間は、教室に受講生全員が集まり、毎回何名かが研究の進捗状況の報告を発表形式で行う。スライドを作ってくる生徒もいれば、チョーク1本で黒板を使って議論を始める生徒など、その発表形式は様々である。どんな報告であれ、生徒同士で議論が自然に行われ、筑波大学の教員・大学院生の専門的な助言もあり、その後の研究指針が決まっていく。自らの研究に没頭するだけでなく、仲間の研究報告を真剣に聴いて興味を持ち、数学の議論をする時間が大切である。そのため、課題研究の授業時間はそのほとんどを進捗報告の時間に割く。多くの生徒が進捗報告を希望し、授業時間が足りなくなることもある。これは、授業時間外で各自が自主的に研究を進めている証拠である。また、ほとんどが個人研究で、複数人での研究は毎年、数件のみである。

## (4) 研究テーマ設定

研究の進め方は上記の通りであるが、多くの生徒はやはり研究テーマ設定に苦勞する。指導教員は、興味のある分野の数学書を取りあえず読んでみることを勧めたり、相談にはいつでも乗ったりするが、研究テーマを教員が設定することはなく、生徒自らが設定するまで待つ。生徒にとっても教員にとっても、この時期が最も苦しいが、研究の進み方は個人個人で異なり、順調な進捗を発表する仲間が現れ始めると他の生徒も徐々に焦りはじめ、最終的に全員が自ら研究テーマを設定することになる。

数学書の扱いについて、授業内で専門書を輪読するようなことはなく、あくまで生徒自身で読み、

その過程で気付いたことを膨らませていったり、別証明や代数分野で幾何的な見方を考えたりする指導をしている。生徒は当初、新しい数学的な結果を得なければいけないと必死になる傾向が強く、逆に手が止まってしまうこともあるが、「先人の結果を理解してまとめるだけでもよいし、その中で自分なりに気付くことが必ずあるはずだ」というように助言すると、研究への一步を踏み出しやすくなる。

## (5) 外部発表の活用と研究テーマ一覧

本校の課題研究では、明治大学で10月に開催される「高校生によるMIMS現象数理学研究発表会」(以下、MIMS)での発表を目指し、年間の予定を組んでいる。発表形式は、口頭またはポスターであるが、口頭発表の件数は限られるので、ほとんどの生徒がポスター発表することになる。現象数理とあるように、純粋数学だけでは評価されにくく、身の回りの現象を数学で解明していくことが求められる。本校としては、時期的に10月の発表が日程的に合い、現象数理を目的としている訳ではないが、純粋数学をいかに現象数理と絡めていくか、現象数理の発表会を見に来た聴衆にいかにかアピールするか、という生徒の工夫を引き出せる効果も期待している。また、外部発表があることで研究を進める意識を高めることもできる。当然、口頭発表ではスライド作成と発表の技術、ポスター発表ではポスター作成と聴衆の集め方が重要になってくる。その意味で、発表タイトルは研究内容を正確に表わすだけでなく、聴衆の興味を引くものであることが望ましい。

次の一覧は、2018年度にMIMSで発表した研究テーマである。

1. 三角形の宇宙【マスフェスタ、台中一中研究交流会】
2. Sheffer stroke を用いた論理と二分木の対応
3. ○×ゲームの勝ち方
4. Inpainting your desired characters
5. 連分数関数の性質
6. 火星の暦を自作し、評価する
7. Miquel の定理の三次元拡張

8. 複素関数のグラフを“視る”
9. Xorshift の研究
10. モデル化によるブラックジャックの戦術の研究【台中一中研究交流会】
11. テーラー展開を把握してみる【マスフェスタ】
12. 麻雀を確率論で考察する
13. パスカルの三角形の発展とフラクタルに関する研究
14.  $n$  項間フィボナッチ数列について
15. 定規とコンパスによる作図の 3 次元ユークリッド空間への拡張
16. 巡回置換の性質

【】が付いているものについては、MIMS 以外でも発表した研究テーマであることを表している。特に「台中一中研究交流会」は、台中市立台中第一高級中等学校と本校との研究交流会における英語での発表である。課題研究における研究が評価され、海外派遣される可能性があることも生徒の研究意欲を後押ししてくれる。

研究テーマ一覧から、その内容が多岐に渡っており、生徒たちの興味・関心が広いことが分かるだろう。本格的な数学の内容を含むものもあるが、初等幾何などの古典的な内容や、授業で扱った教材の条件を考察し、既存内容の拡張を図る研究も多いように見受けられる。MIMS での発表を目標にすることもあり、確率論やシミュレーションのような応用数理分野のテーマを設定する生徒も一定数いる。

### (6) 論文執筆

ほとんどすべての生徒が 10 月の段階でポスター発表を経験し、全員が 3 月までに論文の形で研究内容をまとめることになる。理数教育研究所が実施しているコンクール「算数・数学の自由研究」に翌年応募することを前提に、このコンクールの様式に従って論文を書くように指導している。応募要項から主要な点を抜粋しておく。

- ・テーマは自由
- ・日常生活や社会で感じた疑問を算数・数学の力を活用して解決する、あるいは、算数・数学の

学びを発展させて新たな数理的課題を探究する中で、気づいたことやわかったこと、自らの解決の方法などをレポートにまとめてください。

- ・ A 4 判の用紙（片面）で 10 枚以内にまとめてください。
- ・作品は手書き、パソコンで制作のどちらでもかまいません。
- ・レポートは次の項目に分けて、わかりやすく書いてください。研究のテーマ（タイトル）、研究の動機や目的、研究の方法や内容、研究の結果と考察（まとめ）、感想と今後の課題

本校の場合、Microsoft Word または pLaTeX で作成する生徒が多いが、手書きのものも少数ある。年度によっては、コンピュータ教室で pLaTeX の基本的な使用方法を解説し、演習することもある。ただし、表現方法の一つであり、論文執筆で使用を強制することはない。「A4 判の用紙（片面）で 10 枚以内」、「項目に分けて、わかりやすく書いてください」という様式が明確なため、数式やプログラムの羅列だけになってしまうのを防ぎ、研究の流れや趣旨を理解しやすい論文になる。論文提出後には、SSH 予算で冊子の形に製本し、新年度の高校 2 年生が真剣に目を通すことになる。

### 3. 理数探究に向けて

新学習指導要領における共通教科「理数」では、「理数探究基礎」(1 単位)、「理数探究」(2～5 単位)が科目として設定される。本校の実状を踏まえると、高校 2 年の課題研究 1 単位を 2 単位に増やし、高校 3 年の課題研究 1 単位と合わせて「理数探究」(2～3 単位)とするのが現実的である。また、高校 1 年の「総合的な探究の時間」(1 単位)で「理数探究基礎」の知識を養えるようにするか、「理数探究基礎」を高校 1 年で新設することが考えられる。これらは学校全体のカリキュラムに影響するので、現在、本校でも検討しているところである。筆者の一意見として捉えていただきたい。