

高等学校における数学を用いた
探究の基礎的な方法を習得するための授業設計と実践
Classroom Design and Practice for Acquiring Basic Methods of
Inquiry Including Mathematics in High Schools

葛城 元^{1)*}・深尾 武史²⁾・黒田 恭史²⁾
Tsukasa KATSURAGI, Takeshi FUKAO and Yasufumi KURODA

要旨 (Abstract)

高等学校では理数分野の探究の取り組みを充実・強化するために教科「理数」が新設された。2022年度より普通科の生徒を対象に理数の授業が開始されたことを鑑みれば、(1) 生徒が探究の意義や進め方を実践的に学べる数学教材の開発、(2) 探究の深い知識や方法を定着させるための授業全体の設計、(3) パフォーマンスを含めた総合的な評価方法の確立への対応が急務であると考えた。そこで、本研究では、主に(2)に着目し、筆者らが考案した数学的探究モデルをもとに、数学を用いた探究の基礎的な方法の習得するための1年間の授業設計と計41時間の授業実践を高校生39名に行った。さらに、これらの成果をもとに、探究の方法を習得するためのより効果的な授業のあり方についても検討した。

キーワード：高等学校、理数、数学教育、数学的探究モデル、ICT利用

I. はじめに

高等学校では、生徒の探究力を育成するための取り組みを充実・強化するため、2022年度より新教科「理数」が普通科に開設された。理数の科目は「理数探究基礎(1単位)」、「理数探究(2~5単位)」の2段階で構成されており、生徒に探究の方法を習得させることがねらいの1つにある(文部科学省2019a)。探究の基礎的な知識や技能を学ぶ「理数探究基礎」では、検定教科書が2社から発行されており、その指導にあたっては理科と数学の教員が協働しながら行う。指導の進め方については、教員が検定教科書を使って探究の内容を解説する座学形式に偏ることなく、生徒の探究の意義や進め方を実践的に学べるように検定教科書を利活用することが推奨されている。すなわち、「理数」の授業の質の保証にあたっては、教員の力量に委ねられる部分が多い。

それに先駆けて、高等学校では、将来の国際的な科学技術人材の育成を目的とするSSH(Super Science High Schools)が指定され、先進的な理数教育を約20年間実施してきた。SSHの指定を受けた高等学校(以降、SSH指定校)では、学習指導要領によらない高度な理数教材の開発と授業実践、未知の課題を探究する課題研究、大学・企業・研究機関等との連携教育などの取り組みが行われてきた。例えば、数学の課題研究では、須田(2020)は、生徒にとって未知である事柄の解明に向けて探究と発表を繰り返し、研究論文として最終成果をまとめる、いわゆ

1) 奈良学園大学人間教育学部

2) 京都教育大学教育学部

る大学のゼミナールのような形で行っている。また、笠沙・吉田・河崎（2015）は、数学の概念の理解と獲得を目指して、単に調べ学習で終わらないようにするために、製作・実験・議論による試行錯誤を要する課題研究を中・高校生を対象に行っている。こうした学習の意義は、生徒自らが数学の良さや面白さなどを実感できることや、大学入学試験とは異なる数学学習の目的を理解できるようになる点にあるといえる。今後は、SSHでの実践を通じて蓄積されてきた事例を一般の高等学校にも広く普及することにより、「理数」の教育内容を充実させることが求められている（文部科学省 2019b）。

しかしながら、「理数」の実施に関しては検討すべき課題も少なくない。数学教育研究では、SSHでの物理、化学、生物、地学の内容に比べて、数学の内容を取り上げるのが少ないといった問題が指摘されてきた（熊倉 2015、葛城・黒田 2015、信夫 2019）。その理由としては、数学の内容が抽象的であり、生徒自身で課題を設定することや、解法の正否を検証することが容易でないことが考えられる。また、高等学校では2012年度より、数学と現実場面のつながりを重視した科目「数学活用」が開設されていたが、大学入学試験の評価に扱われないことや、指導・評価法のノウハウが教員間で共有されないといった理由から開設率が低かった（文部科学省 2016）。これらのことから、南・田嶋・風間（2018）は、「理数」を開設する学校がSSH指定校のみになる恐れがあること、黒田（2022）は、数学の内容が少ないSSH指定校での検討課題を鑑みれば、今後も数学と現実場面が結びつく授業内容の開発と総合的な評価による検証が必要であり、それなしでは数学の力の向上は期待できないと指摘している。

したがって、新設教科「理数」で数学を用いた探究を行うにあたっての検討課題は大きくは次の3点となる。(1) 探究の意義や進め方を実践的に学べる数学教材の不足、(2) 探究の深い知識や方法を定着させる長期間にわたる授業全体の設計図が少ないこと、(3) パフォーマンスを含めた総合的な評価方法が十分に確立されていないことであり、2022年度より理数が実際に開始されたことを鑑みれば、これらへの対応が喫緊の課題であるといえる。

そこで、本研究では、主に(2)の授業全体の設計図に着目し、筆者らが考案した数学的探究モデルをもとに、数学を用いた探究の基礎的な方法を習得できる1年間の授業設計をし、その有効性を41時間の授業実践により検証すること、およびより効果的な授業のあり方について検討することを目的とする。

II. 数学を用いた探究とは

ここでは、数学を用いた探究の枠組みの1つとなり得る「数学的探究モデル」について概観する。

これまでに筆者らは、高等学校段階に相応しい科学的な思考と探究の方法を明示化する「数学的探究モデル」を設計してきた（葛城・黒田 2016、葛城・黒田・林 2017）。数学的探究とは、数学的な観点から問いを立て、客観的に妥当な方法で数学の活用と結果検証を行い、問題解決を図ることである。図1は、数学的探究モデルの枠組みを図式化したものであり、「(1) 問題発見」、「(2) 計画」、「(3) 情報収集」、「(4) 情報整理」、「(5) 数学的処理」、「(6) 振り返り」の6つの段階で構成される。「(1) 問題発見」から「(4) 情報整理」までの役割は、情報に基づき問題を明確化する、問題を解釈・翻訳して数学的な問いを立てること、「(5) 数学的処理」から「(6) 振り返り」までの役割は、数学を適用・活用して結果を検証して結論付けるこ

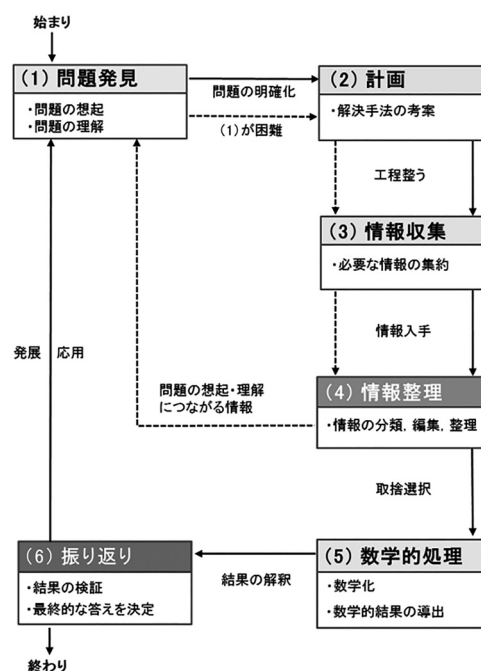


図1 数学的探究モデル

とにある(葛城・黒田 2019)。

高等学校の「理数」においても、探究の学習過程のイメージが図式化されている(文部科学省 2019b)。学習過程のイメージの段階は、理科と数学の両方の見方・考え方が組み合わさった構成である。それに対して、本モデルは現実場面に数学を活用することを重点とした構成とするために、「(5) 数学的処理」の段階を明確に位置付けている。本モデルの扱いについては、数学を用いた探究において教員と生徒が利用することを想定している。例えば、教員が主導で探究の授業を進める場合に、どの段階の学習内容を習得させたいのかを明確化して指導することや、生徒自身が探究をどのように遂行したのかを評価・改善させることに役立てられるのではないかと考える。

Ⅲ. 数学を用いた探究の授業設計と実践

第1節では数学的探究モデルに基づく数学を用いた探究の授業設計、第2節では高校2年生を対象に行った授業実践の結果を述べる。

1. 授業設計の概要

目 標：高校生に数学を使った探究の基礎的な方法を習得させること。

時 期：2020年4月～2021年3月

対 象：国立A附属高等学校、第2学年、理系クラス、39名

授業内容：以下のとおりである。

図2は授業内容の構成、表1は授業の経過を3つの段階に分けてまとめたものである。計41時間の授業時数の確保については、理科(物理、化学、生物)と数学(数学Ⅱ、数学B)の授業から捻出している。

各段階の概要は次のとおりである。

「Ⅰ. 準備段階」では、数学の活用と結果検証の方法を学び取らせる基礎的な内容を指導する(10時間)。「Ⅱ. 探究活動段階」では、生徒自身が数学を用いた探究に取り組む(25時間)。「Ⅲ. 成果発信段階」では、動画制作により課題解決の過程を整理・発信する(6時間)。



図2 実践の概要

表1 実践の経過(計41時間)

段階	時期	取組内容
Ⅰ. 準備段階 (10時間)	4～5月 6～7月	教員が数学的探究モデルの「(5) 数学的処理」と「(6) 振り返り」を指導 ① 数学をテーマとした動画制作、折り紙と数学のレポート作成 ② 動画の視聴会と振り返り、折り紙と数学による課題解決
Ⅱ. 探究活動段階 (25時間)	9～11月 11～1月	生徒が数学的探究モデルの「(1) 問題発見」から「(6) 振り返り」を2周遂行する。 ③ 数学を用いた探究活動 ④ 中間発表会と振り返り ⑤ 数学を用いた探究活動
Ⅲ. 成果発信段階 (6時間)	1～3月	生徒が数学を用いた探究の過程を整理し、他者に説明する。 ⑥ パワーポイントの音声録画機能を用いた動画制作 ⑦ 最終発表会(オンライン形式で実施)、SSH指定校216校に成果物郵送

評価方法：表1の④と⑥の成果物をもとに教員が評価する（第IV章参照）。

2. 授業実践の結果

授業実践の結果を「Ⅰ. 準備段階」、「Ⅱ. 探究活動段階」、「Ⅲ. 成果発信段階」ごとに述べる。

1) 準備段階

6～7月は数学を用いた探究の基礎的な方法の理解をねらいとして10時間分の授業を行った（図3）。ここでは、数学的探究モデルの「(1) 問題発見」、「(5) 数学的处理」、「(6) 振り返り」の段階に重きを置いた。なお、4～5月は家庭学習として、事前に約6時間分の課題（表1の①）に取り組ませた。以下では各回の概要を述べる。

第1回は、数学の探究活動のオリエンテーションを実施し、本授業のねらいや1年間の授業内容、評価方法を説明した。

第2・3回は、生徒が制作した数学動画を視聴し、第4・5回は、生徒同士で数学動画を相互評価し振り返った（表1の②）。数学動画とは、数学のテーマ設定から問題解決までの過程と成果をA4用紙1枚にまとめ、それを説明する音声解説付き動画のことである。授業のねらいは、数学を使った課題解決の事例を知ることで数学を身近に感じてもらふことや、今後の課題設定に役立てるためである（「(1) 問題発見」に対応）。生徒全員による意見発表では、現実場面への数学の応用が容易でないことや、求めた答えが合っているかが分からないなどの数学を用いた探究の遂行に必要な意見が上がった（「(5) 数学的处理」「(6) 振り返り」に対応）。

第6～8回では、葛城・黒田（2019）の折り紙を題材とした教材を使って課題解決に取り組ませた。授業のねらいは、生徒が課題としていた数学の活用と結果検証の方法を学ぶことである（「(5) 数学的处理」「(6) 振り返り」に対応）。生徒同士が折り紙船自体や展開図の折り線などに高校数学（図形の性質、図形と方程式）を活用し、得られた結果を確認・共有して検証する試行錯誤のもとで、最後まで粘り強く取り組んだ。

第9・10回は、ここまでの振り返り（何ができたか、何が課題として残っているのかなど）をレポートにまとめさせた。数学動画については、自分では気づけない考え方、分かりやすい説明の方法、テーマを見つける難しさに言及していた。折り紙と数学の課題解決については、身近なものを数学で捉えることの面白さ、他者と協力することの大切さなどに言及していた。

2) 探究活動段階

数学的探究モデルの枠組みに従って、数学を用いた探究活動に計13班（1班につき3人）が取り組んだ（表1の③～⑤）。

(1) 中間発表会前の数学を用いた探究活動

9月からの数学を用いた探究活動では、数学的探究モデルを1周遂行した（計13時間）。



図3 準備段階の流れ

「(1) 問題発見」の段階では、生徒が疑問に思ったことや身近なものを題材に課題設定を行った。ただし、数学を用いた問いの設定は容易ではなく、すべての班に対して指導者が積極的に介入し、助言・指導を根気強く行う必要があった。具体的には、生徒が調べてきた内容を整理させて意見交換する中で、追実験すると同じような結果が得られるのか、これ以外に良い方法はないのかなどの問いかけを各班に対して行って課題設定につなげるようにした。

「(2) 計画」の段階では、設定した課題に対する解決方法の考案や、今後の探究活動の日程を把握・調整しながら活動計画を立てた。

「(3) 情報収集」と「(4) 情報整理」の段階では、授業外の時間も利用しながら、ノートパソコン・iPad、図書館にある文献図書、教員の助言・指導をもとに情報を収集した。収集した情報をメモやホワイトボードに記録し、iPadのカメラ機能を用いて写真として保存した。

「(5) 数学的处理」と「(6) 振り返り」の段階では、設定した課題に対して関数や図形に関する数学の内容を適用していた。例えば、図4のように葉の面積をよく知られている図形で近似して求めたり、服の型紙を設計するために解析幾何で数式化したりしていた。ただし、このように分析した結果が研究の目的を達成するための適切な扱いであるかは検討課題として残った。

(2) 中間発表会

11月には、ここまでの数学を用いた探究活動の成果をまとめて他者との共有理解を図るために中間発表会を実施した(計4時間)。発表は、背景、目的、方法、結果、まとめ(今後の課題)の流れに従い、各班5分以内でパワーポイントを用いて発表した(図5)。その後、質疑応答を4分、交代1分の計10分で運用した。助言・指導は、京都教育大学教育学部の深尾武史教授がメインで担当した。

生徒らの発表内容から、「(1) 問題発見」での課題設定の仕方(その課題は検証可能であるか)、「(5) 数学的处理」での数学の扱い方(解決するために適切に数学が扱われているか)、「(6) 振り返り」での答えの決定(結果検証がなされたものであるか)について課題が見られた。

(3) 中間発表後の数学を用いた探究活動

11月から翌年1月までは、中間発表会での課題点を踏まえて再び探究活動に取り組んだ(計8時間)。ここでは、中間発表会で課題となっていた3つの段階の変容に焦点を絞って、次の2つの班の研究内容を取り上げる。

1つ目は、A班の「紙飛行機の飛行距離」をテーマに設定した班の研究内容である(図6)。中間発表会の時点では、よく飛ぶ紙飛行機とあまり飛ばない紙飛行機の飛距離と羽の面積を比較することを目的としていた。しかし、

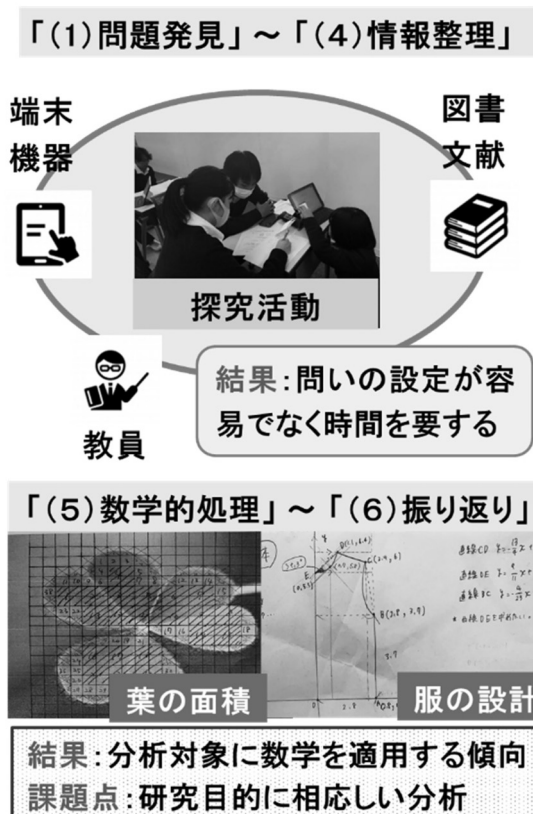


図4 数学を用いた探究活動



図5 中間発表会の様子

紙飛行機の形状がそれぞれ異なり、飛距離と羽の面積以外にも考えるべき条件もあるため、結論に対する根拠が乏しかった。そこで、一種類の紙飛行機を対象を絞り、紙の一部分の折り方を変えたときの、飛行距離と羽の面積の関係を分析した。並行して実験による検証も取り入れたことで、中間発表会のときよりも3つの段階が改善傾向にあった。

2つ目は、B班の「ペットボトルの表面積」をテーマに設定した班の研究内容である(図7)。中間発表会の時点では、ペットボトルの表面積を既習の図形(多角形や円など)で近似するだけに終始しており、計算が合っているかを検証するまでには至っていなかった。中間発表会後は、自分たちの分析により客観性を持たせるために、実験的に表面積を求める方法を生徒自らが考案した。具体的には粉、液体、紙などの複数の媒体を用いて面積を算出し、それと図形の面積公式を利用して求めた計算結果との差を比較していた。ただし、いずれの方法も精度を高める段階までには至っておらず、それらの改善が今後の検討課題であることにも気付いていた。

3) 成果発信段階

2月からは、生徒らが探究活動の過程を時系列的にパワーポイントに整理し、それに音声解説も併せて映像化する動画制作を6時間で取り組んだ(表1の⑥)。動画制作は、パワーポイントに実装されている録画録音機能を利用して、図8のような環境で行った。一人が読み上げ原稿をもとに録音録画を行い、残りの二人は内容に不備がないかなどをその場で確認した。自分たちの探究活動の成果を、より多くの方々に内容理解をしてもらうために、画面構成や話し方(声の強弱やスピード)などで積極的な工夫を凝らしていた。制作した動画はオンライン形式での最終発表会で公開された(表1の⑦)。また、SSH指定校216校に成果物の郵送も行った。

IV. 数学を用いた探究の授業分析

ここでは、前章で述べた授業実践について、「探究活動が与える生徒の情意面への影響」と「数学を用いた探究に対する評価」の観点で分析する。なお、最終発表会での成果物のみが評価対象になることを避け、11月の中間発表会(以降、中間)から2月の最終発表会(以降、最終)ま

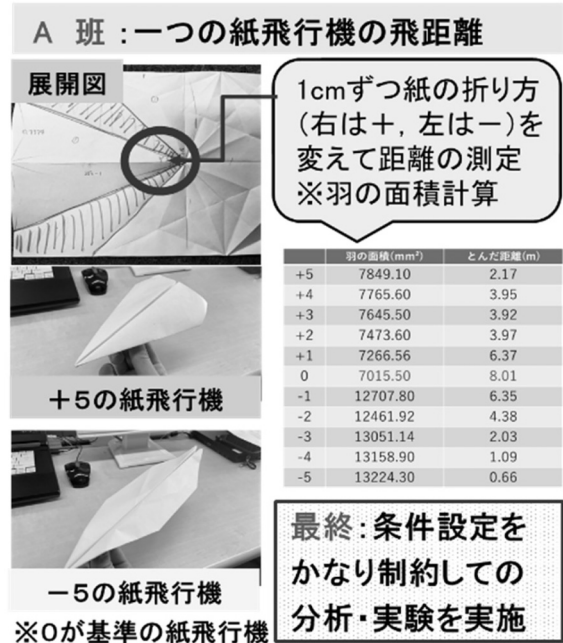


図6 紙飛行機の飛距離



図7 ペットボトルの表面積



図8 動画制作の様子

での各班の探究活動の到達度や伸び代を評価する。

1. 生徒の情意面に与える影響

「中間」と「最終」の直後に意識調査を実施した。意識調査では、自分自身の探究活動に対する取り組みについて、「4：大変そう思う」、「3：そう思う」、「2：あまり思わない」、「1：思わない」の4件法で回答させた。調査項目の作成については、林ら（2019）を引用した。なお、調査項目の有効回答者数は37名であった。

表2は、自分自身の探究活動に対する取り組みの調査結果を集計したものである。全ての調査項目に対する平均値は「中間」と「最終」ともに約3.1であることから、「3：そう思う」と肯定的に捉えていることが分かる。

表2 情意面に与える影響（計37名）

調査項目	時期	平均値	標準偏差
①意欲的に取り組んでいる	中間	3.16	0.69
	最終	3.32	0.63
②知的好奇心が刺激されている	中間	3.03	0.69
	最終	2.81	0.66
③知識が深まる、能力が高まっている	中間	3.14	0.75
	最終	3.14	0.59
④満足のいく研究ができる	中間	2.62	0.68
	最終	3.16	0.68
⑤今後の人生に役立つと思う	中間	3.35	0.59
	最終	3.05	0.66
⑥意義のあるものだと思う	中間	3.41	0.60
	最終	3.11	0.57

各調査項目について、「中間」から「最終」の推移を見ると、調査項目①・④は上がり、調査項目③はそのまま、調査項目②・⑤・⑥は下がる結果となった。これらの考察として、上がった調査項目については、探究活動を遂行できたことによる達成感や充実感が得られたこと、下がった調査項目については、探究活動の学習成果に対するフィードバックが十分になされていないことが要因の1つとして考えられる。

2. 数学を用いた探究に対する評価

1) 全体結果

図9は、数学を用いた探究に対する評価基準であり、西岡ら（2016）を参考に観点とレベルを3つで設定し作成した。ここでは、数学的探究モデルの「(1) 問題発見」「(5) 数学的処理」「(6) 振り返り」の段階に焦点を絞り、計13班の「中間」と「最終」の学習成果物をもとに分析検証を行った。なお、「(2) 計画」「(3) 情報収集」「(4) 情報整理」の段階は、今回評価する材料が十分に確保できなかったため割愛した。

観点	レベル	3:十分に達成できている	2:一部達成できている	1:不十分な点がある
課題設定 (問題理解、仮説設定)		論理性や実証性が高く、高校生なりの意義の高い問いやテーマが設定できている。	問いやテーマが検証可能な形で設定できている。	表層的な問いやテーマの設定であり、検証可能であるかも曖昧である。
数学の扱い (数学的な考え方、数学的な知識・技能)		課題解決の目的に応じた確に数学を扱うことができ、高校生なりの独創的な分析がなされている。	課題解決のために一部の場面ではあるが、適切に数学を扱うことができている。	不完全ではあるが、課題解決のために数学を扱うとしている。
結論の決定 (結果の検証と考察)		先行研究の比較や、反論の検討、分析、調査結果をふまえて、目的に対する結論を適切に説明できている。	分析結果や実験データをもとに、目的の一部分に対する説明が論理的になされている。	信頼が得られる客観的な説明はなく、不完全な証拠や恣意的な解釈が含まれている。

図9 数学を用いた探究の評価基準

表3は、数学を用いた探究の方法に対する評価の集計結果をまとめたものである（計13班）。「中間」の段階では、各平均値が「2：一部達成できている」と「1：不十分な点がある」の間に概ね位置していた。「最終」の段階では、各観点の平均値が「2：一部達成できている」に概ね位置しており、「中間」と比較すると、いずれの観点においても改善傾向にあった。次項以降では、「課題設定」、「数学の扱い」、「結論の決定」の分析結果を述べる。

表3 探究の方法に対する評価結果（計13班）

段階	時期	平均値	標準偏差
課題設定	中間	1.85	0.55
	最終	2.15	0.38
数学の扱い	中間	1.69	0.48
	最終	2.08	0.49
結論の決定	中間	1.38	0.50
	最終	2.00	0.58

2) 課題設定

課題設定が「中間」から「最終」で改善されたのは13班中4つの班であった。内訳は、「3：十分に達成できている」が1つの班、「2：一部達成できている」が3つの班であった。一方で、改善されなかった9つの班について、「2」が8つの班、「3」が1つの班のままであった。まとめると、「最終」の評価は、「3」が2つの班、「2」が11の班であった。

表4は、改善された4つの班の最終のタイトルと課題内容を筆者がまとめたものである。C班以外について、「中間」では、設定した課題が自身で検証できるものであるかは曖昧な状態であったが、これらに関する文献を読むことや、班のメンバーや教員と議論する中で課題設定を検証可能な段階まで絞り込めた。例えば、D班のブラックジャックの確率について、「中間」ではある特定の条件における勝率を求めることに終始していたが、「最終」では複数の条件を設定し、どちらが勝ちやすいかを勝率を求めて比較することで明らかにすることを問題提起できたので「2」と評価した。

表4 課題設定が改善された班

班	最終のタイトル	最終の課題内容
A班	一番よく飛ぶ紙飛行機を構造分析する研究	紙飛行機の折り方を一か所変えて、10回ずつ投げたときの飛行距離と羽の面積の関係を明らかにする。
B班	身近にあるもので表面積を求めるには	ペットボトルの表面積を計算で求め、その結果を確かめる正確な方法を模索・検証する。
C班	重心とペットボトルの立つ確率	ペットボトルの立つ確率とペットボトルの重心の位置にはどのような関係があるのかを明らかにする。
D班	ブラックジャックの勝率の変動	ブラックジャックで様々な条件を設定し、その勝率を求めてどちらが勝ちやすいか検証する。

3) 数学の扱い

数学の扱いが「中間」から「最終」で改善されたのは全13班中4つの班であった。内訳は、「3：十分に達成できている」が1つの班、「2：一部達成できている」が3つの班であった。一方で、改善されなかった9つの班について、「3」が1つの班、「2」が7つの班、「1：不十分な点がある」が1つの班のままであった。まとめると、「最終」の評価は、「3」が2つの班、「2」が10の班、「1」が1つの班であった。

改善された4つの班には表4のA班、C班が含まれている。例えば、A班は3.2.2で述べたように、研究の目的を達成するために、一部の場面で数学の内容を利用することができたので「2」と評価した。また、C班については、ペットボトルをフリップしたときに床に立つ確率が、ペットボトル内の水量によって変わる理由を明らかにすることを課題に設定していた。数学の扱いとして、重心の位置が変わっていることに着目し、実験を数十回行ってその関係についてグラフを使ってまとめていた(図10)。今後は、重心の位置に伴うペットボトルの成功確率を表す式を求めることを課題として残していたので、「2」と評価した。

4) 結論の決定

結論の決定が「中間」から「最終」で改善されたのは、13班中8つの班であった。内訳は、「3：十分に達成できている」が2つの班、「2：一部達成できている」が6つの班であった。一方で、改善されなかった5つの班について、「2」が3つの班、「1：不十分な点がある」が2つの班であった。まとめると、「最終」の評価は、「3」が2つの班、「2」が9つの班、「1」が2つの班であった。

改善された8つの班には表4のA班、B班が含まれている。例えば、B班は3.2.2で述べたように、計算結果を確かめるための方法を3つも提案し、実験による検証を行った。図11は、結果に対する考察と改善点を示したB



図10 C班の発表スライド

班のパワーポイントのスライドである。考察として、人の手でペットボトルの表面に液体を塗るために人にとって差が出てしまうこと、何をもって計算結果を確かめるための正確な実験といえるのか、基準となる計算結果の見直しの必要性などにも言及していた。このような改善点を踏まえながら、計算結果と実験結果の差が小さくなるのは、液体（糊）であったとまとめていた。このように反論の検討、分析、調査結果をふまえて目的に対する結論を説明できていたと判断し「3」と評価した。

4. 考察・改善点

- ・同じ液体でも糊とペンキでは粘度が違う、人の手で塗っているため結果に大きな差が出来てしまった。
 ⇒人の手で塗らない方法で実験を行う
 ⇒粘度の大きい液体の方がより正確な結果が出る？
- ・紙での測定では計算結果と差の大きい部分と小さい部分があった。
 また、紙の実験で出た値 > 計算から出た値 であった。
- ・今回は実験結果と計算結果の差を絶対値で捉え、差の割合の比較を行ったが、正負も含めて考えると
 『糊』が一番正確な実験方法と言える。
 ⇒「正確」の再定義
 ⇒基準となる計算結果の見直し、再計算

図11 B班の発表スライド

V. まとめ

本研究では、新設された理数において、筆者らが考案した数学的探究モデルをもとに、数学を用いた探究の基礎的な方法を習得できる1年間の授業設計と41時間の授業実践を行った。これらの成果をもとに、探究の方法を習得するためのより効果的な授業のあり方を検討すると、次の2点に集約される。

第一に、生徒が数学を用いた探究を十分に経験していない場合は、生徒らにいきなり探究活動に入らせるのではなく、まずは事例をもとに数学的探究モデルの過程を辿ることや、いくつかの段階に焦点を絞って扱うなどして、数学を用いた探究のイメージを掴ませるような指導を行うのが良い。その中でも「(1) 問題発見」「(5) 数学的処理」「(6) 振り返り」については、生徒が全てを考えるのは容易でないことから、教員が道筋を示しながら丁寧に助言・指導し、その主体を徐々に生徒に委ねていくことが望ましいといえる。

第二に、生徒自らが行う探究活動の「(1) 問題発見」では、表面的な課題の設定や検証可能かどうか曖昧な状態になる可能性が高いため、課題設定に関するルールづくりを行っておくとよい。「(5) 数学的処理」では、生徒の実態に応じて次のように段階的に支援するのが望ましい。まずは、目的を解決するために必要な数学を理解させること。次に、理解した数学を適用して結果を導かせること。続いて、分析に使った数学を捉え直して抽象化と一般化を進めることである。ただし、3つ目のレベルにまで到達するには、長期間をかけて探究の過程を何度も繰り返す必要が生じるため、「理数探究基礎」の続きの科目である「理数探究」に接続するのが理想的である。「(6) 振り返り」では、生徒に実感を伴った理解させるためにも実験・製作などの体験的な活動を含めた結果の検証を取り入れると良い。さらに、結果に対して正しい解釈や結論付けができるようにするために、他者への発表と議論を通して、探究のプロセスに立ち返らせる機会を活動の随所に取り入れることが望ましい。

今後の課題は、上記の点を踏まえて、生徒が数学を用いた探究の意義や進め方を実践的に学べる数学教材の開発

とパフォーマンスを含めた総合的な評価方法を確立し、再び高校生に授業実践を行って有効性を検証することである。

付記

本稿は、葛城・田窪・深尾・黒田・谷口（2021）の研究内容に、葛城・深尾・黒田（2021）の研究内容を加えて、大幅に加筆・修正したものである。

文献（References）

- 1) 笠沙敏彦・吉田耕平・河崎哲嗣、「中高一貫校における科学教育カリキュラムの実践研究－SSH 指定校における数学教育－」、『岐阜教育大学教育学部研究報告教育実践研究』、17、2015、pp.23-32
- 2) 林創・神戸大学附属中等教育学校編、『探究の力を育む課題研究－中等教育における新しい学びの実践－』、学事出版、2019、pp.140-153
- 3) 葛城元・黒田恭史、「SSH 事業における「数学」の取り組みの実際とその検証－「生徒研究発表会」と「意識調査」を事例として－」、『数学教育学会夏季研究会（関西エリア）発表論文集』、2015、pp.1-4
- 4) 葛城元・黒田恭史、「科学的思考方法の習得を目指したオリガミクスによる数学教材の開発－ダイヤカット缶を題材として－」、『数学教育学会誌』、57(3・4)、2016、pp.125-139
- 5) 葛城元・黒田恭史・林慶治、「数学教育における知識創造を目指した数学的探究モデルの設計と教育実践」、『知識共創』、7、2017、pp.IV3.1-12 <http://www.jaist.ac.jp/fokcs/>（2022年10月2日現在）
- 6) 葛城元・黒田恭史、「数学的探究の習得を目指したオリガミクスによる数学教材の開発－船の荷物積載を題材として－」、『数学教育学会誌』、60(3・4)、2019、pp.111-120
- 7) 葛城元・田窪啓人・深尾武史・黒田恭史・谷口和成、「高校生自らが数学的探究活動を実現するための課題研究の実践」、『京都教育大学附属高等学校研究紀要』、94、2021、pp.73-83
- 8) 葛城元・深尾武史・黒田恭史、「高等学校新設教科「理数科」を充実させるための生徒の数学的試行錯誤と成果発信を実現する教育内容の開発」、『第47回全日本教育工学研究協議会全国大会論文集』、2021、pp.139-142
- 9) 熊倉啓之、「数学教育におけるイノベティブ人材育成－SSHの取り組みに焦点を当てて－」、『日本科学教育学会年会論文集』、39、2015、pp.7-10
- 10) 黒田恭史、「数学教育史」、二澤善紀編『中等数学科教育の理論と実践』、ミネルヴァ書房、2022、pp.235-242
- 11) 南芳邦・田嶋祥大・風間寛司、「SSH 指定高等学校における理数探究の試行－題材「two-circle-roller」の条件変更を中心として－」、『福井大学教育実践研究』、42、2018、pp.125-136
- 12) 文部科学省、「高等学校の数学・理科にわたる探究的科目の在り方に関する特別チームにおける審議の取りまとめ」、文部科学省、2016、pp.1-13
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/070/sonota/1376995.htm（2022年10月2日現在）
- 13) 文部科学省、『高等学校学習指導要領（平成三十年告示）解説理数編』、東京書籍、2019a
- 14) 文部科学省、「「理数探究」の充実とSTEAM教育について」、文部科学省、2019b、pp.1-21
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/siryu/_icsFiles/afieldfile/2019/09/11/1420968_8.pdf（2022年10月2日現在）
- 15) 西岡加名恵編、『「資質・能力」を育てるパフォーマンス評価－アクティブラーニングをどう充実させるか－』、明治図書、2016、pp.114-115

- 16) 信夫智彰、「中学校数学における「数学研究発表会」の実践研究－他者意識の発生と学習の深化に焦点をあてて－」、『数学教育学会誌』、60(3・4)、2019、pp.99-110
- 17) 須田学、「中高一貫校における総合的な学習の時間を基礎とした数学分野の探究学習の取り組み」、『日本数学教育学会誌』、102(3)、2020、pp.24-31

