

高等学校の新教科「理数科」に関する研究

千葉県総合教育センター
カリキュラム開発部科学技術教育担当
研究指導主事 中村 典雅

1 主題設定の理由

PISA2015、TIMSS2015 の調査結果から、「数学」及び「理科」について、我が国の生徒は諸外国に比べ、学力はトップレベルながら、学習への興味・関心・意欲について課題があることが指摘されている。また、人工知能(AI)に代表される技術革新や情報化、グローバル化が進展する社会においては、変化の先行きを見通すことが難しくなっており、このような課題の解決に向けて、強い知的好奇心や自発的な研究態度、自ら課題を発見したり未知のものに挑戦したりする態度などの育成が求められている。

生徒が自らの興味や関心などに基づいて様々な課題を設定し探究を進める「課題研究」は、その教育的な有効性について広く認められている。しかし、現行学習指導要領において、探究を重視する科目として設定された「理科課題研究」および「数学活用」の開設率は全国的に低い。このような経緯から、学習指導要領の改訂に伴い、数学と理科にわたる探究的教科「理数」が新設されることとなった。

県内においても「理科課題研究」および「数学活用」の開設校、スーパーサイエンスハイスクール（SSH）指定校は少数であり、「課題研究」を指導した経験のある教師も少ない。そこで、新学習指導要領において新設される「理数」の指導方法を調査研究し、教師向けのガイドブックを作成することを通して探究の学習の普及を図ることとした。

なお、本研究では混同を避けるため、教科としての理数科は「理数」、学科としての理数科は「理数に関する学科」と表すこととする。

2 研究の目的

学習指導要領の改訂に伴い、令和4年度から始まる新設教科「理数」において設けられた「理数探究基礎」及び「理数探究」の指導方法を明らかにし、広く周知する。

3 研究計画

(1) 研究年度1年目（令和元年度）

- ア 探究の過程についての理論研究
- イ 研究協力校からの情報・事例収集
- ウ 暫定版『「理数」の進め方ガイドブック理論編』発行

(2) 研究年度2年目（令和2年度）

- ア 評価についての理論研究
- イ 研究協力校からの情報・事例収集
- ウ 『「理数」の進め方ガイドブック理論編』及び『「理数」の進め方ガイドブック実践事例編』発行

4 研究概要

理数に関する学科において「課題研究」を行っている SSH 指定校及び、普通科において「理科課題研究」に先進的に取り組んでいる高等学校を研究協力校として委嘱し、授業実践や校内・校外発表会等を通して情報収集を行った。また、様々な領域における事象についての実践事例をまとめた。

【令和2年度研究協力校】

○県立木更津高等学校

- ・クラス数 1 学年 8 クラス（普通科 7 クラス 理数科 1 クラス）× 3 学年
- ・SSH 指定 平成 28 年度～ 5 年目
- ・研究対象 1 年生理数科 探究 KISARAZU-I（1 単位）
2 年生理数科 探究 KISARAZU-II（2 単位）

○県立佐倉高等学校

- ・クラス数 1 学年 8 クラス（普通科 7 クラス 理数科 1 クラス）× 3 学年
- ・SSH 指定 平成 25～30 年度、令和元年度～ 8 年目
- ・研究対象 1 年生理数科 佐倉サイエンス（1 単位）
2 年生理数科 S S 課題探究 I（1 単位）

○県立柏高等学校

- ・クラス数 1 学年 8 クラス（普通科 7 クラス 理数科 1 クラス）× 3 学年
- ・SSH 指定 平成 16～20 年度、平成 23～27 年度、平成 28 年度～ 15 年目
- ・研究対象 1 年生理数科 サイエンスラボ（2 単位）
2 年生理数科＋普通科選択者 課題探究 I（2 単位）

○県立鎌ヶ谷西高等学校

- ・クラス数 1 学年 6 クラス 2・3 学年 7 クラス
- ・研究対象 3 年生普通科 選択科目理科課題研究（2 単位）

5 研究内容

(1) 現在の「理科課題研究」の開設率

開設率の調査にあたり、「物理探究」や「理科研究」などの類似の名称の学校設定科目は、その数には含めなかった。その結果、「理科課題研究」開設校数は、全 145 校中 17 校で、開設率は 11.7%にとどまった。理数に関する学科を設置している学校を除くと、開設率はさらに低下し、135 校中 7 校で 5.2%となった（表 1）。

「理科課題研究」の開設率が低迷している要因と

して、まず一つ目は、「理科課題研究」は、大学入学者選抜における評価が、ほとんど行われていないことが考えられる。これまでのセンター試験において、「理科」の出題科目は、「物理・化学・生物・地学の基礎」および、「物理・化学・生物・地学」となっている。文部科学省の高大接続改革会議は、中教審の高大接続

		学校数	開設校数
県立	全日	120(112)	14(6)
	定時	17	1
	通信	1	0
市立		7(5)	2(0)
合計		145(135)	17(7)
開設率		11.7%	(5.2%)

() は理数に関する学科設置校を除いた数

【表 1】理科課題研究開設率

改革答申を踏まえ、『大学入学共通テストにおいて理数探究に対応する科目を出題する』としている。

二つ目は、指導のノウハウが教員間に共有されていないということである。千葉サイエンススクールネット（SS ネット）による調査でも、「課題研究」の指導に関わった期間が5年以内という教員が、その65%を占めるとのことである（図1）。

(2) 「理数」について

「理数」の目標は、課題を解決するために必要な資質・能力を育成することであり、二つの科目が設定されている。「理数探究基礎」は、探究を進めるための知識及び技能、探究の意義の理解、探究に取り組む態度の育成がねらいである。一方「理数探究」では、「理数探究基礎」などで身に付けた資質・能力を活用して、自らの設定した課題について主体的に探究していくことをねらいとしている。

また、「理数」の探究の過程には、**課題の設定**、**課題解決の過程**、**分析・考察・推論**、**表現・伝達**の、四つがある。これらは必ずしも直線的な階段状の流れではなく、探究の過程を繰り返しながら改善し、新たな課題を見付け、解決するという学習活動を繰り返していく（図2）。

(3) 探究の過程

ア 課題の設定

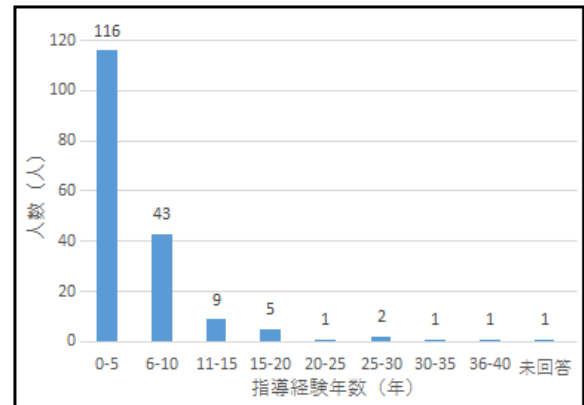
自然や社会についての観察や経験などから、探究の過程における課題の設定を行うための力を育成する。

(ア) 身の回りの事象に対する気付き

自然事象や社会的
事象等に関心をもた
せ、問題意識をもたせ
るような働きかけや
その機会をつくる（資
料1）。

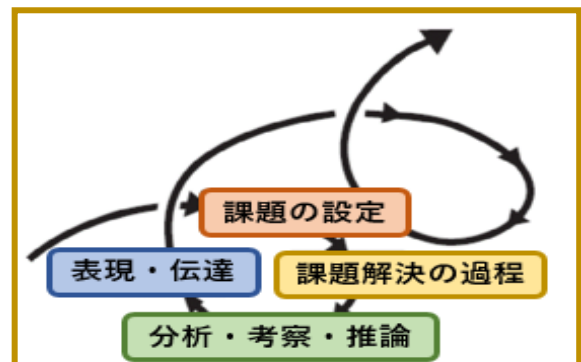
(イ) 課題の設定

マインドマップ（一
つの言葉から、関連性
のある言葉を次々に
連想してイメージを



※SS ネット指導研究会データより再構成

【図1】理科課題研究指導経験年数



※高等学校学習指導要領（平成30年告示）
解説 総合的な探究の時間編を基に作成

【図2】理数科の探究の過程

校舎の壁のひび割れが三叉になっている
（生徒の気付き）

この分かれ方は葉脈に似ている（教師の助言）

先行研究の調査・予備実験の実施
・「葉脈形成の2つの仮説と数理モデル」
・「ひび割れ方向性を考慮した覆工コンク
リートの健全度評価法」
・校地内植物の葉脈の顕微鏡観察

〈研究テーマ〉

「植物の維管束と肥大成長の関係を単位
パイプモデルで考察する」

自然事象
に対する
気付き

課題の
設定

【資料1】生徒の気付きを基に課題設定を行った例

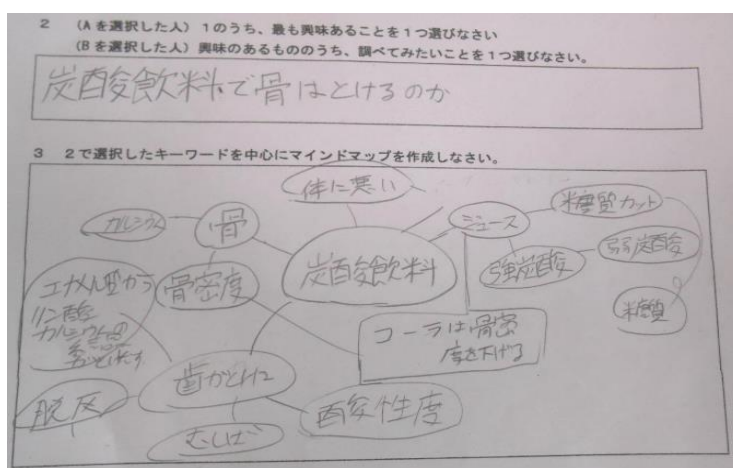
広げていく手法) 等を用い、生徒の疑問や問題意識が具体化していくように、言語化させたり、その意味を問いかけたりする。(資料2)。

イ 課題解決の過程

設定した課題を解決するために、数学的な手法や科学的な手法などを適切に選択し、探究の過程を遂行する力を育成する。

(ア) 仮説の設定

既知の知識や先行研究、予備調査の結果などに基づき、課題に対する仮説を立てることで探究の見通しをもてるようにする(資料3)。



【資料2】マインドマップの例

- 〈 気 付 き 〉 イルカのメロンという器官は集音レンズの役割を果たしている。
- 〈 予備実験 〉 ①その現象が起こることを確かめる。
 イルカのメロンは脂肪からできている。油(キャノーラ油)を脂肪に見立て、この現象が起こるかを確かめた。
 実験：油を入れたフラスコが音を集めることを確認する。
 結果：油をレンズとしたときには、焦点距離10cmで4db上昇した。
- ②先行研究の実験方法から学ぶ。
 実験方法を調べた。
 球面レンズの絶対屈折率、球面レンズの焦点距離は先行研究(東京海洋大学 海洋音響/水中音響研究)サイトの計算を基に算出した。
- 〈 仮 説 〉 この仕組みを用いて、水中での通信手段を開発できるのではないか。

【資料3】予備実験、先行研究の調査により、仮説を立てた例

(イ) 検証計画の立案

〈研究テーマ〉 CODと飲料水の腐敗度の関係

P 仮説の設定

飲みかけのペットボトル入りの飲料がすぐに飲めなくなる理由は、唾液中の菌が指数関数的に増えていくからではないか。



D 実験の実施

一定期間後、試料内のCODを測定する。



C 結果の考察

唾液中の菌が指数関数的に増えるならば、試料中のCODの値は指数関数的に上昇するはずであるが、結果は、ある値まで上昇し、その後は一定になった。



A 検証方法の 考案

もとの仮説が実証されなかった場合は、新たな仮説を立てる。ただし、検証方法が適切であったか、結果が信頼できるものであったか、生徒に再確認させる。

【資料4】仮説と検証のスパイラル(PDCAサイクル)の例

仮説を検証するためにどのような観察、実験、調査等を行い、どのように分析を行うかなど見通しをもつ。決定した仮説を検証するための実験を繰り返す（資料4）。

(ウ) 観察・実験・調査の実施、結果の処理

目的を明確にして実験操作を安全かつ正確に行うとともに、適切に条件制御を行う。実証性・客観性・再現性を意識し、実験を行う際の環境や器具に関する情報等も記録する。また、得られた結果を数値化し定量的に表すことで客観性が生まれ、関係や法則性が見えるようになる（資料5）。

〈研究テーマ〉 ビスマス極板を用いた電気分解における色の変化と条件

極板の色の変化は、目で見た色には個人差があるため（定性的）、変化した色をRGB値に変えて数値化し（定量的）、客観的に判断した。

【資料5】定量的に表した例

ウ 分析・考察・推論

結果を分析・考察したり、全体を振り返って改善策を考えたりする力や、新しい課題を発見したりする力を育成する。

生徒は、得られたデータを分析し、傾向や法則性や特徴などを見出して考察し推論することで、仮説を検証する。その際、科学的な根拠などを踏まえ、論理的な思考に基づいて行うように指導する（資料6）。

〈研究テーマ〉 千葉県南西部における約50万年間のアサリの形の違い

アサリの形を調べるために、標本の殻高、殻長、殻幅を計測し、多くのデータを得た。

↓
殻高/殻長比、殻幅/殻長比において、散布図を作成。

↓
ヒストグラム、正規確率プロットの作成。

↓
F検定、t検定により、平均値に有意差があるかを判定。

↓
有意差あり ⇒ 遺伝的要因、環境的要因が関係しているのではないかと考察・推論

データ処理
・分析

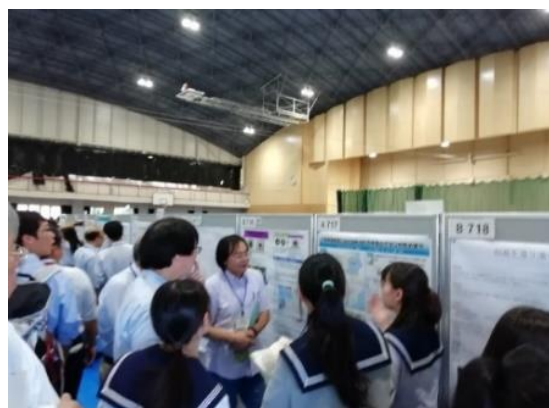
考察・推論

【資料6】データを処理し、その結果を基に分析・考察・推論した例

エ 表現・伝達

探究した過程を整理する力や、探究の成果などを適切に表現する力を育成する。

発表では、他者に対して分かりやすく説明し、様々な視点からの評価や助言を受けさせる（資料7）。報告書は、設定した課題について探究の目的、仮説、方法、結果、分析、考察、推論、新たな課題、参考文献等の要素が含まれるようにする。



【資料7】第13回 高校生理科研究発表会
ポスター発表の様子

(4) ガイドブック理論編の作成

SSH 指定校の実践を基に、授業の進め方を説明している。構成として、上側には探究の過程と各過程の説明、下側には事例を交えた指導内容の解説と指導のポイントを設け、教師が授業中に手にしながら進め、さらに、指導内容を確認することができるように、チェックリストを設けている（図 3）。



【図 3】ガイドブック理論編

(5) ガイドブック実践事例編の作成

探究の意義や授業の進め方などを踏まえ、「理数探究基礎」及び「理数探究」を実施する際、想定される探究の過程や生徒に主体的に取り組ませるために必要な教師の関わり方など、参考となる具体的な指導例を掲載した。指導例は、理数に関する学科における課題研究及び普通科において「理科課題研究」に先進的に取り組んでいる高等学校の実践例を収集し、それらを基にガイドブックを作成した。

ア 研究協力校の取組の概要

研究協力校ごとに「学校の状況」、「課題研究実施クラス」、「指導のポイント」、「年間計画」、を掲載しており、課題研究に取り組んできた学校の工夫やノウハウ、指導の流れがわかるようになっている。

(ア) 「課題研究実施クラス」における共通基礎実験演習

実験器具の操作や、調査・検証の方法、探究活動を進めるための方法、主体的に考える姿勢、研究テーマを考えるきっかけとする（資料8）。

物理：落体による重力加速度の測定 空気の重さの測定 温度計とのつきあい方
化学：クスノキからの樟腦の分離実験 気体の質量を測定しよう！
分子1個の長さや質量を測定しよう！
生物：フィールドにでよう！ 微生物を培養するには（無菌操作）
少量のサンプルから全体を推定する方法（標識再捕法）
地学：地球の大きさを測ろう！ 火山灰から宝石？を探せ！
太陽放射エネルギーを測定しよう
数学：パズルの数学 立体図形 算数の教科書を読む（英語）

【資料8】共通基礎実験演習の例

(イ) 「指導のポイント」におけるテーマの設定

研究協力校では、探究を進める上で最も重要な過程を、課題の設定と捉えている。共通基礎実験に加えて、上級生の発表会の参観や日々のHRでの情報提供など、生徒が様々な事象を視野に入れ、主体的に課題を設定できるようになるために工夫が施されている（資料9）。

- ・1年次の年度末休業の活動として、研究課題テーマの「種」と称して2年次のテーマを考え、研究計画表を作成する。提出されたものは「芽」と称して、類似したテーマをもつ者とグループを作り、テーマを設定していく。
- ・各分野の共通実験を行うことで、各自のテーマ設定について展望をもたせた。また、あらかじめ設定した内容だけでなく、生徒の要望に応じて試行実験を行った。
- ・既存の知識や学習したことについて、先行研究を参考にさせたり、身近な現象からヒントを探させたり、実験書等のアレンジをさせる。
- ・大学や企業の出張講義や、科学館等の見学、野外実習などを通して、興味をもつ内容を探させる。

【資料9】テーマの設定のための工夫

また、教師が設定した課題から探究を行う指導があり、これは「理数」の「理数探究基礎」にあたる。「理数探究基礎」では、課題の設定を行うための基礎的な力を育成することがねらいである。学校や生徒の状況に応じて、教師側がいくつかの課題を設定して生徒に選択させたり、大きな課題を設定し、そこから生徒が絞り込むような、段階的な指導が有効である。

イ 指導実践の事例

各校の研究について、それぞれの探究の過程においての生徒の活動状況及び教師の指導助言等と、生徒の作成した研究発表ポスターを掲載している。各研究について、「自然事象に対する気付き」から「表現・伝達」においてのポスター作成まで、その経過を確認することができる。『生徒の活動及び教師の支援や工夫』は、各過程の教師と生徒のやり取りを示しており、特に具体的な指導内容は、吹き出しを用いて表している（資料 10）。また、研究を進める上で実施しなかった過程については、割愛している。

●生徒の活動及び教師の支援や工夫

各過程	生徒の活動	教師の支援や工夫
気付き	○イルカの頭部にあるメロンという脂肪組織は、集音レンズの役割を果たしていることを聞き、興味をもった。調べてみると、どうやらメロンは音響レンズとして、超音波を屈折させ一定方向に収束させることができるということだ。不思議だと思った。	○興味のある現象や事柄について情報を集めておくことを伝えている。また、生徒の科学的興味関心が高まるような情報を、HR や授業を通して伝えている。
課題の設定	○イルカの頭部にあるメロンの仕組みをより深く知りたかった。油を用いて水中で音を集めるレンズを製作すれば、集音レンズを利用した通信手段を開発できるのではないかと。 生物学的な視点にくわえて、物理的な視点での調査も必要だろう。	○課題の設定を検討していく過程で、主として物理的な内容の課題になったため、生物担当から物理担当の教師へ担当を変更し、専門的な支援ができる体制を整えた。
仮説の設定	○脂肪（油）の集音効果の仕組みを調べることで、通信機器を開発するための基礎研究となるだろう。 ○実験1の仮説：フラスコに油を入れればレンズと同様に集音できるのではないかと。	現象を再現（油を入れたフラスコで集音）できるかと
検証計画の立案	○実験1：油を入れたフラスコは音を集める集音レンズになるか。 ① 800ml フラスコにキャノーラ油を入れる。 ② 水を入れた1532mm×150mm×585mmの水槽に、音源（スマートフォン）、レンズ、マイクを入れ、一直線上に並べる。 ③ レンズの表面より7～8cmの距離に1cm刻みにマイクの位置を移動させ音量を測定。 ④ 任意の箇所で80回測定し平均を取る。 ⑤ 油がレンズになることを確認するため、フラスコに水を入れたものも同様の条件で実験を行う（対照実験）。	実験の条件をそろえて 60 回測定でなく、10 回1セットを8セット行う）はどうか。 実験装置を娘（水槽）について音の反射の影響を減らすためにウレタンで覆う）してはどうか。
実験・結果の処理	○結果1：10cm の時に最大音量が測定された。フラスコに油を入れたものが集音レンズになった。焦点以外の距離では、フラスコに水を入れたものより平均が下がったため、油やガラスが音の吸収反射に影響している。水を入れたものが一定値ならなかったことから、音の吸収は観察を行うことが必要と考えた。	音源がスマホだと音が拡散するため、指向性スピーカーを使用してはどうか。
分析考察推論	○実験1：フラスコに油を入れたものは、10cm で音が大きくなったため、集音レンズになったと言える。焦点以外の位置で油を通すと音量が下がってしまうのは、油に音を吸収する作用があるからではないかと。	集音のデータをグラフ化し、考察してはどうか。
表現伝達	○ポスターセッション準備 ○大学での発表（9月）準備 ○より集音するレンズを作るため油の種類を変えて実験する。	○見やすい分かりやすいポスターの作り方を指導した。 ○実験結果は基礎研究が大事であり、一

【資料 10】指導実践の事例（一部抜粋）

新学習指導要領では、「理数」の内容の取扱いについて、実施に当たって次の事項に配慮を求めている（資料 11）。

- 次のような事象等の探究の過程を通して、内容に示す知識及び技能や思考力、判断力、表現力等を身に付けるようにする。
 - 自然事象や社会的事象に関すること
 - 先端科学や学際的領域に関すること
 - 自然環境に関すること
 - 科学技術に関すること
 - 数学的事象に関すること
- 生徒の興味・関心、進路希望等に応じて、(1)のアからオまでの中から、個人又はグループで適切な課題を設定させる。
- 数学的な手法で科学的な手法などを用いる。
- 探究の過程を振り返る機会を設け、意見交換や議論を通して、探究の質の向上を図る。
- 探究の成果などについて、報告書を作成させる。

【資料 11】「理数」の内容の取扱い配慮事項

ここでは、(1)のア～オについて、それぞれ、以下の研究の例を紹介している（資料 12）。

- ア 自然事象や社会的事象に関すること
 - ・唾液中の細菌とCOD
 - ・錯視を数値化し要因を探る ～Jastrow 錯視における錯視量の変化について～
- イ 先端科学や学際的領域に関すること
 - ・集音レンズを用いた新たな通信機器の開発
 - ・ビスマス極板を用いた電気分解における色の変化と条件
- ウ 自然環境に関すること
 - ・千葉県南西部における約50万年間のアサリの形の違い
 - ・植物の維管束と肥大成長の関係を単位パイプモデルで考察する
- エ 科学技術に関すること
 - ・ビスマスの結晶を思い通りの大きさに作るにはどうしたらよいか
- オ 数学的事象に関すること
 - ・確率と人間の直感 ～人間の直感は期待値を超えられるか～

【資料 12】それぞれの事象等についての研究事例

また、(5)の「報告書を作成させる」について、それぞれの研究で生徒が作成したポスターを掲載している。なお、ポスターは生徒が作成したものであり、表現や文字等は訂正せず、意図的にそのまま掲載している。

ウ 評価

「理数探究基礎」及び「理数探究」の指導においては、探究の成果を上げることも大切だが、それ以上に、主体的に探究の過程全体をやり遂げるための資質・能力を育成することが重視されている。探究した結果として生み出された成果における新たな知見の有無や価値よりも、探究プロセスにおいて、そのような資質・能力を身に付けることができたか、探究プロセスをメタ認知することができたかが重要である。

評価に際しては、研究報告書や発表の内容の他に、研究における生徒の創造的な思考や研究の過程における態度を重視したり、発表会における自己評価や相互評価を取り入れたりするなど、多様な方法を用いることが考えられる。ここでは、研究協力校における『自己評価ルーブリック』を紹介する（資料 13）。

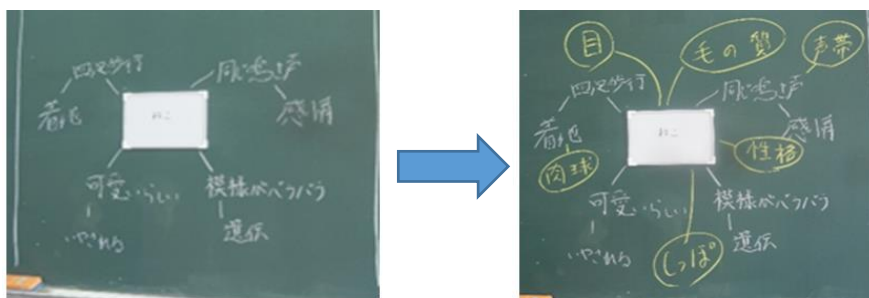
	評価の観点	学習活動における具体的な評価基準	評 価			
			1	2	3	4
1	研究テーマの設定	課題研究のテーマ設定をする際、事前にインターネットや文献等で先行研究等を調べ、研究の目的や筋道をたてることができる。	事前に先行研究を調べておらず、研究の目的も立てられなかった。	事前に先行研究等を調べないまま、研究の目的もうまく立てられなかった。	事前に先行研究等を調べて研究の目的や筋道をおおまかに立てることができた。	事前に先行研究等を十分に調べ、研究の目的や筋道を十分に立てることができた。
2	知識・技能を活用した問題解決能力	既習事項の知識・技能を使って、課題解決の仮説を組み立て、実験の検証から実験方法等を組み立てることができる。	課題解決の仮説を立てることもできず、実験方法の構想も組み立てられなかった。	課題解決の仮説を立てることはできたが、実験方法の構想を組み立てることはできなかった。	既習事項の知識・技能を使って、課題解決の構想を描き、組み立てることができた。	既習事項の知識・技能を効果的に活用することで、課題解決の仮説を科学的根拠に基づいて、実験方法の構想を組み立てることができた。

【資料 13】研究についての自己評価ルーブリック（一部抜粋）

6 研究のまとめ

(1) ガイドブックを活用した授業例

研究課題の設定では、SSH 指定校においても指導に難しさを感じる教員が多く、生徒もうまく課題の設定ができずに、苦勞する場面が見られる。そこで今回はマインドマップという手法を用いて思考を広げ、さらに、互いに意見を出し合うことで、研究課題の決定に大きな成果が見られた（図 4）。



【図 4】マインドマップ

また、研究テーマは

「〇〇について」では漠然としており、調べ学習で終わってしまう可能性があるため、「なぜ〇〇なのか」「〇〇を変えたらどうなるか」など、具体的なテーマを設定することで、研究の目的を明確にすることができる。実践事例では、指導前は『ビスマスの結晶について』という研究テーマであったが、『ビスマスの結晶を思い通りの大きさするにはどうしたらよいか』とすることで、より具体的で目的が明確なテーマにすることができた（資料 14）。

〈研究テーマ〉 『ビスマスの結晶について』



『ビスマスの結晶を思い通りの大きさに作るにはどうしたらよいか』

【資料 14】より具体的で目的が明確なテーマ設定

(2) 先生方の声

現在「理科課題研究」等の指導に当たっている先生方の声を紹介する。（資料 15）

- 伸ばすことができる生徒の力
 - ・課題を発見し、解決可能か検証しようとする力。
 - ・文献や先行研究の重要性を認識する力。
 - ・根拠、理論、思考の順序で、物事を考え整理する力。
 - ・他者と協力し、一人では解決できない課題に挑む力。
- 指導に対して、やりがいを感じた点
 - ・生徒とともに活動するため、普段は発言の少ない生徒とも話ができて、発想力や工夫する力などを知ることができた。
 - ・教科書の内容を超えた研究もあり、指導する側も勉強になった。
 - ・研究や発表を通して、生徒が変化していく姿や、達成感を得たときの喜びの表情を見ることができた。
 - ・発表の場で、内容を理解して的確に質疑応答を行ったり、小中学生にもわかるように説明するなど、成長を感じられた。

【資料 15】先生方の声

(3) 今後に向けて

年度末には、『「理数」の進め方ガイドブック理論編』および『実践事例編』を、千葉県総合教育センターWeb サイトに掲載する。探究学習の指導に関心を抱き、授業実践の中で活用していただければ幸いである。また、1校でも多くの学校が新教科「理数」を開設し、従来の高等学校の「数学」や「理科」の枠を超えた新たな理数教育第一歩として、探究の活動が広まっていくことを期待する。