

2022 年度 日産財団理科教育助成 成果報告書

テーマ：科学技術の開発や科学理論の発見過程から創造的な思考力の育成を目指す理科学習

学校名：東京学芸大学附属竹早中学校

代表者：馬場 哲生

担当者：中込 泰規

全教員数：35 名

全学級数・児童生徒数：12 学級・424 名

実践研究を行う教員数：3 名

実践研究を受ける学級数・児童生徒数：12 学級・424 名

1. 実践の目的（テーマ設定の背景を含む）

学習指導要領の改訂に伴い、主体的・対話的で深い学びを目指す多くの実践が行われている。本校の理科授業においても、生徒から提案される“問い”を起点とし、他者との協働を介して問題を解決していく学習を重視してきた。しかし、主体的・対話的で深い学びの具体として、学習指導要領に示されている「思いや考えを基に創造することに向かう過程を重視した学習の充実」に注目する時、従来の理科授業について、ひとつの問題点が見えてくる。それは、「自分」と「級友や教師」の思いや考えに焦点を当て、科学的な問題解決を行なっていく探究活動は積極的に実践に取り入れられている一方、「科学者」の思いや考え（＝「科学者」の視点）に焦点を当て、科学理論や科学技術の発見に至った背景、すなわちイノベティブな視点から、創造的に思考していく探究活動は極めて少ないことである。例えば、「化学電池」において、「自分」と「級友や教師」の考えから、化学電池の仕組みについて考えを構築していくことはあっても、科学者が、ボルタ電池の問題点をどのように見出し、なぜダニエル電池へ移行したのか、さらには、現在の電池は、どのような背景から開発されたのかといった、科学技術や科学理論の遷移に注目して理科授業が展開されることは少ない。科学技術の開発や科学理論の発見過程に、科学者が創造力を駆使してきたことは明白であり、その過程を理科授業で取り扱うことは、子どもの創造的な思考力を育むことに寄与するものと考ええる。

以上をふまえ、生徒が「科学者」の視点に立って問題を解決していく学習活動を導入することは、以下の2点に効果があると考ええる。第一に、イノベティブに問題を解決していく過程において、実験計画や条件の設定・変更、検証実験、振り返りといった連続する探究過程を粘り強く繰り返し、創造的な思考を働かせながら主体的に「科学する」活動の展開が実現することである。第二に、自分と科学者の思いや考えの比較を通して、従来よりも多様な視点を含みながら、知識や考えを創造的に構築していく機会となることである。

本研究は、生徒が「科学者」の視点に立って問題解決していく科学的な探究を通して、この2点についての効果を検証し、子どもの創造的な思考力の育成に寄与する授業実践の具体について、提案することを目指すものである。

2. 実践にあたっての準備（機器・材料の購入、協力機関等との打合せを含む）

（1）研究組織の確立と研究の方向性の確認

本研究は、本校の理科教員3名を中心に実践を行うこととした。実践の具体についての検討ならびに実践の効果を評価する方法について、週1回の教科会を開催し、協議することとした。実践の具体として、科学者の営みを学習文脈で再現していく観点から、「生徒の自由な発想を重視した、連続する科学的な探究」が展開されることを目指した。そのため、1時間単位の実践ではなく、単元全体を通した長期的な実践から研究を進めていくことを確認した。

（2）授業実践の振り返りに関する準備

実践の改善について、ビデオリフレクションならびにプロトコル分析を行うこととした。それに伴い、ビデオカメラとICレコーダーを購入した。

（3）授業実践に関する準備

生徒の自由な発想を重視した、連続する科学的な探究を重視する観点から、多くの実験を即座に実施できる環境を整える必要があった。そのため、使用することが予想される薬品や消耗品の購入を行なった。（塩酸、活性炭素、でんぷん、金属板、PET 円筒ケース、模造紙、ペンなど）また、「科学者」の視点を生徒に示す資料として参考となる図書、STEAMの実践として参考となる図書の購入を行なった。

3. 実践の内容

(1) 各学年の実践テーマ

本研究は、図1のように各学年において重視するテーマを設定し、これらの成果の蓄積によって本研究のテーマに迫っていくものと位置付けた。本報告は、紙面の都合上、3年生で行なった実践を示す。

(2) 実践の具体

本実践において、生徒が「科学者」の視点を捉えるために、以下の2点からアプローチすることとした。

- ① 科学者がどのような問題に注目し、どのような考えや社会的背景から研究に着想したのか
- ② 科学者が科学技術や科学理論を、どのような過程で導き出していくのか

①については科学史の視点を、②についてはSTEAMの視点を中心として、カリキュラムの中に組み込んだ。実際のカリキュラムを表1に示す。

(第1～4時間目について)

ボルタ電池とルークランシェ電池を取り扱い、両者を比較することで、ボルタ電池の問題点やルークランシェ電池の工夫されている点について検討させた。この際、ボルタやルークランシェが、実際にどのような社会的背景や自分の考えを基にして、電池の開発を行なったのかが掲載されている図書資料を示し、科学者の考えと自分の考えを比較する機会を設定した。また、電池の比較を通して、電池の開発に重要となる視点を見出させ、ボルタ電池とルークランシェ電池の間に開発されたダニエル電池は、どのようなものと考えられるか、グループで創造的に検討させた。そのグループの考えを基に、実際にダニエル電池を再現することとし、製作計画を検討させた。生徒が化学電池の開発に重要と考えた視点と、それをふまえて提案した製作計画の一部を表2に示す。

(第5・6時間目について)

グループで考えたダニエル電池の製作計画を基に、実際に作成を行なった。表2を見ての通り、問題を解決することが難しそうなものもある。生徒は、失敗を繰り返しながら、改善を重ね、時には実験の方向性を大きく変更しながら、少しずつ自分たちが目指すものを創り上げていった。図2～4は、実際に作成した電池である。図2はダニエル電池の構造とほぼ同じものであった。図3は、表2の下線部、図4は、表2の点線部の考えを基に、実際に作成したものである。いずれも、ボルタ電池の問題点を解消するという目標は達成しており、創造的に思考して、オリジナル性を主張できる電池を作成することができた。一方で、図3・4はボルタ電池の問題点は解消しているものの、ルークランシェ電池の構造を参考にしていない課題が見られた。

(第7～9時間目について)

そこで、全グループがどのような思いや考えを基に電池を製作したのかを発表する、「電池製作学会」と題し

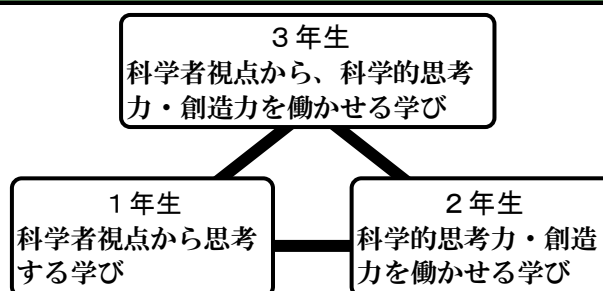


図1 各学年で重視した実践テーマ

表1 実施したカリキュラム

時間	内容(太字は科学史の視点、下線はSTEAMの視点として位置付けたものを示す)
1	ボルタ電池の構造や仕組みについて、実験を行い考察する。
2	ボルタ電池が開発された背景を学び、その後開発されたルークランシェ電池について実際に作成し、どのような背景で開発されたのか考察する。
3・4	ボルタ電池とルークランシェ電池の特徴や開発背景をまとめ、両電池間に開発された電池の構造や仕組みを創造的に考え、「電池開発案」を作成する。
5・6	電池開発案でまとめた電池を実際に作成して実験を行い、結果や参考意見をもとに随時改善を加えながら電池の完成を目指す。
7・8	第3～6時の内容について、グループで模造紙にまとめる。
9	グループでまとめた内容をポスターセッション形式で発表し、学級として提案するダニエル電池の具体をまとめる。
10	実際のダニエル電池や、最近開発された酸素マグネシウム電池を製作し、電池の原理を考察する。 また、これらの電池が優れている点や開発された背景について、化学電池の変遷を振り返って考察する。

表2 生徒が見出した視点と電池の製作計画

開発に重要な視点	ダニエル電池の製作計画
用いる電解質水溶液を、陽極、陰極に影響がないものにすることが重要。	・陽極に、同じ金属イオンがつく水溶液で実験する。 ・陽極に、よりイオン化傾向の差が生じるイオンがつく水溶液で実験する。
陽極側に固体を用いることで、気体が陽極に付着しないようにしている。	用いる電解質水溶液をペースト状にすることで、気泡が発生すること防ぐことができるか確かめる。
銅に水素がついて、電圧が安定しない問題を克服することが大切。	・使用する銅板の枚数を増やしたり、面積を大きくしたりする。 ・銅板を風車のようにして回すことで、水素をつけない。

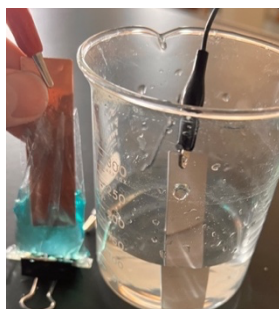


図2 生徒が製作した電池1

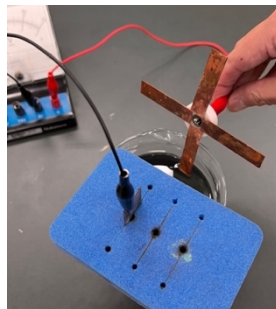


図3 生徒が製作した電池2

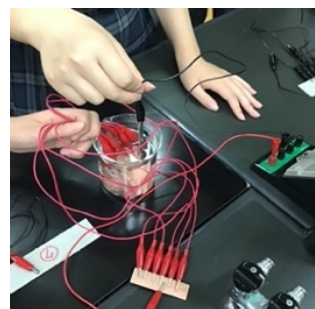


図4 生徒が製作した電池3

たポスターセッションを実施した（図5）。ここでは、生徒一人ひとりを、ダニエル電池を開発した科学者として位置付けた。科学者同士の意見の交流を行い、議論を通して、より多様な考えを包含しながら、学級全体でダニエル電池の具体についてまとめることを目指した。

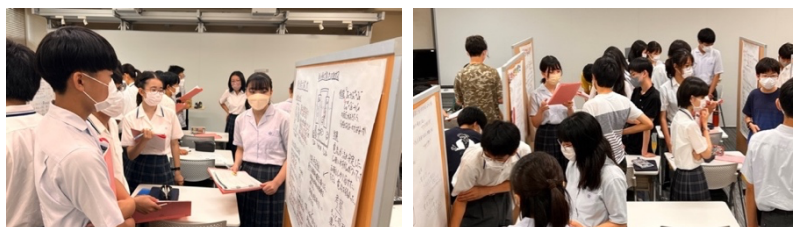


図5 電池製作学会のようす

（第10時について）

実際のダニエル電池を教師から明示し、製作を行なった。その際、自分たちが作成した電池や学級でまとめたダニエル電池の具体との比較を行なった。生徒は、化学電池を製作する中で、化学電池の理論を十分に理解しており、ダニエル電池の仕組みについて理解するだけでなく、ダニエルがどのような思いや考えから開発したのか、その背景についても考察を行っていた。また、近年注目されている酸素マグネシウム電池を製作した。ここでも、酸素マグネシウム電池の仕組みや、優れている点を考察するだけでなく、ボルタ電池からの化学電池の変遷を振り返り、酸素マグネシウム電池が、どのような背景で開発されたのか、科学者の思いや考えから考察する姿が確認できた。

以上のように、科学史とSTEAMの観点を複合的に取り扱った学習文脈から、生徒が創造的な思考を常に働かせながら問題解決をしていくことを目指す授業実践を行なった。

報告した実践以外にも、本研究テーマに迫る実践を、全学年通して複数行っている。

4. 実践の成果と成果の測定方法

（1）成果の測定方法

創造的な思考力を定量化して、客観的に評価することは難しい。そこで本研究では、実践を通して、「創造的に思考することの必要性」について、生徒の考え方がどのように変容したかで成果を測定することとした。また、「1. 実践の目的」に述べた通り、本実践では「主体的に科学する」生徒の姿が期待できる。それに伴い、「科学の営み」や「科学とは何か」といった、近年注目されている科学の認識論的な知識である「科学の本質（Nature of Science ;以下、NOSと示す）」の理解も促されることが期待できると、助成者面接時に助言を頂いた。そこで、表3の中山・小倉（2020）が開発したNOSの質問紙を用い、以下の手続きで成果の測定を行うことにした。なお、この成果報告は、先の実践対象の中学3年生についてまとめたものである。

表3 中山・小倉（2020）が開発したNOSの質問紙調査の内容

NOSの要素	質問内容
①観察と解釈	一つの現象に対する科学者の観察は、常に同じである。【逆転項目】
②科学の暫定的性質	科学理論は、変更されることはない。【逆転項目】
③科学に関する社会的影響	科学研究は、社会の影響を受ける。
④科学研究における想像力・創造力の役割	科学者は、想像力・創造力を用いる。
⑤科学研究における手法	同じ目的に対し、科学者たちの実験方法は一つである。【逆転項目】
⑥科学の限界	科学は、世界の全ての問題に答えることができる。【逆転項目】

*各要素について、「賛成である」、「やや賛成である」、「どちらとも言えない」、「やや反対である」、「反対である」の5段階リッカート式である。「賛成である」を5点、「反対である」を1点とし、逆転項目については、「賛成である」を1点、「反対である」を5点として処理した。

*実際の質問紙には質問内容を理解しやすくするために、解説文が示されている。

①：授業実践前後に表3の質問紙を用いて、NOSの理解がどのように変容したかを調査した。研究テーマである「創造力」に最も関連のある④の要素、また、「1. 実践の目的」で期待できる効果として示した2点に関して、生徒の自由な発想を重視した、連続する科学的な探究が行われることから⑤の要素と、従来よりも多様な視点から考えを構築していくことから①の要素について、実践前後の得点に有意な差が見られると仮定した。

②：各授業時間の最後に、表3に示しているNOSの6つの要素について、授業時間内で意識したことがあった場合は、その具体的な内容を振り返りシートに記入させるようにした。その記述内容の分析から、生徒が各NOSの要素に対して、どのように考えているか分析した。（本報告では、効果があると仮定した①、④、⑤の要素、その中でも特に研究テーマと関連のある④の要素についての分析結果を報告する。3・4、5・6、7・8時間目は、2時間を1セットの授業としており、振り返りはそれぞれ後半の時間の1回のみで実施した。）

（2）授業前後のNOSの理解の変容

「3. 実践の内容」に示した授業実践の前後に実施した、表3の質問紙調査の結果をまとめたものを表4に示す。先に示した3つの要素（①、④、⑤）について、いずれも有意な差が確認でき、実践を通して効果があったことが確認できた。

（3）各時間における生徒の振り返りシートの記述

④の要素について、生徒が授業の振り返りシートに記述したものを図6に示す。二名の記述で共通することは、実際に自分で化学電池を作成する中で、論理的に考えるだけでは新たなものを創り出すことができず、創造的に思考することによって新たな発見や考え方に繋がっていくというものである。このように創造的に思考することの重要性を実感する多くの振り返りが見られた。④の要素について、各授業時間で振り返りシートに記述した人数をまとめたものが、図7である。授業全体を通して、多くの生徒が、創造力の重要性に気付く記

表 4 学習前後における NOS の要素における理解の変容 (n=124)

	①観察と解釈		②科学の暫定的性質		③科学に関する社会的影響		④想像力・創造力の役割		⑤科学研究における手法		⑥科学の限界	
	<i>m</i>	<i>SD</i>	<i>m</i>	<i>SD</i>	<i>m</i>	<i>SD</i>	<i>m</i>	<i>SD</i>	<i>m</i>	<i>SD</i>	<i>m</i>	<i>SD</i>
<i>Pre</i>	3.81	1.15	4.29	.96	3.35	1.27	4.24	0.93	4.06	1.12	3.57	1.27
<i>Post</i>	4.07	1.11	4.37	.87	4.12	1.05	4.52	0.96	4.52	0.78	3.55	1.09
<i>t</i>	2.29(<i>p</i> <.05)		.86(<i>p</i> =.39)		5.70(<i>p</i> <.01)		2.55(<i>p</i> <.05)		3.88(<i>p</i> <.01)		-1.17(<i>p</i> =.86)	
<i>d</i>	.21		.08		.51		.23		.35		-.02	

論理的に考えるとは「 $T \vdash C$ 」と、 T と C のセットで Δ を組み合わせるとは「 $T \cup C$ 」になってしまうが、どうしてそうなのだろうか？と考えた。想像として、正負の数が計算上の相対点もあてはぐることができる、とんだ内容で発想もあてはぐることがないので、電圧や温度の「 T 」の「 C 」というように思う。

新しいものを発明するときに、その前には無かった新しい考え方を発見することが必要だと考えたため、また、多岐岐路なマイティアだったとしても、固定観念にとらわれずに考えることがスゴいと思った。

図6 ④の要素に関する振り返りの記述

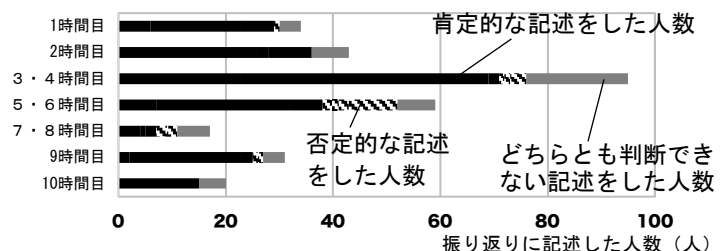


図7 各授業時間で④の要素に関する振り返りを記述した人数(n=124)

述を行っていたことは、本実践の最たる成果である。このような成果の蓄積が、創造的な思考力の育成につながると考えられる。しかし、第5・6時間目には、創造力を用いることに、否定的な記述をする生徒も一定数見られた。その具体は、「創造的に考えすぎることによって、理論を無視して、目指すものとは異なる電池ができてしまった」というものであった。創造的・理論的に思考することのバランスを意識させる手立てを検討することが、今後の課題である。

①と⑤の要素についての振り返りの記述の具体を図8に示す。④の要素と同様に、これらの要素についての重要さを実感する記述が、授業全体を通して確認できた。また、これらの気づきから、創造的に思考する活動へ繋がっていることが、振

以上から、本実践は、生徒の創造的な思考力の育成に貢献するものと考える。紙面の都合上、3年生の成果報告のみとなっているが、他学年においても同様の方法で成果を測定し、効果を確認することができた。

友達に実験にフイフ仮え、きいてくれた人からの質問の中にも自分にはなかった視点が有り、改めてその自分と気づく発見もあり、素直に面白かった。「言葉にする」との勉強でも感じると共に大きな達成感を得られた、すぐ自分の思考にフイフ自分自身で考える時間になった。

前回と同じく1つめの要素「月夜」を考えれば「心」を感じた。(フビエの実験方法ではないにしても)ベストオブ電池は作れそうにはない。それをいづつかの方法を行なった。今日も上手に行けたのか?ので、原因を究明した。

図8 ①（上段）と⑤（下段）の要素に関する振り返りの記述

5. 今後の展開（成果活用の視点、残された課題への対応、実践研究の可能性や発展性など）

創造的な思考力の育成は、Society5.0 の時代の到来に伴って、今後の理科授業に求められる重要な視点である。本研究の成果は、創造的な思考力を育む授業デザインの構築に貢献するものと考ええる。今後、発展させていく点として、「科学の本質（NOS）」の理解を、このアプローチからどこまで深めることができるか、調査・分析していく予定である。「科学の営み」や「科学とは何か」に焦点が当てられている NOS の理解が深まることで、一層「科学者」の視点から展開する学習効果が期待でき、生徒の創造力の育成に寄与すると考える。また、近年注目されている STEAM 教育についても、本実践のように科学史と一緒に取り扱うことで、効果が高まることが示唆され、本研究の成果を活用・応用できる部分と考える。

一方で、創造的な思考力の評価方法には課題が残る。今後、専門的な助言を大学の先生からいただく機会を設定することや、学会発表や研究会提案から頂く意見・指摘等から、評価方法を検討していきたい。

6. 成果の公表や発信に関する取組み

雑誌掲載	◆理科的教育 12月号(東洋館出版):「科学者視点」から思考していく探究活動ー発見された法則や理論、開発された科学技術の背景に着目してー
学会発表	◆第72回日本理科教育学会全国大会:「科学の本質」の多面的な理解を促す授業デザインに関する一考察ー科学史にSTEAMの視点を含めた複合的な学習文脈の実践からー ◆第46回日本科学教育学会年会:「学習者は「科学の本質(NOS)」の要素をどのような学習活動・場面で意識するのか ◆第61回日本理科教育学会関東支部大会:「科学の本質(NOS)」の理解が領域固有から領域一般へと遷移していく要因に関する一考察
研究会提案	◆2022年度東京学芸大学竹早地区公開研究会:TEAM GIGA スクール時代の学習環境を考えよう。ー多様な学習空間におけるICTの活用ー「物質と電気(静電気)」

7. 所感

生徒の創造的な発想は、時に教師の考え方を超越していくと、本研究で改めて実感した。教師は、各授業の目的を達成するための、効果的な探究方法を知っているし、必要な理論や法則も知っている。一方、生徒はそれらをゼロベースで構築していく。それゆえに、教師が全く意図しなかった創造的な視点を持ち、盛んに議論が行われ、試行錯誤を繰り返しながら問題を解決していく学習過程が成立していくのだと感じた。教師にとっては、生徒の発想が予想できず、授業設計に不安な要素がある。だからこそ、生徒と教師が共に問題解決において学習文脈を創り上げていく過程が実現した。この過程が、本来の学びの姿と言えるのではないだろうか。