

「より科学的な考えに磨き上げる力」を育てる高等学校化学分野の指導の在り方

—対話による探究の過程における仮説設定を通して—

長期研究員 石橋 亮宏

《研究の要旨》

本研究では、高等学校理科の化学分野で「より科学的な考えに磨き上げる力」の育成を目指した。そこで、探究の過程における、「課題の探究（追究）」の場面で、仮説と検証計画を立て、それらを科学的な視点で検討・改善できるようにした。その際、仮説と検証計画を検討するMy仮説シートの作成、科学的な視点の有用性に気付く振り返り、他者の視点を取り入れる対話を行った。それによって、より科学的な考えに磨き上げられる生徒が増えた。

I 研究の趣旨

高等学校学習指導要領解説理科編では、「理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、(中略)科学的に探究するために必要な資質・能力を育成すること」と示されている。この「見通しをもって観察、実験を行うこと」とは、「観察、実験を行う際、何のために行うか、どのような結果になるかを考えさせるなど、予想したり仮説を立てたりしてそれを検証するための観察、実験を行わせること」と記述されている。その際、重要となるのは、「生徒が見通しをもって学習を進め、学習の結果、何が獲得され、何が分かるようになったかをはっきりさせ、一連の学習を自分のものになるようにすること」と示されている。これらのことから、科学的に探究するために必要な資質・能力を育成する上では、自然の事物・現象を科学的な視点で捉え、一連の学習を自分のものになるよう、予想や仮説といった見通しをもって学習を進めることが大切だと考える。

しかし、これまでの自身の授業は、講義型の授業を行うことが多かったため、生徒が実験の目的を踏まえた仮説とその検証計画について考えたり、生徒同士で対話などを通して考えを深めたりする機会もあまりなかった。また、自然の事物・事象について、本当に調べられる方法か、同じ条件であれば誰が行っても同じ結果が得られるか、自分だけでなく他者も納得できる方法かについて教師が生徒に意識させることがあまりできなかった。そのため、生徒が仮説と検証計画について他者と検討・改善したり、その検証方法を振り返ったりすることができなかった。

そこで、本研究では、「より科学的な考えに磨き上げる力」を、「自然の事物・現象について、実証性^{※1}、再現性^{※2}、客観性^{※3}の条件を検討する視点（以下、「科学的な視点」）を用いて、仮説と検証計画^{※4}を検討・改善していく力」と定義し、その育成を図る。その育成にあたり、高等学校学習指導要領解説理科編「探究の過程のイメー

ジ」の中でも、仮説と検証計画を立てる学習過程を含む、「課題の探究（追究）」の過程に、特に重点を置く。その「課題の探究（追究）」において、生徒が科学的な視点を意識しながら、課題に対する仮説と検証計画を立てて、他者と検証方法を討論する対話を行うことで、仮説と検証計画を検討・改善できるようにする。この探究の過程における仮説設定を通して、生徒が一連の学習を自分のものとして取り組めるようにし、「より科学的な考えに磨き上げる力」を育成したい。

- ※1 実証性とは、考えられた仮説が観察、実験などによって検討することができるという条件のこと
- ※2 再現性とは、仮説を観察、実験を通して実証するとき、人や時間、場所を変えて複数回行っても同一の条件下では、同一の結果が得られるという条件のこと
- ※3 客観性とは、実証性や再現性という条件を満足することにより、多くの人々によって承認され、公認されるという条件のこと
- ※4 本研究では、検証計画を、課題に対する仮説を検証するための方法をより具体化したものと捉える。そのため、仮説を立てて、検証計画を立案するまでの過程を、仮説設定とする。

II 研究の概要

1 研究仮説

高等学校化学分野の授業において、以下の手立てを講じれば、「より科学的な考えに磨き上げる力」を育てることができるだろう（図1）。

【手立て1】科学的な視点で、仮説と検証計画を検討するMy仮説シート

【手立て2】科学的な視点で、仮説と検証計画を検討する有用性に気付くための振り返り

【手立て3】より科学的な視点で、仮説と検証計画を検討・改善するための対話

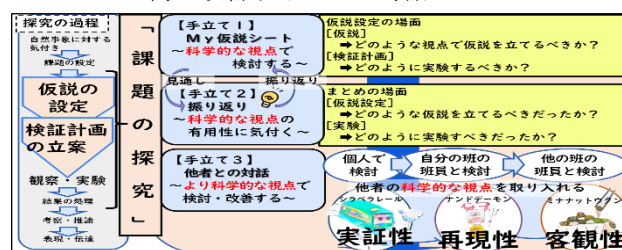


図1 主題の力を育てるための手立ての位置付け

2 研究の内容

(1)【手立て1】科学的な視点で、仮説と検証計画を検討するMy仮説シート

課題に対する仮説設定の場面において、科学的な視点で検討するために、My仮説シートを活用する。まず、どのような視点で仮説を立てるべきか考えるため、実験の「方法」と仮説を検証できる「根拠」を踏まえ、「仮説」を検討する。次に、どのように実験すべきか考えるため、「実験手順」、「必要な器具・薬品」の項目について検討し、見通しをもって検証計画を立てられるようにする。

そして、実証性、再現性、客観性という科学的な視点をMy仮説シート内に提示して明らかにし、生徒に視点を意識させるようにする。

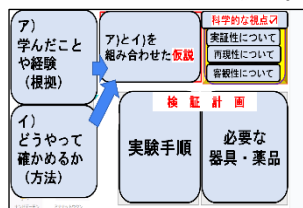


図2 My仮説シート

そうすることで、科学的な視点で、仮説と検証計画を検討できるようにする(図2)。

(2)【手立て2】科学的な視点で、仮説と検証計画を検討する有用性に気付くための振り返り

仮説設定や実験のまとめの場面において、生徒が科学的な視点で検討する有用性に気付くため、仮説について振り返り、振り返りシートに記述する。その際、科学的な視点を教師が生徒に提示して働きかけることで、どのような視点で仮説を立てるべきだったか、どのように実験すべきだったか、仮説設定や実験の過程を生徒が振り返られるようにする。そうすることで、科学的な視点で、仮説と検証計画を検討する有用性に気付くよう促す。

(3)【手立て3】より科学的な視点で、仮説と検証計画を検討・改善するための対話

【手立て1】により個人で仮説設定した後、新たに班で仮説設定をする場面において、生徒が自分の班及び他の班の班員と検証方法について対話することで、他者の科学的な視点を取り入れられるようにする。まず、班をつくり、互いの仮説と検証計画を共有し、班で検討する。次に、他の班の班員と交流し、自身の班の仮説と検証計画と比較し、再構築する。さらに、生徒が科学的な視点を意識できるように教師が問いかける。他者の科学的な視点を取り入れることで、より科学的な視点で、仮説と検証計画を検討・改善できるようにする。

3 研究の実際

対象生徒	第3学年46名(3学級)
授業実践Ⅰ	「物質の構成元素」(4時間) 「イオンとイオン結合」(2時間)
授業実践Ⅱ	「イオンとイオン結合」(3時間) 「物質と化学反応式」(3時間)

本稿では、【手立て1】は第1時と第7時、【手立て2】は第2時と第3時、【手立て3】は第7時から第9時までで、その実際を述べる(図3)。

第1時 立案	第2時 実験	第3時 立案	第4時 実験	第7時 立案①	第8時 立案②	第9時 実験
【課題】 水と食塩水を どのように 見分けるか?	【課題】 砂糖水と食塩水 をどのように 見分けるか?	【課題】 五つの水溶液に含まれ る物質をどのように見 分けるか?				
※第5～第6時 立案・実験 第10～第12時 立案・実験						

図3 本研究の実践計画

(1)【手立て1】について

第1時では、「水と食塩水を見分けるにはどうしたらよいか」という課題に対して、生徒はMy仮説シートを用いて仮説設定した。まず、導入では、実験の前に仮説を立てる必要性について生徒と考えた。すると、生徒から「段取り」、「実験結果」という言葉が挙がり、実験の見通しをもつために、仮説が必要になると共通認識をした。次に、仮説設定する場面では、生徒は、My仮説シートの項目を基に、実験の「方法」と仮説を検証できる「根拠」から、仮説を具体的に考え始めた。生徒が記述した仮説の検証方法には「リトマス試験紙で見分ける」と書かれたものがあつた。しかし、その方法では水と食塩水のどちらも反応しない実験結果が予想され、見分けることが難しいと思われた。そのため、教師から「どちらも同じ実験結果になる方法で見分けられるのか」と生徒に働きかけた。このやり取りを全体で共有し、どんな実験結果を得られればよいか共通理解を図った。すると、生徒は、「食塩水と水を熱したら、食塩水の方だけ塩が残るから見分けられる」という仮説を導き出した。これは、実証可能な仮説を立てられるようになった姿、つまり、科学的な視点で検討できた姿と見取れる。

第7時では、「五つの水溶液に含まれる物質をそれぞれどのように見分けるか」という課題に対して、仮説設定した。この第7時に至るまでに、生徒は科学的な視点で仮説設定できるようになってきた。例えば、第2時では、実験を通して、事前に考えた必要な器具や操作の不十分な点に気付く姿が見られ、第3時では、必要な器具や実験手順を具体的に記述するなど、より実験の見通しをもてるようになった。さらに、第6時では、実験結果の信頼性を高めるため、複数の検証方法を試したり、適切な実験手順を検討したりする必要性に気付く姿が見られた。そこで、第7時では、My仮説シートの記入項目による誘導がなくても科学的な視点で仮説設定できると考え、項目を「仮説」と「検証計画」のみに絞った(図4)。すると、図4①のように、「(炎色反応によって)Ca(OH)₂が確定」とした上で、図4②のように、「Ca(OH)₂も確かめる」という記述が見られた。これは、炎色

反応だけでなく、他の方法も追加で行うことにより、本当に解決できるかという科学的な視点で検討した姿だと見取れる。また、仮説については、図4③のような、実験方法が具体的に考えられていた。この仮説の「段階的に」という記述からは、どのような手順で実験すればよいかと検討した姿だと見取れる。これらのことから、仮説と検証計画を科学的な視点で検討できるようになったと言える。

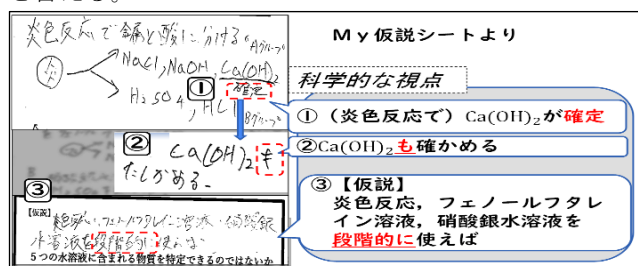


図4 科学的な視点で検討できるようになった記述

(2)【手立て2】について

第2時では、第1時に生徒が自分で立てた仮説と検証計画を基に、実験を行うこととした。生徒Aは実験を始めると、水と食塩水を区別するために、ろ過を行った。その際、何度も注ぎ直したり、別の実験器具を用いて、ろ過装置を繰り返し組み立てたりするなど、試行錯誤していたが、水と食塩水を見分けられなかった。そこで、教師が、生徒Aに「どうして見分けられなかったのか」と問うと、生徒は疑問をもち、見分ける方法を情報端末で調べていた。その後、まとめの振り返りでは、生徒Aは仮説設定の場面を振り返り、「ろ過以外の方法も考えておくべきだった」という科学的な視点で検討することの大切さに気付く記述が見られた(図5)。

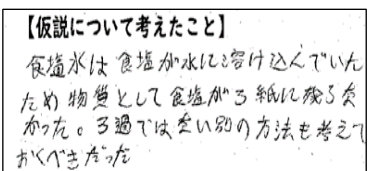


図5 視点の有用性の気付き

第3時では、「砂糖水と食塩水を見分けるにはどうしたらよいか」という課題に対して、仮説設定することとした。生徒Bは、仮説を考え始めると、「加熱によって見分けられる」と考えた。それを他の生徒に伝えたところ、「見た目が一緒でも見分けられるの?」と指摘された。それを受けて、生徒Bは、「砂糖水は焦げて、食塩は変化しないので見分けられる」と仮説を改善する姿が見られた。まとめの生徒Bの振り返りシートには、「実験できる仮説ではあったが、具体性が不十分だった」と書かれていた。この「具体性が不十分」という記述から生徒Bは、他の生徒からの指摘を受けて、どのような実験結果になることで実証できるのかを考えること、つまり、科学的な視点で検討する有用性に気付いた姿だと考えられる。

これらのことから、仮説設定や実験の過程を振り返り、

科学的な視点で検討する有用性に気付いていたと言える。

(3)【手立て3】について

第7時では、【手立て1】で立てた仮説と検証計画を班で共有した。その際、A3用紙に班員のMy仮説シートを貼り付けられるようにした。それにより、班員の仮説と検証計画を比較しながら班でどんな仮説にすべきか、どのように実験すべきか検討できるようになった。生徒は班をつくり、自分と班員の仮説と検証計画を互いに共有し、班の仮説と検証計画を新たに検討し始めた(図6)。C班では、図6①の「この方法(炎色反応)だと色の変化が分かりづらいのでは?」という発言があり、それを受けて、同じ班の班員からも「じゃあ、他の方法がいいかな?」という科学的な視点で検討しようとする発言があった。その後の班の中での対話で、「(炎色反応で)色がついた方がNa、つかない方がH」という班員の発言を受けて、図6③の「(炎自体の色があるのに)色がつかない、とは?」という発言があった。これらの発言は、科学的な視点での発言を受けて、その視点を取り入れて仮説と検証計画を検討する姿だと言える。

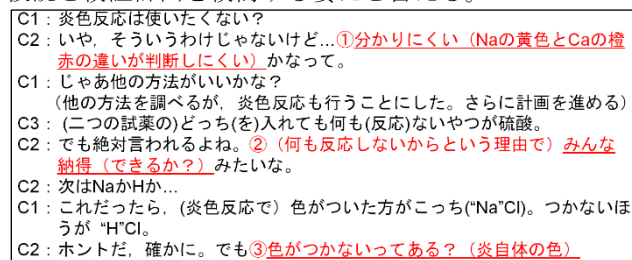


図6 対話による科学的な視点での検討・改善

その一方で、図6②のように、「(何も反応しないという理由で)みんなが納得できるのか?」という科学的な視点に基づく発言があったものの、C班が立てた検証計画では「何も反応しない方が、NaOH水溶液」という記述になっていた。そこで、生徒がより科学的な視点で検討できるような方向付けが必要と考えた。そのため、先述したC班の検証計画については、「どうしたら確実にその物質だと言えるか」と生徒に教師が質問をした。すると、次の第8時では、第7時の助言を受けて、C班は、物質の性質を調べ直し、追加でどのような実験をすればよいか実証方法を検討した。それにより、一つだけでなく、複数の検証方法を組み合わせることでより納得できる検証計画へ、つまり、科学的な視点で検討・改善した記述へと変容した。

その後、各班の班員を組み替えて、新しい班をつくり、自身の班の仮説と検証計画について他の班と検討する場を設定した(図7)。生徒が交流を始めると、先述したC班の班員は、他の班の検証計画と比較し、炎色反応を行

うという共通点に気付いた。その一方で、C班は炎色反応を蒸発皿で行うが、他の班は白金線という器具を使う点で異なると分かった。C班の班員は、どちらの器具にすべきかについて、他の班の班員と検討する中で、図7①のように、「白金線の方が蒸発皿を使わず、溶液が少量で済む」という発言があった。この発言から、白金線、蒸発皿のどちらでも実証できるが、どちらにすべきか検討した姿と考えられる。その後、元の班に戻り、自分の班の班員と得た情報を共有した。すると、図7②のように危険性も下がるという利点に気づき、白金線を使う方がよいと結論付けた。このような自分の班及び他の班と対話を行ったことで、他者の科学的な視点を取り入れて、より科学的な視点で仮説と検証計画を検討・改善できた。

図7 他の班とのより科学的な視点での検討・改善

III 研究のまとめ

1 「より科学的な考えに磨き上げる力」育成の検証

(1) My 仮説シートの記述の変容

My 仮説シートの仮説と検証計画を科学的な視点で検討できているか点数化し、分析した。仮説と検証計画について、「科学的な視点で記述できているもの」を2点、「科学的な視点で一部記述しているもの」を1点、「無回答及びそれに準ずるもの」を0点とした。すると、学年平均が0.7点から1.6点へと有意に上昇した ($p < .05$)。

また、ある二人の生徒のMy 仮説シートの記述の変容をそれぞれ分析した (図8)。

図8 仮説と検証計画の記述の変容

生徒Dの仮説は、第1時では「二つの液体を蒸発させれば見分けられる」という記述だったが、第3時では、「塩は残り、砂糖は焦げるため」といった具体的な実験結果の見通しのある記述へ変容した。また、生徒Eは、第5時では検証計画は抽象的であったが、第7時では、実験結果としてどんな色に変化するのか、何を見分ける

ために実験するののかといった記述へと変容した。このように、科学的な視点を基に、仮説と検証計画を検討できるようになった姿が多く見られた。

(2) 振り返りシートの記述の変容

科学的な視点で検討する有用性に気付いているか、その変容を見るため、振り返りシートの記述を点数化した。仮説について「科学的な視点で振り返っている」を2点、「振り返っているが、一部不足がある」を1点、「無回答及びそれに準ずる」を0点とした。実践の第1時から第9時において、いずれも実験後に学年平均が上昇した ($p < .05$)。この結果は、実験により仮説設定での不十分な所が明確になり、科学的な視点で振り返る必要性が生じたためと推察される (図9)。

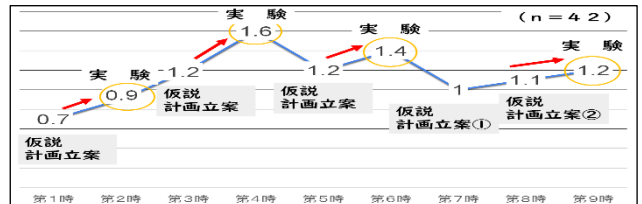


図9 振り返りシートの記述の点数とその推移

また、ある一人の生徒の記述の変容を分析した。第1時では、仮説を立てることで「実験をスムーズに行える」という抽象的な記述だった。それが第6時では、「本当にそうなるのか」や「他人に分かりやすいように」といった視点で考える姿が見られた。このことは、科学的な視点で考えられるようになり、生徒がその視点で考える有用性を実感した姿だと考えられる (図10)。

図10 生徒の振り返りシートの記述の変容

2 成果と課題

(1) 研究の成果

My 仮説シートの変容と振り返りシートの記述から、探究の過程を通して、生徒が科学的な視点の有用性に気づき、その視点で検討できるようになったことが分かった。そして、対話により、生徒は他者の視点を取り入れ、より科学的な視点で仮説と検証計画を検討・改善できた。

(2) 今後の課題

振り返りシートの分析から、実験後の振り返りの方が、科学的な視点の有用性を感じられることが分かった。実験前でも同様に、生徒がその視点で検討・改善することの有用性を感じられるよう、仮説と検証計画を立てる段階において、見通しのもとせ方を工夫していきたい。