

# 探究活動における検証計画の立案に焦点を当てた授業実践

## —高校化学「凝固点降下」を事例として—

教育学研究科 教育実践創成専攻 教科領域実践開発コース 中等教科教育分野 邊見千里

### 1. 問題の所在

#### 1.1. 研究の背景

化学分野では、物質の化学式、名称、反応名、反応の仕方等について暗記をしなければならないことが多く、暗記に頼ることなく学習内容を定着させるためにはどのような方法があるかについて調査を行った。先行研究を調査する中で、座学で学習する前に実習等を行った授業を「反転授業」というが、この反転授業を行うことにより一定の学習成果が得られたという研究が沖林(2017)で報告されている。この研究を参考に、高校化学において学習事項を定着させる実験のよりよい導入時機についての研究を昨年度行った。

この研究は、高校化学の有機化学のある単元内容において、実験を先に行った後に座学で学習する授業スタイルと、座学で学習した後に実験を行う授業スタイルの2通りの授業を行った場合に、生徒はどちらの授業スタイルで学習事項が定着するか、また、その際に理科の見方・考え方を働かせているかについて分析し、比較することを目的としたものであった。

結果としては、座学を行った後に実験を行う組と、実験を行った後に座学を行う組の2通りで単元学習を行った場合の定着度調査から、「実験から座学」、「座学から実験」の差に大きな差は見られなかった。しかし、生徒の授業観察や学習観察からは、後で実験を行った組は見方・考え方を働かせている記述が多かったことが分かった。よって、総合的に分析すると、見方・考え方を働かせながら学習ができていたのは、「座学から実験」の方であることがわかった。

先に述べた研究を行う中で、課題として、た

だ単に「座学から実験」のみの流れで実験を行うと、学習事項の確認で終わってしまっていると考えられ、生徒が見方・考え方をもち働かせながら実験を行うためには、学習の順序以前に、探究の過程に沿って観察・実験を行うことで、学習事項の理解を深める必要があるのではないかと考えた。

そこで、探究の過程を一度振り返り、2016年の中教審答申の資質・能力を育成するために重視すべき学習過程のイメージ(高等学校基礎科目の例：図1)では、探究の過程に沿って養う資質・能力の具体例が明確化されていることに着目した。そして、この探究の過程に沿った授業展開を考えることとした。

#### 1.2. 探究過程の現状

現状の学校教育において、一般的な理科の授業はこの探究の過程に沿って、実験を行っているか考えてみる。ある学校の理科教員に探究過程に沿って実験をしているか問うたところ、限られた授業時数の中では、探究過程に沿って実験することは難しく、また、検証計画の立案の授業についての例が、あまり教科書の指導書に掲載されていないのが現状である。

「検証計画の立案」が省かれていることが多いが、実験や学習事項の理解を深化させるためには、検証計画の立案が必須であると考えられる。さらに、探究過程における検証計画の立案についてどのような現状であるかを調べた。中学校理科の、平成30年度の全国学力・学習状況調査の結果から、「変える条件」「変えない条件」「変わってしまう条件」を制御した実験を計画することに課題があり、関係する問題は正答率が19.8%と極端に低いことがわかった。そして、平成30年度の全国学力・学習状況調査報告書

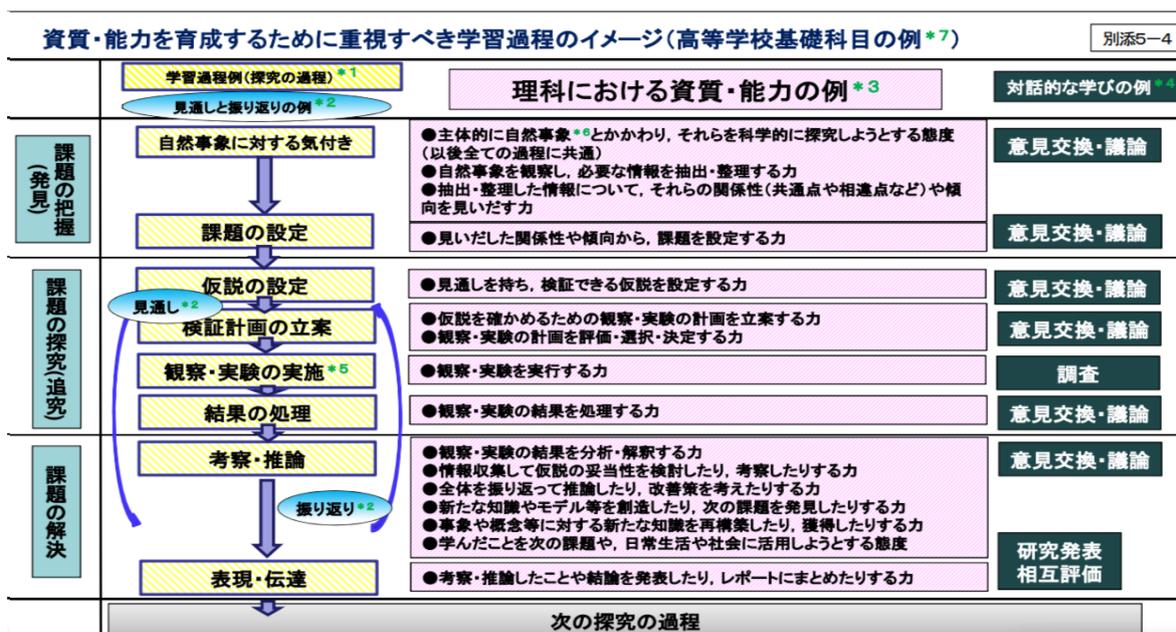


図1 資質・能力を育成するために重視すべき学習過程のイメージ(高等学校基礎科目の例)  
 出典：幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び  
 必要な方策等について 別添資料(2/3) 中教審答申(2016)

では、「自然の事物・現象を科学的に探究する上で、事象を従属変数として、『原因として考えられる要因』を抽出して吟味し、独立変数と制御変数とに分けて、条件を制御した実験を計画することが大切である」と記載されている。

### 1.3 検証計画の立案に関する研究

探究過程の検証計画の立案に関する先行研究の調査を行ったところ、北川(2019)と北川(2020)の報告がされていた。

北川(2019)では、実験計画の立案が実験の見直しや目的意識を持たせる仕掛けとして影響を及ぼすと報告され、北川(2020)では、実験計画の立案が、資質能力を育成するための高校化学教育の教材の一つとして有用であることを明らかにしたと報告されていた。

北川(2019)の高等学校化学における問題発見力を育成する学習過程の研究の報告書を当たると、北川の実践報告は3教材について検証実験の実践を1教材につき3時間行っていた。

その3時間のうち、1時間目に生徒実験もし

くは演示実験、2時間目に実験計画の立案、3時間目に立案した計画に基づいての検証実験を行い、2種類の実験を実施したと報告していた。この実践は、生徒の実験する力などは養えると考えられるが、2種類の実験を実施することは、授業時数の実態を考慮すると、普段の授業で探究過程に沿って授業を行っていく以上に困難である。よって、2種類の実験を行うのではなく、検証実験のみを行う実践について検討することを考えた。

## 2. 研究目的

研究の目的の一つ目として、探究の過程の検証計画の立案に焦点をあてて、学習指導方策を考案することが挙げられる。二つ目は、検証計画の立案の授業実践が及ぼす理解度、その後の学習への意欲、取り組み方などの効果を分析することである。

研究対象の単元として、実験として変数を動かしやすい、「凝固点降下の実験」で実証しようと考えた。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 学習指導の骨子

単元「溶液の性質」の中にある小単元の「希薄溶液の性質」の内容と授業時数を表1にまとめた。

また、探究活動中の調査の流れを図2に示すようにその詳細を示す。探究活動は、全4時間行った。

- (1) 座学で2時間学習を行ったのち、1度目の学習定着度調査①と学習感想①を生徒に記入させた。
- (2) 授業者側からの課題設定として、生徒に凝固点降下を調べる実験をすることを提示した。
- (3) 検証の結果がどのようになるのかを予想しながら、検証計画の立案について生徒に1時間を使って考えさせた。その授業後に学習感想②を記入させる予定であった。(実際は、授業感想を書く時間を確保できなかったため、小単元の学習の終了後に学習感想②を生徒に書かせた)
- (4) 生徒の考えた検証計画を基に実験を2

時間行った。

- (5) 実験データを基に結果の処理・考察を1時間で生徒にまとめさせた。
- (6) 実験のワークシートに実験結果・考察を記入することを課題とし、また、そのワークシートに学習感想③を生徒に記さえた。また、全ての探究過程の授業が終わった、学習の内容などが薄れつつある他の学習を行って2時間目の授業時に学習定着度調査②を行った。
- (7) 学習感想からだけでは、検証計画の立案が生徒にとってどのような効果があったか、見取れない可能性があった

表1 希薄溶液の性質の授業実施時数

3章 溶液の性質		
2節 希薄溶液の性質		
A 蒸気圧降下と沸点上昇	2時間	研究対象 6時間
1. 蒸気圧降下		
2. 沸点上昇		
3. モル沸点上昇	4時間	
B 凝固点降下		
1. 凝固点降下		
2. モル凝固点降下		
3. 冷却曲線		
4. 電解質の希薄溶液		
～実験:凝固点降下について調べる～		
D 浸透圧	2時間	
E 浸透圧と分子量		

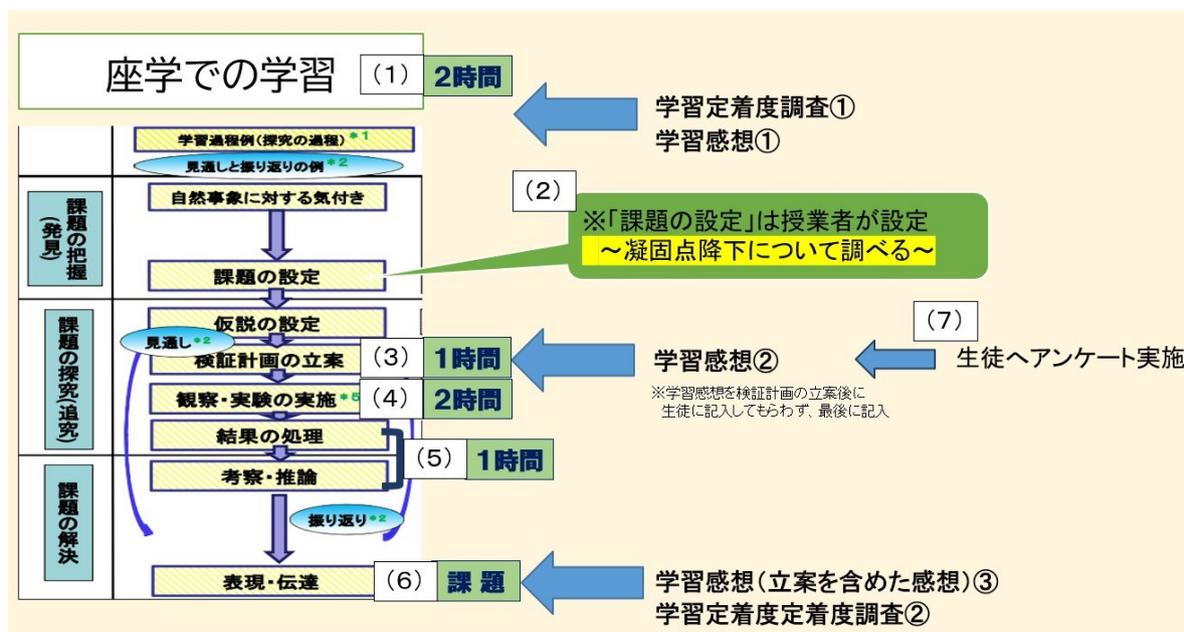


図2 実施した授業の流れの詳細と調査のタイミング

め、全学習後に生徒へのアンケートを追加で実施した。

### 3.2.1 学習指導の方策 検証計画の立案

授業のはじめに生徒へ「凝固点降下は何によって決まるのか？また、どのように実験を行えばよいか、計画を立てたい。」と発問した。

そして、その実験計画における凝固点降下を調べるための使用する器具と概要を説明し、条件制御をするために、水についても測定することを強調した。

次に、実験を行うにあたり、どのような物質を使えばよいか、また、溶液の量、濃度などについて両方考えることは困難と考え、どちらか一方で、考えるように生徒に指示をした。

なお、生徒は計画の立案を、4人グループで考案するようにグループ設定をした。

### 3.2.2 学習指導の方策 実験

図3で示したように初めに実験の手順を指示した。

生徒は、図3の写真のように実験準備を行い、生徒が計画した実験計画書をもとに溶液を入れたフィルムケースを寒剤で冷却し、デジタル温度計で温度を測定した。実験結果は、ワークシートにまとめるように指示をした。

## 4. 授業実施の概要

対象は、山梨県立A高等学校の2年生の34名であった。実施期間は令和5年9月12日～

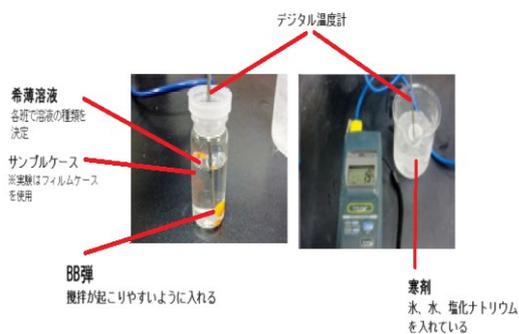


図3：実験の手順を記した実験のワークシートに掲載した実験のイメージ写真

出典：教科書令和5年度化学理論編 東京書籍

26日、実施単元は、化学の物質の状態で全10時間授業を行った。そのうち、研究対象の小単元は「希薄溶液の性質」であり、6時間の研究授業を行った。また、探究活動として、「凝固点降下について調べる」を行った。

## 5. 授業実施と結果の分析

### 5.1 検証計画の立案の授業の結果と分析

生徒がグループごとに考えた検証計画をGoogleスライドで共有しながら実験計画書にまとめた。生徒達はPCを使いながら、教科書や図説などを参考にし、それぞれの考えをめぐらしていた。ほとんどの班で、「濃度をどのくらいにすればよいかわからない」「電解質と非電解質の違いがよくわかっていない」「物質名があまりでてこない」「具体的な量まで考えられない」というように、条件設定について悩んでいた。

図4に示す実験計画書を作成した班は、10mLと1mLの溶媒を用いて実験を行おうと計画した。1mLが極少量であるというイメージがつかず、実験に用いる量を極端に少なく設定していた。以上、記述したように生徒が実験を計画するにあたり、苦戦している様子が見受けられたため、学習したことをもう一度よく思い出し、溶媒量、物質の種類を化学式も含めて考えるように授業者側で指示をした。それにより、生徒たちは一つ一つをイメージしながら考えられるようになり、実験可能な物質や量に修正

### 凝固点降下の大きさを測定する 実験計画書 3班

- ①どのような物質を使うか？図示する
- ②溶液の量、濃度等はどうか？
- ①②のどちらか一方で計画する。

方法②  
NaCl 2.34g  
水 20mL で  
5mLと10mLで行う

理由  
溶液の量が変ると、凝固点降下の大きさが変わると考えたから。

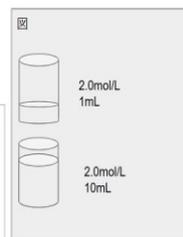


図4 生徒のある班が作成した実験計画書

していった。また、実験を行うにあたり、実験が不可能もしくは不都合が生じる値であったところは、実験計画書が提出されたところで授業者が判断し、赤色で修正した条件で実験を行うように指示した。

## 5.2 実験の授業の結果と分析

実験を行うにあたり、実験の手順について簡単に説明を行い、生徒は実験に取り掛かった。しかし、どのように実験を行えばよいのか、右往左往している班がいた。また、寒剤の水の量が多過ぎた班や、塩の量が少なかったという班が多かった。BB弾を上手く活用できずに攪拌がしっかりできていない班も見受けられた。それにより、凝固に時間がかかってしまい、予定の1時間では一つの物質を凝固するのに精いっぱいであったので、もう1時間使って、対照実験で行う予定であったもう一つの物質を凝固する実験を行うことにした。

実験の授業実践結果としては、適切な実験データが得られなかった班がほとんどであった。その理由として、不適切な攪拌、温度が一定に降下せずに上昇・降下を繰り返す等のデータの測定不備、測定試料へ塩が混入するなど、実験技能が十分でなかったことが挙げられる。また、寒剤の水の量が多く、寒剤の役目をはたしていないということも理由として考えられる。また、生徒たちが実験結果を基に結果の処理・考察を行ったが、凝固点降下の大きさについて、理論値と実験値に大きな誤差があった班、明確な凝固点がグラフに現れずに凝固点を定められな

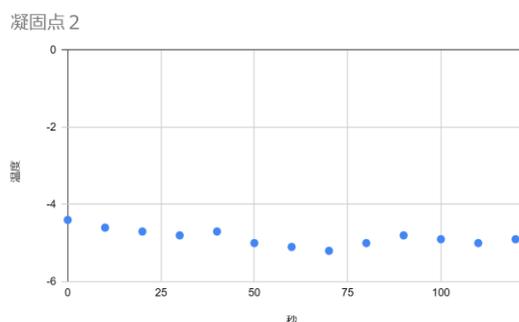


図5 生徒が測定して作成したグラフの一例  
(1.0 mol/kg スクロース水溶液)

い班があった(図5)。よって、実験の結果として、しっかりとした数値を見いだせず、凝固点降下が得られない班が多かった。考察をする際に予想通りの値が出なかったために、凝固点降下の理論を理解するのに混乱してしまっている生徒が多かったと推測する。正確に得られた実験値を、授業者側で準備しておくだけでも生徒の理解度に違いがあったのではないかと考えられ、すなわち、実験が上手くいかなかった班へのフォローは必須であったと考えられる。

## 6. 生徒の学習感想の記述と分析

### 6.1 検証計画の立案の時の授業感想と分析

検証計画の立案時の生徒の学習感想を表2に示す。生徒の感想では、表2のように、検証計画の立案をしたことに対して、「理解して、計画を作れた」「主体性を伸ばすことができた。」「実験器具の名称も合わせて覚えられた」「理解や思考力の向上になった」というように肯定的に捉えていて、具体的な利点を述べている記述が多く見受けられた。

しかし、「実験の意図を理解できなかった」「教科書のようにするだけで深い理解が出来なかった」「計画の通りにいかなかったときの対処が難しかった」など、検証計画の立案を否定的に捉えていた生徒の記述も一部見受けられた。(表3)

表2 検証計画の立案後の肯定的な学習感想

生徒10	濃度と量からおおよその結果を事前に求められていた点
生徒13	実験の意味を理解して計画を作れたこと。
生徒15	自力で計画を立てなければならぬので、進んで理解しようとして、主体性を伸ばすことができた。
生徒18	実際に自分たちで実験を考えることで理解をしていないことなので、自然と身についた。さらに実験器具の名称も併せて覚えられた。
生徒34	実験を考えることで、実験の目的の理解や思考力の向上になったとおもう。

表3 検証計画の立案後の否定的な学習感想

生徒15	知識が少ない、情報量が少ない中で行っていたので、実験の意図を理解できなかった
生徒16	分からないことは教科書のようにするだけで深い理解が出来なかった
生徒24	計画の通りにいかなかったときの対処が難しかったこと
生徒26	他の人に頼る人がいる
生徒28	何を求めるための実験か、最初明確に分からなかったこと

## 6.2 実験後の授業感想と分析

実験後の生徒の授業感想は、実験の反省など、検証計画の立案に対するコメントが多く、検証計画の立案に対する学習感想は表4に挙げられたもののみであった。

実験後の生徒の授業感想は、実験の反省に対する「計画をしっかり立て、スムーズにできるよう班員で話し合っておくべきだ」「なんでこの手順を踏むのかを理解できた」「実験の方法を考えることが楽しかった」など、全て検証計画の立案に対して肯定的に捉えている記述であった。

表4 実験後の授業感想

生徒4	実験をする時は、計画をしっかり立てスムーズにできるよう班員で話し合っておくべきだと思った。
生徒5	(計画の立案をして)なんでこの手順を踏むのかを理解できた。
生徒6	自分たちで、実験の方法を考えることが楽しかった。(途中省略)ちょっとした研究をしているようで次もそのような実験をしたい。

## 6.3 検証計画の立案に関する生徒へのアンケートの結果

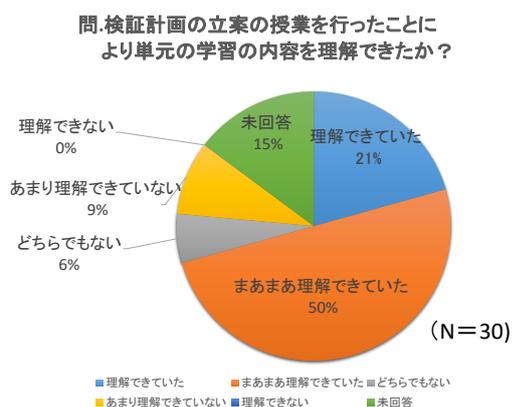


図6 生徒へのアンケート結果

生徒の学習感想のみでは、生徒にとって検証計画の立案を行ったことが、学習事項を理解するために役立ったのか不明瞭であったため、生徒にアンケート形式で、「検証計画の立案の授業を行ったことにより、単元の学習の内容を理

解できたか？」という質問をした。その結果、「理解できていた」「まあまあ理解できた」と回答した生徒は7割以上であった。(図6)

この結果から検証計画の立案をしたことによって、ほとんどの生徒が単元の学習内容を理解できたということがわかった。

## 7. 学習定着度調査

### 7.1 学習定着度用紙と実施について

生徒の学習の定着度調査を2回実施した。実施時期は、図2に示したとおりである。定着度の質問内容は以下の図7、図8に示す。質問は、全部で大問2問出題した。

次の各問について最も適切なものを①～④より選び番号で答えよ。ただし、必要であれば次の値を用いよ。

原子量：H=1.0, C=12, O=16, Na=23, Cl=35.5。

(1) 0.10 molのスクロースを500 gの水に溶かした水溶液の沸点は100.104℃である。水のモル沸点上昇は何K・kg/molか。

① 5.2 K・kg/mol ② 0.52 K・kg/mol ③ 0.10 K・kg/mol ④ 1.0 K・kg/mol

(2) 4.5 gのグルコース  $C_6H_{12}O_6$  を水100 gに溶かした水溶液の沸点は何℃か。ただし、水のモル沸点上昇の値は(1)の値を用いよ。

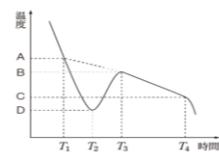
① 100.04℃ ② 100.13℃ ③ 100.18℃ ④ 101.30℃

(3) 1.17 gの塩化ナトリウムを水500 gに溶かした水溶液の沸点は何℃か。ただし、水のモル沸点上昇の値は(1)の値を用いよ。

① 100.04℃ ② 100.13℃ ③ 100.18℃ ④ 101.30℃

図7 定着度用紙の質問1 (沸点上昇に関する問題)

次の図は、ある非電解質X 10 gを水500 gに溶かした溶液を冷却したときの温度変化を表したものである。下の各問いに答えよ。



- (1) この水溶液の凝固点は、A～Dのどの点か。記号で答えよ。
- (2)  $T_1$ ～ $T_2$ の状態を何というか。
- (3)  $T_3$ ～ $T_4$ で温度が徐々に低下している理由として正しいものを、次の(A)～(E)から選べ。
- (A) 溶媒の量が減少することで溶液の濃度が大きくなり、凝固点降下が進行するため。
- (イ) 溶媒の量が増加することで溶液の濃度が小さくなり、凝固点降下が進行するため。
- (ウ) 溶質の量が増加することで溶液の濃度が大きくなり、凝固点降下が進行するため。
- (エ) 溶質の量が減少することで溶液の濃度が小さくなり、凝固点降下が進行するため。
- (4) この水溶液の凝固点を測定したところ、 $-0.62$ ℃であった。非電解質Xの分子量以下の①～④の中から選べ。ただし、水のモル凝固点降下の値は1.86 K・kg/molとする。
- ① 30 ② 60 ③ 90 ④ 180

図8 定着度質問用紙の質問2 (凝固点降下に関する問題)

質問1は、沸点上昇に関する質問3問、質問2は、凝固点降下に関する質問4問を出題し、10分間で生徒に解答させた。

## 7.2 学習定着度調査の結果と分析

### 7.2.1 学習定着度調査の結果

全体としては、学習定着度調査①と学習定着度②の結果にあまり差は見られなかった。質問1において、検証計画を立てる前の学習定着度調査①の方が、定着度は高かった。また、質問2において、特に実験で行った冷却曲線に関する質問は、実験を行った後に調査を行った学習定着度調査②の定着度が高かった。

### 7.2.2 学習定着度調査の分析

定着度調査の1回目では、質問1の結果が上回り、2回目では質問2の実験に関わる問題が上回っていたことから、沸点上昇度と凝固点降下度は、どちらも質量モル濃度に比例するが、即して同じフィールドで考えられていないことが推察できる。よって、直前に行った実験に引きずられていて、学習したことが抜けてしまっているということがわかった。

質問2の(3)(4)において、実験と関係している質問にも関わらず、2回目の定着度調査の結果が良くなかったのは、実験データの不良に由来する理論値からの大幅な逸脱により、生徒の予想との違いが生徒を混乱させ、好ましくないイメージが定着してしまったためではないかと考えられる。

## 8. 研究により明らかになったことと課題

### 8.1 研究により明らかになったこと

考察から明らかになった、1つ目の点としては、学習定着度までは上昇しなかったことが挙げられる。これは先述のとおり、検証計画の立案後に行った実験のデータ不良により、実験結果の処理、考察に悪影響を及ぼしたものと考えられる。しかし、検証計画の立案により、7割以上の生徒が授業への理解度が上がったということがわかった。

2つ目の点としては、生徒の感想から、検証計画の立案を行ったことが、実験における生徒の主体性、思考力の向上に役立ったということが挙げられる。

### 8.2 これからの課題

生徒たちのなかには実験中に上手く測定ができない生徒が多くいたことから、検証計画を実証できる安定した実験技能の習得の指導の実施、入念な授業者の実験計画の立案を行い、実験に行き詰まった生徒に対する対応方法の事前準備をしておくこと、そして、実験後のフォローをし、予測値と実験値の差異に対する原因説明をすることが必要であり、そのための取り組みがこれからの課題となると考える。

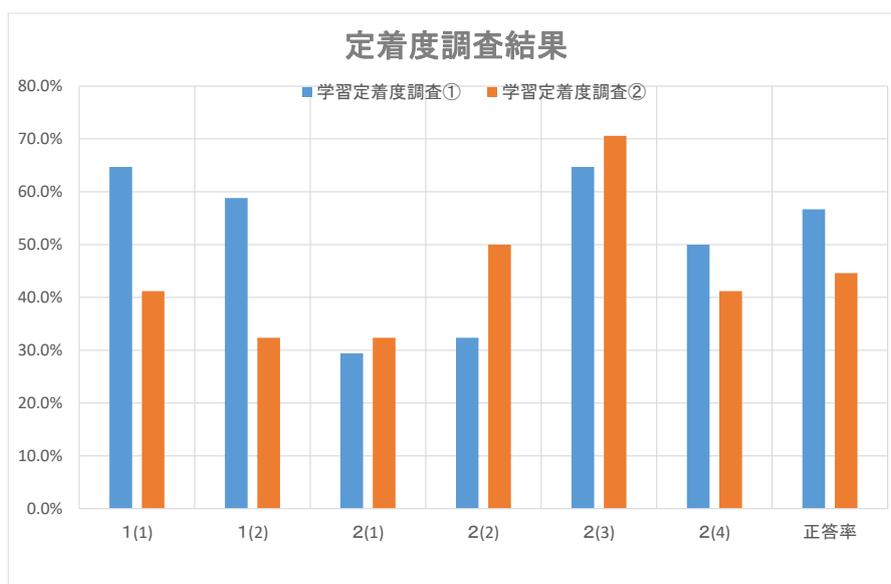


図9 学習定着度調査の結果

## 9. 引用参考文献

北川 輝洋 「高等学校化学における問題発見力を育成する学習過程の研究」『KAKEN 研究成果報告書』2019

北川 輝洋 「高等学校化学実験における実験計画立案が及ぼす効果の研究」『KAKEN 研究成果報告書』2020

南拓実 「わくわく！アドバンス実験講座」の取り組み実践報告『化学と教育』第70巻, 第4号, 2022, p168-169

西川一二・雨宮俊彦 「知的好奇心尺度の作成—拡散的好奇心と特殊的好奇心—」『教育心理学研究』第63巻, 第4号, 2015, p412-425

沖林洋平 「知的好奇心と授業に対する興味と学習内容の定着の関係」『日本工学会論文誌』Vol.41, Suppl 号, 2017, p133-136

文部科学省 中教審答申(2016) 幼稚園, 学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び 必要な方策等について 別添資料 (2/3)

東京書籍 令和5年度化学理論編 凝固点降下度 p56

文部科学省 高等学校学習指導要領(平成30年告示) 解説 理科編 理数編

国立教育研究所 平成30年度全国学力・学習状況調査 中学校理科 報告書 p86-87