

| | |
|-------------|------------|
| 群 教 セ | G04 - 04 |
| | 令 6. 287 集 |
| | 理 科 - 高 |

化学現象を実験結果と結び付けて 科学的に探究することができる生徒の育成 — 生徒の予想と実験結果に「ずれ」が生じる実験を通して —

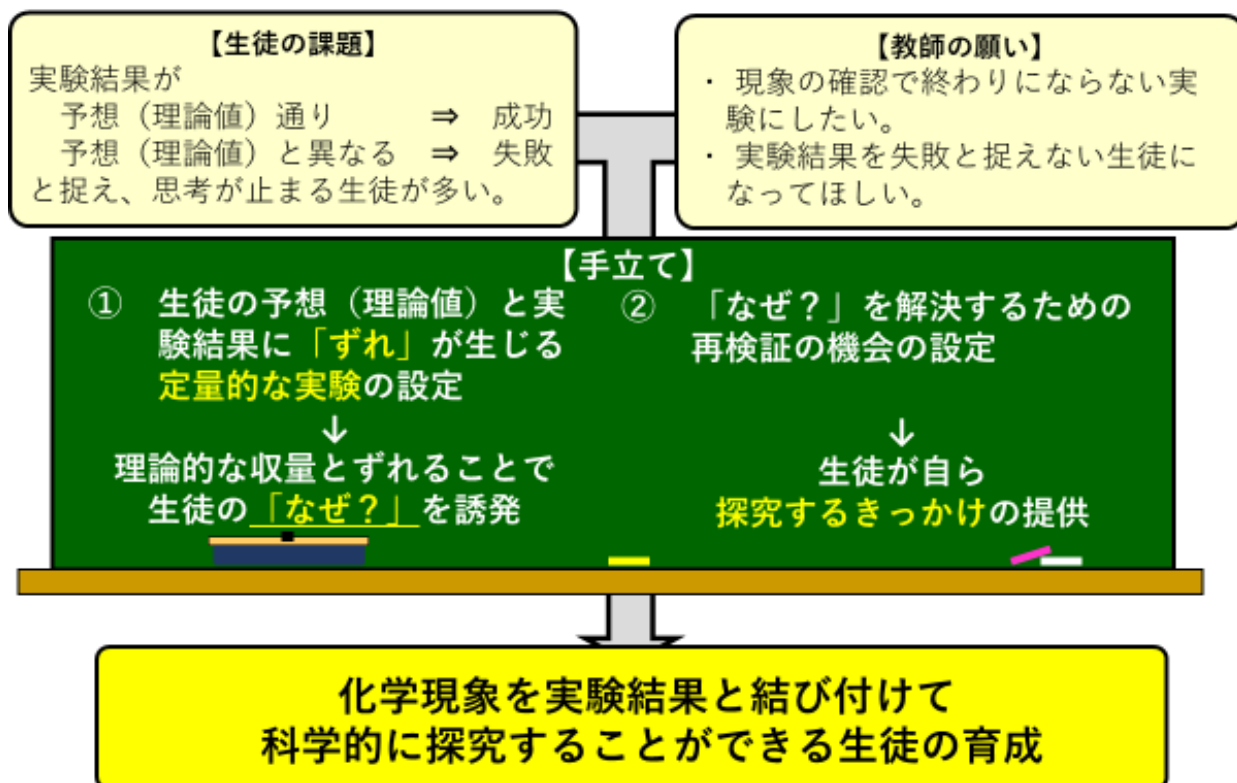
特別研修員 鈴木 悠一

I 研究テーマ設定の理由

高等学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編では、高等学校の化学において「化学的に探究する能力と態度を育てる」ことを目標としている。化学的に探究するためには、化学現象や原理に対して生徒自身が疑問を抱くことが必要不可欠である。その契機として、実験が大いに有効であると考ええる。しかし、現在の教科書に記載されている実験は、事象・現象を確認するための定性的なものが殆どである。生徒は、学習した内容を実際に目の前で見ることができ、感動を味わうことができるものの、既知の内容であるため、その現象に対して「なぜ」という疑問を抱きにくい。生徒から、自然に疑問を引き出すためには、定量的な実験が適しているのではないかと考える。現在の教科書にも定量的な実験は記載されているが、その数が非常に少ない上、結果が生徒の予想どおりにしかならないものばかりである。生徒に自然に疑問を抱かせるためには、「生徒が予想した実験の結果と、実際の結果がずれる実験」を提供する必要があると考えた。数値がずれた原因を、実験の原理に基づいて「なぜ」と考えることが、科学的に探究する能力を育成することにつながると考え、このテーマを設定した。

II 研究内容

1 研究構想図



2 研究上の手立て

科学的に探究する能力を育成するために、以下の二つの手立てを講じることにした。

手立て1 生徒の予想(理論値)と、実験結果に「ずれ」が生じる定量的な実験の設定

多くの生徒は、教科書に掲載されている化学現象を理解することで、実験によって現れる結果は必ず理論値になると考えている。そこで生徒の実験に対する予想(理論値)と、観測される実験結果に「ずれ」が生じる定量的な実験を設定することで、生徒自身から「なぜ」と自然に疑問を生じさせることができると考えた。本研究における「ずれ」は、実験の原理に基づいてその要因を考察できるものであり、いわゆる実験操作の失敗などによる誤差の範囲で説明が付くものではないものとしている。本研究では次の二つの実験を実施した。

① ステアリン酸の単分子膜を用いたアボガドロ定数の算出実験

② サレン[N,N'-ビス(2-ヒドロキシベンジリデン)エチレンジアミン]の合成実験

手立て2 「なぜ」を解決するための再検証の機会の設定

生徒が経験してきた実験の多くは「事象・現象の確認のため」のものであり、確認ができれば実験は一度だけ実施すればよかった。しかし、化学的に探究する能力を育成するためには、実験結果を受け、新たに生じた疑問を解決するサイクルを経る必要があると考える。本研究では、手立て1では生徒から自然に疑問が生じる仕掛けを講じ、再検証の機会を設定することで、問題解決のサイクルに乗せることができると考えた。

Ⅲ 実践例

1 単元名 「サレンの合成を通して粗収率を求める実験」(第2学年・2学期)

2 本題材について

この題材(実験)を設定した理由は、生徒の予想と反して結果がずれる実験のテーマとして「合成した化合物の収率を算出する実験」が適していると考えたためである。高等学校の化学反応は、平衡の分野以外では不可逆反応を用いる。多くの生徒は、過不足のない不可逆反応であれば、反応物は全て生成物になると考えている。そのため、化学反応において目的とする物質以外の副生成物が生成されることや、反応が完全に進行せずに未反応の原料が残ることを考慮できないまま実験を行うことになる。加えて、先にも触れたとおり定量的な実験を行う機会が少ないため、難易度が高いとは言えない収率の問題に対して、正答率が非常に低くなる傾向にある。このことから、授業時間内に簡便に合成を行うことができ、かつ生徒にとって未知な化学反応を用いた合成実験を行い、その収率を実際に求めさせる活動を行うことで、探究的な学習につながるのではないかと考えた。実際に、高等学校の化学で学習する物質の中で、収率を求める実験を行うことができる可能性があるものは、サリチル酸とそのアセチル化合物、メチル化合物であると考えられる。ただしこれらの実験は、高等学校の実験室で行うには厳しい反応条件であること、目的物の単離が難しいこと、実験の操作面や安全面において課題が多いことなど、実用的ではない。そのため、実験に適している物質を探すことが困難であった。

そこで着目した物質がサレン[N,N'-ビス(2-ヒドロキシベンジリデン)エチレンジアミン]である(図1)。サレンは、サリチルアルデヒドとエチレンジアミンを物質質量比2:1で、エタノール中で穏やかに加熱することで簡単に合成することができる。この物質の合成実験では、以下の二つの利点がある。

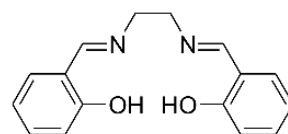


図1 サレン

(1) 合成上の利点

- ① 反応速度が非常に速いため、反応を5~10分で完結させることができる。
- ② 反応条件が非常に穏やかであり、室温~50℃程度、常圧でよい。
- ③ 液状の原料2種類を、エタノールなどの極性溶媒中で攪拌させるだけでよいので、特別な実験器具が必要ない。
- ④ サレンが黄色の板状結晶であるため、目的物の生成が視認しやすい。
- ⑤ 目的物の単離がろ過のみで行うことができる。

(2) 探究的な学習に対する利点

- ① 原料二つが両方とも液状であるため、質量を体積で量り取るためには密度を考慮する必要がある。
- ② 収率を上げるための手段として、温度を上げる、等量計算を正確に行うなどの要因を思考する必要がある。これらの要因は、生徒にとっての既習事項であり、生徒が無理なく考えることができる。

以上の考えから、本題材では以下のような指導計画を構想し実践した。

| | | |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 目標 | 知識及び技能 | 収率の概念を導入し、化学反応が完全に進行しない場合があることを理解する。また、例題や実験結果を用いて、収率を正しく求めることができるとともに、実験などに関する技能を身に付けること。 |
| | 思考力・判断力・表現力等 | サレンの合成実験を通して、探究し、液体の密度や化学平衡、化学反応式の量的関係を関連付けて扱い、収率について根拠をもって求め、表現すること。 |
| | 学びに向かう力・人間性等 | サレンの合成実験を行い、収率を求めていく過程を通して、化学反応についての関心を高め、科学的に探究しようとする態度を養うこと。 |
| 評価規準 | 知識・技能 | 化学反応が完全に進行しない場合があることを理解し、正しく収率を求めることができるとともに、実験などに関する技能を身に付けている。 |
| | 思考・判断・表現 | 化学反応式の量的関係や原料の密度を用いて、科学的に考察し、収率を正しく捉えて表現している。 |
| | 主体的に学習に取り組む態度 | サレンの合成実験における必要な操作、実験で留意すべき点について調べ、科学的に探究しようとしている。 |
| 時間 | 主な学習活動 | |
| 第1時 | <ul style="list-style-type: none"> ・化学反応には、可逆反応と不可逆反応の2種類があることを理解する。 ・可逆反応と不可逆反応の例を挙げ、世の中には可逆反応の方が多くあることを実感する。 | |
| 第2時 | <ul style="list-style-type: none"> ・可逆反応には平衡状態が存在し、反応物と生成物の濃度の比である平衡定数によって平衡時の物質の存在比が決まることを理解する。 | |
| 第3時 | <ul style="list-style-type: none"> ・ある平衡状態にある可逆反応の温度、圧力、濃度条件を変化させたときに、その変化の影響を和らげる方向に反応が進行し、新たな平衡状態をとることを理解する。 | |
| 第4時 | <ul style="list-style-type: none"> ・エンタルピー変化を考慮したルシャトリエの原理によるアンモニアの合成と、実際の工業的なアンモニアの製法では異なる条件(高温・高圧下)で反応させていることを確認する。 | |
| 第5時 | <ul style="list-style-type: none"> ・サレンの合成実験の計画を立案する。(原料の投入量と使用する実験器具・実験方法) | |
| 第6時(本時) | <ul style="list-style-type: none"> ・サレンの合成実験を行い、単離したサレンから収率を求める。 ・サレンの収率を向上させる手段を考察する。 | |

3 授業の実際

本時は全6時間計画の第6時に当たる。第5時に、生徒はサレンの合成に関する予備知識の習得と、実験計画の立案を行う。サレン合成の原理理解の場面では、原料で用いるサリチルアルデヒド、エチレンジアミン、目的物のサレンの関係性を化学反応式で示し、原料を物質質量比2:1で反応させればサレンが生成されることを理解した(図2)。

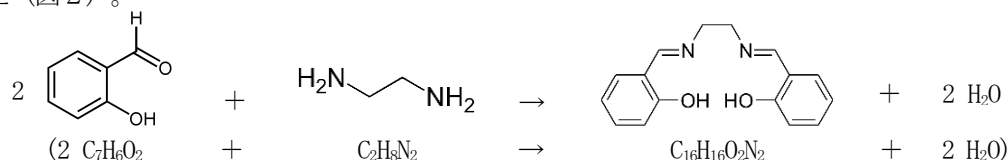


図2 サレンの合成

原料の投入量を生徒に考えさせる際、「4.0 gのサレンを合成するために必要な最低限の量を考えること」とした。これは、試薬と溶媒の量関係を教員が制御することがねらいである。溶媒量を調整することで、授業時間内に反応が確実に進行するようにすることができる。

(1) 手立て1について

殆どの生徒が等量計算を正しく行うことができていた。そのため、立案した実験計画通りに操作を行えば生徒は4.0 gのサレンが合成できると考えていた。しかし、実際には粗収率が50～75%程度にとどまった。実験後の生徒の感想に「操作を正しく行うことができれば、当然 4.0 gのサレンが得られると思っていたので不思議に思った」とあった。このことから、生徒は実験結果を受けて自発的に疑問を抱いた。

(2) 手立て2について

生徒が抱いた疑問から立てた仮説を検証することができるように、朝や放課後の授業時間外に再実験の機会を設けた。結果として、10班中5班が実施した。実施した内容及びその班の考察は以下のとおりである。

① ろ液中に生じている結晶をろ過して質量を測定する(5班中4班が実施)。

収率が75%(収量3.0 g)の班において、ろ液中に生じた結晶をろ過、乾燥させて得られた結晶は0.15 gであった。この結晶は色と結晶の形においてサレンと判断し、収率の合計は79%であると結論付けた。

② ろ液を完全に乾固させ、生じた結晶の質量を測定する(5班中3班が実施)。

収率が70%(収量2.8 g)の班において、ろ液を乾固させて得られた結晶は0.35 gであった。ここで得られた結晶は色と結晶の形が明らかにサレンとは異なったため、収率の向上にはつながらないと考えた。

③ 原料を混合させる順番を変更させる(5班中2班が実施)。

収率が88%(収量3.52 g)の班において、原料の混合順をエチレンジアミン、サリチルアルデヒドの順に変更したところ、収率は78%になった。この結果より、原料の混合順は収率に影響しないと考えた。

④ サレン自体がエタノールに本当に溶解するかを確かめる(5班中1班が実施)。

収率が75%(収量3.0 g)の班において、得られた結晶のうち1.0 gをはかりとり、十分な量のエタノール中に投入した。その混合液をろ過したところ、0.8 gの結晶が得られた。この結果より、サレンがエタノールに易溶ではなく、当初不足していた1.0 gのサレンは合成時のろ液に溶け出たのではないと分かった。

(3) 考察

サレンの合成実験を行ったことにより、生徒は、これまでの化学反応式の係数の量的関係が、実際の化学反応式において全て成り立つわけではないことに気付くことができた。生徒の感想にも「実験結果は、ただ収量が分かればよいだけではなく、一つ一つの操作に大切なポイントがあることに気付いて驚いた。」とあり、未知の現象に対して、実験結果から答えを導こうとする姿が見られた。その一方、教員が設定した「収率を上げるためにはどうしたらよいか。」という問いが、生徒の思考の流れに適していなかったため、一部の生徒が実験結果の「ずれ」の原因を、サレンは合成されているものとして、「実験操作が原因となる誤差」と捉えてしまった。したがって、「どうしてサレンは合成されなかったのか。」という問いの方が、より実験原理に目を向けさせることができたのではないかと考える。

IV 研究のまとめ

1 成果

生徒の予想した収量と実際の収量に明らかな差が生じる実験を行ったことで、目の前で起きた化学現象を実験結果と結び付けて、科学的に探究するためのきっかけとなる生徒の自発的な疑問を引き出すことができた。また、再実験の機会を設けることで、生徒の自発的な疑問を教員が説明することにより解決するのではなく、生徒自身が仮説を立て、その仮説を検証するという探究の過程をたどらせることができた。また、ずれの原因についての課題を設定することで、実験原理を深く理解させることにもつなげることができた。

2 課題

生徒が自発的に疑問を抱くことが難しい場合に、生徒の思考の過程に沿った課題を設定し、生徒に提示できるようにするべきであった。また、再実験の機会を授業時間内に設けることができるように単元構成を工夫する必要があると考える。