

要 旨

高校化学実験のレポート作成において、論理的な表現力や科学的な思考力を育成する指導方法の工夫・改善を行った。具体的には、松原静郎が提唱する「結果と考察の定型文」をベースにし、かつ興味・関心や探究心を高めるために、実験操作や手順等を工夫したエステル合成に関する実験教材を作成した。授業実践においては、この教材に加えてグループ討議を行わせることによって、仮説を踏まえた考察を行わせた。その結果、作成した実験教材とグループ討議を取り入れた指導方法が論理的な表現力や科学的な思考力をはぐくむのに有効であることが分かった。

〈キーワード〉 ①科学的な思考力 ②論理的な表現力 ③実験レポートの書き方
④グループ討議

1 研究の目標

生徒の興味・関心や探究心を高める化学実験を通して、論理的な表現力や科学的な思考力を育成する指導の在り方を探る。

2 目標設定の理由

近年、児童生徒の学習の定着状況に関する教育課程実施状況調査や国際調査（PISA等）が実施され、その結果を踏まえた指導方法の工夫・改善が求められている。

平成14年度に行われた高等学校教育課程実施状況調査の化学I Bのペーパーテスト調査では、通過率が設定通過率を上回ると考えられる問題又は同程度と考えられる問題が全問題数の半数に満たない状況であった。その中でも特に、実験の結果を問う選択式の正答率は40.3%であったが、その理由を問う記述式の正答率は25.8%と低く、さらに、無解答率が47.2%と非常に高かった。同様なことが、記述式を中心としたPISA調査（2003年、高1対象）の結果にも指摘されている。このことから、実験に対する結果の知識はもっているものの、なぜそのような結果になるかを科学的（化学的）に考え、その科学的な根拠に基づいて論述する力が十分に身に付いていないことが考えられる。

学習指導要領では、化学が日常生活を含めて自然とのかかわりが深いことを観察、実験等を通して認識させることがねらいの一つに挙げられている。上記調査の質問紙調査において、「ふだんの生活や社会生活の中で役立つよう、化学を勉強したい」の質問に肯定的に答えた生徒は、23.0%に留まり、理科の中で最も低かった。このような結果から、論述する力に加えて、実験・観察を通して生徒の興味・関心をこれまで以上に高める必要があるのではないかと考える。

このような現状を改善するためには、興味・関心や探究心を高めるために、日常生活とより関連付けた化学実験を行い、実験レポート作成において、仮説及び結果と考察を科学的に考えさせ、科学的な根拠に基づく表現力を育成する指導方法の工夫・改善が必要ではないかと考えた。

そこで、本研究では、生徒の興味・関心や探究心を高める実験を行い、その実験レポートの作成に焦点を当てた指導方法の工夫・改善を通して、論理的な表現力や科学的な思考力を育成する効果的な指導の在り方を探りたいと考え、本目標を設定した。

3 研究の仮説

生徒の興味・関心や探究心を高めるために、日常生活と関連の深い実験を行い、実験レポートを作成させる際に、次のような手立てを取れば、論理的な表現力や科学的な思考力が身に付くであろう。

- ア 仮説及び結果と考察について、生徒一人一人に定型文を用いて記述をさせる。
- イ 記述した内容について、グループ（実験班）で討議をさせる。
- ウ グループでの討議を踏まえて、代表に発表させる。
- エ 仮説及び結果と考察の修正等を生徒一人一人に行わせる。

4 研究の内容と方法

- (1) 探究活動，科学的な思考力，論理的な表現力について先行研究などを文献等にて調査・研究する。
- (2) 実験教材の検討と実験レポート（ワークシート）及びそれを用いた学習指導案の作成を行う。
- (3) 授業実践（第3学年：有機化合物3時間，第2学年：有機化合物2時間）を行う。
- (4) アンケート調査等による実践結果の分析を行い，実験レポート（ワークシート）等が有効であるか検証し，改善する。

5 研究の実際 1（理論研究と教材の作成）

(1) 文献による理論研究

理科における論理的な表現とは，科学的な根拠に基づいて自然界の事物・事象を説明することととらえ，かつ，その説明が誰にでも理解できるような表現でなければならないと考える。また，そのような表現力を育成するためには，基本的なスタイル（文型）を身に付けさせることが必要であると考えた。

科学的な根拠を示すためには，科学的に思考することが，まず必要であると考えた。この科学的な思考には，次の三つの基本的要素が必要であると堀哲夫は述べている。第一の要素は，問題を解決するための知識（道具）を獲得していること。第二の要素は，知識が適切に用いられるように理解されている（ある場面で，その道具の正しい使い方を知っている）こと。第三の要素としては，適切な知識の理解に基づいて，それらを用いて自分の頭で考える（新しい場面で，その道具の使い方を検討する）ことである。この三つの基本的要素に留意して，自然の事物・事象にかかわる未知の課題に取り組ませたとき，生徒は，比較能力・分析能力・因果関係をとらえる能力・帰納的推理力・演繹的推理力・観察力・総合的に判断する能力などの科学的な思考を行い，解決方法を見いだしていくと考えた。

しかし，生徒一人の思考だけでは，その解決方法が適切なものであるのか否かが分からない。適切な解決方法を見いだすには，その内容を文字や図などを使って目に見える形に表現し，客観的に見直したり，言葉にして他者に伝え，他者の考えとの比較，分析などを行ったりすることが望ましいと考えた。

松原静郎は，表現する力を育成することと思考力の関係について，また，実験レポート作成の際に，表現力を育成する手立てとして定型文を開発し，次のように述べている。⁽¹⁾

- ・ 表現は，思考と密接な関係にあり，考えがまとまっていると的確に表現することができる。逆に，頭の中で考えているだけでなく，他の人にわかるように説明したり，レポートにまとめたりして表現することで，自分の考えている内容を再確認し，考えもまとまっていく。つまり表現する力を育成することは，自らの考えをまとめていく力を育成することにもつながってくる。
- ・ この定型文は，実験における表現力の育成の観点で，結果および考察に必要な要素を考え，それらの要素を取り込んだモデルとなる文として開発してきたものである。

以上のことから，科学的な思考を，文字や言葉，記号化，図式化などによって記述させ，思考力の高まりをその記述の変容によって分析・検討できるのではないかと考えた。

また、図1に示すように、従来の探究活動に、①実験の目的を明確にするために、松原静郎が提唱する「結果と考察の定型文」に加え、「仮説の定型文」を取り入れる、②一人一人が記述した内容について積極的に意見交換をさせ、互いの考えを整理させるグループ討議と、その討議でまとまった意見等を発表させる活動を設定する、③それらの意見に基づいて再考察と記述内容の修正を行わせる活動を設定する、の3つの科学的な思考を働かせる活動を加えることによって、科学的な思考力と論理的な表現力が育成できるのではないかと考えた。

(2) 教材の作成

ア 実験教材の検討

本研究では、エステル合成に関する探究活動を実験教材とした。それを選んだ理由は、(i) バニラエッセンスなどのように日常生活に関連したものが多く、興味・関心を高めることができる、(ii) 合成の操作が比較的容易で、有機反応を実感させることができ、高価な分析機器がなくても臭気等によってエステルの生成が容易に確認できる、(iii) 官能基に関連させながら、生徒が苦手とする有機反応混合溶液からの生成物の単離について、科学的な根拠に基づいた学習を効果的に仕組むことができる、(iv) 同様の操作によって様々なエステルが合成でき、探究活動に発展性をもたせることができる、の4つの点で有効ではないかと考えたからである。また、合成するエステルは、サリチル酸メチル(第3学年)、酪酸エチル(第2学年)とした。

イ 教材「実験レポートの書き方」の作成

松原静郎が提唱する「結果と考察の定型文」をベースにして、仮説にも定型文を取り入れた教材「実験レポートの書き方」を作成した。その教材は、実験レポートに必要な内容と、その書き方を理解させる目的で作成し、授業の展開に合わせて3単位時間用と2単位時間用の2種を作成した。これらの教材では、仮説、結果、考察の定型文による書き方を次のように示した。

仮説:「(調べたい物質など)に(見いだしたい内容がある)ならば、
(確かめる操作をする)と、(結果となる)であろう。」
結果:「(確かめる操作をした)ところ、(結果になった)。」⁽¹⁾
考察:「(結果)から、(結論)と考えられる。その理由は、(根拠である)からである。」⁽¹⁾

また、上記のような定型文による書き方を理解させるために「二酸化炭素の検出実験」を例として挙げ、仮説、結果、考察についての具体的な文例を示した。3単位時間用には、その他に、既習事項の整理とその書き方の定着を図るため、エステルに関する実験課題を2題加え、事前練習ができるようにした。

ウ 実験の手順等の工夫と教材「実験レポート(ワークシート)」の作成

生徒は、エステルを合成し、その反応後の溶液を炭酸水素ナトリウム水溶液に加えることを学習する。しかし、その操作が、エステルを単離するため、すなわち、反応後の溶液中に未反応物が存在するためといった科学的根拠に基づく正しい理解をしている生徒は少ない。そこで、次頁図2に示すように、探究心を高め、その操作を科学的根拠に基づいて理解させることに焦点を当てた実験となるように、事前にカルボン酸とエステルの確認実験を行わせるなど、実験の手順等

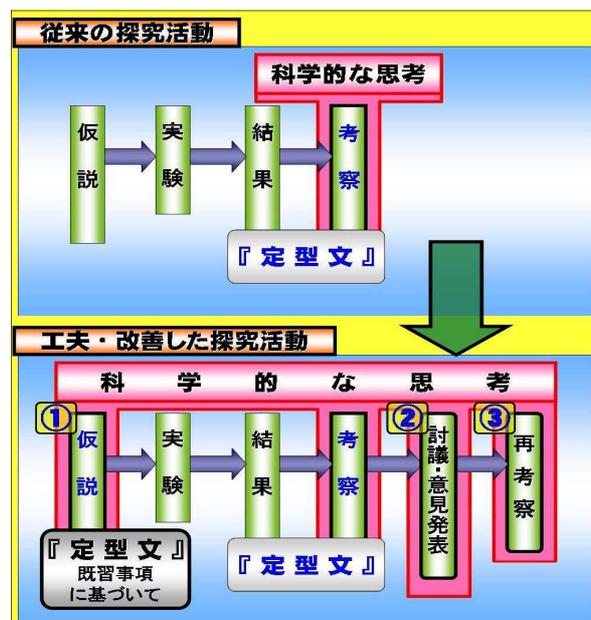


図1 研究の全体構想

に工夫を加えた。

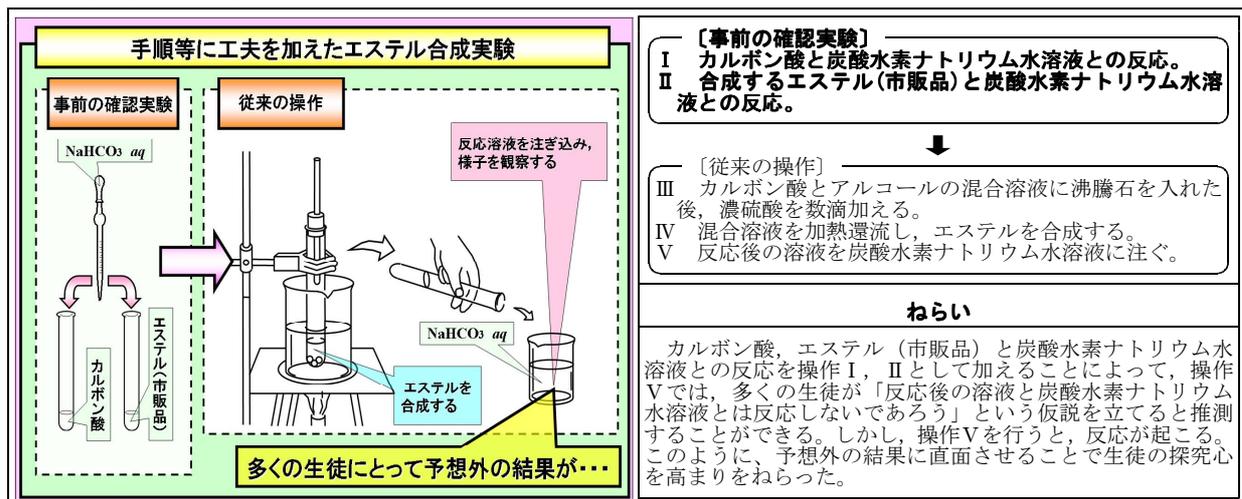


図2 手順に工夫を加えたエステル合成実験

(ア) 教材「実験レポート(ワークシート)」（3単位時間用の作成；理系3年生用）

図2の操作I～Vの流れに沿うように5つの実験A～Eを計画し、教材「実験レポート(ワークシート)」を作成した。実験Aはサリチル酸と炭酸水素ナトリウム水溶液との反応、Bはサリチル酸メチル(市販品)と炭酸水素ナトリウム水溶液との反応、Cはサリチル酸とメタノールからのエステル合成、Dは反応後の溶液の一部と塩化鉄(III)水溶液との反応、Eは反応後の溶液と炭酸水素ナトリウム水溶液との反応とした。これらの5つの実験を1単位時間で行うことを考慮し、実験A～Dは既習事項の整理として位置付け、穴埋め及び選択形式に近い定型文として、また、多くの生徒たちにとって予想外の結果となる実験Eを本教材の中心に位置付け、空白に近い形式の定型文として記述させるようにした(図3、図4)。

反応後の試験管の内容物	に
カルボキシル基が (残っていない))
フェノール性ヒドロキシル基が (残っている))ならば、
塩化鉄(III)水溶液を加える	と、
青紫色に呈色(する・しない)	であろう。

図3 実験Dの仮説(穴埋め・選択形式)

反応後の大型試験管の内容物中	に
カルボキシル基がない	ならば、
炭酸水素ナトリウム水溶液を加えても	も
二酸化炭素が発生しない	であろう。

図4 実験Eの仮説(空白に近い形式)

(イ) 教材「実験レポート(ワークシート)」（2単位時間用の作成；理系2年生用）

上記(ア)の授業実践において、参観された先生方から「3時間ではなく、2時間で行えないか」という意見を頂いた。そこで、実験B、C、Eに相当する実験を生徒実験として残すなどの改良をした2単位時間用の教材「実験レポート(ワークシート)」を作成した。実験aは酪酸エチル(市販品)と炭酸水素ナトリウム水溶液との反応、bは反応後の溶液と炭酸水素ナトリウム水溶液との反応とした。実験aは既習事項の整理、また、予想外の結果となる実験bを本教材の中心として位置付け、図3、図4のように記述させるようにした。

6 研究の実際2(授業の実践)

(1) 学習指導計画の作成とその実践

作成した教材を用い、次頁表1に示すように、理系3年生と理系2年生を対象に指導計画を立て、授業を行った。3年生では計画通り実施できたが、2年生では、約半数の班で実験bがうまくいかなかった。これは、実験aのエステル合成後の溶液を一昼夜静置した後、実験bを行ったことが原

因の一つではないか考えられる。このため、当該の班へは、成功した班の結果やヒント等を与えてグループ討議をさせ

表1 学習指導計画の概要

た。実験bがうまくいかなかった原因は、現在検討中であるが、この教材を実施する際は、2時間連続の展開とするなどの改善が必要であると思われる。

	理系3年生〈3単位時間用〉			理系2年生〈2単位時間用〉	
	3年2組	35名 (男子8名, 女子27名)		2年1組	40名 (男子29名, 女子11名)
第1時	<ul style="list-style-type: none"> ・定型文の書き方パターンを学習 ・実験に用いる課題による定型文の練習 ・第2時に行う実験A～Eの仮説立て 		第1時	<ul style="list-style-type: none"> ・定型文の書き方パターンを学習 ・実験aの仮説立て ・実験aの実施 ・実験aの結果と考察の記述 	
第2時	<ul style="list-style-type: none"> ・実験A～Eの実施 ・実験A～Eの結果と考察の記述 (実験E中心) 		第2時	<ul style="list-style-type: none"> ・実験bの仮説立て ・実験bの実施 ・実験bの結果と考察の記述 ・グループ討議, 意見発表 (実験b中心) ・レポートの修正等 ・まとめ ・実験レポートの完成 	
第3時	<ul style="list-style-type: none"> ・グループ討議, 意見発表 (実験E中心) ・レポートの修正等 ・まとめ ・実験レポートの完成 				

(2) 実践の結果と考察

対象生徒(75名)に行った授業前と後のアンケート等から、作成した教材及び学習指導計画が有効であったかを分析した。その結果と考察を以下に示す。なお、図5～図9のアンケート結果は、「そう思う」「ややそう思う」を肯定的回答(□)、「あまり思わない」「思わない」を否定的回答(■)として示している。

ア 教材「実験レポートの書き方」の有効性

図5に示すように、作成した教材が「分かりやすかったか」「理科以外でも役に立つか」に肯定的な回答をした生徒は、共に9割を超えた。感想にも「書きやすくなった」などと書かれており、この教材が、生徒にとって、分かりやすく、役立つ教材となっていることが分かった。

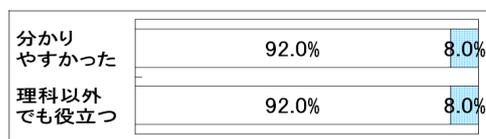


図5 教材について

イ グループ討議の有効性

図6に示すように、「積極的に参加したか」「理解が深まったか」に肯定的な回答をした生徒は、共に約8割であった。感想として「自分で考えることによって、より深く理解することができた」「有機にこんな深くまでいろいろあるとは」といった声もあり、取り入れたグループ討議が、生徒の科学的な思考を高める活動として有効にはたらいていることが分かった。

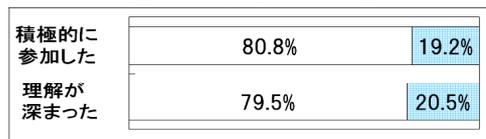


図6 グループ討議について

ウ 指導計画の有効性

図7に示すように、「授業内容の理解しやすさ」では「従来の授業」に肯定的な回答をした生徒は4割であったが、「今回の授業」に肯定的な回答をした生徒は9割と大きく増加した。このことから、今回の授業は、生徒に理解しやすい展開であったと言える。また、以下に示す生徒の感想には、「友だちと考えることが、すごく楽しかった。いつもの授業より、頭の中に入った」といったことなどが述べられていた。

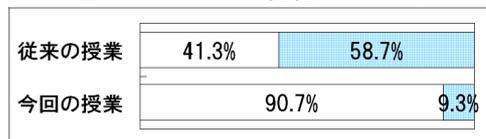


図7 授業内容の理解しやすさ

生徒の感想	
(2年生A)	今までレポートは書き方が全然分からなかったけど、書き方を聞いてすごく書きやすくなった。…(省略) …家に帰ってじっくり書き方プリントを読んで、これから様々なレポートに役立てようと思う。
(2年生B)	ただ話を聞くより実際に実験をして記述の方が楽しいと思った。
(3年生C)	すごく納得できた。友だちと考えるの、すごく楽しかった。いつもの授業より、頭の中に入ったと思う。
(3年生D)	初めて友達と化学について話し合った。有機にこんな深くまでいろいろあるとは思わなかった。
(3年生E)	実験Dでカルボキシル基がなかったんだと分かった。それでどうしてカルボキシル基がでてきたのかなど、みんなで考えて、結論を出せて、大きな達成感があった。記述には多くの知識がいるなあ、と思った。
(3年生F)	答えを教えてもらうのではなく、自分で考えることによって、より深く理解することができた。今後自分でも考えることを大切にしていきたい。

エ 生徒の変容

次頁図8に示すように、レポート作成の際に、教材「実験レポート(ワークシート)」を利用

して「仮説が書けたか」に肯定的な回答をした生徒は、1割弱から8割に増加し、また、図9に示すように、「結果と考察が書けたか」に肯定的な回答をした生徒も同様に増加した。この他に「今後、筋道立った文章が書けると思うか」という質問をしたところ、肯定的に回答した生徒が12人(16.0%)から54人(72.0%)に増加していた。生徒からは、「自分で考えることを大切にしていきたい」といった声が聞かれた。このことより、作成した教材とグループ討議を取り入れた指導方法の工夫・改善が論理的な表現力や科学的な思考力を育成するのに有効であったと考える。

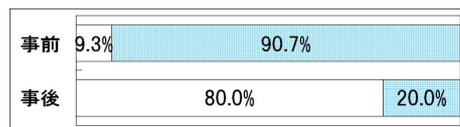


図8 仮説が書けるか

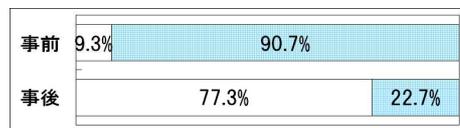


図9 結果と考察が書けるか

オ 訂正内容の変容

実験Eの仮説を立てたときには、生徒の多くはこちらの推測したような記述していたが、討議を経た再考察後は、図10に示すように、修正を加えながら、正しい記述をしていた。また、生徒の感想には「みんなで考えて、結論を出せて、大きな達成感があった。記述には多くの知識がある」といった声があった。一方、図8、図9に示すように、約2割の生徒が書けなかったと回答しており、その原因を分析・検討し、教材や指導方法の更なる工夫・改善が必要であると考えている。

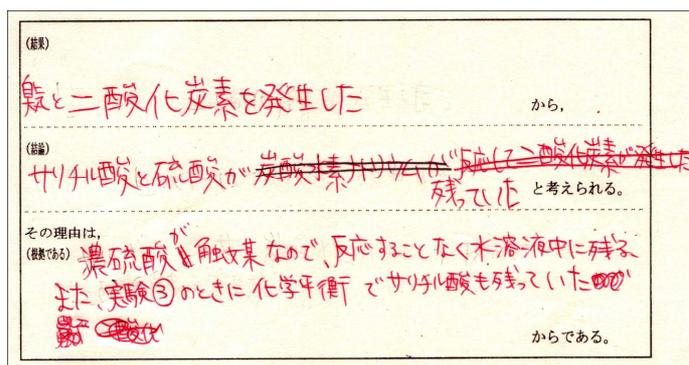


図10 考察の記述(3年生の例)

6 研究のまとめと今後の課題

(1) 研究のまとめ

作成した教材とグループ討議を取り入れた授業実践から、以下の4点について有効性を確認することができた。

ア 教材「実験レポートの書き方」は、生徒が、実験レポートにおける論理的な表現を学習するのに分かりやすく、役立つ教材となっている。

イ 教材「実験レポート(ワークシート)」は、実験レポート作成の際に、科学的に思考したことを論理的な表現にさせるために効果的に支援できる教材となっている。

ウ 実験操作の手順等に加えた工夫は、生徒の探究心を高めるために有効にはたらいっている。

エ 取り入れたグループ討議は、生徒の科学的な思考を高めるために有効にはたらいっている。

(2) 今後の課題

指導計画通りに進まなかった2単位時間用の教材を2時間連続で実施し、その有効性を検証する必要がある。また、作成した教材の他の分野への活用及び応用を行うとともに、実験が困難な分野にも対応ができるように、作成した教材の工夫・改良をしたい。

《引用文献》

- (1) 松原 静郎 「“観察・実験の技能・表現”の評価」『理科の教育』 2001年 8月号 東洋館出版社 pp.20-23

《参考文献》

- ・ 堀 哲夫 「科学的思考とは」『理科の教育』 1992年 7月号 東洋館出版社