2016 年　北海道地区化学教育研究協議会

簡易的 PIE の手法を用いたメチルオレンジグループ実験の実践

北海道紋別高等学校　　伊　藤　　宇　飛

１　はじめに

現行の学習指導要領では、高等学校理科の目標として「自然の事物・現象に対する関心や探究心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、科学的に探究する能力と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な自然観を育成する」とあり、生徒の主体的かつ意欲的な実験活動を通し科学的自然観を育成することが求められている。さらに、科学的な思考力や判断力を育成するため、生徒一人一人にじっくりと考えさせるとともに、グループで協議させた後、自らの考えをまとめるといったグループでの活動や口頭でのプレゼンテーションなどの表現活動の充実が求められている。[1] 本校はオホーツク管内紋別市にある総合ビジネス科１間口、電子機械科１間口、普通科３間口の専門学科併置校であり、市唯一の高等学校である。そのため、在籍する生徒の学力層は幅広く、進路面でも就職から国公立大学進学を希望する生徒まで多様である。本校では、理科のみならず他科目においても言語活動を積極的に取り入れた授業が展開されており、私も理科においてはグループ実験を適宜取り入れ実践してきた。[2] その中で平成 26 年度には北海道立教育研究所附属理科教育センター化学研究班の「実験パック」を活用したメチルオレンジ合成実験 [3]をグループ実験として実施した。その結果、マイクロスケール実験をグループで行うことで多様な学力を有する生徒の集団であっても、協力しながら実験操作やレポート作成を行うことにより生徒が無理なく学び、複雑な有機反応であるジアゾ化やジアゾカップリングを約４分の３の生徒が理解を深めることができた。[4] 一方で、約４分の１の生徒は理解が深まらなかったため、改善の方策を検討した。その中で、駒場東邦中学・高等学校の柳澤秀樹氏が提唱した生徒主導型実験・授業(Peer Instructing Education, 以下 PIE)という手法を知り、この手法を本メチルオレンジ実験に取り入れることを検討することとした。

２　簡易的 PIE について

PIE については、現在までに全国いくつかの都道府県で実践され、その有用性が報告されている。[5] PIE とは「クラス内で成績に関係なく数名の教師役を決め、事前に生徒と教師のディスカッションや予備実験を行った上で教師役に生徒実験を実践してもらう授業」のことである。[6] この手法では、教師役生徒はあらかじめ実験方法や考察のポイント等について学習した上で、教師役生徒が生徒役生徒に本実験で自ら学習した内容を指導し、また生徒役生徒も教師役生徒に質問等をすることを通し、生徒の主体的な学びを促して教科内容の理解や定着を図る。すでに実践されている PIE は、本番の実験を迎えるまでに事前の教師役選定、数回の教師役生徒への昼休みや放課後を利用した予備実験指導が必要となる。しかしながら、本校では遠方からの通学の生徒が多く在籍し公共交通機関の時間に左右されることや進学講習、検定前講習、部活動などさまざまな教育活動が行われるため、その時間を確保することが容易ではなかった。そこで、従来の PIE において、予備実験の回数を１回かつ比較的短時間のものとした「簡易的 PIE」を実施し、メチルオレンジ合成実験における教育的有用性について検討することとした。

３　実施概要

（１）実施科目及び対象生徒

ア．科目　　「化学」　（平成 28 年度は「化学研究」も含む）

イ．対象生徒　　北海道紋別高等学校　３年理系進学コース在籍生徒

平成 27 年度　54 名、平成 28 年度　58 名、以上合計　112 名

（平成 28 年度は当日欠席者 2 名のため、56 名で実施）

ウ．その他　　本科目は習熟度クラス別に実施している。習熟度別クラス分けについては直近の定期考査の素点によりクラス分けを実施している。

	αコース（上位クラス）	βコース（下位クラス）	計
平成 27 年度	25(8)	29(7)	54(15)
平成 28 年度	24(6)	32(9)	56(15)

※　(　)内は教師役生徒人数で、内数である。

（２）実施方法

次の①～⑥の手順で実施した。①、②は習熟度別クラスに分けずに１クラスで同一日に実施した。

①　ジアゾ化及びジアゾカップリングの指導

②　教師役生徒の選定・事前アンケート

③　教師役生徒事前指導（放課後およそ１時間程度）

④　教師役生徒の希望者（または③の欠席者）による自主的な事前実験

⑤　本実験（習熟度クラス別に実施）

⑥　実験レポート提出・事後アンケート

（３）実施期間

平成２７年９月１１日～２４日（教師役生徒事前指導９月１４日、本実験９月１８日）

平成２８年１０月３日～１８日（教師役生徒事前指導１０月４日、本実験１０月１４日）

（４）教師役の選定

教師役生徒については生徒の意思に基づき、立候補により決定した。ただし、平成 28 年度についてはβコースにおいて教師役生徒２名が急病等により参加できなくなったため、本実験３日前（１０月１１日）に代役を選定し事前指導を実施した。

（５）生徒観

本校理系進学コースには理系一般大学、短期大学及び専門学校（いずれも医療系を含む）への進学を希望する生徒が在籍しているため、進路希望もその学力層も幅広い。授業や実験に対しては意欲的に取り組む集団ではあるものの、授業で履修した内容を実験結果と結びつけて考察するといった活用力や科学的思考力には課題を持つ生徒が多い。また、βコース（下位クラス）には中学校段階での基礎学力に課題がある生徒もいる。

４　実験の様子

（１）教師役予備実験について

教師役に立候補した生徒を対象に予備実験及び事前指導を実施した。生徒にとって自らが教師役を務めるということは初めてのことであり、期待や不安を抱えながらも生徒役生徒にしっかりと教えるため実験方法やレポートの作成方法について確認し、理解に努めていた。

図 1.　教師役予備実験の様子

予備実験後の教師役生徒に対するアンケートによれば、ジアゾカップリングの理解度に関する設問で「よく理解できている」、「どちらかといえばよく理解できている」と回答した割合が高く、また事前アンケートと予備実験後アンケートの相関表（表１）で左シフト（予備実験後の回答の方が理解度が高い）が見られ、短時間の１回の予備実験であっても十分に理解できることが分かった。さらに、予備実験後の生徒の感想についても「色が次々と変わる反応はとても面白かったので教師役として是非成功させたいと思った」、「練習は成功できて良かった。完璧なまでの自信はないけれど、今のところは説明できそうに思う。色の変化がきれいで感動した」といった前向きな回答が見られた。

表 1.　教師役生徒の理解度に関する予備実験前後の相関表

（事前アンケート）
Q2.　授業で取り扱った「ジアゾカップリング」の反応について、あなたの理解度は
1.　よく理解できている　　2.　どちらかといえばよく理解できている
3.　どちらかといえば理解できていない　　4.　理解できていない
（予備実験後アンケート）
Q3.　予備実験を通し「ジアゾカップリング」の反応について、現在のあなたの理解度は
1.　よく理解できている　　2.　どちらかといえばよく理解できている
3.　どちらかといえば理解できていない　　4.　理解できていない

【平成 28 年度】

		予備実験後 Q3				
		1	2	3	4	計
事前Q2	1		1			1
	2	2	5			7
	3		5	2		7
	4		1		1	2
	計	2	12	2	1	17

【平成 27 年度】

		予備実験後 Q3				
		1	2	3	4	計
事前Q2	1		1			1
	2		2	1		3
	3		6	3		9
	4		1			1
	計	0	10	4	0	14

※　平成 28 年度には当日欠席の教師役生徒、代役の教師役生徒のデータを含む。

しかしながら、平成 28 年度では教師役として人に教える自信があるかとの問いに「どちらかといえば自信がない」と回答する生徒がやや目立った（表２）。実際、「手順を説明できても、黒板にかいてあったことを説明できる自信はありません」といった回答もあった。これは、平成 28 年度では学校事情のため予備実験時間が平成 27 年度に比べやや短くなったことによる理解度の低下や生徒自身がより教えることに対する「完璧さ」を求めていることの表れによるものと考えている。

一方で、予備実験後には授業後の休み時間等を利用して教師役生徒が教科内容やレポート作成における疑問点を担当教員に質問する姿が見られ、生徒自身の主体的な学びは確かに促されている印象を受けた。実際、実験当日には自作の事前準備ノートを用意したり、実験テキストに自ら調べたり予備実験での事前指導内容がしっかりメモ書きされたものを持参した教師役生徒がいた（図２）。

表 2.　教師役生徒の予備実験後の自信度

Q2.　あなたは教師役として、この実験を人に教えることができますか

1.　自信がある　　2.　どちらかといえば自信がある

3.　どちらかといえば自信がない　　4.　自信がない

【平成 28 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	0	6	11	0	17
αコース	0	4	2	0	6
βコース	0	2	9	0	11

【平成 27 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	0	10	4	0	14
αコース	0	4	4	0	8
βコース	0	6	0	0	6

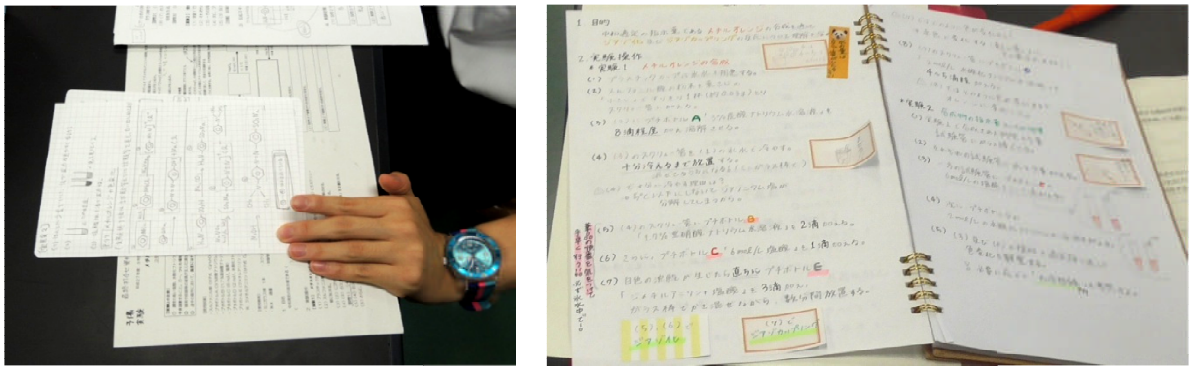


図 2.　教師役生徒の自作の事前資料例

（２）本実験の様子

本実験では教師役生徒が実験を進めるため、実験中教員側から生徒側に実験や考察そのものに関する指示は特に与えていない。この実験はマイクロスケール実験で１人１人が個別に実験を行うことができるため、教師役生徒の話を聞きながら生徒役生徒が無理なく実験手順をこなし、メチルオレンジを合成することができた。また、多くの教師役生徒が予備実験や事前指導を通じて学んだことを生かし、教えるべきことを生徒役生徒に伝わるようそれぞれが熱心に工夫して伝えようとしている姿が見られた（図３）。さらに、合成したメチルオレンジが指示薬としての色変化を示す様子を観察することで、目的の有機化合物を合成したという達成感を感じる生徒も多かった。

一方で、いずれの生徒も実験手順やレポート課題に関する内容を適切に伝えることはできたが、教師役生徒からの生徒役生徒への「発問」という点や「考察内容の説明」という点では課題も見られた。具体的には、教師役生徒によってαコースでは自らが自信がないと感じる部分を避けて伝えようとする例やβコースでは問いかけを十分に行うことができない例があった。前者のような例では教科の内容の理解度はあるものの「完璧さ」を求めることによって生じたものと考えられ、事前指導等において自信度をさらに高める工夫が必要と感じた。また、後者のような例では自ら十分理解していなければ良い発問はできないと考えられるので、事前指導等において教科内容や課題の理解度を高める工夫が必要であると感じた。

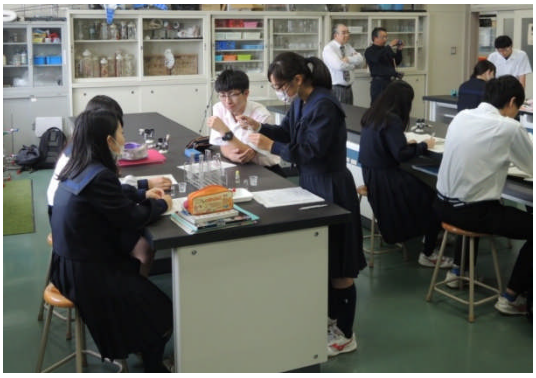


図 3.　本実験の様子（左側２枚がαコース、右側２枚がβコース）

５　事後アンケート結果からの考察

（１）実験の理解度及びレポートへの取組

事後アンケートの結果によれば、この実験の理解度について 85 %以上の生徒が「よく理解できた」、「どちらかといえばよく理解できた」と回答した。また、この理解度の要因が今回の生徒が主体的に実験を行う PIE 実験によるものであると感じた生徒（Q3 で 1 または 2 と回答した生徒）も 90 %以上であった（表３）。

表 3.　実験の理解度への PIE 実験の影響

Q2.　このメチルオレンジ実験について、あなたの理解度は

1.　よく理解できた　　2.　どちらかといえばよく理解できた
3.　どちらかといえば理解できていない　　4.　理解できていない

【平成 28 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	14	38	4	0	56
αコース	6	16	2	0	24
βコース	8	22	2	0	32

【平成 27 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	2	45	7	0	54
αコース	1	23	1	0	25
βコース	1	22	6	0	29

Q3.　Q2 の理解度について、この結果はみなさん方に実験を行ってもらうこのような実験形式によるものであったからであると思いますか。

1.　そう思う　　2.　どちらかといえばそう思う
3.　どちらかといえばそう思わない　　4.　そう思わない

【平成 28 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	24	27	3	2	56
αコース	12	10	1	1	24
βコース	12	17	2	1	32

【平成 27 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	22	28	4	0	54
αコース	12	11	2	0	25
βコース	10	17	2	0	29

さらに、考察課題やレポートにしっかりと取り組むことができたかを問う設問においても肯定的な回答（Q4 で 1 または 2 と回答）が 90 %以上を占めた（表 4）。特に、β コースでは平成 27 年度、平成 28 年度とも取り組めたという回答が多かった。これらの結果から、PIE 実験は幅広い学力層で理解を深めるために有用な実験であり、考察課題やレポートへの取り組みにおいても教師役生徒がいるため生徒が聞きやすく生徒同士の教え合いが促されることで、より課題に取り組むことができたと考えられる。このことは後述の表 10 の自由記述からもいえる。

表 4.　レポート課題に対する取り組み状況

Q4.　考察課題やレポート課題について
1.　しっかりと取り組むことができた　　2.　どちらかといえば取り組むことができた
3.　どちらかといえば取り組むことができなかった　　4.　取り組むことができなかった

【平成 28 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	35	17	4	0	56
αコース	15	7	2	0	24
βコース	20	10	2	0	32

【平成 27 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	26	26	2	0	54
αコース	11	13	1	0	25
βコース	15	13	1	0	29

表 5.　実験前後での「ジアゾカップリング」反応の理解度の変化

（事前アンケート）
Q2.　授業で取り扱った「ジアゾカップリング」の反応について、あなたの理解度は
1.　よく理解できている　　2.　どちらかといえばよく理解できている
3.　どちらかといえば理解できていない　　4.　理解できていない
（事後アンケート）
Q5.　この実験を行ったことで、授業で取り扱った「ジアゾカップリング」の反応について、あなたの理解度は
1.　よく理解できている　　2.　どちらかといえばよく理解できている
3.　どちらかといえば理解できていない　　4.　理解できていない

【平成 28 年度】

		事後 Q5				
		1	2	3	4	計
事前Q2	1		1			1
	2	5	14	1		20
	3		20	10		30
	4		3	1		4
	計	5	38	12	0	55

【平成 27 年度】

		事後 Q5				
		1	2	3	4	計
事前Q2	1		1	1		2
	2		3			3
	3	2	32	5		39
	4		8	1		9
	計	2	44	7	0	53

※　両方のアンケートの提出者は平成 28 年度 55 名、平成 27 年度 53 名

（２）ジアゾカップリングの理解

本実験を行ったことによる「ジアゾカップリング」の理解度については、「よく理解できている」、「どちらかといえばよく理解している」という肯定的な回答が平成 27 年度では 87 %、平成 28 年度には 79 % であった。この結果は、平成 26 年度に実施した同一実験をグループで行った場合のアンケート結果（「ジアゾ化・ジアゾカップリングの反応について理解が深まりましたか」）に比べ、平成 27 年度で 13 %、平成 28 年度で 5 %高かった。[4] さらに、事前アンケートと事後アンケートの相関分析により、相関表（表 5）において左シフトした（事前よりも事後の評価が良くなった）生徒が平成 27 年度で 81 %、平成 28

年度で 53 %で見られた。したがって、PIE 実験による生徒同士の教え合いによりジアゾカップリングの理解が有意に深まったものと考えられる。なお、平成 28 年度ではその割合が縮小しているが、これは授業内での理解度が高かったため実験前後で理解度の実感に大きな変化を感じる生徒が平成 27 年度に比べ少なかったことが挙げられる。また、特にβコースの相関分析で実験前後で評価が変わらない層が平成 27 年度に比べ大幅に増加していることから、βコースにおいてその理解度の変化が弱かったことによると考えられる。

（３）PIE に対する評価

今後このような実験を実施することについては肯定的な回答（Q6 で 1 または 2 と回答）がほとんどであり、本実験が学力層によらず受け入れられる実験であることを示していると考えられる（表６）。

表 6.　PIE 実験に対する評価について

Q6.　今後このような実験を実施することについて

1.　良いと思う　　2.　どちらかといえば良いと思う

3.　どちらかといえば悪いと思う　　4.　悪いと思う

【平成 28 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	37	18	1	0	56
αコース	18	5	1	0	24
βコース	19	13	0	0	32

【平成 27 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	39	15	0	0	54
αコース	22	3	0	0	25
βコース	17	12	0	0	29

（４）教師役生徒について

事後アンケートにおいて、教師役を務めた生徒にはまた教師役をやってみたいか、生徒役を務めた生徒には教師役をやってみたいか質問した。教師役を務めた生徒の大部分が教師役をまたやってみたいと回答（Q7-1 で 1 または 2 と回答）したが、そうは思わないと回答した生徒も若干いた（表７）。これは、教師役を立候補制で決定したためもともと意欲的であったことや実際に行ってみてその有用感や達成感を感じた生徒が多かったためであると考えられる。実際、回答の理由としては「人に教えることを考えて実験すると、普段よりもより細かいところまで気にしてすることになるので、理解が深まるから」、「人を教えるという責任感が理解を高めるきっかけにできるから」、「教師役をやることによって実験の内容が良く分かったから」という理由が挙げられていた。このことから、他人に教えるということをきっかけに生徒が考え工夫しようとすることで主体的な学びが促されていると考えられる。

一方、生徒役を務めた生徒の中で教師役をやってみたいと思う生徒（Q8-1 で 1 または 2 と回答した生徒）は平成 28 年度、平成 27 年度とも半数以下であり、生徒役生徒を教師役とすることには課題が見られた（表８）。教師役をやりたくない理由としては「教えるのが苦手」、「今回の先生役の人たちみたいに工夫しわかりやすく説明できる自信がないから」、「他の人に上手く説明できる自信がないから」といった「教えること」への自信のなさが挙げられ、特に下位層の生徒ではその傾向が見られた。これらの生徒では普段の学習における自己肯定感の低さも原因として考えられ、PIE の当初目標の 1 つにもあるとおりこのような生徒に自信を持たせるきっかけとなるような方策を考える必要がある。多くの生徒に教師役としての活躍の場を与え、集団としての教え合いを促進していくことが今後の課題である。

表 7.　教師役生徒の事後アンケート結果

Q7-1.　Q1 で教師役と答えた方は、教師役をまたやってみたいと思いますか。

1.　そう思う　　2.　どちらかといえばそう思う
3.　どちらかといえばそうは思わない　　4.　そうは思わない

【平成 28 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	9	6	0	0	15
αコース	4	2	0	0	6
βコース	5	4	0	0	9

【平成 27 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	6	6	0	2	14
αコース	2	4	0	1	7
βコース	4	2	0	1	7

（αコース１名は本設問未回答）

Q7-2.　Q7-1 の理由を簡潔に記述してください。

・自分には向いていないからです。(β)
・人に教えることが好きだから（β)
・貴重な体験だし絶対に自分の身になると感じたから。(α)
・人に教えるという責任感が自分の理解を高めるきっかけにできるから。(α)
・人に教えることを考えて実験すると、普段よりもより細かいところまで気にしてすることになるので、理解が深まるから。(α)
・教師役をやることによって実験の内容が良く分かったから。(α)
・楽しかったし誰かに教えようという気になるので自分から調べたりして自分の力になるから。(β)
・今回あまりうまく説明が出来なかったので、次はもっとうまくやりたいなと思いました。リベンジしたいです！（β)

表 8.　生徒役生徒の事後アンケート結果

Q8-1.　Q1 で生徒役と答えた方は、教師役をやってみたいと思いますか。

1.　そう思う　　2.　どちらかといえばそう思う
3.　どちらかといえばそうは思わない　　4.　そうは思わない

【平成 28 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	6	10	20	5	41
αコース	3	5	9	1	18
βコース	3	5	11	4	23

【平成 27 年度】

選択肢	1	2	3	4	計
全体	4	14	12	7	37
αコース	4	8	2	3	17
βコース	0	6	10	4	20

（βコース２名は本設問未回答）

Q8-2.　Q8-1 の理由を簡潔に記述してください。

・人に物を教えるのがニガテだった（β)
・自分でも教えられると良い経験になると思うから（β)
・荷が重すぎると思うから（α)
・人に教えるのは苦手でよく分かりにくいと言われるから。(α)
・今回の先生役の人たちみたいに工夫しわかりやすく説明できる自信がないから。(α)
・他の人に上手く説明できる自信がないから（β)
・理解ができないし教えることが苦手なため。(β)
・みていて教える側も楽しそうに見えたから。(β)
・教えるということで理解度が高まると思ったからです。(α)

（５）本実験の満足度

事後アンケートでは本実験の満足度を 10 点満点で採点してもらった。その結果、90 %以上の生徒が７～10 点と評価するとともに、その平均点は習熟度別クラスによらず８点前後であった。このことからも、本実験が学力層によらず受け入れられ、教え合いによる学びが生徒の実験内容や教科内容の理解を促していることがうかがえる（表 9)。また、この実験に関する感想の自由記述においてこの新しい取り組みを肯定的にとらえる内容や教師役生徒に教えてもらうことあるいは自らが教師役となることで理解が深まったとの回答が見られることから同様のことがいえる（表 10)。

表 9.　本実験の満足度の度数分布

【平成 28 年度】　平均点　7.98 点（α コース平均　7.92 点、β コース平均　8.03 点）

点数	-2	3	4	5	6	7	8	9	10
全体	0	1	0	2	2	13	18	12	7
αコース	0	1	0	0	1	6	8	5	3
βコース	0	0	0	2	1	7	10	7	4

（βコース１名未回答）

※　小数点以下の数値を含むものは表では小数点以下切り捨てで集計し、平均点計算ではそのまま用いた。

【平成 27 年度】　平均点　7.86 点（α コース平均　8.08 点、β コース平均　7.67 点）

点数	-2	3	4	5	6	7	8	9	10
全体	0	0	0	1	4	14	20	6	6
αコース	0	0	0	0	2	7	7	3	5
βコース	0	0	0	1	2	7	13	3	1

（αコース１名、βコース２名未回答）

表 10.　本実験の生徒の感想（自由記述より抜粋）

・教師役ということでしっかりと理解しなければならなかったので，そのプレッシャーからがんばることができました。説明ということをしっかりとやることで，理解と暗記ができるのでとても良かった。普段からも自分は先生だと思いながら理解を深めながら学習していきたいと思います。実験をやっていく上で色の変化など習ったとおりになっていくのがおもしろく感じた。
・いつもと違う形式で実験ができてとても楽しかったです。個人実験なので教えながらも自分のペースで行うことができたのがよかったと思います。
・理解が難しい部分もありましたが，自分達で考え理解していくこの実験のやり方はより多くのことを学べる良い方法だったと思いました。
・実験の方法自体は簡単だったけど、説明聞いて反応式を考えるのが難しかったです。先生役をやる人は、理解が深まりそうだなと思いました。
・実際、反応の式を抽象的な言葉などで説明して書かせるのは難しかった。教師役には小さなホワイトボードなどがあると、言葉だけではなく文字で伝えることができたと思う。教える途中でわからない生徒役に答えをみせてしまうことがあったので次やるときは、しっかりと考察させたい。正解を見つけるまでの時間と実験終了までの時間を合わせるのは難しかった。
・教師役に難しい実験で最後の方はあいまいになった
・生徒どうしだからわからないこともすぐに聞けたしとっても良かったです。
・教師役はとても難しく、どう説明すれば相手に伝えられるのか考えれば考えるほど分からなくなりました。人に教えることで自分の理解も深まり勉強になるため、もう一度やってみたいなと思いました！

６　まとめ

本実践で従来行っていたメチルオレンジ合成実験を簡易的 PIE 実験で行うことで、教師役及び生徒役いずれの生徒でもジアゾカップリングに対する理解度の向上が見られた。また、本実験は幅広い学力層に受け入れられるものであって、この実験手法により教え合いによる主体的な学びが促進されるといえた。さらに、従来の PIE に比べて予備実験等を簡略化したことで学校現場により取り入れやすいものとなり、簡易的であっても実施することにより上記のようなさまざまな教育効果が得られたので、今後の言語活動に基づく実験活動へのさらなる活用の可能性が示唆された。

一方で、地域性の高い学校では変わらない人間関係もあり、教師役生徒をいかに多くの生徒に経験させるかという点では課題も見られる。さらに、教師役生徒に一定以上の指導力を身につけさせるという点でも課題がある。これらを解決するためには、このような実験を１年次、２年次の基礎科目で定期的に行い指導の流れをさらに明確化することや「教えること」に対して自信を持つことのできるような実験プランを検討していく必要があると考える。このような取組を通じて、生徒の意識を少しずつ変えていくことが大切であると考える。

謝辞

本実践を行うにあたり、北海道立教育研究所附属理科教育センターの伊藤崇由研究研修主事にご助言、ご指導いただきました。また、習熟度別クラス指導及び PIE 実験運営にあたり加藤裕樹教諭、大沼寛教諭にご協力いただきました。この場を借りて、御礼申し上げます。

【参考文献】

1) 文部科学省，高等学校学習指導要領解説「理科編・理数編」, **2009**, pp. 61, 126.

2) 伊藤宇飛，セルプレートを用いたグループ実験の試み，北海道の理科 56, **2013**, pp. 18-19.

3) 小原伸彦，マイクロスケール実験によるメチルオレンジの合成，北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要第 23 号, **2011**, pp. 138-139.

4) 伊藤宇飛，理セン実験教材パックを活用した有機生徒実験の実践，北海道の理科 58, **2015**, pp. 44-47.

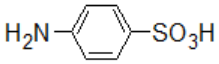
5) 柳澤秀樹，生徒主導型授業 Peer Instructing Education の実践と生徒の変化，化学と教育 **2016**, *64*, 324-327.

6) 北野賢一, PIE の実践報告，日本学術振興会「持続発展を題材としモデル化学習により科学知の活用と探究能力を育成する国際協働研究」平成 26 年度中間報告書, **2015**, pp. 48-57.

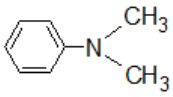
【参考資料】　本実験手順の流れ（実験テキストより一部抜粋・紙面都合上一部改変）

【使用試薬】

・スルファニル酸（分子式　$C_6H_7NO_3S$）



・プチボトルＡ（３％炭酸ナトリウム水溶液）
・プチボトルＢ（1.7％亜硝酸ナトリウム水溶液）
・プチボトルＣ（6 mol/L 塩酸）
・プチボトルＤ
（2 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液）
・プチボトルＥ
（ジメチルアニリン：6 mol/L 塩酸 ＝１：２の混合溶液）
※　ジメチルアニリン（分子式　$C_8H_{11}N$）



【使用器具】

・ミニガラス棒　１本　・スクリュー管　１本
・プラスチックカップ　１つ
・氷水　　適量　　・試験管　　２本

２　実験操作

【実験１】　メチルオレンジの合成

（１）プラスチックカップに氷水を用意する。
（２）スルファニル酸の粉末を薬さじの「小さじ」ですりきり１杯（約 0.03 g）とりスクリュー管に加える。
（３）（２）にプチボトルＡ「３％炭酸ナトリウム水溶液」を**８滴程度**加え溶解させる。
（４）（３）のスクリュー管を（１）の氷水で冷やす。**十分冷えるまで放置**する。

［設問１］　（４）で十分に冷やす理由は何か。

（５）（４）のスクリュー管にプチボトルＢ「1.7％亜硝酸ナトリウム水溶液」を**２滴**加える。
（６）さらに、プチボトルＣ「6 mol/L 塩酸」を**１滴**加える。
（７）白色の沈殿が生じたら**直ちに**プチボトルＥ「ジメチルアニリン＋塩酸」を**３滴**加え、ガラス棒でかき混ぜながら、数分間放置する。

［設問２］　（７）ではどのような色変化が生じるか。

（８）（７）のスクリュー管にプチボトルＤ「2 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液」を**４～５滴**程度加える。

［設問３］　（８）ではどのような色変化が生じるか。

【実験２】　合成物の指示薬としての性質

（１）実験１で合成された物質を少量試験管にガラス棒でとる。
（２）それぞれの試験管に水を少量加える。
（３）一方の試験管に、プチボトルＣの 6 mol/L の塩酸を１～２滴加え色変化を観察する。
（４）次に、プチボトルＤの２ mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を加え色変化を観察する。
（５）（３）及び（４）の操作を適宜繰り返して、色変化を観察する。

［注意］　試薬が無駄にならないように注意する。必要に応じ、『化学図録』を参照せよ。

※　その他詳細については、参考文献 3 を参照