

# PIE の手法によるメチルオレンジ マイクロスケール合成実験の実践

伊藤 宇飛

各教科において言語活動の充実が掲げられ、紋別高校においても多くの場面で言語活動を積極的に取り入れた教育活動が行われている。今回、北海道立教育研究所附属理科教育センターのメチルオレンジ合成に関する実験パックを用いてマイクロスケール実験をグループで実践する際に、生徒主導型実験・授業（PIE）の手法を簡易的な形で取り入れた。本実践は従来に比べて生徒自身の主体的な学びが促進され、多様な生徒が在籍する本校においても教科内容の理解度が向上する可能性が示された。

〔キーワード〕 アクティブラーニング PIE メチルオレンジ マイクロスケール実験

## はじめに

現行の学習指導要領では言語活動の充実が掲げられ、理科では生徒が主体的かつ意欲的に観察実験などに取り組むことで、科学的な自然観を育成することを求めている<sup>\*1)</sup>。本校はオホーツク西学区にある普通科3間口、総合ビジネス科1間口、電子機械科1間口の専門学科併置校であり、学力的にも進路的にも多様な生徒が在籍している。本校では各教科でグループワークやスピーチといった言語活動を積極的に取り入れた授業が展開されており、本校理科においてもジクソー法<sup>\*2)</sup>やグループワークを通した言語活動を取り入れてきた。平成26年度から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<sup>\*3)</sup>を実施し、マイクロスケール実験の利点を生かすとともに生徒同士がグループで実験操作や考察を助け合いながら実験を行い各生徒がレポートを完成させるというグループ実験を行ってきた<sup>\*4)</sup>。その結果、多様な生徒が在籍する本校においてもやや複雑な有機合成に各生徒がしっかりと取り組むことができ、ジアゾ化やジアゾカップリングについておおむね理解を深めることができていた。しかしながら、約4分の1の生徒が理解が深まらなかったと実験後アンケートで回答したた

め、その実験方法について改善する方法を模索した。その中で、駒場東邦中学校・高等学校の柳澤秀樹氏が提案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、グループワーク、グループ実験を実施している本校に適用することが効果的ではないかと考え、本実践を行うこととした。

## 1 PIE と適用における課題

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<sup>\*5)</sup>。教師役生徒が事前に実験方法や考察方法について学習した上で、本実験で生徒役生徒に教師役生徒が指導することにより、生徒の主体的な学びを促し教科内容の理解を図ろうとするものである。PIE は現在までに他校においても実践されその成果が報告されている<sup>\*5)</sup>。しかしながら、本番の実験を迎えるまでに事前の教師役選定、数回の放課後における教師役生徒の予備実験指導といった教員側の負担が重く、本校のように放課後に部活動や進学講習を抱える学校では同様の実践は時間的制約が大きく難しいと考えられた。そこで、本実践では教師役選定後本実験までに行う教師役生

徒に対する事前の予備実験を1回（希望者のみ2回）と簡素化して生徒及び教員の負担を軽減し実践した。これにより、メチルオレンジ合成実験において同様の教育効果が得られるかどうかを検証することとした。

## 2 実践の概要

### (1) 実施科目・学年

「化学」

3年理系進学コース（必修・6単位）

### (2) 対象生徒

北海道紋別高等学校

3年理系進学コース受講者 54名

・ $\alpha$ コース（上位クラス） 25名  
（内教師役 8名）

・ $\beta$ コース（下位クラス） 29名  
（内教師役 7名）

### (3) 実施状況

平成27年9月11日～24日にわたり下記のとおり実施した。

| 実施日   | 実施内容                      |
|-------|---------------------------|
| 9月11日 | 全体事前指導<br>事前アンケート         |
| 9月14日 | 教師役生徒事前指導<br>（予備実験）       |
| 9月15日 | 教師役生徒事前指導<br>（希望者及び欠席者のみ） |
| 9月18日 | 本実験                       |
| 9月24日 | 事後アンケート<br>実験レポート提出       |

### (4) 生徒観

本校理系進学コースは理系一般大学及び理系専門学校（医療系も含む）への進学を希望する生徒が選択しているため、進路的にも学力的にも多様な生徒が在籍している。それゆえ、知識の習得やその活用に課題を持つ生徒も多い。なお、本実践は普段の習熟度別クラスに基づいて実施して

おり、クラス分けについては定期考査の素点によりクラス分けを行っている。

## 3 実験の様子

### (1) 教師役予備実験について

教師役生徒は本実践では生徒の意思に基づき立候補によって決定した。教師役生徒は不安を抱えながらも生徒役生徒に実験を指導するために積極的に実験を行い、実験手順等を確認していた（表1）。

表1 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

- 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
- どちらかといえば理解できていない
- 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

- 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
- どちらかといえば理解できていない
- 理解できていない

|          |   | 予備実験後 Q3 |    |   |   |    |
|----------|---|----------|----|---|---|----|
|          |   | 1        | 2  | 3 | 4 | 計  |
| 事前<br>Q2 | 1 |          | 1  |   |   | 1  |
|          | 2 |          | 2  | 1 |   | 3  |
|          | 3 |          | 6  | 3 |   | 9  |
|          | 4 |          | 1  |   |   | 1  |
|          | 計 | 0        | 10 | 4 | 0 | 14 |

実際、予備実験後のアンケートからは「失敗してしまいましたが、本番では成功に導きたいです」、色々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」といった前向きな感想が多く聞かれるとともに、表1に示したとおりおおむねジアゾカップリングに対する理解度が高まった。さらに、教師役として実験を指導することについても14名中10名（71%）が「どちらかといえば自信がある」と予備実験後アンケートで回答し1回の予備実験であ

る程度指導といえる。さらに、初回の事前指導後、教科内容やレポート課題について自ら調べ教員に質問する生徒も中にはおり、主体的な活動が推進されている印象を受けた（図1）。

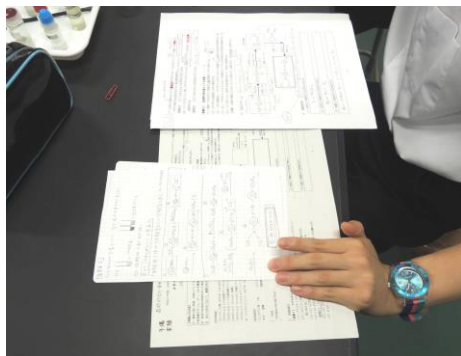


図1 教師役生徒の自作の事前準備ノート  
(本実験時に持参したもの)

## (2) 本実験の様子

本実験では教師役生徒が予備実験や事前の学習を通じて理解した内容を踏まえ、順序立てて丁寧に生徒役生徒に伝えていた。そのため、本実験中は教員側から生徒側には指示は与えていない。また、実験自体はマイクロスケール実験であるため個人実験であったが、生徒同士で教え合う形式であるため良い雰囲気での実験の進め方や疑問点について教師役生徒に聞きながら進めることができ、どの生徒もしっかりと実験に取り組むことができた。最終的にメチルオレンジを合成し、合成したものが酸や塩基によって色変化を示す様子を観察できたときには生徒たちは満足げであった。本実践では、習熟度別クラスに基づき実験を行ったが、 $\alpha$ コースでは「発問」を的確に行いレポート課題について生徒役生徒にしっかりと考察させることもできていた。一方、 $\beta$ コースではレポート課題の内容をしっかりと指導することはできたが、「発問」を的確に行うことについてはやや課題があった。生徒が「発問」することはPIEの中でも難しいと感じる点であり、良い発問のためには課題の理解度を高める必要があると考えられるため、 $\beta$ コースではその理解度が発

問をするために十分な理解度まで到達していなかった可能性があると考えられる（図2）。

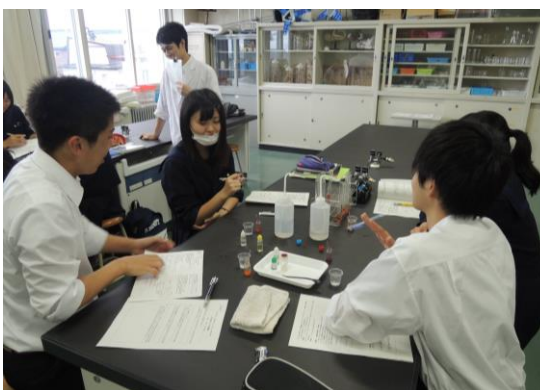


図2 当日の実験の様子  
(上の2枚が $\alpha$ コース、下の2枚が $\beta$ コース)

#### 4 事後アンケート結果の分析と考察

本実験実施後に事後アンケートを実施し分析を行った。

##### (1) 実験内容の理解及び課題への取り組み

アンケート結果より、80 %以上の生徒が実験内容を理解することができ、この理解度が PIE によるものかどうかを問う設問でも、同様に 90%以上の生徒が PIE に対して肯定的な回答を示した。また、考察課題やレポート課題に取り組むことができたかという設問においても 90%以上の生徒が取り組むことができた」と回答した。特に  $\beta$  コースでは「しっかりと取り組むことができた」という回答が多く、生徒同士の教え合いの効果がレポート作成に反映された結果となった（表 2）。

表 2 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         |    |    |   |   |    |
| 選択肢                      | 1  | 2  | 3 | 4 | 計  |
| 全体                       | 26 | 26 | 2 | 0 | 54 |
| $\alpha$ コース             | 11 | 13 | 1 | 0 | 25 |
| $\beta$ コース              | 15 | 13 | 1 | 0 | 29 |

##### (2) ジアゾカップリングの理解

本実験を通して「ジアゾカップリング」に理解度について問う設問では、85%以上の生徒が「理解できている」、「どちらかといえば理解できている」と回答し肯定的な回答が目立った。この結果は昨年度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は深まりましたか」）に比べ、肯定的な回答が 10 ポイント程度高かった（昨年度 74%）<sup>4)</sup>。さらに、事前アンケートと事後アンケートの結果の分析から、相関表（表 3）において理解度の評価が上昇した（左にシフトした）生徒が 43 名いたことから、PIE の実施により「ジアゾカップリング」の反応に対する理解が PIE を実

施しない場合に比べ深まったと考えられる。

表 3 理解度の事前及び事後比較

（事前・事後両方のアンケート提出者は 53 名）

(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

- 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
- どちらかといえば理解できていない
- 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

- 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
- どちらかといえば理解できていない
- 理解できていない

|              |   | 事後 Q5 |    |   |   |    |
|--------------|---|-------|----|---|---|----|
|              |   | 1     | 2  | 3 | 4 | 計  |
| 事前<br>Q<br>2 | 1 |       | 1  | 1 |   | 2  |
|              | 2 |       | 3  |   |   | 3  |
|              | 3 | 2     | 32 | 5 |   | 39 |
|              | 4 |       | 8  | 1 |   | 9  |
|              | 計 | 2     | 44 | 7 | 0 | 53 |

##### (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どう思うかという設問に対しては、全員が「良いと思う」あるいは「どちらかというが良いと思う」と回答した。本実験が学力層によらず受け入れられるものであることを表していると考えられる（表 4）。

表 4 PIE 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                 |    |    |   |   |    |
| 選択肢                      | 1  | 2  | 3 | 4 | 計  |
| 全体                       | 39 | 15 | 0 | 0 | 54 |
| $\alpha$ コース             | 22 | 3  | 0 | 0 | 25 |
| $\beta$ コース              | 17 | 12 | 0 | 0 | 29 |



#### (4) 教師役について

今回は教師役を立候補にて決定したが、今回教師役を務めた生徒にはまた教師役をやってみたいか、今回生徒役を務めた生徒は教師役をやってみたいかをアンケートで問うた。今回教師役を務めた生徒はおおむねまた教師役をやってみたいと回答していたが、中には少数ながら否定的な回答をする生徒もいた（表5）。これは、立候補制で決定したためもともと意欲を持って臨んだ生徒が多かったためであると推察される。やってみたいと回答した理由については「人に教えるのが好きだから」、「事前実験もできるし、より理解が深まるから」、「人を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」といったものであり、やはり他人に教えるために自ら主体的に取り組もうとする姿勢が従来の実験手法に比べて高まったのではないかと考えられる。

表5 教師役生徒のアンケート結果

| 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                               |   |   |   |   |    |
| 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）
- ・事前実験も出来るし、より理解が深まるから。（教えることによって）（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）
- ・教師役として他者に教えることで理解が深まるから。（α）

一方、生徒役を務めた生徒の中で教師役にチャレンジしたいと考える生徒（表6 Q8-2 で1または2と回答した生徒）は18名で回答者のほぼ半数にとどまった。教師役をやってみたくないとい

う主な理由には「教えるのが苦手」「分かりやすく教えるのが難しい」といった「教えること」への否定が多く、特に下位層の生徒では今までの学習における自己肯定感が低いことも一因と思われた。今後実施する際、本校のように地域性の高い学校においては、今回立候補した生徒ばかりが教師役を務めてしまうことも想定され、いかに否定的な生徒を教師役として活躍させ主体的な学びに取り組ませるかが今後の課題といえる（表6）。

表6 生徒役生徒のアンケート結果

| 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                             |   |    |    |   |    |
| 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。

- ・少し難しそうだった（β）
- ・人に物を教えるのがニガテだった（β）
- ・説明できる自信がない（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）
- ・今回は教わる立場だったので、次は教える立場になりたいと思ったから。（α）
- ・人に教えるのは苦手がよく分かりにくいと言われるから。（α）
- ・自分が先生役をやることで理解が深まりそうだから。（α）

#### (5) 本実験の満足度

事後アンケートのQ9で満足度を10点満点で評価してもらったところ、全体の平均が7.86点（αコース8.08点、βコース7.67点）であった。度数分布においても7点、8点の分布が多く、習熟度によらず生徒の大部分がPIEを取り入れた実験に対して肯定的にとらえていることが分かった。この点は生徒の本実験に対する感想（自由記述、表8）からも伺え、PIEの生徒同士の学び合いによる効果が意欲の向上や主体的学びにつながっているものと考えられる。

表 7 満足度点数の度数分布

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

表 8 生徒の本実験に関する感想  
(事後アンケート自由記述より抜粋)

・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もので、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つかりとやることで、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。

・生徒に教えてもらう方が個人的に理解しやすかった。最終的に色が戻っておどろいた。

・生徒が教師役と生徒役にわかれたのでとても新鮮な感じだった。次回もこのような実験をやるならまたやりたいです。

・教師役になったことでこの実験のことを調べたので、自分の知識そして理解につながりました。今回の実験を通して人に教えることの難しさを改めて実感しました。

・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。

## 5 まとめ

今回、従来の実験を PIE で行うことにより、教師役、生徒役によらずジアゾカップリングに関する理解度の向上が見られ、この PIE が本校のような幅広い学力層を有する集団においても適用可能であることが示唆された。また、予備実験などの事前指導を 1 回ないし 2 回とすることで教員側、生徒側の負担を減らしたが、大きな問題はなく円滑に実験を進めることができ、生徒同士の教え合いを通じて主体的な学びにつなげることができたと考えられる。このため、本来の PIE より簡略化しても生徒にとっては大きな利益となることがいえ、PIE にはさらなる適用可能性があることが示唆された。

このことは、今回の生徒アンケートからも本実験の手法に肯定的な意見が多かった点からも言

え、「生徒どうし教え合うこと」が教師側からの指導に比べ受け入れやすいことが一因となっていると考えられる。教師役の生徒は事前学習の負担があったようであるが、むしろ理解を深めるチャンスと肯定的にとらえている生徒も多かった。その一方で、生徒役の中に、教師役が頑張る姿を見て、自分も教師役となり理解を深めたいと前向きに考える生徒がいたものの、否定的な意見も多かった。郡部校における長年の変わらない人間関係もあり、自分は教えられないというように決めつけているような回答も散見された。いかにしてそのような生徒に教師役としての「成功」を経験させ、学問的理解を深めるだけではなく人間的に新たな視点を与えるかが本校の場合の課題である。その実験を行う上での工夫について、今後も慎重に検討していく必要がある。

## 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、ご指導を頂きました。また、習熟度別クラス指導及び実験運営にあたり加藤裕樹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」, p. 61, 2009.
- 2) 春木崇志, ジクソー法の実践, 平成 24 年度北海道高等学校教育研究会 50 周年記念大会 理科部会(生物), 2012.
- 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, pp. 138-139, 2011.
- 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, pp. 44-47, 2015.
- 5) 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, pp. 48-57, 2015.

(いとう ひろと 北海道紋別高等学校教諭)