

授業実践報告

話し合い学び合いを取り入れた化学実験 ——生徒が主体的になることを目指して——

肆矢 浩一
Koichi YOTSUYA

1. はじめに

最近、「学びの共同体」、「主体的な学び」、「アクティブラーニング」という言葉がよく聞かれるようになった。これまでの伝統的な授業スタイルから、生徒が主体的に学習することを目指したものといえる。主体的に学ぶとは、授業の中で受け身の姿勢でなく、生徒が活動的に学習することである。しかし、従来の講義型の授業から、いきなり生徒主体の授業に転換するには無理があると思われる。教科の中で理科の学習には実験があり、普通教室での授業より実験の方が活動的な学びが組み入れやすいと考えた。昨年、アクティブラーニングへのはじめの一歩として、話し合い学び合いの化学実験を実践してみた。身近な物質、身近な現象を課題として生徒に提示し、生徒同士が話し合い学び合う実験として進めるようにした試みである。本稿では、話し合い学び合いを取り入れた化学実験の実践報告をするとともに、今後の化学実験の課題を提示したい。

2. 話し合いを取り入れた化学実験とは？¹⁾

私が40年間行ってきた授業では、知識を伝えることがほとんどであり、授業で生徒同士に話し合わせる時間をとることはほとんどなかった。2020年からスタートする新学習指導要領では、生徒が主体的に活動することが求められている。理科の実験では、生徒自ら実践する機会があるが、必ずしもすべての生徒が主体的になっているとは限らない。生徒の中には、目的が明確でないまま実験がスタートし、あまり考えることなく実験操作を進めているものがある。以前からこのことが気になり、何とか解消する方法がないかと思っていた。そこで、実験を行う前に課題を提示し、生徒同士に話し合う時間をとってみることにした。その時間には実験結果の予測や、どうしてその現象が起こるかなどを班で話し合い、そこで出された意見を参考にしてプリントに自分の考えをまとめさせるようにした。その上で実験させた方が、実験が有効な学習活動となると考えた。

新学習指導要領では、生徒が主体的に学習することの他に、協働学習を取り入れることが求

められている。協働学習とは、生徒同士が相互に協力しながら、共通の目標や課題の達成を目指し学習を進めていくことである。実験は元々班に分かれ、グループによる活動が中心となっている。理科の実験はまさに実験そのものが協働学習であり、生徒同士のコミュニケーションがもとなる。実験の中で協働学習を取り入れることによって、より一層生徒が主体的に活動することができる。また、話し合いや発表の場で他の意見を聞くことにより、さらに深く考えて行動できると思われる。これをさらに一歩進めて、わかる生徒がわからない生徒に教えるという生徒同士の学び合いができれば、申し分ないといえる。分かる生徒は、他に教えることにより自分の理解がさらに深まることになる。



写真1 実験風景

理科の実験で話し合いを取り入れるために重要なことは、教員が課題として話し合いやすいテーマを設定することである。話し合いがしにくいテーマとなれば、なかなか目的を達することができない。そこで、今回は課題として敢えて身近な物質、身近な現象を選ぶことにした。以下に、ここで採用した話し合い学び合いを取り入れた実験の展開例を示す。

【話し合い学び合いを取り入れた実験の展開例】

- ① プリントを配付し、実験前に課題テーマについて班内で話し合う。
- ② 他の意見を参考にして、自分の考えをまとめる。
- ③ 自分の考えを実験プリントに書く。
- ④ 実験後、自分の予想と実験の結果を比較する。
- ⑤ 教員から補足説明を行い、実験内容について理解を深めさせる。
- ⑥ 以上の過程から、自分理解したことを文章でまとめる。

従来、化学実験では教員の方からまず実験の目的、準備、操作に関する説明がなされる。それから生徒に実験を行わせるのが通例である。そして一通り実験が終了した後、生徒各自が実験結果を持ち帰り、後日レポートを提出することになる。この従来のスタイルと話し合いを中心とした実験とを比較し、今後の化学実験にどのように取り入れるのが適切かどうか検討してみた。

3. 実践事例1：ろうソクの燃焼

2011年3月11日の大震災では計画停電が行われ、ろうソクが生活に欠かせないものとなったことはまだ記憶に新しい。身近にあるろうソクについて、意外と知らないことが多い。たとえば、ろうソクはなんでできているのか？ ろうソクにある芯はどんな役割をしているのか？

など、これらについて簡単に答えることができる生徒は少ない。この実験では点火したろうソクを観察させた上で、生徒同士に話し合いをさせ、自分の意見をまとめさせるようにする。

【課題テーマ】ろうソクの芯は、どのような役割をもっているのか？

【準備】ろうソク、ろう、ピンセット、マッチ、シャーレ、スプーン

【展開】① ろうの固まりをピンセットで持ち、これにマッチの火を近づけ、その様子を観察する。

② ろうソクの燃焼を観察し、気が付いたことを箇条書きでできるだけ多くプリントに記録する

(話し合い) ろうソクの芯が、どんな役割をしているか話し合う。

③ 他の意見を参考にして、自分の考えをプリントに記載する。

④ ろうソクの炎の上にスプーンを当ててみる。

【生徒の実験プリントへの記述】

以下の記述は、生徒の書いたものをそのまま掲載したものである。中には理論的に間違っているものが含まれること、プリントに記載する時間が短いので、生徒の記述は簡単な文になっていることを、ご了解いただきたい。

- ・芯は炎を着ける役割があるが、燃料の役割はろうが果たしている。
- ・芯の網目に酸素が含まれているため、どんどん燃え続ける。
- ・細いひもを組み合わせた芯が、融けたろうを毛細管現象によって吸い上げ、燃え続ける。
- ・ろうソクが融けて液体となる。さらに気体となって燃える。
- ・固体のろうが熱で融けて、それを芯が毛細管現象で吸い上げる。そのろうが気化して燃える。
- ・芯はよく燃えるように触媒になっている。
- ・芯は炭素からできていて、一緒に燃えて短くなる。
- ・ろうソクの芯が、熱をろうに伝える役割を果たしている。
- ・芯があることによって上からだんだん燃えるので、より長く燃える。
- ・ろうは無機物で、有機物の芯を使うことで炎を安定させる。
- ・ろうソクの芯の中に油が含まれているから、芯が燃える。
- ・芯だけだとすぐに燃えてしまうが、ろうがあることによって、長時間炎を保つことができる。
- ・融けたろうが芯に染み込み、火を着きやすくしている。
- ・熱で液体になったろうが、芯に染み込むことによって芯が燃えやすくなる。



写真2 実験風景

- ・なぜろうソクが燃えるのかを、課題にしても良かった。
- ・ろうソクの燃焼を観察していると、ろうが気化して燃えていることがわかった。芯はろうを伝わせるためにあることがわかる。
- ・ろうソクの芯は、ろうの液体と空気中の酸素が効率よく混ざり合い触れるために必要である。
- ・まず芯が燃える。炎の熱によりろうが融け、ろうが芯により吸収される。そのろうが酸素と触れることにより燃え続ける。芯がないとろうの液体により酸素と触れないため、ろうだけでは燃え続けない。

【生徒への補足説明】

ろうだけに火をつけようとしてもただ融けるだけである。ろうに芯を入れると、融けたろうが毛細管現象で吸い上げられる。吸い上げられた液体のろうは熱によって気体になり、空気中の酸素によって燃焼する。ろうソクに使われる芯は綿でできていて、5、6本撚った糸をさらに三つ編み状態にして作られている。ろうソクの炎の上にスプーンをおくと、スプーンの底にすすが付着する。これは、熱でろうが分解して生じた炭素であることがわかる。

【指導上の留意事項】

話し合いをさせる前に、ろうソクの燃焼の様子をしっかりと観察させる時間をとる必要がある。その時間には、気が付いたことをできるだけ箇条書きで書き留めさせるとよい。そうすることにより、話し合いがより充実したものになる。

かつてろうソクは、松ヤニ、ハゼノキ、ウルシなどから作られた。現在は石油から取り出されたパラフィンが原料となっている。パラフィンとは、炭素原子の数が20以上のアルカンの総称である。教科書では炭素数10までのアルカンが取り扱われるが、身近なろうソクが炭素数の多いアルカンからつくられていることに触れておきたい。パラフィンの融点は成分によって異なり比較的低いため、マッチの火で簡単に融ける。ろうソクが燃焼している間は、常に固



写真3 ろうソクの炎



写真4 ろうソクの炎にスプーンを当てる。

体の融解が観察でき、氷の融解とともに物質の三態を説明するときに適切な例といえる。

4. 実践事例2：草木灰水溶液の性質²⁾

草木灰は園芸で使われ、その水溶液は灰汁である。灰汁は江戸時代に洗剤としても使われ、これは水溶液の液性に関係している。この実験では、枯葉から草木灰をつくり、その水溶液の性質について生徒に考えさせたい。

【課題テーマ】 草木灰のろ液は、何性を示すか？

【準備】 枯葉、ガスバーナー、蒸発皿、マッチ、乳鉢、試験管、試験管立て、フェノールフタレイン溶液

【展開】 ① 耐熱板の上に蒸発皿を置き、その中に枯葉を数枚入れる。

② 点火したバーナーの底部を持ち、枯葉に炎を当て激しく燃焼させる。

③ 枯葉が灰になったところで、それを乳鉢に入れ粉にする。

(話し合い) 灰を溶かした水溶液が何性を示すか、話し合う。

※場合によっては、参考資料として教員から草木灰の化学成分を示す。

④ 草木灰をビーカーに入れ、さらに蒸留水加える。このとき、ビーカーの内容物をよく攪拌する。

⑤ ④の水溶液をろ過して、そのろ液を試験管に入れる。

⑥ ろ液にフェノールフタレイン溶液を入れ、液性を調べる。

【生徒の実験プリントへの記述】

- ・草木灰は酸性になった土を中性にするために使われるので、塩基性だと思う。
- ・枯葉を燃焼させる段階で、酸性酸化物が生成する。その水溶液は酸性となる。
- ・枯葉を燃焼させると二酸化炭素が生成する。これが水に溶けて炭酸を生じ酸性となる。
- ・灰は舐めると苦く、セルロースにはOH基があるので、塩基性を示す。
- ・葉は酸性雨を受けていること、肥料にはリン酸が含まれているため酸性となる。
- ・葉にはタンパク質が含まれ、アミノ基があるため、塩基性となる。
- ・木が酸性雨などの水を吸収しているので、酸性となる。
- ・植物の細胞中に核があり、これに含まれるリン酸がもとになり酸性を示す。
- ・微生物により葉が分解されてアンモニアが生じ塩基性となる。
- ・細胞壁の主成分が燃焼してCO₂とH₂Oになる。枯葉に含まれるナトリウムとCO₂がくっつきNa₂CO₃が生成する。これが水に溶けて塩基性となる。

【生徒への補足説明】

草木灰には炭酸カリウムK₂CO₃や炭酸ナトリウムNa₂CO₃などが多く含まれている。これら

が水に溶けたとき、水溶液中に炭酸イオン CO_3^{2-} が生じる。さらに、炭酸イオンは水と加水分解し、水酸化物イオン OH^- が生じることになる。このことにより、草木灰の水溶液は塩基性を示す。



江戸時代では、草木灰の汁を灰汁^{あく}と呼び、その水溶液の液性を利用して洗剤として用いていた。草木灰は生活に密着したものと言える。

【指導上の留意事項】

草木灰のろ液が酸性であると答えた生徒が半数近くいた。生徒の中には、枯葉を燃焼すると酸性酸化物ができ、その水溶液が酸性を示すと考えたようである。確かに二酸化炭素が発生するが、気体であるため草木灰には残らない。草木灰の成分の一つである炭酸ナトリウムは強塩基性であり、ガラスの原料として使われることが教科書に紹介されている。炭酸ナトリウムと同様に、炭酸カリウムも塩の加水分解により強塩基性を示すことに重点を置きたい。なお、元素のカリウムの英語名はPotassiumであり、草木灰Potashに由来している。

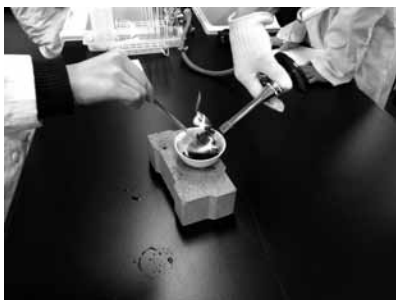


写真5 枯葉の燃焼



写真6 草木灰の水溶液のろ過

5. その他の実践事例

実践事例3：コンブ灰からヨウ素を取り出す³⁾

コンブ灰にはヨウ素がヨウ化物イオンの形で存在する。コンブ灰からヨウ素を取り出すには、どのような化学変化を利用したらよいか。生徒には酸化還元の見地から話し合わせたい。

【課題テーマ】コンブ灰の水溶液からヨウ素を取り出すには、何を加えたらよいか？

【準備】乾燥コンブ、蒸発皿、ガスバーナー、乳鉢、漏斗、ろ紙、漏斗台、試験管、試験管立て、過酸化水素水（硫酸酸性）、デンプン水溶液

※コンブ灰を焼くと、大量の煙が発生するため、生徒実験用に予めコンブ灰にしておとよい。

【展開】① 乾燥コンブを小さく切り、蒸発皿に入れる。

② ガスバーナーの火で、直接コンブを焼く。

③ 焼いたコンブを乳鉢に入れ、粉末状にする。

(話し合い) コンブ灰の水溶液に何を加えれば、ヨウ素を取り出すことができるか？

※参考に、コンブ灰に含まれるヨウ素の状態を示す。

④ コンブ灰をビーカーに入れ、さらに蒸留水を加えてよく攪拌する。

⑤ ④の水溶液をろ過し、ろ液を集める。

⑥ ろ液に硫酸酸性の過酸化水素水を加え、さらにデンプン水溶液を入れる。

【生徒への補足説明】

コンブ灰の水溶液中にヨウ素は、ヨウ化物イオンの形で存在している。ヨウ化物イオンは無色であり、分子の状態になると褐色の色を呈する。酸化剤として酸化マンガン(Ⅳ)や過酸化水素を使うことにより、ヨウ化物イオンを酸化して、ヨウ素にすることができる。生成したヨウ素は、デンプン水溶液を加えてヨウ素デンプン反応より確認する。



ヨウ素の用途としては消毒剤、殺菌剤があるが、これらはヨウ素分子にある酸化力を利用している。

【指導上の留意事項】

日本は世界第2位のヨウ素産出国であり、そのほとんどが千葉県であることを説明する。資源のとほしい日本で輸出している数少ない資源となっている。ヨウ素はかん水として、天然ガスとともに汲み上げられる。ヨウ素は酸化剤を加えて析出させる方法と、イオン交換樹脂により吸着して取り出す方法が知られている。どちらも化学的な方法であり、高校化学に関連することから授業で取り上げることができる。

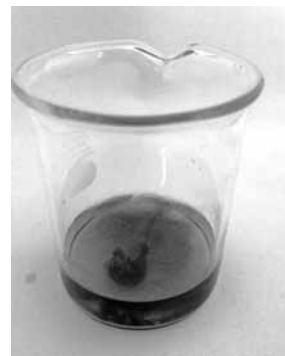


写真7 コンブに含まれるヨウ素を確認する。

実践事例4：水素と酸素の混合気体の燃焼⁴⁾

水素と酸素の混合気体を燃焼させると、水が生成する。この物質変化に伴って、光や熱、音の形でエネルギーが放出される。水素の燃焼で、どんな変化がデイスポピペット内で起こる

か予想させたい。

【課題テーマ】水素と酸素の混合気体に点火すると、どうなるか？

【準備】電気分解発生装置（参考文献参照）、ディスプレイピペット（以下、ピペットと称する）
圧電素子発火器、9V乾電池

【展開】① 電気分解装置を使って、ピペットに気体が満たされるまで、水の電気分解を行う。

② ピペットの下端を、水を入れたスチロール容器にひたす。

③ 電気分解装置の電池をはずし、圧電素子発火器を接続する。

（話し合い）水素と酸素の混合気体に点火すると、ピペットはどうなるか？

④ 圧電素子発火器でピペットの中に火花を飛ばす。このとき、ピペットの様子を、注意深く観察する。

【生徒への補足説明】

水素が燃焼すると水が生成するが、常温ではほとんどの水が液体となる。ピペット内の気体の圧力は、燃焼前と比べてかなり小さくなるため、減圧状態となる。よって、点火直後にピペットは大気圧により潰れてしまう。さらに、大気圧により、ピペット内に水が押し出され、ピペットは水で満たされる。

【指導上の留意事項】

この実験で用いた電気分解装置では、電極としてステンレス線を用いている。電極の鉄が溶解するため、電解液が褐色に変化していく。そのため発生する水素と酸素の体積比は正確に2:1とはならない。よって、点火によって全ての気体が水にならないため、水素がピペットの上部に少量残る。

将来、水素社会が到来するにあたって、水素を身近な物質として生徒に関心を持たせたい。

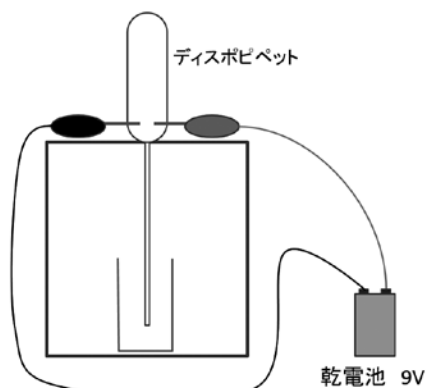


図1 電気分解装置



写真8 燃焼直後のピペットの収縮

水素は燃料電池の燃料であり、ガソリンの代替エネルギーとして期待されている。水の電気分解で水素が得られ、逆に水素の燃焼によりエネルギーが発生することを理解させたい。

実践事例5：電子レンジを使った実験（演示実験）⁵⁾

電子レンジは、食品を加熱する調理器として家庭に普及している。トウモロコシの中にわずかに含まれる水により、電子レンジからポップコーンができることを理解させたい。この実験では、水の状態変化による体積変化について考えさせる実験としたい。

【課題テーマ】電子レンジで、ポップコーンをつくれるのはなぜか？

【準備】トウモロコシの粒、ビーカー（500mL）、ラップ、電子レンジ

【展開】（話し合い）電子レンジでポップコーンができるのはなぜか？

- ① ビーカーに乾燥したトウモロコシの粒を20～30個入れ、ビーカーの口をラップで包む。
- ② ①のビーカーを電子レンジの中に入れ、700Wで3分間加熱する。
- ③ 1分経過したところから、弾ける音がある
- ④ 加熱後、電子レンジからビーカーを取り出し、トウモロコシの粒の様子を観察する。

【生徒への補足説明】

液体の水が水蒸気に状態変化したとき、その体積は約1000倍になる。硬い皮に包まれたトウモロコシの粒は、電子レンジによる加熱により、水の大きな体積変化のため破裂してポップコーンとなる。

【指導上の留意事項】

電子レンジ内ではマイクロ波が出て、そのエネルギーを吸収するものが加熱される。水を含

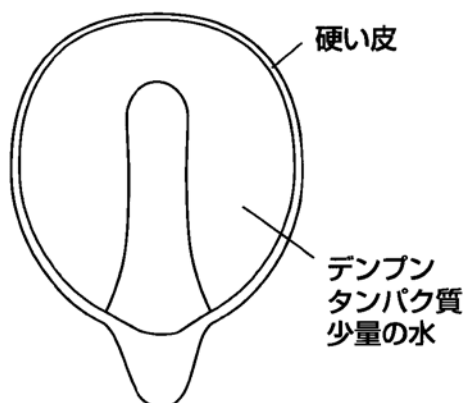


図2 トウモロコシの実の断面図



写真9 トウモロコシとポップコーン

んでいるものは、マイクロ波をよく吸収するので分子運動が激しくなり温度が上昇する。水分子は極性を持つために、マイクロ波をよく吸収するためである。

実践事例6：都市ガスの性質（演示実験）⁶⁾

都市ガスは天然ガスからつくられること、都市ガスの成分は何かなど、知らない生徒が意外と多い。最近、原子力発電の代替エネルギーとして火力発電が占める割合が大きくなった。この発電の主原料が天然ガスである。この実験を通して、身近なエネルギー源である都市ガスや天然ガスを理解するきっかけとなることを期待したい。

【課題】都市ガスのシャボン玉は、上昇するか下降するか？

【準備】漏斗、ゴム管、液体洗剤、液状のり（ポリビニルアルコール入り）、着火マン

【展開】（話し合い）都市ガスでつくったシャボン玉が上昇するか、下降するかを話し合う。

※参考に、都市ガスの成分を示す。

- ① 液体洗剤と液状のりを水に溶かし、シャボン玉をつくるための水溶液を準備する。
- ② 漏斗を付けたゴム管をガス栓に装着する。
- ③ 漏斗の口に洗剤をつけた状態で、ガス栓を開ける。
- ④ ガス圧でシャボン玉が次第に膨らみ、直径10cmになったところでガス栓を閉じる。
- ⑤ 漏斗を軽く振ることで、シャボン玉を漏斗から切り離す。
- ⑥ 切り離れたシャボン玉に、着火マンで着火する。



写真10 漏斗を付けたゴム管

【生徒への補足説明】

都市ガスはの主成分はメタンであり、天然ガスが供給源である。天然ガスの輸入元は中東地域の他に、インドネシア、オーストラリアなどの東南アジア諸国となっている。メタンの分子量は16であることから、空気の平均分子量28.8と比較することにより、空気より軽い気体であることがわかる。また、プロパンガスの場合は、分子量が44であるため、空気より重い。

【指導上の留意事項】

混合物に関して、成分の存在率を考慮した空気の平均分子量を学習する。発展的な課題として、都市ガスの成分組成から平均分子量を求めることができる。また、化学反応式の書き方を学習するに当たって、炭化水素の燃焼反応は例題としてよく取り上げられる。メタン以外の炭化水素についても燃焼反応の化学反応式を書けるように指導したい。



写真11 都市ガスのシャボン玉



写真12 シャボン玉の燃焼

4. 生徒の感想と今後の課題

話し合い学び合いを取り入れた化学実験について、生徒に書かせた感想を以下に記した。実験前に話し合いを取り入れたことで、以前より意識が高まったことがうかがえた。

【生徒の感想】

- ・結果について班の人と相談し、考察できたのが良かった。
- ・正しい考察はできなかったが、本気で班の人と話し合えてよい経験となった。
- ・実験前に、自分で考えることによって、結果がより興味深く感じた。
- ・話し合いにより、深い理解ができた気がする。
- ・考えながら実験することができ、大変良かった。
- ・結果を予想してから実験することは楽しい。知識があればあるほど楽しくなりそう。さらに知識を増やしていきたい。
- ・自分の意見を相手に伝える能力や、相手の言いたいことを正確に理解できる能力が伸びる。
- ・結果をただ確かめるよりも、話し合いを取り入れた方が頭の実験の印象が残る。
- ・話し合いの実験といっても、生徒に予備知識がないと深まった話し合いにならない。
- ・班によっては、だれも何もわからず、話し合いにならないこともある。
- ・よくわかっている人がいると、他の人が考えなくなり、話し合いがうまくいかない。

話し合い学びあいの化学実験を行うに当たって、今後の課題として下記のことが考えられる。生徒同士に話し合いをさせるためには、まず教員が課題を用意しなければならない。本稿では、身近な物質ならびに身近な現象を取り上げたが、教科書で同じようなテーマをつくれるかどうか検討していく必要がある。たとえば、電池の単元において、電子の自発的な流れがどのようにできるかを説明させる課題が考えられる。具体的には、次のようなことを提案したい。

「希硫酸を浸したる紙上に、亜鉛と銅板の小片を接触させて置いたとき、どのような変化が起こるか?」。実験結果は、銅板単独では水素が発生しないが、亜鉛版と接触させた銅板からも水素が発生することである。この結果は、亜鉛から銅へ電子が流れたことによって起こる現

象である。イオン化傾向を元にして電子の流れを中心に実験結果を説明できれば、目標を達成したことになる。教科書にある実験についても、生徒同士が話し合うためのテーマづくりが重要であることを強調しておきたい。また、テーマとしては、草木灰の実験のように、意外性のある結果となるものが、望ましいと思われる。

現実の問題として、化学実験に話し合いを取り入れることにより、生徒が直接実験する時間が短くなる。2時間連続の授業でないと、十分な話し合いを取り入れた実験は無理と思われる。また、班編成で、話し合いの中心となれる生徒や知識レベルの高い生徒がうまく分散できれば、円滑に話し合いの実験が進められるが、そうでない場合はその対策が必要となる。

また、各班の発表は時間的な制約があり難しいが、タブレット端末の活用などを検討する必要がある。

以上、話し合い学び合いの実験は、課題をどのようにつくるか、時間的な制約をどのように解消するかなど検討課題は多い。しかし、生徒が少しでも能動的、協働的になれば授業の活性化にもつながり、導入に値すると思われる。今後、年間の授業計画の中に少しでも取り入れることが望まれる。

5. おわりに

平成22年から大学の理科教育法を担当することになった、この講座は教員志望の学生たちを対象としている。始めた数年間は私の一方的な講義であったため、こちらの講義に関心を向ける学生が少なく、ただ授業に出席している感じの学生がほとんどであった。何とか学生に講義に目を向けさせたいと思い、アクティブラーニングを取り入れることを考えた。4～5人でグループをつくり、「理科をなぜ学ぶのか?」「楽しい授業とは?」「理科への関心を高めるには?」「粒子概念を教えるには、どのような工夫ができるか?」などのテーマで、話し合いをさせた。そこでは居眠りする学生もなく、話し合いに参加していた。さらに、発表させることにより、教室が従来の講義とは違った雰囲気となった。成果が上がったかどうかは別として、学生が能動的になったことは間違いなかった。話し合いを取り入れただけでも、以前より学生たちに積極的に取り組む姿勢がみられるようになった。

また、2014年、2015年の夏には科学教育研究協議会の全国研究大会に参加し、このとき発表された実践事例は大変参考になった。アクティブラーニングは、高校より小中学校での導入が進んでいる状況がわかり、高校ではこれから本格的になるという印象をもった。

このような経験をもとに、大学と同じ展開は難しいと思われたが、高校での化学実験にアクティブラーニングを取り入れてみた。本稿で紹介した実践は、時間に余裕があったときに行った「理系の化学実験」、ならびに三年生対象に実施した特別授業「文系のための化学実験」に取り入れた。今後、少しでも生徒主体の授業のあるべき姿を考え、さらに次の一步を踏み出したいと思っている。

参考文献

- 1) 田代直幸, 山口晃弘, 9つの視点でアクティブラーニング, 東洋館出版社, 2015年
- 2) 松岡雅忠, 化学と教育, 64, 118, 2016年
- 3) 肆矢浩一, 外苑春秋 第5号, 國學院高等学校, 2015年
- 4) 東レ理科教育賞 受賞作品集, 2010年
- 5) 肆矢浩一, ニュースレター No8, 日本化学会化学教育協議会, 2008年
- 6) 肆矢浩一, 化学と教育, 61, 66, 2013年