

〔論 文〕

教員志望学生から見た教材としての「化学的ピタゴラ装置」

中村 美紗*¹

Using the chemical PITAGORA machine as educational materials
for science education and creativity

Misa NAKAMURA*¹

Abstract

This study aims to train science teachers to provide well-planned experiments. Since many students have difficulty with chemical experiments, especially while dealing with chemical reagents, we have launched the chemical PITAGORA machine project. This would enable them to design a chemical PITAGORA machine combined with a wide variety of chemical experiments; PITAGORA is a type of Goldberg machine. The machine was demonstrated at the Fukuoka Science Museum. We observed that the chemical PITAGORA project successfully provides students with experience and confidence while undertaking chemical experiments. Moreover, this type of Active-Learning experiment should be planned in all science classes for the sake of effective education.

Keywords : chemical experiment, science and creation, training for teacher, perspective changing, Active Learning

1. 緒 言

教育創造工学科は中学校・高等学校の理科・数学教員養成課程の学科である。理科コースでは、生物学、物理学、化学、地学の実験を1回ずつ履修し、基礎的な実験技術を身につけるが、基礎以上のものは講義や演習で各自修得せねばならない。模擬授業の際にいざ実験しようとして、準備に手間取ったり、化学薬品の扱いに尻込みしたりと、不安を感じる者も多い。そこで、学生の興味を掻き立て自発的な実験取り組みを促すプロジェクトとして、「化学的ピタゴラ装置」の製作を行った。また、本装置の製作体験が教員志望学生に対してどのような教育効果を与えたかについて、アンケート調査をもとに検証した。

2. 実験方法

2・1 選定した要素とつなぎの作成

プロジェクトチーム内でテーマ・要素を複数提案し、グループごとに要素の予備実験を行った。装置になりうる要素を選定し、要素どうしが接続するように適宜つなぎを設けた。次の8個の要素・つなぎを接続して(図1)一連の動作を行う装置を製作した。

- ① 火の玉信号(化学的要素) : 炎色反応を火の玉の信号機に見立てた要素を作成した。金属塩3種類を適量とりコットンに包んで、燃料溶液に浸し、ラップに包んだ。この燃料ボールを金属ワイヤに3つ並べて吊るし、下から引火するように配置した。マッチでの着火をスタートとした。
- ② ビー玉コロコロ(つなぎ) : ①の炎によりビニルテープが切れてシーソーが傾き、ビー玉がビーカーの中に落ちた重みでビーカーが下がり、滑車の対端の満水のロートが持ち上がり、水位が下がって③へつなぐ仕掛けを作成した。
- ③ 水のエレベータ(つなぎ) : ②の水を貯留し、移動させる装置を作成した。②のロートの水がゴム管から分液ロート1に溜まった。そこから別のゴム管を経由し上皿天秤の片腕にあるビーカーに水が溜まって天秤が傾き、⑤のフ

*¹ 久留米工業大学工学部教育創造工学科
平成29年10月26日受理

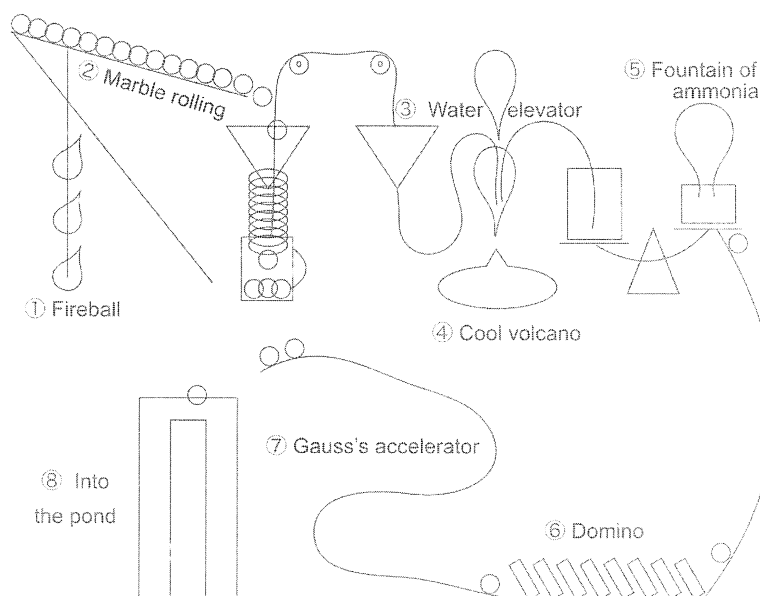


Fig. 1 The outline of chemical PITAGORA machine.

ラスコが着水し作動した。さらに、天秤に挟んでいたビー玉が滑り落ち、⑥へつないだ。

- ④ クールボルケーノ（化学的要素）：平底フラスコにドライアイスと中性洗剤を適量入れておく。分液ロート1から水が流れると白い煙が次第に泡に包まれて大量に溢れ出し、火山の溶岩に見立てた要素を作成した。
- ⑤ アンモニアの噴水（化学的要素）：アンモニアの噴水反応を装置の最高部で見せる要素を作成した。直前に発生させたアンモニアをナス型フラスコに捕集した。栓にはパストゥールピペットを貫通させ、吸い上げ時間を制御した。③で上皿天秤が傾くとフラスコが着水する仕組みとした。
- ⑥ ドミノ（つなぎ）：③⑤の天秤からビー玉が滑り落ち、ドミノが円弧を描いて倒れて新たなビー玉を勢いよく押し出し、⑦の鉄球へつなぐ仕掛けを作成した。
- ⑦ ガウスの昇り竜（物理学的要素）：⑥低位置から⑧高位置へ運動する要素を作成した。ガウスの加速器を改良し、ネオジム磁石と鉄球を敷いた透明樹脂レールを螺旋状に設置し、50 cmの高さまで鉄球をリレーして運動を伝え、⑧へつないだ。
- ⑧ 池ポチャ（化学的要素）：2段階の呈色反応が見られる要素を作成した。容量4 Lのメスシリンダー（外）の中に、容量1 Lの細いメスシリンダー（内）を二重になるように設置した。メスシリンダー（内）にはアンモニア水溶液をいっぱい注ぎ、メスシリンダー（外）には7割程度にフェノールフタレイン水溶液を加えた。⑦で鉄球に打ち出された球の内部にBTB溶液を染み込ませたコットンを入れた。装置のゴールとした。

2・2 実演公開と解説

2016年12月24、25日に福岡県青少年科学館で開催されたイベント「青少年のためのサイエンスモール in 久留米」に展出し、展示、実演および解説を実施した。

2・3 アンケート調査

プロジェクトメンバーに対する、装置の計画、予備実験、要素とつなぎの作成、イベント実演と解説の全過程を経験することでもたらされる客観的な影響と、自らに対する主観的な影響をアンケート調査により評価した。

3. 結果と考察

3・1 選定した要素とつなぎの作成

グループの代表が話し合い、要素の順番を入れ替えたり、取捨選択をしたりして①～⑧の順番に接続した（図2）。この段階で不採用となった要素を改良し③とした。また⑥をつなぎとして追加した。

- ① 火の玉信号（化学的要素）：赤（紅）→黄→青（緑）の炎色が見られた。燃料が先に燃えるため、着火直後は3

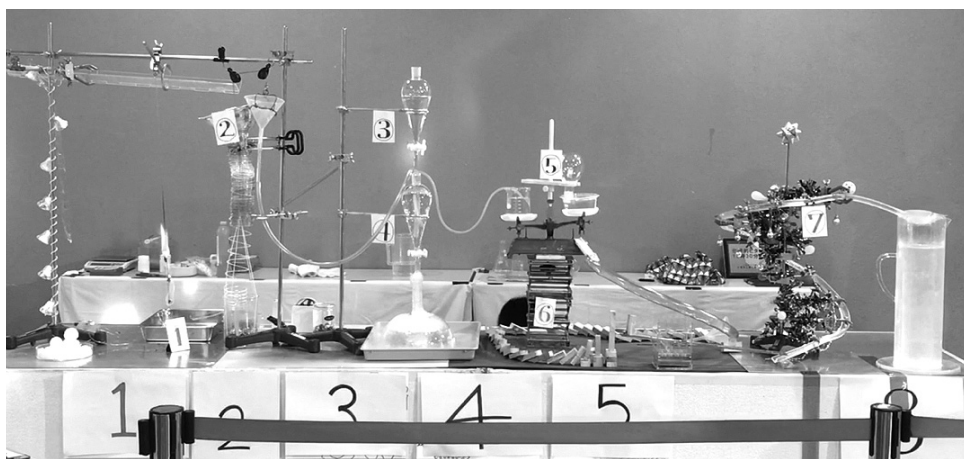


Fig. 2 Chemical PITAGORA machine.

- つとも同じ炎色であったが、次第に各色が見られた。燃え残ったときには消火し、実験後はただちに換気を行った。
- ② ビー玉コロコロ (つなぎ) : シーソーのバランス調整とビー玉の落下挙動の制御に苦勞した。大きな音を出してビー玉がプラスチックピーカーに落下するため、注目を集めるのに良い働きであった。
 - ③ 水のエレベータ (つなぎ) : 水が②から④へ落ちるまではスムーズであったが、分液ロート1から上皿天秤の片腕にあるピーカーに溜まり、天秤が傾くまでに時間がかかった。上皿天秤の上下移動範囲が小さいため、動きがわかりにくかった。
 - ④ クールボルケーノ (化学的要素) : ドライアイスの白い煙だけで子どもの注目を集め、さらに煙が泡に変わり、触ることもできたため、単純ではあったが興味を引くに十分な要素であった。
 - ⑤ アンモニアの噴水 (化学的要素) : 水に吸い上げには時間がかかり、装置が⑧まで到達した後に完了した。成功時には勢いのある噴水が見られたが、ほぼ全ての実演で噴水まで至らなかった。アンモニア捕集の際に漏れたか想定外の水に溶解込み圧力不足を招いたなどの原因が考えられる。
 - ⑥ ドミノ (つなぎ) : ③の上皿天秤の傾きが小さく視認しづらかったため、ドミノの単純な運動が装置の進行を確認する意味で役に立っていた。
 - ⑦ ガウスの昇り竜 (物理学的要素) : グラウンドレベルから打ち出した鉄球をネオジム磁石で加速し、螺旋状に上昇させることができた。動きが速い要素であったため、動画をスロー再生し、解説した。
 - ⑧ 池ポチャ (化学的要素) : BTB球がメスシリンダー (内) に転がり落ち、アンモニア水と反応し青に呈色した。メスシリンダー (内) から溢れたアンモニア水溶液がメスシリンダー (外) のフェノールフタレイン溶液と反応し赤に呈色した。容量が大きいため呈色反応が持続せず色が消えることもあった。

各要素の実験はグループごとに行ったため、個人の経験レベルで言えば、自分がやってみたくと思った実験をできた学生もいれば、ただそれに便乗した学生もいた。しかし、実験方法を考えたり、薬品の安全データシートを見て取扱注意や処理方法を調べたりと、責任を持って知っておくべき内容をグループごとに共有し認知できたことも確かである。学生個人の経験として蓄積できたものは、従来の理科の知識よりも実際の実験の組み立てに直結した内容であり、今後の理科実験を行う際の不安解消に繋がると考えられる。

3・2 実演公開と解説

イベント来場者は中学生を想定していたが、小学生と幼児の家族が目立った。観察者の子ども用アンケートを会場で実施したが、本研究の目的とする被験者とは異なったため、その結果について本論文では掲載していない。

予告動画を流して告知し、1時間ごとのペースで実演公開を行った。司会進行役が装置のスタートとゴールを説明してから装置を稼動した(図3)。司会役は回ごとに希望者が担当した。製作段階でグループの重複があったことや、要素の接続という共同作業を行ったことにより、実験の詳細に関する情報共有が早い段階できていたため、いずれの学生も司会が可能であった。実演後はすべての要素とつなぎに対して解説を行った。観察者、特に小学生が少しでも理解しやすいように、手描きの分かりやすい解説図を用いて噛み砕いて説明した。実演の成功率は、1日目が6回分の1、2日目が4回分の0であった。①のスタートから⑧のゴールまでの成功率は5割を超えていたが、ゴール後に起こるはず



Fig. 3 Demonstrating chemical PITAGORA machine.

の⑤の噴水がうまく反応したのは1回のみであった。そのため解説には⑤の噴水が成功した動画を用いた。

子どもも大人も装置の進行状況を食い入るように見つめており、特に①の炎の色が変わった時や④の泡が噴出した時、⑥⑦のドミノから鉄球が打ち出されて登った時、⑧で色付いた時に大きな歓声が上がっていた。反対に、⑤の噴水が不発の時には残念がる声が多く、動画を見せると「すごい」と歓声が聞かれた。失敗した時に笑ってくれる子もいれば、それをつまらないと感じる子もいて、装置観察の与える影響の大きさと責任を感じた。実験室では成功しても装置を設置した環境に応じて失敗が多くなるものがあった。成功率に課題のあるものは不採用とし、失敗した際には成功動画を必ず見せる必要がある。成功率を高めたとしても、万が一の保障として動画を用意しておくべきであることが実証された。

安全性に配慮し、装置には製作者以外を近づけないように仕切りをして展示実演した。解説の際、希望した子どもに保護者の承諾のもと④の泡を触ってもらうと、「冷たい」と驚いていた。温度や匂いなどは動画からは伝わらない因子であり、視覚情報以外の変化が装置に深みを与え観察者を刺激することもわかった。

イベントでの実演公開を撮影し、成功した回を中心に編集して、実演編と解説編の動画を作成した。他にも実演開始前の予告編と実演後の補足説明用の合計4本編集し作成した。プロジェクトチームのうち、PCやタブレット操作が得意な学生が率先して撮影と動画編集に取り組んだ。撮影はできても編集は苦手な学生も多く、デジタル機器操作にも不安解消の取り組みが必要である。今後、これらの動画を導入教材などとして活用できるよう、目的に応じた編集技術も修得させたい。

3・3 アンケート調査

プロジェクトメンバー12名に対し、実施したアンケート内容と結果を以下に示した。

- (ア) 大学の理科実験（4科目）の好き嫌いと理由
- (イ) 計画・製作した要素・つなぎ・アンケートについて
- (ウ) 取り組んだものが採用されなかった→何が必要だったか
- (エ) 現時点の力量で、教員として（授業・実験）に（自信／不安）
- (オ) ピタゴラ装置を作った経験が教員となって役に立つか
- (カ) 中学理科教員となり（ピタゴラ装置をつくる、実演する、動画を作る）ことに（自信／不安）
- (キ) ピタゴラ装置を観察した子どもにどんな効果が期待されるか
- (ク) ピタゴラ装置を製作した教員志望学生（自分）にどんな効果が期待されるか

このアンケートから求めるものを、観点別にまとめ以下に述べた。

観点1）装置製作経験が教員の役に立ったかに関して、アンケート(エ)～(カ)、(ク)の回答を考察した。

本プロジェクトは免許必修の理科実験4科目のうち、最終1科目の開講と並行して実施した。カリキュラム上、実験に関して身につけるべき項目をほぼ修得した状態であるはずが、(エ)で実験に自信があると答えた学生は積極的に実験できた少数(3/12)であり、多くは実験に自信がないと答えた(9/12)。(オ)では「役に立つ」がほぼ全員(11/12)であった。装置の改良や興味を引くための工夫など、思考的な回答が半数(6/12)、残りは実践的な経験に関する回答(5/12)であった。(ク)からも、発想力・考える力につながった、薬品の取り扱い知識を得られたという回答があった。また、(カ)ではつなぎの作成や動画編集に関する不安が多く(7/12)見られた。今回のプロジェクトで、自信を持って実験を行うまでには知識・技術的に未熟であるが、実験の意味を考える経験と方法論は身に付いたと考えていることがわかった。

観点2) ピタゴラ装置が教材として使えるかに関して、アンケート(イ)、(ウ)、(キ)の回答から、教員志望学生のための理科・ものづくり教材として検証した。

実験の提案では学年・分野に制限を設けなかった。理科教材として、やってみたい実験テーマを学生自身が提案しているため、興味が100%生かされているとした。予備実験の際に、実験方法や使用する試薬の危険性などを確認させると、実験内容や手順を変更することもあった。この確認作業が経験値の向上につながったと考える学生が多く見られた。装置化では、自動で反応がおこる仕組みを考えたり、前後との連鎖を考えたり、特徴を生かす工夫とともに要素をつなぐための工作技術も必然的に求められ、ものづくり教材としても成立していた。要素確定後のつなぎ作成では、関連要素グループから有志が自主的に実験を繰り返すうち、つなぎのグループ人員が増減してより参加意識の高い学生が集まった。問題解決能力と協働が求められた過程であり、よい理科教材となった。

では、このピタゴラ装置を小中学生の教材として利用できるだろうか。一連の装置製作について、本研究のスケールではもちろん不可能であり、大学ならではの取り組みであった。しかし、既習分野や導入実験として最適化すれば適応可能であろう。(キ)の回答では、装置観察が子どもの理科への興味につながる、考える力を引き出すと考えた学生が多かった。彼らが教員となった時、このような動機付けとして用いる教材となりうると言える。

観点3) アクティブラーニング(AL)の成立と課題に関して、アンケート(ア)の回答をもとに考察した。

アクティブラーニング(AL)とは、文部科学省の新しい学習指導要領の重点となる学習指導方法であり、課題の発見・解決に向けて協働し主体的・対話的で深い学びを実践する教育方法である。小中高大の全ての教育過程において取り入れられることになり、本学科でも随時導入を進めている。本学科の理科実験のうち、生物学実験、化学実験はスキーム提示型実験であり、順次物理学実験、地学実験の課題探求型AL実験へ移行し、学生の自主性とグループワークの充実を促すカリキュラムを実践している。

生物学実験、化学実験を好きと答えたのは、実験操作やテーマに興味がある学生が多く(8/12)、物理学実験、地学実験の課題探求形式に苦手意識を持つ学生が多かった。物理学実験、地学実験を好きと答えた学生は、やりたいことを自由に追求できるとの理由をあげたが、少数であった(3/12)。AL実験の経験が増えるにつれ、実験中に自ら動いて問題や解決手段の発見に努める学生の姿が次第にみられるようになるが、参加意欲を失う学生も出現し両極化していく。低意欲学生に見られるのは学力が低いことではなく、劣等意識や強迫観念からのあきらめである。知識や意欲の修得段階での不足に起因する目的意識と動機の不在が原因と考えられる。高等学校での知識修得を前提としたカリキュラムでは本学の教育が成立しないことが明白であり、大学での学び直しと理科4分野共通のALの必要性がここに示されている。

そこでグルーピングの問題を考える。本研究においては教員からグルーピングの提示は行わず、各自が提案した実験内容に対する希望者の完全自由枠組みとした。この中では互いに支えあい増減するグループ構造が見られた。固定グループに顕著なリーダーに依存する低意欲学生は自由枠組みではごく少数であった。いずれにせよ、意欲の低い学生をグループ一任ではなく常に教員が指導し軌道修正する必要はあり、全体として学生主体による自由枠組みグルーピングは有効であるとわかった。

4. 結 論

教員志望学生がこの「化学的ピタゴラ装置」の製作と実演を通じて学んだことは、「やってみたい実験を自由にできるようになるために必要なことがわかった」ことである。

- ① やりたい実験を決め、現象(結果)、方法、使用器具や薬品を調べ、実験できるかどうかを判断できるようになった。化学薬品の取り扱い方法がわかるようになった。
- ② 実験で伝えたいことが伝わるように工夫し、目的に相応しいかどうかを判断できるようになった。

実験とは現象を見せるだけではなく、見せ方を工夫するだけで子どもの驚きや興味・関心を引き出すことができるものである。教員志望学生はこの経験によって、将来教員になってやってみたい実験を、自信をもって自由にできるようになった。学生の能力や資質には個人差があるが、理科実験に対する不安は一様である。教員になった時にどのように準備し、対処すれば良いか、彼らはこのプロジェクトを通して主体的に経験し、具体的に知ることができた。これにより、学生の抱える数多の不安のうち幾分かが解消され、自信につながることを願う。

謝 辞

イベントで実施した子ども用アンケートの作成に関して、共通教育科堀憲一郎教授にご助言いただいた。また、本研究は平成27～29年度科学研究費5K16250の助成を受け実施した。