

平成30年5月6日現在

機関番号：37115

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16250

研究課題名(和文)理科×ものづくり教材：化学的ピタゴラ装置の製作と教育効果の検証

研究課題名(英文) Using the chemical PITAGORA machine as educational materials for science education and creativity.

研究代表者

中村 美紗 (NAKAMURA, misa)

久留米工業大学・工学部・准教授

研究者番号：00389420

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：「化学的ピタゴラ装置」を製作し、教員志望学生および子どものための理科とものづくりの教材とした。教員志望学生の理科実験に対する苦手意識をなくし、自信を持って実験に取り組めるようにすることが目的であった。化学的ピタゴラ装置とは化学反応を要素として取り入れ、複数の要素が連鎖して進行するカラクリ装置である。装置を計画製作する過程で、学生は自発的な実験の組立てを経験し、苦手意識を低減できた。装置の発表では子どもに見せて説明することを製作段階から意識させる工夫をした。また、装置を観察した子どもは不思議で面白かったと答えた。このようなアクティブラーニング実験を理科全てに共通して実施することを提案した。

研究成果の概要(英文)：Using the chemical PITAGORA machine as educational materials for science education and creativity.

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.

研究分野：化学教育

キーワード：ピタゴラ装置 楽しい理科実験 面白い理科実験 難しい理科実験 不思議な理科実験 実験動画

1. 研究開始当初の背景

本学入学者の特性は、高校理科の履修科目数が少ない、勉強習慣がない、将来に対する目的意識の欠如などが挙げられる。教員志望学生は教職・専門課程で知識・技術などを修練するが、そもそも実体験に乏しく、創造することはもとよりそれを想像することすらできない者も多い。そんな学生が教員となり、たくましいものづくり力を身につけ、子どもに体験させられるようにするためには、まず彼ら自身に面白いと思わせ、やってみようと思わせることが必要である。そこで、考えるスイッチにNHK「ピタゴラスイッチ」に登場する「ピタゴラ装置」を雛型とした連鎖装置を適用し、教員志望学生の意識改革を促す教材とすることにした。

2. 研究の目的

理科教員養成コースでは、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、通常のカリキュラムでは体験できない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。教員志望学生の理科実験に対する苦手意識をなくし、自信を持って実験に取り組めるようにすることを目的とした。

さらに、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、また実演観察過程での子どもに対する効果についても、アンケート調査をもとに検証した。子どもが「実験」と身構えずに楽しんで観察し、日常のひとつとして目の前の変化を捉えられることを目的とした。

3. 研究の方法

1) 装置の製作：理科教員免許取得希望の大学3年生のうち、装置製作の希望者でプロジェクトチームを結成し、製作活動を実施した。化学的ピタゴラ装置は「要素」と「つなぎ」から構成し、アクティブラーニングでの立案、要素、つなぎの作成、装置の組み立てを行った。要素には子どもの印象に残りやすい化学的および物理学的な反応を条件に、全員のプレゼンテーションにより候補を選定した。要素を提案した者が自発的にリーダーとなり、実験作成したい希望者で自由にグループを形成した。つなぎには要素から要素へ反応や運動を伝える役割を持たせた。予備実験を経て作成した複数の要素をつなぎで接続し、反応や運動が連鎖するよう調整を重ね、最終的にひとつの化学的ピタゴラ装置を製作した。

2) 装置の公開：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」に出展し、実演公開した。その実演を撮影、編集して動画を作成し、インターネット上で公開した。また2017年2月15日に本学科の卒業論文発表会においても実演公開した。

3) 教育効果の検証：プロジェクトメンバーに対する、装置の製作～公開の全過程を経験することでもたらされる効果をアンケート調査により評価した。また、装置を観察した子どもに対し実演前後アンケートを実施し、意見の変化から興味関心を持った点などを調査した。

4) 授業および卒業研究への展開：本装置の製作実演経験を展開させ、中学校の履修範囲において実験内容の工夫や意識改善を計画実践した模擬授業を実施した。さらに、これらの改善を考察する卒業研究を2件実施した。

4. 研究成果

1) 装置の製作：本装置に採用した要素・つなぎは以下①～⑧であり、番号順に接続し(Fig.1)化学的ピタゴラ装置を製作できた。提案された26要素から、実現可能かつ興味を引きそうな要素を選抜し、予備実験を経て装置に組み込める形に改良し、5ヶを要素として採用した。本装置では印象付けを最優先とし、想定する学年および既習未習の別を設けなかった。つなぎとして新たに3ヶを追加した。

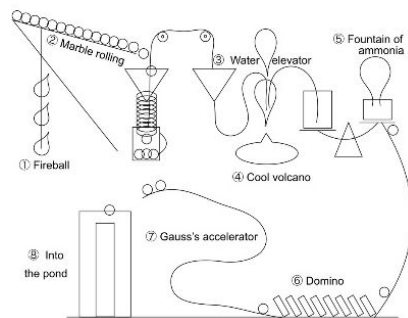


Fig.1 The outline of chemical PITAGORA machine.

- 火の玉信号 (化学的要素)
- ビー玉コロコロ (つなぎ)
- 水のエレベータ (つなぎ)
- クールボルケーノ (化学的要素)
- アンモニアの噴水 (化学的要素)
- ドミノ (つなぎ)
- ガウスの昇り竜 (物理学的要素)
- 池ポチャ (化学的要素)

各要素の実験は提案したグループが行ったため、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。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、理科実験を行う際の不安解消に繋がると考えられる。

2) 装置の公開：イベントでは司会進行役をおき、実演および解説を実施できた。来場者は小学生と幼児の家族が主であった。

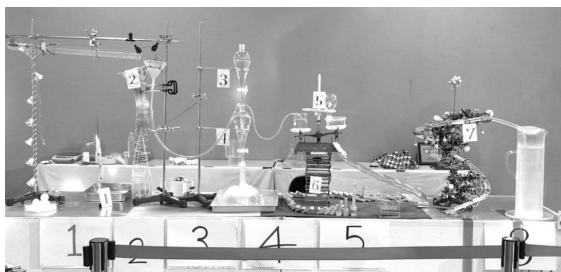


Fig.2 The chemical PITAGORA machine.

予告動画を流して告知し、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 (Fig.2)。実演後はすべての解説を行った。小学生でも理解しやすいように、手描きの解説図を用いて説明した。実演の成功率に関して、のスタートから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のの噴水がうまく反応したのは1回のみであった。そのため解説にはの噴水が成功した動画を用いた。成功すると大きな歓声が上がっていたが、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ことがわかった。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 (Fig.3)。解説の際、希望した子どもに保護者の承諾のもと要素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。

本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、大学ホームページと動画サイトに投稿した。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ことがわかった。



Fig.3 Demonstrating chemical PITAGORA machine.

また本学科での実演公開では、先のイベントから期間が開いており、かつ会場が異なるため、要素ごとに分解して運搬し、装置の再設置を行った。組み直したことによる不具合が見られた。出前授業などで運搬を想定していたが、この装置規模では困難であることがわかった。実演終了後は装置を解体し、実験器具に戻した。

3) 教育効果の検証：

3-1. プロジェクトメンバー12名に対し、アンケート調査を実施した。結果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獲得した状態であるはずが、プロジェクト後に実験に自信があると答えた学生は積極的に実験できていた少数(3/12)であり、多くは実験に自信がないと答えた(9/12)。「ピタゴラ経験が教員となった自分の役に立つか」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(6/11)、残りは実践的な経験に関する回答(5/11)であった。「ピタゴラ経験が教員志望学生にどんな効果を与えるか」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、「理科教員となりピタゴラ製作するとしたら」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、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。実験の提案時に学年・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。「ピタゴラ観察した子どもへの効果」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考察した。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、化学実験はスキーム提示型実験であり、順次物理学、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、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、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、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劣等意識やあきらめであり、知識や技能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の必要性が示唆された。つまり、カリキュラム内に実験の不安解消を目的とした理科共通AL実験を設ける必要があることがわかった。

そこでグルーピングの問題を考えた。本研究においては教員からグループ提示は行わず、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(1/12)。いずれにせよ、低意欲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るも、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。

3-2.装置を観察した小学生、中学生、高校生に対してイベント実演観察前後にアンケートを実施し、意見の変化を調査した。

Table 1 イベント被験者の概要(人数)

	小計	男	女	未回答
小学生	44	19	19	6
中学生	6	3	3	0
高校生	5	4	1	0
合計	55	26	23	-

Table 1 に示すようにアンケート回答数は合計 55 件であった。本来ターゲットとしたい中学生が少なかったため、人数の多かった小学生 44 件のうち有効回答 36 件を参考として考察に使用した。このアンケートを観点別にまとめ、以下に述べた。

観点1) ピタゴラ装置を観察して(以前より)理科が好きになったかに関して、実験を見る前後で理科好きレベルがどのように変化するかを考察した。実験前に理科が「(とても)好き」と答えたのは 72%であった。科学館に来る子どもはそもそも理科好きが多いと予想できる。実験後に好きレベルが上昇したのは 78%、変化なしは 20%であった。好きレベルが下降したのは 2%いたが「嫌い」まで転じた子どもはいなかった。好きレベルが上昇した理由は、楽しかった 40%、不思議だった 30%、びっくりした 20%、やってみたい 10%であり、難しそうはいなかった。「楽しかった」から「もっと好き」になったという意見が多かった。

観点2) 理科を好きになるきっかけに関して、製作者の予想として「不思議」に思うことが知的好奇心をくすぐると考えていたが、「不思議」は最多回答ではなかった。そこで、個別の要素に関して予想の果たす効果について、実験後の「ピタゴラ装置の の実験が(予想通り/予想と違って) (面白かった/つまらなかった)」の回答を考察した。「不思議」を重視したので、「予想と違って面白かった」が望む回答である。しかし、「予想と違って面白かった」は「予想通り面白かった」と同数であった。小学校低学年では「予想と違って」「予想通り」の区別がつかなかったようで、重複回答が複数あった。実験結果が予想通りかどうか、が理科好きレベル上昇に寄与する傾向は得られなかった。結局「面白かった」から「もっと好き」になったという、上述と相違ない結果となった。

観点3) 化学的ピタゴラ装置が理科離れの

解消につながるかに関して、実験前の「ピタゴラ装置を(自分で/先生と)つくってみたいか」と、実験後の「つくってみたいなくなったか」の変化を考察した。実験観察前後とも「つくりたい」と答えたのは全体の 89%であり、そのうち 84%は理科好きレベルが上昇した子どもであった。「つくりたくない」から「つくってみたい」に転じたのは 17%であった。一貫して「つくってみたいくない」は 14%おり、自分あるいは先生と作る際の現実的な難しさも伝えてしまったと考えられる。従来のピタゴラ装置はメインの仕掛けが一つ程度である。しかし、本装置はメインが複数あり見応えがある分、作るのに難しそうな印象を与え、「(難しそうだから)つくってみたいくない」を答えた子どもの感性は現実的であったといえる。従って、理科好きレベルが上昇しなかった子どもの 80%は一貫して「つくってみたいくない」であったことは納得できる。

さらに印象付けの面でも、メインばかりではない方が効果的である。プロジェクトチームの時間の制約と AL による精神的・肉体的負担の軽減にも、そのフォーマットが望ましい。つらい気持ちが増大すると、製作する学生にとっても理科離れの解消にはつながらなくなってしまう。まして子どもに応用するのであれば、ひとつの要素(実験)に対して見せ方の工夫を施すことや、そこに ICT 機器の活用を交えることなどのフォーマットが適当であろう。「つくってみたい」が理科離れの解消につながるかどうかは不明であったが、化学的ピタゴラ装置を観察して「楽しかった」から、理科が「もっと好き」になって「つくってみたい」と思った子どもが多数いたことは確認できた。

3-3. 教育効果のまとめ：実験とは現象を見せるだけでなく、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。教員志望学生はカリキュラム内で修得しきれない自主的な実験の組み立てを体験し、将来教員になってやってみようという自信をもって自由にできるようになった。アクティブラーニングの適切な活用を実現することで、教員志望学生に対してさらなる教育効果が得られることがわかった。

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。

4) 授業および卒業研究への展開

本装置のスケールを最適化し、1 要素での見せる実験づくりを実践展開した。現役中学理科教員にアンケートし、教科書の実験で難しいものや伝えにくいものを調査した。それらの内容を工夫して複数の単元の実験を改良し、模擬授業として実践した。改良するこ

とでわかりやすくなったところとそうでないところが明白となり、個々の器量やアイデアによるところも多く、一概に当てはめることができないことがわかった。また、改良するという視点で実験を見たときに、重要なポイントをつかむことが出来たり、理解を助ける補助教材を作成したり、と教材研究が深まることも明らかとなった。教員志望学生にとって大きな意義のある「教材」であることが証明された。

プロジェクトチーム 12 名中 7 名が 2018 年春より教員として活動を開始した。彼らに対して、本経験が役立っているかを追跡調査する予定である。また、上記の展開を今後も進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

中村美紗, 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」, 久留米工業大学研究報告(2017)85-90.

〔学会発表〕(計 4 件)

- 1) 中村美紗, 江島正太郎, 葉山ひより, 佐々木みゆ, 稲又翼, 理科×ものづくり教材: 化学的ピタゴラ装置の製作と教育効果の検証, 日本理科教育学会第 67 回全国大会(福岡)2017/8/5-6.
- 2) 江島正太郎, 葉山ひより, 佐々木みゆ, 稲又翼, 中村美紗, 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』, 日本理科教育学会第 67 回全国大会(福岡)2017/8/5-6.
- 3) 葉山ひより, 江島正太郎, 佐々木みゆ, 稲又翼, 中村美紗, 理科×ものづくり教材としてのピタゴラ装置, 第 123 回日本物理学会九州支部例会(鹿児島)2017/12/9.
- 4) 中村美紗, 志摩幸弥, 高倉つばさ, 理科×ものづくり教材: 化学的ピタゴラ装置の製作と教育効果の検証, 日本理科教育学会第 42 回九州支部大会(沖縄)2015/5/23.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

1)久留米工業大学公式 HP

<http://www.kurume-it.ac.jp>

2)YouTube 久留米工業大学公式アカウント

https://www.youtube.com/channel/UCgm48N0pFZ7_Q490auMvFSg

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 美紗 (NAKAMURA, Misa)

久留米工業大学工学部教育創造工学科・
准教授

研究者番号：00389420

(2)研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()