

令和 4 年 5 月 20 日現在

機関番号：22401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K01039

研究課題名（和文）科学折り紙を活用した課題解決型（PBL）実験の開発

研究課題名（英文）Development of experiments designed for Project-based Learning (PBL) by means of Science Origami

研究代表者

石原 正三（Ishihara, Shozo）

埼玉県立大学・保健医療福祉学部・教授

研究者番号：10290727

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究により、科学折り紙と呼ぶ折り紙教材を活用して、体性感覚（触覚）による実習体験から、立体物の幾何学的特徴である対称性（シンメトリー）の学習へと円滑に導く授業プログラムが提案されました。

開発した授業プログラムの有効性を検証するために作業仮説を設定して、対面授業を実施してデータを収集して作業仮説の検証を目指しましたが、新型コロナで重なる感染拡大のため、研究期間を2度延長しましたが、結局、対面授業によるデータ収集が実施できず、科学折り紙を活用した新たな授業プログラムを提案して研究を終了することとなりました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

左右両眼の網膜上の2次元情報を脳で加工して得られる視覚情報は、錯視のような曖昧さ（思い込み）を含んでいます。このため、視覚情報から対象物を立体として誤解なく認識することは本質的に困難なことといえます。本研究では、視覚情報の曖昧さを排除して立体概念を獲得するための導入として科学折り紙を活用することにより、体性感覚（触覚）を通して立体概念を体験的に獲得する可能性が示唆されました。

本研究の進展により、日本の伝統文化である折り紙の教育的価値が再評価され、幼児教育から成人教育に至る広範な領域で活用されることが期待されます。

研究成果の概要（英文）：Through this research, a lesson program that smoothly leads from practical experience by somatosensory (tactile sense) to learning of symmetry, which is a geometric feature of three-dimensional objects, has been proposed by utilizing Origami teaching materials called Science Origami.

I set a working hypothesis to verify the effectiveness of the developed lesson program, conducted face-to-face lessons, collected data, and aimed to verify the working hypothesis. Because of repeated spread of new coronavirus infection, I extended the period twice, but in the end, I could not collect data by face-to-face lessons, so I proposed a new lesson program introduced Science Origami and ended my research.

研究分野：科学教育

キーワード：科学折り紙 立体構造 体性感覚（触覚） 立体概念形成 ユニット折り紙 実験授業プログラム

1. 研究開始当初の背景

本研究の代表者は、1990年にスイス連邦州立ジュネーブ大学において結晶学の研究に従事した際、ユニット折り紙を活用して結晶構造や複雑な分子構造を多面体の骨格構造（スケルトン）を用いて表現する手法を考案しました。日本へ帰国後、結晶構造モデルと分子構造モデルの特許（特許第2790246号と特許第3668070号）を取得するとともに、その手法を科学折り紙と命名して、立体構造の理解を促進する教材の開発に取り組んできました。

1999年4月、埼玉県立大学の開学とともに保健医療福祉学部の一般・教養教育科目を担当して、物質の微視的立体構造に関する教材となる折り紙の立体構造モデルの制作を実施しました。また、2007年度教育課程改訂で「数理科学」の授業を新たに設置して、立体の特徴を表現する数学的方法である対称性（シンメトリー）を取り上げ、科学折り紙の手法を用いて五種類の正多面体の折り紙モデルを制作する実習を立体幾何学の導入として実施しました。

科学折り紙の制作実習の経験から、多くの学生が制作実習を通して立体幾何学への心理的拒否感（メンタルブロック）を解消するとともに、制作された折り紙作品はどれも個性豊かで、作品に対する制作者の満足感も感じ取れたことから、立体概念形成を目的とする新たな実験・実習プログラムの開発に取り組むことを思い立ちました。

2. 研究の目的

立体幾何学の学習は難しいとされているようです。これは、立体構造の教育は導入部から結論部に至るまでの各学習段階で図や写真などの視覚情報が主な教材となっているためではないでしょうか。人は立体物の視覚情報を左右の眼球の網膜上に受け取り、それを脳で合成加工して立体像と認識しています。しかし、脳で加工された立体像は検証されることなく、“To see is to believe.”（「見ることは信じること」）として認識されてしまいます。錯視という奇妙な現象は我々が無批判に視覚情報を受け入れていることを我々に気付かせてくれます。

本研究は、立体幾何学の導入段階から視覚情報を排除して、触覚（体性感覚）から得られる体験で構成された教材を開発するとともに、立体物から得られた体験を文章化して口頭で他者に伝達することを通して、立体物の特徴を表現する数学的幾何学情報である対称性（シンメトリー）の学修への動機づけを行う授業プログラムの開発を目的としています。

3. 研究の方法

3年間の研究期間を設定して、1年目に、教養教育科目「数理科学」の履修者を対象として、視覚情報を排除した触覚（体性感覚）情報のみの授業プログラムを開発し、ビデオ撮影による授業記録と学生が記載した授業ノートをデータとして授業プログラムの改善に取り組み、2年目に、作業仮説を設定して、最終的な授業プログラムを立案することを目指しました。

最終年度の3年目は、2年間の取り組みから立案された授業プログラムの最終案を実施して、作業仮説の検証を行うとともに、3年間に提出された科学折り紙制作実習の報告書と、成績評価のために実施した口頭試問の結果に基づき、本研究の最終的な成果を取りまとめるとともに、本研究の評価を予定していました。しかし、数理科学の履修者が1名であったため、触覚（体性感覚）による立体幾何学導入のための授業プログラムを実施できず、研究成果の取りまとめにはデータが不足すると判断して、研究期間を1年延長しました。

研究期間を延長した後、新型コロナウイルスの感染拡大が繰り返し発生したため、遠隔地Web授業で実施せざるを得なくなり、予定していた対面授業による検証は諦めざるを得ませんでした。再度、期間延長を行いました。新型コロナウイルスの感染拡大が治まらず、結局、本研究は2回の延長を経て、通算、5年の研究期間となりましたが、本研究は作業仮説を設定した段階で中止することとなりました。

4. 研究成果

本研究において開発した授業プログラムでは、第1回のオリエンテーションとガイダンスに続き、第2回の授業で目隠しをして立体物を触り、その手触りから感じた立体物の情報をノートに記述する、クイズ的な実習を実施しました。立体物として最初に触るものは、固有名詞で記述できるもの、例えば、鉛筆やコーヒークップやソフトボール等として、次に、再び目隠しをして、幾何学的な立体、例えば、木で作られた正多面体模型（販売元：イメージミッション木鏡社）、ボールと棒で組み立てるHGS分子構造模型（丸善出版）で作った正多面体、およびポリドロン（販売元：東京書籍）の正多面体を触り、得られた情報をノートに記録してもらいました。最初に触った立体物は固有名詞さえ記録すればよいのですが、2度目に触った立体物を記述することが困難であることを学生は体験します。単純な立体の場合は面の形状や頂点の数を記録しますが、正十二面体や正二十面体のような複雑な立体はどのように記述すべきか分からず、文章にできないことに気が付きます。そこで隣の学生にメモを渡して、互いに隣の学生が触ったものが何であったかを当てるゲームを行ってもらい、構造が単純な立体、例えば、正四面体を触った学生は比較的簡単に立体の形状の特徴を相手に伝えますが、複雑な立体を触った場合は本人も

隣の学生も、何を言えばよいのか、何を聞けばよいのか分からず、会話が途切れてしまうのです。一方、単純な立体を触った学生は、面の多角形や辺の数などを質問することで、相手の触った立体を探ろうとする場面が見られました。また、正多面体の他に、複数の多角形を含む準正多面体を混ぜることで、正多面体はすべての面が同じ正多角形で囲まれていることに気付き、他に同じ性質はないかと探り始めて、頂点に集まる辺の数が同じであることを発見した学生も現れました。その他、色々な発見を経験することで立体を特徴づけるための疑問が湧きあがり、講義の中でそれを解決するという基本的な授業形態が定着しました。

第3回の授業では、5種類の正多面体の骨格構造（スケルトン）の折り紙モデルの制作実習を立体幾何学の導入教材として活用しました。（図1 参照）ここで、正八面体のスケルトンはユニットの異なる2種類の組み立て方があるため、6個の折り紙モデルが示されています。白色の折り紙で制作したスケルトンは、多面体の一边の長さが等しくなるように設計した長方形の折り紙で制作されており、正十二面体が最も大きいことがすぐに分かります。また、5種類の正多面体のスケルトンを制作する実習は、科学折り紙の基本的な制作方法を繰り返し練習するための良い機会として、科学折り紙でオリジナル作品を制作する必修課題に対する心理的障壁を低くする重要な実習となっています。

第4回と第5回の授業では、正多面体のスケルトンの制作実習を通して科学折り紙の制作手法を身に付け、各自オリジナルな折り紙作品の制作計画を立案することを開始します。この間、学生の実作活動の進捗状況を確認しながら個別指導を行って、進行状況をそろえることとしています。また、作品制作に必要な折り紙の大きさや色、および枚数を記録させ、電動カッターの使用法を個別に指導して、安全を確保しながら必要な折り紙のカッティングを開始します。

第6回から第12回までの授業で各自の作品制作を行うとともに、対称性（シンメトリー）に関する講義を30分程度行い、立体幾何学の基礎知識の獲得と高次元幾何学へのオリエンテーションを行います。

第13回から第15回までの授業に基づき成績評価を行います。第13回と第14回は、各自が制作したオリジナル作品のプレゼンテーションと立体幾何学に関する口頭試問を実施します。プレゼンテーションではオリジナル作品の構造を説明して作品名を発表し、他の学生から指摘された改善点を参考にして、本番に向けた改善を行います。口頭試問は、クジを引いて課題を決め、3分程度の発表に対して、その場で4段階（Very Good, Good, fair, Poor）の評価を受けます。最後の第15回で報告書を提出して、最終的な評価が決定します。

2年間の授業実践に基づいて上記の15回の授業プログラムを立案し、「視覚情報を排除して、触覚（体性感覚）を活用した科学折り紙の制作実習を導入することで、立体幾何学に対する心理的障壁が低下する。」という作業仮説が得られました。

新型コロナウイルスの感染拡大により、作業仮説を検証するための研究活動が中断してしまい、本研究の成果は作業仮説の鼎立で中断することになりました。

本研究の成果の一部として、学生が制作したオリジナル作品の基礎資料として報告書に記載された作品データを図2に、特に、優秀な科学折り紙の作品を図3と図4に示します。

今後、機会があれば本研究の成果に基づいて作業仮説を検証することを希望するとともに、より広い領域で活用されるよう、科学折り紙の普及に努めたいと考えています。



図1 5種類の正多面体の折り紙モデル

2021年度 第54回 (47) 101

科学折り紙の制作実習に使用した折り紙の大きさや色、および、枚数を下記の表に表とめてください。

折り紙の大きさ	色	枚数
1294.43 × 1294.43 [mm] × 40 [mm]	ペーパージュ	90枚
[mm] × [mm]		枚
[mm] × [mm]		枚
[mm] × [mm]		枚
[mm] × [mm]		枚

あなたが制作した科学折り紙作品の構造とその作品名を記入してください。

構造名: 双五角丸塔反柱

作品名: 花さび

<作品の写真> 下の枠内に、あなたが制作した作品の写真を追加してください。

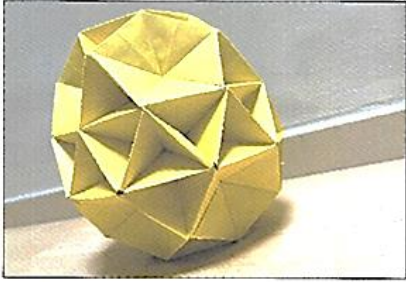


図2 報告書の作品データ

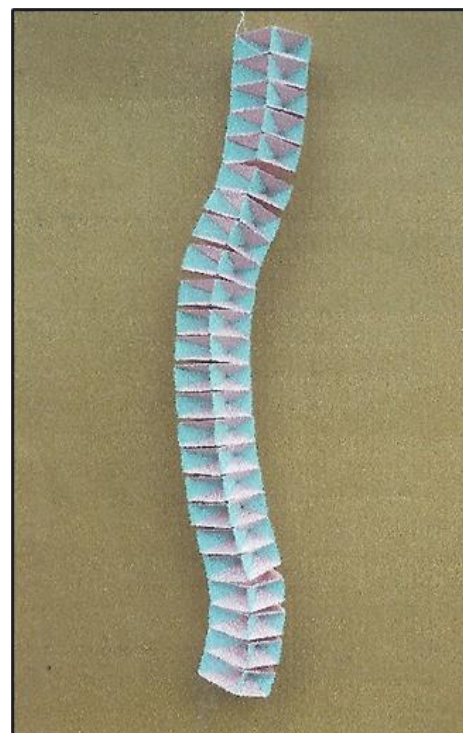


図3 五角柱(24個): 脊柱の折り紙モデル
作品名:「年末年始の思い出」

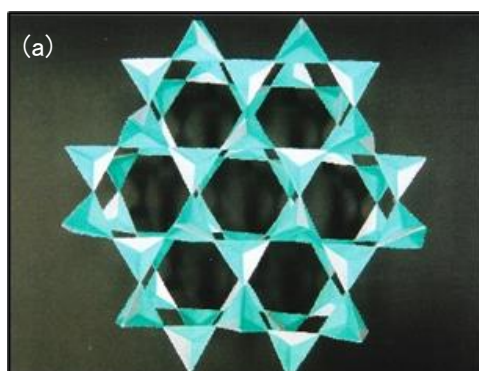


図4 氷の Ih 結晶構造の折り紙モデル:(a) 六角形面, (b) 別角度から
作品名:「唯一のもの」

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shozo Ishihara	4. 巻 1-4
2. 論文標題 Science Origami in the Classroom: Original Origami-models made by Students taking a Course in Mathematical Science	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Symmetry: Art and Science, The Journal of the International Science for the Interdisciplinary Study of Symmetry	6. 最初と最後の頁 126, 129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 石原正三
2. 発表標題 立体概念の形成を支援する科学折り紙教材 , アクティブタッ チを用いた立体概念の導入
3. 学会等名 第89回形の科学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shozo Ishihara
2. 発表標題 Science Origami in the Classroom: Original Origami-models made by Students taking a Course in Mathematical Science
3. 学会等名 11th International Congress and Exhibition - Symmetry: Art and Science, Kanazawa, Japan, November 25-30, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石原正三
2. 発表標題 立体概念の形成を支援する科学折り紙教材 , アクティブラーニングのための折り紙モデル
3. 学会等名 第88回形の科学シンポジウム（於：埼玉工業大学）
4. 発表年 2019年

1．発表者名 石原正三
2．発表標題 立体概念の形成を支援する科学折り紙教材　，折り紙モデルとアクティブラーニング
3．学会等名 第 8 7 回形の科学シンポジウム（於：東京慈恵会医科大学）
4．発表年 2019年

1．発表者名 石原 正三
2．発表標題 立体概念の形成を支援する科学折り紙教材　．体性感覚（触覚）を活用した立体概念形成の試み
3．学会等名 第85回形の科学シンポジウム（形の科学会主催；於：東北大学）
4．発表年 2018年

1．発表者名 石原 正三
2．発表標題 学習段階に対応した科学折り紙の利用法
3．学会等名 第86回形の科学シンポジウム（形の科学会主催；於：千葉大学）
4．発表年 2018年

1．発表者名 石原正三
2．発表標題 Paul Schatz 立体の折り紙モデル　- 鏡像体の立体構造モデルを表現する科学折り紙 -
3．学会等名 第 8 3 回形の科学シンポジウム（於：金沢工業大学）
4．発表年 2017年

1. 発表者名 石原正三
2. 発表標題 Modelling of Three-dimensional Chiral Structures by means of Science Origami
3. 学会等名 鏡像体に関する国際会議：Chirality 2017, ISCD-29（於：早稲田大学）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石原正三
2. 発表標題 立体概念の形成を支援する科学折り紙教材　　. 教養科目「数理科学」での取り組み
3. 学会等名 第84回形の科学シンポジウム（於：長崎大学）
4. 発表年 2017年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------