

現実問題を解決する力を向上させるための オリガミクスを用いたものづくりSTEAM教材の開発

Development of STEAM Teaching Materials for Manufacturing Using “Origamics” to Improve the Ability to Solve Real-World Problems

葛城 元*・黒田 恭史**・下郡 啓夫***・井場 恒介****

大阪教育大学教育学部*・京都教育大学教育学部**・函館工業高等専門学校***・大阪教育大学附属池田中学校****

筆者らが専門とする数学教育では、科学、テクノロジー、アートと数学の融合が試みられてきた。本稿で取り上げる「オリガミクス (ORIGAMICS)」は、折り紙と学問を融合させた造語であり、エンジニアリングの観点からも研究されてきた。学習者がオリガミクスを用いたものづくりをするためには、STEAMの領域間の融合を図りながら適切な順序で学習することが重要であると考えられる。本研究では、現実問題を解決する力の向上を目指して、オリガミクスを用いたものづくりSTEAM教材を開発した。

キーワード：オリガミクス、ものづくり、STEAM教育、教材開発

1. はじめに

現実的な問題を解決するためには、教科間での知識や技能を統合し、実際に活用する能力が求められている。この能力を育成するには、従来の教科教育に加えて、STEAM教育を重視する必要がある（文部科学省, 2021）。筆者らは数学教育を専門としており、これまでの数学的モデリング（松宮・柳本, 1995）やICTを活用した数学教育（守屋, 1993）の研究では、主に科学（S）やテクノロジー（T）と数学（M）の融合が行われてきた。これらの授業では、現実事象を題材に理数系を中心とした探究が進められてきた。その成果を学習者個々の目標達成や現実社会に活用するには、エンジニアリング（E）による機能性や実用性と、アート（A）によるデザインや感性を両立させるSTEAM教育が重要であると考えられる。

このような背景を踏まえ、本稿では、STEAMの領域間を融合する「オリガミクス (ORIGAMICS)」に着目する。オリガミクスは、日本の折り紙文化としてのアートを起源に持ち、数学や科学と融合することで、“ORIGAMI”に学問を表す語尾“ICS”を加えた日本発の造語である（芳賀, 1996）。また、現在はオリガミクスとエンジニアリングを融合した「折紙工学」の研究も進展しており、テクノロジーを活用した実用性の高い製品（野島・萩原, 2012）や、精巧で美しい折り紙作品（三谷, 2009）も数多く生み出されている。

オリガミクスとSTEM教育に関連する研究として、葛城・黒田（2019）は、折り紙で作った船の構造を理数系の視点から探究する教材を開発した。この教材では、紙を折る実験や観察を通じて、折り線やパターンを見つけ出し、それを図形化・数式化する。これらの結果はICT機器を用いて視覚化し、実際の折り紙の形状と対応を確認できる。このプロセスには、一定の条件を設定した環境で課題の最適解を導く収束思考が組み込まれている。さらに、この収束思考をもとにものづくりを導入すれば、多様な視点から思考する拡散思考に転換する可能性がある。例えば、折り紙は図形のパターンで構成されており、その変更や修正を通じてアートの視点に切り替えることができる。また、アートの視点から製作された折り紙は、バランスや耐久性といったエンジニアリングの視点にも転換できる自由度も備えている。これらの視点の転換を繰り返し経験することで、学習者は現実的な問題に対してSTEAMの知識や技能を統合し、活用する力を育むことができると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、現実的な問題を解決する力の向上を目指して、オリガミクスを用いたものづくりSTEAM教材を開発することである。以降では、STEAM教育の構成を述べ（第3章）、身の回りにある紙容器を題材にして教材を開発する（第4章）。

3. STEAM 教育の構成

これまでに、STEAM教育の理論や実践について様々な検討がなされてきた。齊藤（2016）は、学習者がSTEMの各領域を融合するために、「T→S/M→E」の順で教材を開発する方法を提案した。その中では、STEM（あるいはものづくり）の実践時に、SとMが軽視されがちであると指摘している。SとMの意義を理解するためには、TやEの関連を考慮する必要があると考えられる。また、辻合・長谷川（2020）は、「収束思考のSTEM」による「合理的な答え」と、「拡散思考のA」による「成果」が結びつくことで、イノベーションが生まれると述べている。そのためには、学習者がSTEMとAの視点を認識できる教育的アプローチが必要であると考えられる。

これらの先行研究を踏まえ、オリガミクスを用いたものづくりによるSTEAM教育の構成を図1に示す。本研究におけるSTEAMの各要素は、エンジニアリング（E）を実用的な設計と製作、アート（A）をアイデアや感性の表現、科学（S）を法則性の探究、数学（M）を数学的思考の活用、テクノロジー（T）を道具の使用や応用と定義する。道具としては、折り紙やICT機器などが含まれる。

図1では、まず「T・E」において、ものの製作を体験することが行われる。次に「S・E」において、ものの要素や構造の探究が進められ、この過程では「M」や「T」が活用される。このプロセスでは収束思考が働く。続いて「A」では、もののデザインや感性の追求が行われ、ここでも「M」や「T」が活用される。このプロセスでは拡散思考が働く。さらに、「S・E」と「A」の間を、オリガミクスやICT機器による「M」と「T」が橋渡しし、STEAMの各領域が融合される。このプロセスを繰り返すことで、イノベーションが生まれると考えられる。

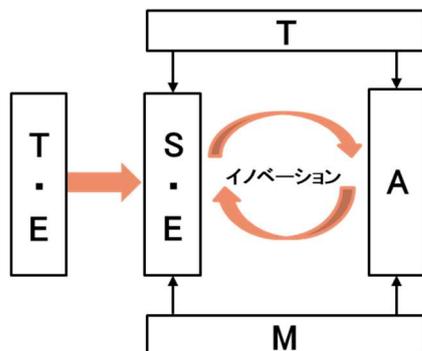


図1：本研究におけるSTEAM教育の構成図

4. オリガミクスを用いたものづくり STEAM 教材の開発

4.1. 教材の題材

環境を配慮した食品容器の一つとして、「紙容器」が挙げられる。紙容器は廃棄時に減容化ができ、リサイクル率も高いことが知られている。また、「プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律について（経済産業省、2022）」では、プラスチック以外の代替素材の使用が推奨されている。

そこで、今後は紙容器の利用範囲をさらに拡大することが重要であると考え、オリガミクスを用いたものづくりSTEAM教材を開発することにした。図2は、筆者らが実際に製作した紙容器のサンプルとその設計図である。紙容器を完成させるには、縁を切り取り山折りと谷折りを組み合わせて、図2上部のように形を整える。紙容器の構成は、図2下部の設計図のように、底面を正方形、側面を等脚台形、つぎしろを二等辺三角形とした。

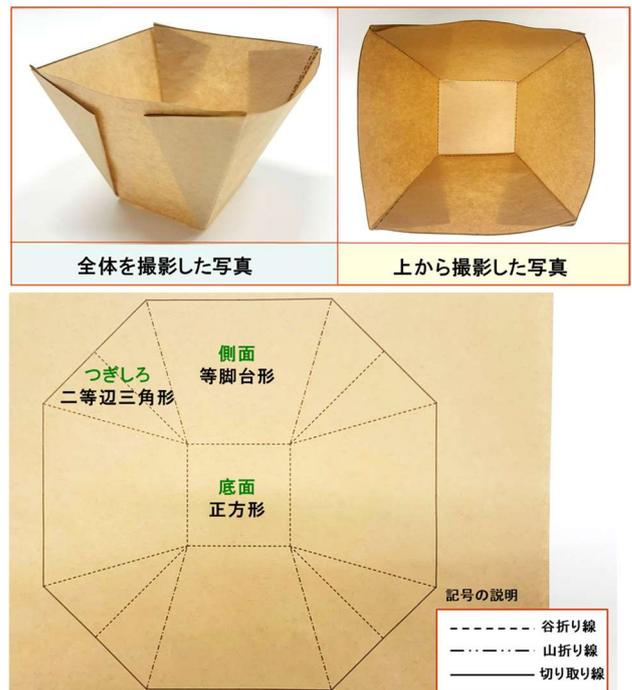


図2：紙容器のサンプルとその設計図

4.2. 教材の特徴

ここでは、イノベーションを生む際に重要であると考えられる「ものの要素や構造の探究（S・E、T、M）」と「もののデザインや感性の追求（S・E、T、A、M）」をもとに、本教材の特徴を整理する。

4.2.1. ものの要素や構造の探究

まずは、紙容器を手に取り、様々な角度から観察することで、その形状や機能を大まかに把握する。次に、実物で把握できない部分を理解するために、図3上部のように、紙容器を構成している要素を幾何学的に表現する図形化を行う。この図形をもとに、設計図の仮定として正の実数 a, b, c ($a < b$) を用いて、図3下部のように、紙容器の高さや体積を数式化する。この過程では、紙容器の折り方や各折り目の役割を再確認しながら取り組むことができる。さらに、様々な方法で数学の解法を検証することも可能である。例えば、三角法や解析幾何などの異なる手法を用いて同じ結果が得られるかを確認できる。また、実際に紙容器を作成し、理論的に導き出した寸法や体積が期待通りかどうかを確かめることで、解法の正確性を検証できる。

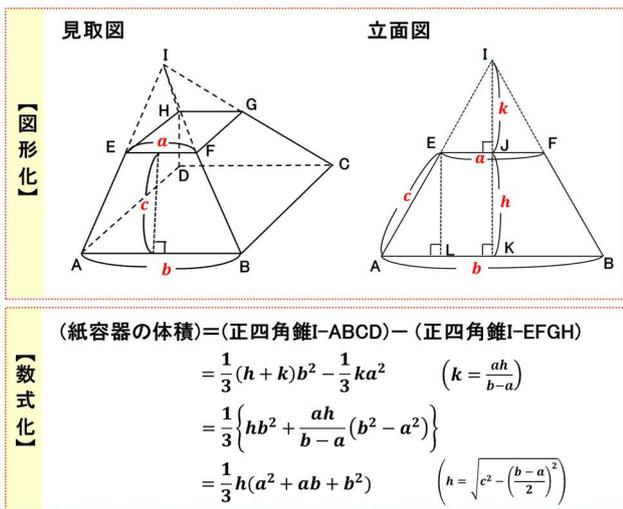


図3：紙容器の図形化と数式化

設計図内の図形(要素)やこれらの関係性を数式化できれば、動的幾何学ソフトウェア「GeoGebra」を使用して、図4のように設計図を描画することができる。GeoGebraでは、設計図の辺の長さや角度を自在に変更できるため、瞬時に様々な形状の設計図を生成することが可能である。 a, b, c を変化させて、紙容器の寸法、底面と側面の関係、体積の関係など視覚的に確認することで、紙容器の構造や法則を深く捉えることが可能になる。さらに、設計図を紙に印刷して実際に製作することで、実物での観察も行える。いくつかの紙容器を製作し、比較・検討することで、紙容器のバランスや耐久性など、エンジニアリングの視点から考察しやすくなる。

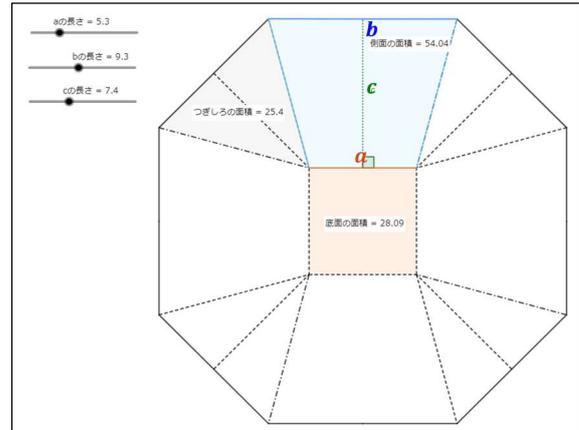


図4：GeoGebraを用いた設計図の観察

4.2.2. もののデザインや感性の追求

アートの視点に転換する例としては、図5に示すように、紙容器を構成している図形を変更することが挙げられる。例1では、側面の図形を平行四辺形に変えることで、紙容器の設計図に非対称性を持たせた。ここでは、視覚的な興味や新鮮さが見た目の美しさに結びつく感性が働いている。また、側面の紙同士が重なり合うため、図2の紙容器よりも上方向からの荷重に対する耐久性が向上している。例2では、底面に対称性を持つ正六角形を採用することで、美しいパターンを形成した。また、同じサイズの紙容器を隙間なく配置することができるため、面積を効率的にカバーするのに適している。このように、アートの視点から捉えつつも、エンジニアリングの視点からの考察も可能である。

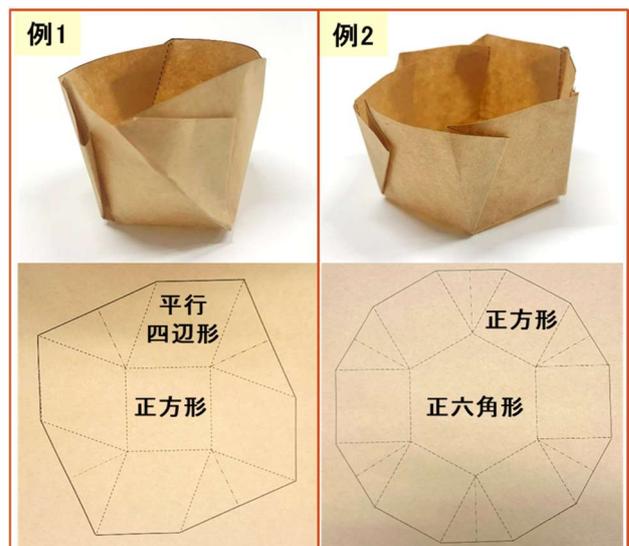


図5：紙容器の例

4.3. 教材を用いた学習活動の例

教材を用いた学習活動の例について検討した結果を、表1にまとめた。

学習段階は、吉川（2002）のものづくりの行動形態を参考にし、2つの段階に設定した。第1段階「紙容器の作り方を学ぼう」では、ものづくりの製作体験や、ものの要素や構造を探究する学習活動を設定した。第2段階「より良い紙容器を作ろう」では、学習者がより良い紙容器の追究を目標に、これまでの学習成果を応用できる学習活動を設定した。STEAMの視点については、学習への動機付けやものづくり活動の促進を図るために、各段階の最初と最後の学習活動にエンジニアリング（E）やアート（A）を配置した。そして、理数系の探究活動を充実させるために、その間に科学（S）、テクノロジー（T）、数学（M）を配置した。

表1：教材を用いた学習活動の例

学習段階	学習活動	STEAMの視点
紙容器の作り方を学ぼう	身の回りの食品容器について知る。	E, A
	紙容器を試作する。	T
	紙容器の寸法と体積を求める。	S, M
	GeoGebra を使って、紙容器や設計図を観察する。	S, T, M
	紙容器について分かったことや気になる点をまとめる。	E, A
より良い紙容器を作ろう	ここまでの学習と紙容器について調べたことを踏まえ、製作のアイデアを考案する。	E, A
	紙容器の設計図を作成し、実際に形にする。	S, T, M
	紙容器を構成している要素や構造を説明する。	S, M
	紙容器の特徴やその良さについてまとめる。	E, A

5. まとめ

本研究では、現実的な問題を解決する力の向上を目指して、オリガミクスを用いたものづくりSTEAM教材を開発した。本教材の特徴を集約すると、以下の3点である。

- (1) ものの構造や法則を理数系の視点から探究する学習活動を充実させたこと。
- (2) ものづくりでは、エンジニアリングとアートの

視点を自由度高く転換できること。

- (3) 日本の伝統文化である折り紙を、STEAMの視点から捉え、現代に応用していること。

今後の課題は、中・高等学校を対象に教育実践を行い、本教材の有効性を検証することである。

付記

本研究は、JSPS科研費 JP24K06015の助成を受けたものである。

参考文献

- 芳賀和夫（1996）. オリガミクスによる数学授業, 明治図書, 東京.
- 葛城元・黒田恭史（2019）. 数学的探究の習得を目指したオリガミクスによる数学教材の開発 — 船の荷物積載を題材として —, 数学教育学会誌, 60, 3・4, 111-120.
- 経済産業省（2022）. プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律について, <https://plastic-circulation.env.go.jp/wp-content/themes/plastic/assets/pdf/setsumeiryoyou.pdf> (2024年8月31日現在) .
- 松宮哲夫・柳本哲編著（1995）. 総合学習の実践と展開 — 現実性をもつ課題から —, 明治図書, 東京.
- 三谷純（2009）. ふしぎな球体・立体折り紙, 二見書房, 東京.
- 文部科学省（2021）. STEAM教育等の教科等横断的な学習の推進について, https://www.mext.go.jp/content/20240401-mxt_kyouiku01-000016477.pdf (2024年8月31日現在) .
- 守屋誠司（1993）. 情報化社会に対応した教育内容の研究, 数学教育学会研究紀要, 34, 3・4, 15-36.
- 野島武敏・萩原一郎編著；日本応用数理学会監修（2012）. 折紙の数理とその応用. 共立出版, 東京.
- 齊藤智樹（2016）. STEM教育の理論とそこへつながる統合的アプローチに関する歴史的研究, 静岡STEMジュニアプロジェクト 次世代科学者育成プログラム 平成28年度報告書, 35-44.
- 辻合華子・長谷川春生（2020）. STAEM教育における“A”の概念について, 科学教育研究, 44, 2, 93-103.
- 吉川昌範（2002）. モノづくり教育について —ものづくり大学を例にして—, 精密工学会誌, 68, 1, 11-16.