

Learning by designモデルを用いて数学の役割を明確化すること を目指したSTEAM教育の開発と実践 —卵パックの製作を題材として—

Development and Implementation of STEAM Education Aimed at Clarifying the Role of Mathematics
Using the Learning by Design Model.
: On the Subject of Egg Carton Production

石田 歩夢

神戸大学大学院人間発達環境学研究所

大谷（2021）などは今の社会におけるSTEAM教育の重要視を述べている一方でSTEAM各教科の内容理解に関する議論は少なく、二宮（2017）はSTEMにおいて数学の内容的側面が位置づいていないことを指摘している。そこで本研究では理論枠組みとしてコロドナー（Kolodner）発案のLearning by design モデルを取り入れることで、数学の知識が創られたり深まったりすることが位置づけられているSTEAM教育を構築・実践し、その効果を検証する。

キーワード：STEM 教育、STEAM 教育、Learning by design モデル

1. はじめに—本研究の目的と方法

1.1. 研究の背景

AIやロボットといった先端技術の急速な発達に伴い急激に変わる社会の変化に対応して社会の様々な課題を教科横断的に考え対応することのできる人材の育成が求められているという背景から、STEM教育およびSTEAM教育に対して世界的に注目が高まっている。STEM教育とは科学、技術、工学、数学の知識やスキルを現実の文脈で統合的に扱うことで、子どもたちが科学技術社会を生きていくために必要な資質能力を育成することを目指す教育である。一方でSTEAM教育は統合型STEM教育にArts（芸術）の要素を加えたものとしてヤークマン（Yakman）により提唱された。

1.2. 研究目的

STEM教育の各教科の統合に関してはいくつかの問題点が指摘されている。竹内（2018）はSTEM教育の多くが活動の中で知識やスキルを利用することに重点が置かれており、知識やスキルが創られていくような活動を学習として位置づける必要性を述べている。またSTEM教育においては数学が重要な役割を持つものとして数学教育の立場からSTEM教育へのアプローチが研究され始めているが、川上ら

（2021）は数学と他教科のカリキュラムとの関連付け不足やSTEM教育を志向した数学教材の不足などを述べており、二宮（2017）は数学の内容的側面がSTEM教育に位置づいているかについて非常に疑問しいとしSTEMにおいて数学が単なる道具に過ぎないという課題を投げかけている。本研究ではSTEAM教育において各教科の内容理解が重要であるにも関わらず、数学の知識が創られたり深まったりすることが位置づけられているSTEAM教育に関する議論がないことを課題として捉え、そのようなSTEAM教育を構築する上で基盤となる理論について検討した後、STEAM教育教材を開発・実践しその効果を検証することを本研究の目的とする。また本研究における理論枠組みとして、コロドナー（Kolodner）発案のLearning by designモデル（以下LBDモデル）を取り入れる。（図1）



図1：Learning by designモデル（コロドナー（Kolodner et al.）2003をもとに大谷らが加筆2020）

2. STEAM 教育と Learning by design モデル

2.1. STEAM 教育について

STEAM教育について、LBDモデルを用いることで各教科を統合しながらそれらを実社会での課題解決と結びつけるといった学習を本研究では想定しているため、「実社会での課題を扱うこと」と「S, T, E, A, M各教科の統合」をSTEAM教育において特に重要な点として取り入れたい。そのためSTEAM教育を「実社会の課題を取り扱うことによってS, T, E, A, Mの各領域を統合する学習デザイン」であると定義する。STEAM育における各教科の役割について、山崎(2020)がS,T,E,A,Mのすべての教科について言及してまとめているためそれを中心とし、他の先行研究も補足的に参考としながら整理し以下のように設定した。

①科学

STEAM教育における科学の役割は「対象としての自然科学」と「科学的思考」の両方を含むものである。

②技術

本研究では技術の役割について「問題解決や価値創造のため生み出された人工の事物や情報システムの活用」という点を取り上げる。

③工学

STEAM教育における工学を「社会的な課題解決のために技術、数学、科学、芸術等を活用してデザイン、組み立て、テストを繰り返す収束的な思考やプロセスである」と捉える。

④芸術

一つの解決策を目指す傾向(収束思考)にあるSTEM教育に、Artsの見方(個人個人で異なる解決策を模索する傾向、すなわち拡散思考)を加え、多面的見方を促す役割。

⑤数学

川上ら2021の「STEM教育へのアプローチ」が挙げている3つのうち、特に3つ目のアプローチである「数学的・統計的な概念の理解を促進することを目指すSTEAM教育」を重視して考える。数学の役割としては数学的知識やデータを活用した問題解決となる。

2.1. Learning by design モデルと研究仮説

LBDモデルは創造的活動(Design/Redesign)と探究的活動(Investigate&Explore)のそれぞれのプロ

セスが独立して存在し、創造的活動から探究的活動への移行が「Need to do」の矢印で、逆の移行が「Need to know」の矢印で示されている。これは性質の異なるそれぞれの活動プロセスを明示し、それらを架橋しているという点において、統合度の高いSTEM教育における学習者の学びのプロセスを可視化するための理論枠組みとして有効であると述べられている(木村ら2020)。胸組(2019)はLearning by designがSTEM分野の授業に適用されると、STEM分野とDesignというArtsに関わる分野が文脈統合されSTEAMになるとも見えると述べており、STEAM教育においてもLBDモデルを取り入れて実践を行うことが可能であると考えられる。探究サイクルを回す途中で、課題を解決する際に必要となる要素(数値、データあるいは実験結果等)に関して科学・数学等を用いて深く探究する必要があることが考えられる(Need to know)。問題解決のために必要なデータや知識を自分で実験や調査をすることによって得なければならないとなると、児童生徒はその調査結果を得るために探究サイクルを何度か回すことになる。そしてそこで得られた知識やデータを用いて再びデザインしなおす必要がある(Need to do)。このように探究サイクルとデザインサイクルをそれぞれ回しながら何度も行き来することによってより質の高い成果物を作ることができる。以上のような流れを想定することで「デザインするための探究」において数学を使った探究を探究サイクルの過程に取り入れることが可能である。よって本研究教材開発の理論的枠組みとしてLBDモデルを採用し、そのモデルを用いることで数学の内容理解を位置付けたSTEAM教育を構築することができるだろうと仮説を立て研究を進めていく。

3. 数学の役割に着目した STEAM 教育の構想と実践

3.1. 教材としての卵パック製作

数学を核としたSTEAM教育教材を開発するにあたって、教材として卵パックの製作を取り上げる。「横からの衝撃や落下の衝撃などを吸収できず割れてしまうことがある」という卵パックの持つ潜在的、実用的な課題の解決に向けた活動プロセスを小学校段階の児童のレベルに合わせて設定することができ、その課題解決に向けてSTEAM各要素(特にM)を含んだLBDモデルを適用できるからである。

「割れにくい卵パックの開発」が本授業の最終目標であり、その目標を達成するために製品をデザインしたり、卵を包む構造を丈夫にするため探究を通して図形に関する知識を得たり深めたりする。

STEAM各教科との関連としてはデザインサイクルにおいて社会課題のためにDesign→Built→Testプロセスを通してデザインするという点が工学の考え方をを用いており、ハサミやテープといった道具を用いてもものづくりを通して問題解決を図る点が技術の考え方をを用いており、実際に卵を入れる容器としてのデザインや商品としての見た目や利便性を考慮するとデザインやアートの思考(拡散的思考)、すなわち芸術の要素が必要となる。そして立体の剛性や強度、衝撃吸収性については自然界に存在するトラス構造やハニカム構造など力学的視点を用いた構造を参考にすることができる点で科学の要素を取り入れることができる。

以上を踏まえ、LBDモデルを用いたSTEAM教育の授業の流れを以下のように構築した。

- | |
|--|
| <p>①全体課題の提示
教室全体で「割れにくい卵パックを開発する」という具体的な課題を共有する。デザインサイクルの最初の課題となる。</p> <p>②実験用モデルの製作
課題解決に向けてどの構造が丈夫であるか検証するため、探究サイクルを回していく。検証に使う基本モデルとなる立体の設計と製作である。</p> <p>③探究の実施
製作したモデルの強度(耐久性)を検証する。その結果となるデータを集めて記録し、分析する。</p> <p>④モデルの変更、修正
③の結果や分析を受けて、別のモデルを製作し実験することを繰り返す。それぞれのデータを比較し、どのような構造や図形が課題解決に向けて最もふさわしいか検討していく。</p> <p>⑤製品のデザイン
探究サイクルの結果を受けて、それを製品デザインに活用する。実際の卵の大きさや形などを考慮し、割れにくい卵パックを設計し製作する。</p> <p>⑥製品の試験
製作した製品の使い勝手や耐久性などを試験し、割れにくい卵パックとなっているか確かめる。結果を踏まえてまた新たに修正を加えていく。</p> <p>⑦発表・共有
達成できた課題、できなかった課題、どのように達成したか、取り組む中で何がわかったかなどを発表し、教室全体で共有する。</p> |
|--|

図2：LBDモデルを用いたSTEAM教育授業の流れ

3.2. 授業実践と結果・考察

STEAM教育教材を用いた授業を小学6年生に対して行い、児童の活動の様子をLBDモデルに当てはめて整理・分析する。クラスをA、B、Cの3つのグループに分けて実践を行った。

今回の授業ではデザイン、探究サイクルのそれぞれにおいて上位、中位、下位と課題がつながる階層性が見られた。これらの課題の関係を表すため、それぞれのサイクルにおいて最も大元となる課題、例えばデザインサイクルにおいては「割れにくい卵パックを製作すること」を「上位課題」と設定し、その課題を解決する中で出てきた新たな課題を「中位課題」、さらにその下の課題を「下位課題」と設定する。AグループとBグループの活動では上位課題、中位課題、下位課題へとつながる階層性をもって各サイクルがつながっており、下位課題から順に取り組むことで上位課題の解決が見込めることがわかった。また探究・サイクルそれぞれは得られた結果の分析をもとに仮説や計画を立て直すことを通してさらにサイクルを繰り返す循環を生じさせることが可能だということ、そしてNeed to know, Need to doの矢印をもってつなげることがわかった。ただし異なるグループ間で同じ上位課題を設定していたとしてもそこから生じる仮説や計画は必ずしも同じではなく、それに伴い中位課題や下位課題の内容もグループごとによって異なる場合が多いだろうと考えられる。そのため児童が取り組む数学的課題やそこから得られる数学的知識や理解もグループによって異なることがグループによる違いとして挙げるができる。

次に各教科との関連を述べる。技術との関連ではものづくりを通して学ぶという基本的な構造をどのグループも実践できていた。工学との関連では、LBDモデルを通してDesign→Built→Testの問題解決の流れを踏まえることができていた。芸術との関連では、デザインサイクルで創られた製作物は単一の図形をそのまま用いられたものは少なく、いくつかの図形を合体させたり変形させたりとそれぞれ創意工夫がなされていた(拡散的思考が発揮された)。科学との関連については、対象としての科学として取り入れた力学的視点まで踏み込んだ思考をする児童がいなかった。これは難易度の高い知識を要求していたことが考えられる。科学的思考については、探究サイクルにおいて仮説を立てて検証するというプロセスを経ることができたことからそのような思考が見

られたとあってよいだろう。算数・数学との関連について、本授業では探究サイクルの中に算数・数学の内容が関わるサイクルが生じていたことを取り上げた。探究サイクルを回す過程において「六角形を作図すること」や「卵が入る大きさにするには何cmに設定するか」といった図形の長さや大きさ、性質、作図に関する課題が中位課題と下位課題として現れていた。「割れにくい卵パックを作る」という課題から、児童たちは無意識のうちに自ら算数数学の課題を設定しそれに向き合っていた。デザインサイクルから「丈夫な構造は何か」という探究サイクルの上位課題への移行は授業者の誘導があったが、その上位課題から中位課題、下位課題への移行はグループ内での自然な流れによって移行していた。児童たちはその課題解決に取り組むことによって、算数数学の知識を得ることができていたと考える。これはLBDモデルを取り入れることによって、STEAM教育において数学内容の理解が得られたり深まったりする授業を実践することができたのではないかと考える。

4. 本研究の成果と今後の課題

グループによって活動の様子は大きく異なっていたが、総合的に本授業を通して児童の活動において探究サイクルの中に算数・数学の内容が関わるサイクルが生じていたと判断した。丈夫な図形の構造を探究する過程において「六角形や三角形を作図すること」や「卵が入る大きさにするには図形の大きさを何cmに設定するか」、「書いた設計図や展開図、見取り図をもとにどのように立体を製作するか」といった図形の長さや大きさ、性質、作図に関する数学的課題を児童自らが無意識に設定し、それに取り組んでいた。児童たちは「割れにくい卵パックの開発」という社会的課題解決に取り組むことによって算数・数学の知識を得ることができていたと考える。よってLBDモデルを取り入れることによってSTEAM教育において数学内容の理解が得られたり深まったりする授業を実践することができたのではないかと考える。しかし本授業では数学の内容理解について「未習内容について新たな理解を自分の中で創り直す」ことや「既存の知識をわかり直したり深めたりする」ことを想定していたが、トラス構造やハニカム構造の仕組み（なぜ丈夫なのか等）があまりにも難しすぎたために後者の「わかり直し」のみの数学理解に留まってしまったことが課題として挙げられる。今後は授

業対象者の年齢や発達段階に応じて少し難しい程度
の理解を求めるような数学的要素を設定した授業を
開発することを課題としたい。

参考文献

- 川上貴, 佐伯昭彦 (2021) 算数・数学教科書の教材からSTEM教材への再教材化—数学教育の立場からのSTEM教師教育への一提案—, 日本科学教育学会研究報告, Vol.35, No.5, pp.79-84
- 胸組虎胤 (2019) STEM教育とSTEAM教育—歴史, 定義, 学問分野統合—, 鳴門教育大学研究紀要, Vol.34, pp.58-72
- 木村優里, 原口のみ, 大谷忠(2020)STEM教育における学習者の学びのプロセスに関する探索的研究—創造的プロセスと探究的プロセスが切り替わる契機の分析—, 日本科学教育学会研究会研究報告, Vol.35, No. 3 pp.1-6
- 山崎貞登 (2020) STEM, STEAMエンジニアリング教育概念の比較教育からの論点整理, 日本産業技術教育学会誌Vol.62, No.3, pp.197-207
- 松原憲治, 高阪将人 (2017) 資質・能力の育成を重視する教科横断的な学習としてのSTEM教育と問い, 科学教育研究, Vol.41, No.2, pp.150-160
- 竹内歩 (2018), STEM教育における不平等な統合の改善—数学とSTEM領域の相互作用への着目—, 日本科学教育学会年会論文集, Vol.42, pp.545-546
- 二宮裕之(2017), STEM教育における数学の位置づけ—数学はSTEMの「道具」に過ぎないのか—, 日本科学教育学会年会論文集, Vol.41, pp.209-210
- Kolodner, J.L et al.(2003), Problem-Based Learning Meets Case-Based Reasoning in the Middle-School Science Classroom: Putting Learning by Design™ Into Practice, THE JOURNAL OF THE LEARNING SCIENCES, Vol.12, No.4, pp.495-547
- Bybee, R. (2013) The case for STEM education. National Science Teachers Association press, xi-xii., pp.73-80.
- Yakman, G. (2008), ST Σ @M Education: an overview of creating a model of integrative education (http://www.Steamed.com/2088_PATT_Publication.pdf) (最終アクセス日: 2024年7月1日)