

# Learning by designモデルを用いたSTEAM教育の検討

## —STEAM 教育における数学の役割に着目して—

石田歩夢\*・岡部恭幸\*\*

神戸大学大学院人間発達環境学研究科修士課程\*・神戸大学大学院人間発達環境学研究科\*\*

AI, ロボット, IoTなど先端科学技術発達に伴って急激に変化していく社会に対応して社会的な課題を解決できる人材育成が求められているという背景の中, STEM教育およびSTEAM教育が世界的に注目を集めている。中央教育審議会答申(2021)では, STEM教育を通じて資質と能力を育成することが示されている。しかし, STEM教育において「科学, 技術, 工学, 数学の統合」に関して, 各教科の知識やスキルを活用するだけでなくそれらを創ったり深めたりするような活動の必要性が指摘されている。特に数学の位置づけについては単なる道具に過ぎないのかという問題が提起されており, その解消が望まれている。本稿では, 探究的活動と創造的活動とを架橋するモデルであるLearning by designモデルを用いて, 数学教育とSTEAM教育の統合に焦点をあて, 数学の知識が創られたり, 深まったりすることが位置付けられているSTEAM教育の構築を目指し, その基盤となる理論について検討する。

キーワード: STEAM 教育, STEM 教育, 数学, 数学教育

### 1. 研究の背景

STEM教育およびSTEAM教育は様々な研究や文書で言及されている。その背景の一つに社会の在り方の変容がある。今の社会においてインターネット上でのデジタル化された財やサービスの流通が加速する中, モノのインターネット化(IoT)やビッグデータ, 人工知能(AI), ロボットなどの新規技術が発達しており, このような技術革新は, The Fourth Industrial Revolution(第4次産業革命)と呼ばれている(大谷忠2021)。日本では総合科学技術イノベーション会議において第5期科学技術基本計画が閣議決定され, サイバー空間の積極的な利活用を中心としたあるべき社会像としてSociety5.0が提唱されている。これまでになく急速な変化が生じる社会になると予想されているという状況において, 我が国が抱えている少子高齢化や過疎化の問題等のような, 社会的な課題に対して, 国民全体が本格的に取り組まなければならない時期に差し掛かっている(大谷2021)。そこで求められる人材としては, 先端科学技術の発展に寄与する人材と, これからの社会で生じる社会的・日常的諸課題を創造的に解決できる人材である(木村優里ら2020)。このような人材を育成するためには領域固有のアプローチではなく学際的な

アプローチが必要であることが示唆されており(木村ら2020), そのために総合的なSTEM教育が注目されている。以上から, STEM教育およびSTEAM教育はこれからの社会において必要とされる資質・能力の育成において大きな役割を持っていると考えることができる。

本稿では, まずSTEM教育およびSTEAM教育に関する先行研究をもとに本研究で取り上げるSTEAM教育における課題を取り上げ, 研究課題を設定する。次に, それを解決するためにはSTEAM教育そのものをしっかりと定義づける必要があるため, 先行研究をもとに, 本研究で扱うSTEAM教育を設定する。その後, 研究課題の解決に向けてSTEAM教育を用いた教材を開発する上で必要となる理論について考察していく。

### 2. 問題点の所在と研究課題

#### 2.1. STEM/STEAM教育の問題点

STEM教育とは科学(Science), 技術(Technology), 工学(Engineering), 数学(Mathematics)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。近年の科

学技術の急激かつ複雑な発展に対処する人材育成の必要性から国際的に注目が高まっている。しかし、STEM教育において「科学、技術、工学、数学の統合」に関しては、その問題点が先行研究によって従来から指摘されている。

例えば、長沼祥太郎(2020)はSTEMに関する研究の多くが科学に関する研究であるという現状を指摘している。

竹内歩(2018)は、現在STEM教育とみなされている学習活動は探究/デザイン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、それもSTEMの重要な側面とは認めつつも、一方で探究/デザインプロセスの中で知識やスキルを使うだけでなく、そういった知識やスキルが創られていくような活動も教材化し学習として位置づけられるべきと述べている。

また数学との関わりについて、STEM教育において数学は重要な役割を担うことから、今日、数学教育の立場からのSTEM教育へのアプローチが世界的に研究され始めている。しかし、数学と他教科のカリキュラムとの関連付け不足、STEM教育を志向した数学教材の不足、STEM教育の指導方法や授業の設計方法の未確立などの多くの課題が散在しており、特に、数学外の専門的知識を活用する真正なSTEM教材を作成し、学際的な課題を解決する授業の必要性が指摘されている(川上貴ら2021)。

また二宮裕之(2017)は、学習の方法は必ず適切な内容を伴って学ばれるべきものであると述べており、STEM教育において数学がその「方法」として位置づいていることは間違いないとしながらも、数学の内容がSTEM教育に位置づいているかについては非常に疑わしいと述べている。STEMにおいて「数学」は単なる道具に過ぎないのかという問題を提起し、STEMの本質として数学を位置付けるべきではないのかという課題を投げかけている。STEM教育に関しても、本論文においてSTEM教育が「STEM教育にArtsの要素を加えたもの」(山崎貞登2020)という考え方をもとにしているためSTEM教育とSTEM教育で数学の役割や立ち位置に変化がない(STEM教育の定義については後述)。また筆者の管見の限りSTEM教育教材はロボットやプログラミングを用いた教材が多く、数学の役割はデータや統計の分析、計算といった方法的側面に焦点を当てたもので、数学の内容理解に焦点を当てた教材は見当たらなかつ

た。よって二宮(2017)の指摘はSTEAM教育についても当てはまるだろうと考える。

## 2.2. 研究の目的と仮説

前節の指摘と分析から、STEAM教育においては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付けられているSTEAM教育に関する議論がないということ課題として捉え、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することを本稿の目的とする。

本研究ではコロドナー(Kolodner, J.L et al.) 発案のLearning by designモデル(以下LBDモデル)を取り入れている。本モデルはデザインサイクルと探究サイクルの架橋によって成り立っており、「デザインするための探究(Need to know)」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。数学を使って探究することで問題解決に必要なデータを集め、数学的知識を得て、それを製品開発に活用する。そのような探究の過程を通して授業参加者が数学的な知識や理解が得られると考えられる。よって本教材開発の理論的枠組みとして同モデルを採用し、そのモデルを用いることで、数学の知識が創られたり深まったりすることが位置付けられている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。数学を核としたSTEAM教育とLBDモデルとの関連については第4章で詳細を述べる。

以上の課題を解決するにあたって、まずSTEAM教育とはどのような教育を指すのか、ということについて精緻に設定していく必要がある。なぜなら、STEAM教育は研究によって定義が異なっているものが多く、共通の捉え方がないからである。まず先行研究を踏まえて本研究におけるSTEAM教育をしっかりと設定し、その後数学を軸としたSTEAM教育教材を開発するにあたって必要となる理論を構築していく。

## 3. STEAM教育とLBDモデル

前章ではSTEM/STEAM教育における課題について述べた。それを解決するにあたって本章ではSTEM/STEAM教育について、先行研究をもとにその定義と各教科の役割、教育目標を設定していく。

### 3.1. STEAM教育について

本研究で軸となっている「STEAM教育」は「STEM教育」がもとになった考え方である。前章で述べたように、STEM教育とはScience, Technology, Engineering, Mathematics (以下それぞれS, T, E, M) の各領域を統合して推進しようとする教育の試みである(木村ら2020)。各教科の統合の仕方や度合いには様々な考え方があり、STEM教育の目的をどのように設定するかによって多様な枠組みが示されている(バイビー (Bybee), 2013)。バイビー (Bybee) の理論をもとに胸組虎胤 (2019) は、STEM教育を統合度の度合いによって分類し、以下のように図として示した。この図はSTEM教育においてのみ適用でき、STEAM教育の分類を示すものではない。あくまでSTEM教育からSTEAM教育への移行の過程を説明するために使用する図として示しておくたい。

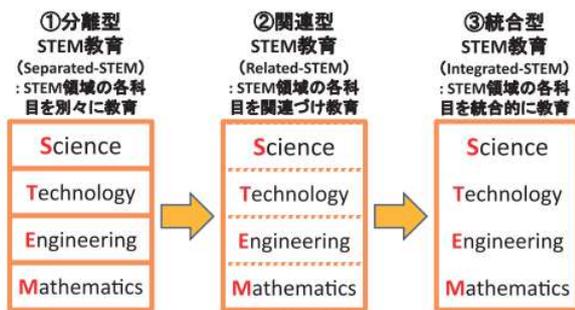


図1：統合性の度合いによって分類したSTEM教育 (胸組2019)

①の「分離型STEM教育」から③の「統合型STEM教育」の順に統合の度合いが高くなっている。STEAM教育はこの中でも特に「統合型STEM教育」に注目したものである。統合型STEM教育とは、各教科間の無差別な融合や統合であり、各学問領域の特性を把握した上で統合して、実際の課題解決に即した教育を行う。統合度の高いSTEM教育については木村ら (2017) も、「現実世界の社会課題のような領域固有のアプローチでは解決できないとされる課題を取り扱うことによってS, T, E, Mの各領域を統合する学習デザインのことである」と述べている。

現実の課題解決を考慮する場合、①、②、③それぞれでも対応可能なこともあるが、ただし③のような統合度の高いSTEM教育であれば1つの学問領域での理想的で固定的な課題解決にとらわれず、柔軟な対応が可能になることがあると考える。

STEAM教育は統合型STEM教育にArts (以下A) の要素を加えたものとして、ヤークマン (Yaman) により提唱された(山崎2020)。しかしSTEM教育およびSTEAM教育は、その考えが生まれてまだ間もなく、研究によってその定義が異なっている現状であることを確認した。大谷 (2021) も、「STEM/STEAM教育の特徴については、取り扱う学問領域が広範囲にわたるため、一概にSTEM教育やSTEAM教育の定義について論じることは難しい」と述べている。

例えばSTEAM教育の別の説明では、美馬のゆり (2018) によって、「STEAM教育はScience, Technology, Engineering, Arts, Mathematicsに重点を置いた教育であり、科学技術が生活に深くかかわる基盤となる社会においてはSTEAMの理解とそれらを活用する力が重要である」と述べられている。また、花木良ら (2021) は、STEAM教育の要件として教科横断的であることを、試行錯誤を伴うこと、想像的・創造的であることを挙げている。

本研究でのSTEAM教育の定義を定めるにあたって、本研究ではLearning by design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」とであると定義する。また、STEAM教育の要件として教科横断的であることを、試行錯誤を伴うこと、想像的・創造的であることを挙げる。また、STEM教育ではなくSTEAM教育を取り上げた理由としては、本研究において「芸術 (Arts)」の果たす役割が大きいと考えたためである。その詳細も含め、STEAM教育の各領域の役割について以下に述べる。STEAM教育における各教科の役割について明確に言及されている先行研究は少ないが、特に山崎 (2020) は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ていく。

#### ①科学 (Science)

山崎 (2020) は、日本発STEAM教育という科学について、「観察、問題の明確化、記述、実験に基づく調査、理論的説明を通した、自然界の探究に必要な、知識や思考方略などの体系」と述べている。これはSTEAM教育における科学を科学的思考の活用と捉

える考え方である。牧野宇一郎 (1971) は科学的思考を、観察や推断を正しく行って、何人も納得せざるを得ないような仕方では結論に達する思考 (問題発見、計画、情報収集、情報整理、数学的处理、振り返り) と述べている。一方で川上ら (2021) は「STEM諸領域のアイデアや概念」において科学を「蓄積エネルギーと力、熱伝導、生物の構造的特徴、空の観察可能な変化」としている。これはSTEM教育において科学を対象としての自然科学 (自然現象) としてとらえる考え方である。本研究においても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」の両方を含むものとして扱う。

#### ②技術 (Technology)

山崎 (2020) は、日本発STEAM教育でいう技術について、「人間の生活や社会をより豊かにするための問題解決を目的として、人間のイノベーションによる新たな価値の創造により生み出された、人工の事物や情報システム、問題解決方略、行為の形態などの知識や思考方略などの体系である」と述べている。問題解決方略、行為の形態などはSTEAM教育全体に関わる考え方であるため、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 (Engineering)

山崎 (2020) は、日本発STEAM教育でいう工学について、「人類の利益のために、技術、数学、自然科学、人文科学、社会科学、各種芸術をはじめ、他の学術分野体系を活用して、自然や人工の素材や生物、エネルギー、情報、環境等の利用方法を開発する際の思考・判断・表現力と創造力を得るための知識と思考体系である」と述べている。また大谷 (2020) は、デザインによる活動を通して、だれかのために等の収束的な目的を設定し、目的に沿ったあるべき姿の創造・探究の活動を通して課題解決が行われ、これらの課題解決のプロセスではDesign→Built→Testの繰り返しが行われると述べている。よって本研究では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 (Arts)

Aに関して、リベラルアーツ (リベラル、言語、社会、美術、音楽、演劇、体育、マニュアル等) を包含

するタイプ (Society5.0の実現に向けた文理融合型素養の育成を目指すSTEAM教育) と、美術を中核に定義する (審美技術とデザイン完成を重視する) タイプの2種類に大別できる (山崎2020) が、ここでは美術やデザインを中核に定義するものとして扱う。

STEM教育は自然現象、人間の日常生活の中での技術的、工学的な課題解決のため、一つの解決策を目指す傾向 (収束思考) がある。一方芸術は芸術を行う個人の主観的価値観が優先するため、個人個人で異なる解決策を模索する傾向 (拡散思考) がある。STEM教育 (収束思考) にArts (拡散思考) が加わることで多面的見方が促され、新しい解決策を生み出せる (胸組2019)。

#### ⑤数学 (Mathematics)

山崎 (2020) は、日本発のSTEAM教育でいう数学について、数学は数や記号を用いて行う、「パターンと規則の科学」と「量の測定・性質・関係」についての解明に必要な、知識や思考方略などの体系であると述べている。ヤークマン (Yakman) はMの位置づけをすべての基礎においており、大谷 (2020) も、数学に関しては概念の獲得だけでなく実践的な数学の重要性も示しているとしながらも、数学においてデータを活用する教育や統計的な学習を中心に議論されていると述べている。またコンピュータによる情報技術を活用して問題解決をする場面で数学における数式化、記号化や計算幾何学における座標配置等の多くの数学的な概念の理解が必要と述べているなど、算数数学の領域の中でも統計に寄った分野を扱うことの重要性を指摘している。大谷 (2020) は実践的な数学、いわば数学の方法的側面に焦点を当てて紹介しているが、例えば川上ら (2021) は、数学からSTEM教育へのアプローチとして3つの視点を挙げている。第1はSTEM諸領域における核となる概念やアイデアを統合的に学習するアプローチであり、数学においては形・図形とパターン、グラフ表現と意思決定、確率実験の結果、形・図形の性質、事象の時系列を挙げている。第2に問題解決能力や批判的思考力を育成するアプローチであり、第3はSTEMの文脈を活かして数学の理解深化を促すアプローチである。これは「数学的・統計的なアイデアや概念の理解を促進することを目的とする立場」であると述べている。彼らはSTEMにおける数学の立場としては数学の方法的側面と内容的側面の両方に焦点を当てたものとしてとらえている。二宮 (2017) は、STEM

教育において数学の方法的側面が重視され内容的側面が含まれていないと指摘している。本研究でもその点をSTEM教育およびSTEAM教育の課題点として捉え研究を進めていくため、STEAM教育における数学を方法的側面及び内容的側面の両方を含むものとして捉え、特に内容的側面を重視していくものとしてしたい。また数学の扱う内容について統計の分野が広く使われているが、他の領域での実践や理論が管見の限り乏しかったため、本研究では統計以外の領域の中でも特に図形の性質に焦点を当てて研究を進めていく。

### 3.2. Learning by design モデルについて

コロドナー (Kolodner) ほか (2003) によって提案されたLearning by designモデル (図2) 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 know」の矢印で、探究的活動から創造的活動への移行が「Need to do」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のプロセスを明示し、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)。

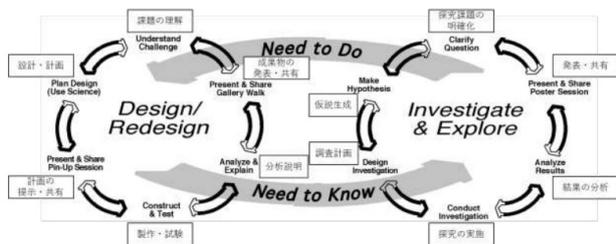


図2 : Learning by designモデル (コロドナー (Kolodner) 2003をもとに大谷らが加筆2020)

## 4. 数学の役割に着目した STEAM 教育の構想

### 4.1. STEAM 教育の教育目標について

前項ではSTEAM教育の定義とそれぞれの教科の役割について述べた。本項では、STEAM教育を用いた教材を開発するにあたって、STEAM教育を用いた授業の教育目標について検討する。そこでは川上ら (2021) の「STEM教育へのアプローチ」を参考に

する。

①STEMの文脈を活かしてSTEAM諸領域の学習活動を促すアプローチ

STEM諸領域における核となる概念を統合的、関連的に学習することを目的とする

②STEMの文脈を活かして問題解決能力や批判的思考力を育成するアプローチ

エンジニアリングデザインプロセスを遂行することを目的とする

③STEMの文脈を活かして数学の理解深化を促すアプローチ

数学的、統計的な概念の理解を促進することを目的とする

この立場の研究は限られているが、特に統計データを中核に据えたSTEM教育を通して統計的な理解を深めたりするアプローチが小学校段階を中心に研究されている

図3 : STEM教育へのアプローチ (川上ら2021)

これを、数学を核としたSTEAM教育での教育目標に適用するため筆者が修正、加筆する。まず①については、STEM諸領域における鍵となるアイデアや概念、すなわち「見方・考え方」(中央教育審議会2016)を横断的に学習することを目標としている (川上ら2021)。よって、S,T,E,Aにおける概念や学習過程を含めながらも、数学における鍵となるアイデアや概念および数学的な見方・考え方を中心として設定した。次に②について、川上ら (2021) は問題解決型の授業を通して身に着ける様々な問題解決能力の育成を設定している。これら各教科に汎用的に必要な能力 (批判的思考力等) に加え、数学的モデリング能力などを含めることとする。最後に③について、これが数学の内容理解に関する項目である。川上ら (2021) は統計について、「統計データを中核に据えたSTEM教育を通して、統計的なアイデア (e.g., ばらつきや期待値) を構成したり、理解を深めたりするアプローチが小学生段階を中心に研究されている」と述べている。これを統計以外の分野に拡張し、数学に関わる知識・技能・考え方を、STEAM教育を通して習得したりや理解したりすることを目標に設定する。

①STEAM諸領域の学際的な内容の学習 (見方、考え方)

数学における鍵となる概念や数学固有の学習過程

(数学的な見方考え方)を中心とし、S, T, E, Aにおける概念、学習過程も含める  
 ②汎用的能力の育成 (プロセス, 方法)  
 学際的な問題解決のプロセスを遂行するために必要な汎用的能力(問題解決能力や批判的思考力)の獲得  
 ③数学的, 統計的概念の理解 (内容)  
 数学に関わる知識・技能, 考え方を習得したり理解を深めたりする

図4: 数学を核としたSTEAM教育の目標・資質能力 (川上ら2021をもとに筆者が加筆・修正)

川上ら(2021)の研究では、統計データを中核に据えたSTEM教育を通して、統計的な理解を深めたりするアプローチを中学校において実践・考察している。今回の研究では主に目標③を中心としながら、統計領域だけではなく、他の領域を含めて数学の知識が創られたり、深まったりするようなSTEAM教育について考察する。

それを達成するための方法としてLBDモデルに着目する。

#### 4.2. LBD モデルを STEAM 教育に取り入れる

なぜSTEAM教育にLBDモデルを取り入れるのかについて述べる。まず統合度が高いSTEM教育における学習者の学びのプロセスについて検討する際にS, T, E, Mの各領域の指向性が異なることは特筆すべきであると指摘されている(木村ら2020)。すなわちScience, Technology, Mathematicsは探究的活動であるのに対し、Engineeringは創造的活動であるとみなすことができ、それぞれの領域固有の活動のプロセスが存在する(木村ら2020)ということである。教育分野においては様々な目的によって、こうした探究的活動と創造的活動を架橋するような教育の実践および理論的枠組みの提案がなされており、その一部は統合度の高いSTEM教育の理論的枠組みとして注目されてきた(木村ら2020)。木村ら(2020)は探究的活動と創造的活動を架橋する理論的枠組みとしてコロドナー(Kolodner)の提唱したLearning by designモデルがあるとし、それをSTEM教育の理論的枠組みとして用い、授業を実践していた。なぜならLBDモデルは、Investigate&Exploreサイクル(以下探究サイクル)という探究的活動のサイクルと、Design/Redesignサイクル(以下デザインサイクル)という創造的活動のサイクルをもち、それら2つのサイクルそれぞれの活動過程および2つのサイクル

を架橋するあり方を含めた理論であるからである。

木村ら(2020)はLBDモデルをSTEM教育における実践に取り入れていたが、STEAM教育においても同モデルを用いることで数学的内容理解につなげることができると考える。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、デザインサイクルにおいて造形(芸術的要素)を強く意識することによってLBDモデルがSTEAM教育においても活用可能になると考えられる。芸術(Arts)については胸組(2020)が「個人個人で異なる解決策を模索する傾向(拡散思考)を促す」ため、「1つの解決策に固定化されやすいSTEMにArtsが加わることで多面的見方が促され、新しい解決策を生み出せる」と述べているように、LBDデザインにおける主にデザインサイクルにおいて多種多様な解決策を表現できるようにするところにArtsの役割があると考えている。ゆえに、収束的な思考を持つ科学・数学で一つの課題について深く探究し、技術と工学に加え、拡散的な思考をもつ芸術で創造的にデザインすることを繰り返すことによって課題解決を図るという形で各教科をLBDモデルに位置付けることができる。よって本研究においてもSTEAM教育の理論的枠組みとしてLBDモデルを採用する。

コロドナー(Kolodner)の示した図(図2)はもともとSTEAM教育における活用を想定されたものではないため、各教科がどこでどのような役割を果たすかについてわかりにくい。そこでLBDモデルにおいて数学がどのような立ち位置にいてどのような役割を果たすのかということを示した図を筆者が作成した。(図6)これでLBDモデルにおける探究サイクル・デザインサイクルと数学や実社会との関連、そして数学の知識をどこで得てどのように活用するかということが明示化された。以下LBDモデルと各教科との関連について詳細を述べていく。

まず、STEAM教育においては「社会的な課題を解決する」過程が必要となるが、それはLBDモデルにおけるデザインサイクルに当てはまる。社会課題の解決に向けて製品を開発する。そこではDesign→built→testを繰り返して問題解決を図るエンジニアリングの力が必要となる。そして問題解決に当たってはほとんどの場合製品を開発する「ものづくり」が必要となるが、それは技術の力である。一方でエンジ

ニアリングや技術による問題解決は収束的なものになりがちであるので、芸術的な視点を取り入れることによって拡散的な思考を含めることができ、これがArtsの力である。

また、製品をデザインするにあたっては、問題解決に使えるデータや知識が必要となる。それは自分で調べて集める必要があり、LBDモデルにおける探究サイクルがその過程に当たる。数学や科学を使って探究することで問題解決に必要なデータを集め、知識を得て、それを製品開発に活用する。この場合、科学(特に自然科学)は科学的思考といった要素だけでなく探究の対象となることもある。この探究の過程において、学習者は問題解決に必要な数学の知識を自ら得ることになるだろうと想定される。

以上の変更を踏まえると、LBDモデルを用いた授業の流れは図5のように想定することができ、図として表すと図6のようになる。

- ①自然科学的な知識と見方を数学的に捉え直す(=数学的モデル化)

②数学を用いて探究サイクルをまわす(第1サイクル)。

③②で得た数学的知識やスキルを活用する。実社会の課題解決に向けてデザインしなおす(デザインサイクルを回す)(第2サイクル)

このとき、技術的手段(テクノロジー)やアートの思考(拡散思考)を用いる

図5:LBDモデルを用いた授業の流れ(筆者が作成)

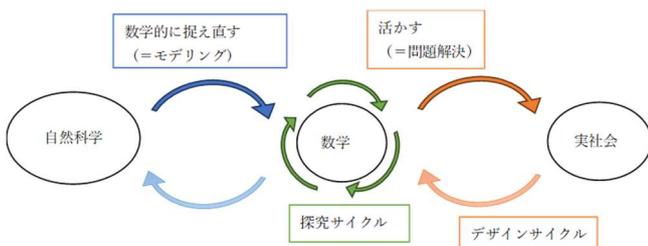


図6:LBDモデルにおける数学の立ち位置を図示(筆者が作成)

この活動は数学的モデリングと一部重なるところがある。数学的モデリングとは現実の問題場面(現実事象)を定式化→作成した数学的モデルを活用し、数学的処理を行い、得られた結果を現実の問題場面へ解釈・評価するといった過程を経て問題解決を行う(葛城元2016)。教科横断的であること、また想像性と創造性を重視しているところがSTEAM教育との

主な相違点である。

具体的な活動の流れに落とし込んで考える。本研究では、数学を核としたSTEAM教育教材として卵パックを取り上げることが想定している。取り上げた理由としては、卵パックのもつ課題の解決に向けた活動プロセスを設定することができ、解決に向けてS, T, E, A, Mそれぞれの要素(特にM)を含んだLBDモデルを適用できることが挙げられる。

LBDモデルを取り入れたSTEAM教育活動を実践する場合、児童生徒にとっての最終的な目標は、ある社会的な課題を解決するということである。卵パックにおいては、現在使われている八角錐型の卵パックが横からの力に弱かったり、落下などの衝撃を吸収できず割れてしまったりするといったことが課題点として挙げられる。

そのような課題を解決するために、「課題の理解」から「成果物の発表・共有」を1周とするデザインサイクルをまわして活動することによって、その社会的な課題を解決する何らかの成果物を作成することが求められる。ここでは、卵を包む構造を工夫することによってさらに丈夫な構造のパックを作ることが目標となる。しかしその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の知見)に関して科学、数学等を用いて深く探究する必要が出てくることが考えられる(Need to know)。ここでは、卵を包む構造を丈夫なものにするために、図形に関する知識を得たり深めたりすることが必要となる。立体の剛性や強度については例えばトラス構造やハニカム構造を参考にすることができる。学習者は自分たちで調査や実験を繰り返すことによって、どのような構造が、なぜ・どれくらい丈夫なのかについて探究することになる。

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「探究課題の明確化」から「結果の分析」、「発表・共有」までを1周とする探究サイクルを何度か回すことになる。そしてそれによって得られた結果を用いて再びデザインしなおす必要が出てくる(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まわ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。

数学を核としたSTEAM教育を考える場合、探究サイクルにおいては、デザインサイクルにおいて生み

出された課題を数学的な課題に置き換え、答えを出していく。ここでは例えば、「卵が割れないためにはどのような構造が丈夫なのか」ということが数学的な課題となりうる。そこには数学的探究の必要性が意図せず生じており、その課題は児童や生徒にとって「探究する理由や価値のあるもの」として現れている。課題に対する自分なりの答えを見つけていく過程で、児童生徒は数学的な知識を新しく作ったり、それらを深めたりすることが考えられる。ここでは、三角形や四角形など様々な図形を使って設計図を作成し、それをもとに様々な立体を組み立てて耐久性を試すという活動を通して空間図形の性質の理解や合同条件の理解が深まるだろうということが想定できる。

またデザインサイクルにおいても、数学的な知識を製品のデザインに活かす際に数学的な知識が創られたり深まったりすることが考えられる。ここでは、卵が立体構造の中に接して固定されるために必要となる考え方である三角形や正四面体等の決定条件についての理解が深まるだろうということが想定できる。

以上より、本研究の目的である「数学的な知識を創ったり深めたりするようなSTEM教育の構築」を、LBDモデルを用いることによって作ることができた。

しかもこれら探究のサイクルは必ずしも1周で終わりではなく、児童生徒の意欲や能力等によってどこまでも深ぼっていけるものである。そのような活動によって得られた数学的な知識や理解はとても意味を持つものであると考えられる。ここに、算数や数学の学習においてSTEM教育を取り入れることが有意義であることの理由もあると考えることができる。

## 5. 研究の成果と今後の課題

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教育は世界的に注目が高まっている中、各教科の知識やスキルを使うだけでなくそれらが作られていくような活動の必要性が指摘されており、特に数学の立ち位置については単なる道具に過ぎないのではないかという問題が提示されていた。そこで数学の知

識が創られたり深まったりすることが位置付けられているSTEM教育を構築するために、その基盤となる理論について検討した。まずはSTEM教育と、それぞれの教科の役割や立ち位置について明らかにした後、LBDモデルを用いて、数学を核としたSTEM教育をモデル化した。そこでは探究サイクルとデザインサイクルを組み合わせることでSTEMの各教科をつなげ、探究サイクルにおいて数学の知識が創られたり深まったりすることを示した。

今後は、これらの理論を用いて実際にSTEM教材を開発し、児童生徒に対して実践していく。そして活動を通して実際に児童や生徒が数学的な知識を創ったり深めたりするかどうか、あるいはその程度を測定することで、数学の内容理解に対するLBDモデルを用いたSTEM教育の効果がどの程度なのか検証していく。

## 6. 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STEM教育—歴史, 定義, 学問分野統合—, 鳴門教育大学研究紀要第Vol.34, pp.58-72) .
- 木村優里, 原口るみ, 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.
- 長沼祥太郎 (2020) 大学生・大学院生のSTEMの関係性の認識に関する研究, 日本科学教育学会第44回年会論文集, pp.413-416.
- 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41, 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.
- 黒田恭史(2018)「Society5.0に向けた人材育成に係る大臣懇談会」報告書を読み解く・「EdTech」と「STEAM教育」に着目して・数学教育学会秋季例会予稿集, pp.144-146.
- Bybee, R. (2013), The case for STEM education. National Science Teachers Association press, xi-xii., pp.73-80.
- 牧野宇一郎(1971)『探究の構造』, 東海大学出版会, 東京.
- 美馬のゆり編, 富永敦子, 田柳恵美子著(2018), 『未来を創る「プロジェクト学習」のデザイン』, 近代科学社, pp.8-9.
- 中央教育審議会(2021)「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す, 個別最適な学びと, 協働的な学びの実現～(答申), pp.56.
- 花木良, 吉井貴寿(2021), 数学展示作製によるSTEAM教育, 日本科学教育学会年会論文集, Vol.45, pp.523-526.
- Yakman, G. (2008), STΣ@M Education: an overview of creating a model of integrative education ([http://www.Steamed.com/2088\\_PATT\\_Publication.pdf](http://www.Steamed.com/2088_PATT_Publication.pdf)) (最終アクセス日: 2024年7月1日)
- 葛城元, 黒田恭史(2016), 科学的思考方法の習得を目指したオリガミクスによる数学教材の開発—ダイヤカット缶を題材として—, Vol.57, No.3-4, pp.125-139.