

STEAM 教育における数学教育と教員養成

後藤 学*

抄録 次期学習指導要領に STEAM 教育が盛り込まれると予想されるが、時間的に厳しい教育課程の中で今後どのように導入されるのか、STEAM 教育における数学教育の方法と内容をどのように構成していけばよいのか、STEAM 教員を養成するための方法と内容をどのようにすればよいのかを検討した。養成の方法として、数学の価値や必要性を体験的に理解できるような学習活動が期待される。また、そのために広範な数学教育学や総合学習における知識が必要である。

キーワード STEAM 教育, STEAM 教員, STEAM 教員養成, Society 5.0, 生きる数学

1. はじめに

YAHOO!Japan ニュースで「STEM 教育」という言葉を検索してみると、約 20 件のニュースがヒットする程度で、まだまだあまり耳慣れない言葉かもしれない。同じく「STEM 教育」のキーワードで検索しても STEM 教育と STEAM 教育の違いや、STEM 教育を謳った民間会社や塾などのプログラミング教育の広告がほとんどで、玉石混淆といった印象である。

2021 年 3 月に内閣府から出された「第 6 期科学技術・イノベーション基本計画」で提唱された Society 5.0 の社会に対応するためには、人工知能 (AI) など情報技術を高度に活用して社会の具体的な課題を解決できる人材育成や、情報技術を主体的に使いこなす力だけでなく、人ならではの感性・創造性を発揮しつつ新しい価値を創造する力を育成することが一層重要となる、と述べられている。

また、人材育成の基盤を担う小学校段階からのプログラミング教育の実施や「主体的・対話的で深い学び (アクティブ・ラーニング)」の展開など、戦略的な人材育成が求められている、としている。

経済産業省や文部科学省では、これらの人材育成を行うための教育改革として「学びの STEAM 化」「学びの自立化・個別最適化」「新しい学習基盤づくり」の 3 つを掲げている。「学びの STEAM 化」とは、欧米を中心に行われるようになった STEM 教育に Art (または Liberal Arts) を加えた教育モデルである。

平成 30 年を過ぎて 10 年おきに改訂されてきた学習指導要領の内容が「主体的・対話的で深い学び」の完全実

施、カリキュラム・マネジメントの促進といった教育の根幹に関わるものから、英語や道徳の教科化や各教科におけるプログラミングの思考の育成など新たな教育が進められている。そして、児童・生徒の学びを対応させようという様々な施策が次々に打ち出されており、学校現場は非常に忙しく対応を迫られている状況である。

算数・数学教育の動向としては、平成の約 30 年を振り返ると、元年、10 年、19 年、28 年と 4 回の学習指導要領の改訂にともなって教科書も変化してきたが、その変化は学習指導要領の内容に合わせた変化であって、指導内容や指導方法が変化してきたわけではない。また、授業の進め方も小学校においては「問題解決型学習」が普及し、「教科書の問題を解くための数学概念の理解」に重点がおかれてきた。中学校でも直接的な問題解決型学習ではないにしても、教科書を中心とした固定化された指導方法が主流となっている。

日本の教育課程は 1 年間の教育課程が厳密に決められており、教師一人が自由に変更する裁量はほとんどない。道徳の教科化や英語科の必修、プログラミングの思考の育成など新しい教育が猛烈な勢いで導入される中、教育課程は飽和状態である。STEAM 教育は 2030 年の時期学習指導要領で示されることが予想されるが、現状の教育課程で導入する時間は全くと言っていいほどない。

2. 研究の目的

本稿では日本の小学校における算数教育や STEAM 教育の現状を概観し、現時点ではどのような STEAM 教育の教育内容や方法が考えられているのかを具体例を示しながら述べる。そしてそれらの内容が妥当であるかどうかを検討し、今後の STEAM 教育と算数教育の在

*白鷗大学准教授

り方を提案することを目的とする。

3. STEAM 教育に関する政府の動向

3.1. STEAM 教育の定義

STEAM 教育の定義は欧米でも一様ではなく、日本でも研究されている段階である（熊野，2016）。本稿ではその詳細な議論は取り上げないが、これまでの経済産業省の Society 5.0 に対する考え方、欧米における STEM 教育の歴史、日本の教育の課題などを鑑み、本稿では STEAM 教育を以下のように仮定して分析を続けることにする。

- 1) 2 科目以上の教科で、その科目の特徴が意味あるように関連付けられている学習。
- 2) 複数領域の関連付けが、学習者にとって興味深く、学習を続ける意欲を持つことができるもの。
- 3) 複数領域の関連付けが、新しい文化や価値を生み出すと思われるもの。

なお、日本における STEAM 教育の定義は、先進国の内容を参考にしているため、「令和の日本型学校教育」の構築を目指しているため、日本独自のものとして今後の研究が必要である。

3.2. 経済産業省の教育政策

経済産業省では 2019 年に「未来の教室」ビジョン「未来の教室」と EdTech 研究会第 2 次提言を発表した。主な内容は「未来の教室」の構築に向けてということで、「学びの STEAM 化」「学びの自立化・個別最適化」「新しい学習基盤づくり」の 3 つの柱の実現に向けた 9 の課題とアクションを提言している。「学びの STEAM 化」では、一人ひとり違うワクワクを核に、「知る」と「創る」が循環する文理融合の学びにしている。

乗り越えるべき課題として、

課題 1：STEAM 学習プログラム・授業編成モデル評価手法の不足。

課題 2：学校現場は知識のインプットで手一杯で、探究・プロジェクト型学習（PBL）を行う余裕がないこと。

課題 3：他者との協働の基礎となる情動対処やコミュニケーションが難しい子どもも少なくないこと。

などを挙げている。

必要なアクションとして、インターネット上に「STEAM ライブラリー」、地域に「STEAM 学習センター」を構築すること、知識は EdTech で学んで効率的に獲得し、探究・プロジェクト型学習（PBL）に没頭する時間を捻出させること、幼児期から学齢期にかけて、基

礎的なライフスキルや思考法を育成することなどを挙げている。

3.3. 文部科学省の教育政策

文部科学省では、2018 年に「Society 5.0 に向けた人材育成～社会が変わる、学びが変わる～」という報告書を出している。そこでは、現在と今後の社会に共通することとして「まず、知識・技能としての語彙や数的感覚などの学力の基礎に加え、人間の強みを発揮するための基盤として、文章や情報を正確に理解し、論理的思考を行うための読解力や、他者と協働して思考・判断・表現を深める対話力等の社会的スキルなど、読み解き対話する力が決定的に重要である。また、人と機械が複雑かつ高度に関係し合う社会となっていく中、科学的に思考・吟味し活用する力が不可欠となる。機械を理解し使いこなすためのリテラシーや、その基盤となるサイエンスや数学、分析的・クリティカルに思考する力、全体をシステムとしてデザインする力がこれまで以上に必要な力となる。」と述べられている。

4. 現状における課題

2019 年の教育課程部会の資料である「今後の教育課程の改善について」では、「国は、幅広い分野で新しい価値を提供できる人材を養成することができるよう、STEAM 教育（Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics 等の各教科での学習を実社会での課題解決に生かしていくための教科横断的な教育）を推進するため、「総合的な学習の時間」や「総合的な探究の時間」、「理数探究」等における課題解決的な学習活動の充実を図る。」と述べているが、現状では前述のように STEM 教育と謳っていても、実際はプログラミングを教える塾であったりそれ以外の一般の教材の宣伝に使われていることが多く、本来の意味での STEAM 教育が行われている学校は少ない。

本来 STEAM 教育を学校で実施するには、その方法と内容が必要である。次期学習指導要領には STEAM 教育も盛り込まれると予想されるが、現時点においては教育課程にどのように組み込むかということも含めて研究の途についたばかりである。

5. STEAM 教育の方法と内容

後藤（2023）では、今後の STEAM 教育の方法と内容についてまとめている。最初は、教職課程の大学で STEAM 教育を実施できる教員（STEAM 教員と呼ぶ）を養成する必要があるとしている。養成の方法として

は、数学の価値、必要性、有用性を体験的に理解する、感得することができるような学習活動を取り入れること、道具としての数学ではなく、数学に関する一貫した学習目標の価値と必要性の認識から、児童・生徒にとって価値ある数学の内容を構成する必要があること、数学教育における領域横断的な概念とはどのようなものかを探求する必要があること、児童・生徒が学習する内容を学生自身が実際に体験することが必要であると述べている。

次に、内容としてはプログラミング教育を除けば STEAM 教育と算数教育を関連付けた実践事例は多くはないため、先行研究から STEAM 教育の理念や方法と一致すると考えられる横地清の研究を引用する。また後半では STEAM 教育の教材開発を行った事例を挙げ、それらをもとに今後の方向性を検討する。

6. 横地清の実践的数学教育

6.1. 「生きる数学」と「総合学習」

横地清は 1975 年頃から「生きる数学」をスローガンとした学習を進めてきた。横地（1998）の中で「生きる数学」の定義を「子どもの現代の生き方、あるいは、将来の生き方と関連させて数学の教育内容を学習することを言う。更には、現在の生き方、あるいは、将来の生き方と関連させて数学の教育内容を選び、学習することを言う。別様に言えば「生きる数学」は、数学を、形式的な、概念、知識、法則、応用問題としてではなく、現在、あるいは将来の生活に、生きて働くものとして、学習させようとするのである。」と述べている。

このような研究を基礎として、横地は 1985 年頃から「生きる数学」を発展させた「総合学習」を進めてきた。それは次のような特徴を持っていた。

- 1) 1 週間から 1 ヶ月以上にもわたって実践される。
- 2) 子ども達の生活のための明確な目標を持っている。
- 3) 子ども達は総合学習でコンパクトな数学を学ぶ。
- 4) 算数以外の他教科の内容も活用する。
- 5) コンパクトな数学と他教科の内容とが、学習の目標を達成するために総合して生かされる。

横地はこの他に、計画する際の 10 の原則を述べている。特に総合学習の構成にあたっては、以下のような内容である。

- ・算数を軸に他教科の学習まで及ぶ、あるいは他教科を契機として数学が援用される場合がある。
- ・場面設定は、子ども達自身が行動し働きかけることができる現実の場面であること
- ・算数以外の教科の学習内容を積極的に掘り起こして

総合的な取り組みになるようにテーマの内容を工夫する。

- ・学習途中で未習の内容が登場しても解決の過程でコンパクトに体系的な展開を位置づける。
- ・児童生徒の集中力などを考慮して、総時間数は 5～10 時間を学期に数回取り入れる。

横地が述べている「生きる数学」の定義は、辻（2019）や磯崎（2020）など近年の研究にも同様の考え方とその必要性が述べられている。また、総合学習を計画する際の 10 の原則はいずれも現代の STEAM 教育として重要な事柄である。

6.2. 総合学習の理論

横地は実際に数多くの総合学習の実践も行っている。横地・菊池（2001）には中学生向けではあるが数学を総合学習として展開する具体例をまとめているので、その目次を概観する。

はじめに

第 I 章 総合学習とは何か？

§1 人類が産み、人類と共に生きた文化としての数学を！

§2 教科の隔壁をはずそう

第 II 章 数学を中心とする総合学習の展開

§1 総合学習の意義

§2 横断的な課題と関連して

第 III 章 中学校における数学と現実との関わり の歴史

§1 旧制中学に見られる実用問題応用問題

§2 戦後「生活単元学習」における現実体験への積極性

§3 「系統学習」、「現代化」における数学と現実との関わり

第 IV 章 現実事象への実践を通して学ぶ数学

§1 「生きる力となる数学」の実践

§2 「生きる力となる数学」から「総合学習」の芽生え

第 V 章 数学を中心とする「総合学習」への発展

§1 「総合学習」への出発

§2 「総合学習」の実践

§3 数学教育としての「総合学習」と、その展望

§4 「数学を中心とする総合学習」の構成と展開

これらの考えを元に編集された「中学校数学+総合学習 2 国際理解の展開」が以下の内容である。

テーマ I 古代エジプト・ギリシア探訪
ピタゴラスの定理とその応用

- テーマⅡ 影絵の形は個故ゆがむのか？
- 3次元空間における相似変換 -
- テーマⅢ ドイツに伝達・赤道型日時計
- 平行線の性質に基づく日時計の原理 -
- テーマⅣ 世界一周旅行をしよう！
- 球面上の図形 -
- テーマⅤ Let's Study the World from OSAKA!
- 資料の整理、地球儀の幾何 -

ドイツのミュンヘンにあるドイツ博物館にも以下のように、見る場所が違くと違うように見えるという展示物がある (図 7-5, 7-6)。



図 7-2 元の人物写真

7. STEAM 教材開発の実践例 1 「Optical Toy」

7.1. ガリレオ博物館の Optical Toy

“Optical toy” (図 7-1) はフィレンツェにあるガリレオ博物館のメディチ家コレクション第 1 展示室 (I) で展示されている。



大きさは 815×1120 mm、木製のフレームに三角の木の棒が敷き詰められ、それぞれの面に肖像画が描かれている。作者は Lodovico Buti (ルドヴィコ・ブティ, 1555-1611) で、1593 年の制作である。描かれている人物はチャールズ三世・ロレーヌ公爵と娘のクリスティーヌである。

分析の結果、元になる 2 つの絵は等幅で同数に分割し、構成する三角の棒は直角二等辺三角形になるように作られている。これらのことを、元の絵を用意したり山型に厚紙を折ったりする作業を考慮し、小学校低学年の教材として適切であるかどうかを検討した。

ブティの Optical toy を実際に制作して低学年で可能かどうか試作した。図 7-2 は使用した元の写真である。図 7-3 は制作した Optical toy を 2 方向から、図 7-4 は真上から撮影したものである。

ここで想定される数学的な考え方は「見る角度を変えると違った見え方をする」ということである。実際には

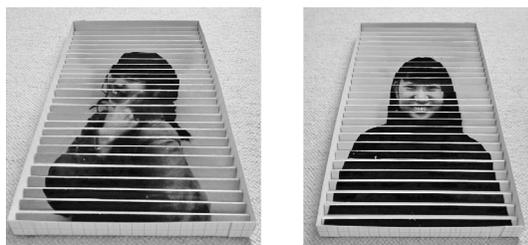


図 7-3 制作した Optical toy (2 方向から)

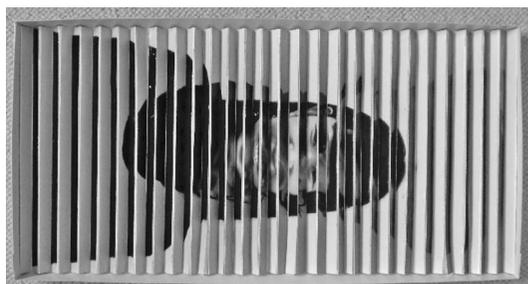


図 7-4 制作した Optical toy (真上)

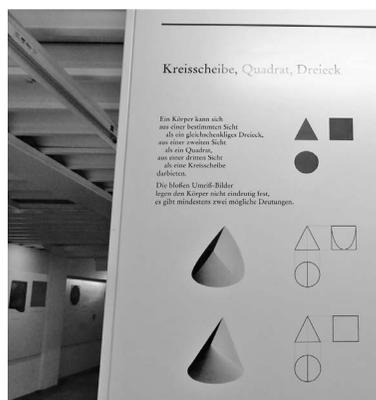


図 7-5 立体の説明パネル

【パネルの説明文】円盤、正方形、三角形

立体は、ある視点からは円盤として、別の視点からは正方形として、第3の視点からは正三角形として表現できます。

3つの等高線図が立体を一意に決定するわけではありません。少なくとも2つの異なる解釈があります。



図 7-6 別な形を通り抜ける立体

8. STEAM 教材開発の実践例 2「箱根寄木細工」

8.1. 伝統工芸品の教材化

伝統工芸品を教材に活かす長所を指摘しておきたい。小学校社会科では地域の人々の生産や販売について、仕事に携わっている人々の工夫を考えたり、自然環境・伝統や文化などの地域の資源を保護・活用している地域、伝統的な工業などの地場産業の盛んな地域について学習したりしている。社会科だけでなく、数学にも地元の伝統産業などの単元があれば、大変親しみやすいばかりではなく理解が一層深まり他教科と連携した学習効果が期待できる。

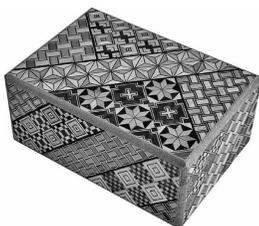


図 8-1 秘密箱

8.5. 目標と主な学習計画 (7 時間扱い)

活動目標	数学的な内容
寄木細工の模様を自分でデザインし、寄木細工風の小物入れを制作する。	図形の運動 (線対称, 点対称)

学習計画	主な内容
1 寄木細工の作品を見て、模様の形や色などの特徴について話し合う。	いくつかの作品を実際に見て、作品や模様や色の特徴、形のおもしろさに気づかせる。

8.2. 調査の内容

寄木細工をはじめ関連する事項として以下の内容を調査した。

- ①寄木細工の模様と関連があると考えられる教科書の内容、特に小学5年で登場する「しきつめ」について。その基本原理である、多角形のしきつめと運動模様の考察。
- ②工業試験場を訪問しての取材。制作過程や模様の構成の仕方、決め方など幾何学的内容に重点を置く。

8.3. 運動模様

運動模様・回転模様の解説については、国際共通の表記に則っている藤田 (2015) から模様の表記を引用し、寄木細工の模様も同じ表記で分類する。

8.4. 4つの基本運動

- ① 並進 基本モチーフを平行移動させる操作。
- ② 鏡映 基本モチーフを反転 (裏返し) させる操作。反転の起点となる箇所を鏡映軸という。
- ③ 回転 モチーフを回転移動させる。繰り返しの装飾パターンでは回転角が 180° 、 120° 、 90° 、 60° の4種に限定される。 360° を何回で割るかという2回割 (180°)、3回割 (120°)、4回割 (90°)、6回割 (60°) という用語が使われる。4回割の回転は正方形格子に、3回割、6回割回転は正三角形格子に限定される。
- ④ すべり鏡映 モチーフを鏡映させた後、鏡映軸にそって滑らせて移動する。映進ともいう。

2	模様には規則性があることを理解し、どんなものがあるか話し合う。	図形が回転したり線対称移動したりしていることに気づかせる。線対称、点対称の意味を理解する。
3	寄木細工の模様のでき方を理解する。	寄木細工で使われている、模様のでき方について調べ、グループ毎に発表する。幾何学的な図形の組み合わせであることを理解する。
4	オリジナルの寄木細工の模様を考案する。	方眼紙を使って基本模様をデザインする。
5	模様をパソコンで制作する。	基本模様をデジタル化し、敷き詰め模様を用紙に印刷する。
6	工作用紙で小物入れを作る構想を考える。	鉛筆立て、小物などどんなものを作るか考える。
7	小物入れを制作する。	工作用紙に展開図を描き、用紙を貼り付けて組み立てる。

9. 考察

9.1. 今後の STEAM 教育の動向

経済産業省や文部科学省が Web サイトなどに載せている実践事例は、先進的な研究校がほとんどであり次期学習指導要領の改訂に合わせて実施が促されるものと推測される。知識や理解が重視されてきた学習から主体的・対話的で深い学びに方向転換して、ようやくその意図が浸透してきたと思われるが、小学校ではまだまだ教科書中心の学習も多くその完全な実施には至っていないようにも思われる。さらにあと数年後に STEAM 教育の推進となれば現場の負担感が大きいと、丁寧で段階的な導入が望まれる。

9.2. STEAM 教員養成

教員養成課程において、STEAM 教育を推進できる教員養成が課題になる。現在では理科教育の分野でその研究が盛んに行われているが、それ以外の STEAM を構成する各教科においてもその教科を土台とした STEAM 教育の研究を進めていく必要がある。また内容の研究だけでなく、研究者同士の交流も積極的に取り組んでいく必要がある。

9.3. STEAM 教育における数学教育

数学教育においては、本稿で提案したような芸術や工芸といった分野における研究が始まり、今後は多くの実践研究を積み重ねていくことが重要である。また STEAM 教員養成については、横地が指摘するように知識として知っておくべき分野が多数あるため、限られた時間の中でどのように教育内容を構成していくかも研究する必要がある。

10. 終わりに

STEAM 教育はアメリカ発の教育方法・内容であり、その国々の必要性に応じて実施されるわけであるが、日

本でも「令和の日本型教育」をより深め、日本に適合した教育を進める必要がある。学校現場では余剰時間はなく、STEAM 教育を今後どのように教育課程に組み込んでいくかは不透明であるが、教科書一辺倒の学習から離れていくことはほぼ間違いない。教科書から離れた授業は教師の力量に左右されるため、教員養成のカリキュラムも今後検討されることが望まれる。

付記・謝辞

本研究は JSPS 科研費 20K03238 の助成を受けたものです。

参考・引用文献

- 磯崎哲夫 (2020), STEM 教育をどう捉え展開するか, 日本科学教育学会第 44 回年会論文集, 13-16.
- 熊野善介 (2016), 日本における STEM 教育研究の在り方と展望—アメリカの STEM 教育改革の理論と実践を踏まえて—, 日本科学教育学会年会論文集 40 巻, 11-14.
- 経済産業省 (2019), 「未来の教室」ビジョン 経済産業省「未来の教室」と EdTech 研究会第 2 次提言. (https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mirai_kyoshitsu/20190625_report.html 2023. 1. 10 取得)
- 後藤学 (2016), 新しい教材を開発する視点—箱根・寄木細工の教材化を事例として—, 数学教育学会誌, Vol.57, No.3・4, 159-168.
- 後藤学 (2017), 海外の数学文化を取り入れた教材開発—Optical toy を事例として—, 数学教育学会誌, Vol.58, No 1・2, 61-70.
- 後藤学 (2023), STEAM 教育を構成できる教員養成プログラムの検討, 数学教育学会春季年会予稿集.
- 辻宏子 (2019), NGSS にみる STEM 教育における数学の位置づけ: 領域横断的な概念に注目する必要性, 日本科学教育学会第 43 回年会論文集, 21-22.

- 内閣府 (2021), 科学技術・イノベーション基本計画.
(<https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/6honbun.pdf>
2023. 1. 10 取得)
- 藤田伸 (2015), 装飾パターンの法則－フェドロフ, エ
ッシャー, ペンローズ－, 三元社.
- 文部科学省 (2018), Society 5.0に向けた人材育成～社
会が変わる, 学びが変わる～. ([https://www.mext.
go.jp/component/a_menu/other/detail/__icsFiles/afield-
file/2018/06/06/1405844_002.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/__icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844_002.pdf) 2023. 1. 10 取得)
- 文部科学省 (2019), 今後の教育課程の改善について.
([https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo
3/004/siryo/__icsFiles/afieldfile/2019/01/23/1412892_4.
pdf](https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/siryo/__icsFiles/afieldfile/2019/01/23/1412892_4.pdf) 2023. 1. 10 取得)
- 横地清・菊池乙夫 (1998), 算数+総合学習ヘクロスす
る授業, 教科+総合学習の新構想 1, 明治図書.
- 横地清 (2001), 数学教育学の形成について, 数学教育
学会誌, Vol.42/No 1・2, 17-25.
- 横地清・菊池乙夫 (2001), 中学校数学+総合学習 1
数学を中心とする総合学習の展開, 明治図書.
(2023年3月1日 受理)