

特集

コモンベーシックスとしてのアルゴリズム的思考 —STEAMの発展モデル STEA²Mの提案と実践—

鈴木 泰 博

Received: 16 December 2024 / Accepted: 20 January 2025

— <要 旨> —

本稿の目的は、STEAM教育における異分野間の知識統合や評価方法の確立などの課題に対して、「アルゴリズム的思考」を基盤とした新しい教育モデル「STEA²M」を提案にある。ここでのアルゴリズム的思考とは、計算論的思考の本質的要素であるアルゴリズムを「モノコトの状態を遷移させる順序」として再定義し、より一般的な思考法として拡張したものである。

この概念をSTEAM教育に導入することで、科学技術分野での問題解決、芸術分野での創造プロセスの構造化、人文学的思考における倫理的判断の手順化など、分野を横断する共通基盤として機能することが期待される。大学の基礎教育とアート教育における2つの実践例を通じて、STEA²Mが文理を超えた汎用的な思考法として有効であること、感性と論理の統合による創造的活動を促進すること、そして学際的な知識統合の基盤として機能することが示唆された。

特にAIとの共生が求められる現代において、アルゴリズム的思考を基盤とした本教育モデルは、人間固有の創造性と論理性を育む枠組みとして機能する可能性がある。今後は、より広範な教育場面での検証や、評価方法の確立、教員養成など、実装に向けた具体的な方策の検討が求められる。

1. はじめに

AI（人工知能）の進展は社会に変革をもたらしている。日常生活での自動運転車やスマート家電、ビジネスにおけるビッグデータ解析、医療での診断支援など、AIの応用範囲は広がり続けている。こうしたAI技術の発展は、教育のあり方にも大きな影響を与えている。特に高等教育においては、AIと人間が共存する社会で新たな価値を創造できる人材の育成が喫緊の課題となっている。

この課題に対して、STEAM（Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics）教育は一つの解決策として注目されてきた。STEAM教育は科学技術分野の専門知識と創造性を結びつけることで、複雑化する社会の課題に対応できる人材育成を目指している。一方、実践においては学際的な知識の統合や評価方法の確立など、いくつかの本質的な課題が残されている。

これらの課題の根底には、異分野間の知識や方法論を橋渡しする共通基盤の不在があると考えられる。本研究では、この共通基盤として「アルゴリズム的思考」に着目し、これを組み込んだ新しい教育モデル「STEAM²M」を提案する。アルゴリズムは、計算論的思考（Computational Thinking）の中核的要素であるが、本論ではアルゴリズム「モノコトの状態を遷移させる順序」と再定義し一般化する。この再定義にもとづくアルゴリズム的思考は、従来の計算機科学の文脈を超えて、より広範な問題解決に適用可能な思考法として位置づけられる。

以下、まず第2節でSTEAM教育と計算論的思考の現状と課題を整理する。続く第3節では、アルゴリズム的思考の概念を再構築し、その教育的意義を論じる。第4節では、STEAM²Mの理論的フレームワークを提示する。第5節では、基礎教育とアート教育という異なる文脈での実践を通じて、STEAM²Mの可能性と課題を検討する。最後に第6節で、本研究の成果と今後の展望をまとめる。

2. 背景

2.1 STEAM教育の意義と課題

STEAMに先行するSTEMは、磯崎らによれば（磯崎・磯崎 2021）、19世紀に英国での科学教育についての議論に端緒がみられ、その用語の起源

は1990年代に全米科学財団が用いた表現による。その後、2009年に米国オバマ大統領（Barack Hussein Obama II）によりSTEM教育の推進が表現された。この教育モデルは、技術革新と科学的思考の育成を目的とし、アメリカでは冷戦時代の技術競争の中で誕生した（磯崎・磯崎 2021）。そしてAI、ロボティクス、プログラミングなどの最先端技術分野を含む広範な教育分野として発展している。

一方、STEAMは、STEMに芸術（Arts）の“A”を加えた教育モデルであり、創造的思考とデザイン的アプローチを教育に導入することで、より多角的な問題解決能力の育成をめざしている。

STEMとSTEAMの違いは、「A」の有無とその役割の解釈にある。STEMは技術革新と科学的思考の強化を目指し、主に理系分野の学びを支える教育モデルである。一方、STEAMは多角的な問題解決力と創造性の育成を目指し、「A」を導入することで文化的価値の創出と倫理的な判断力を教育の核に据える。これにより、STEAM教育は技術的な学びを超え、社会的課題の解決と市場価値の創出を視野に入れた全人的な教育モデルとして進化した（胸組 2019）。

一方、STEAMの「A」の意味は一意ではない。STEAMの「A」の概念については、教養（Liberal Arts）としての「A」と、芸術（Arts）としての「A」の二つの考え方に大別されるが、その定義は定まっていない（辻合、長谷川 2020）。

2006年にSTEAMを提唱したジョーゼット・ヤックマン（Georgette Yakman）では「A」は教養（Liberal Arts）を指し、人文学や社会科学、文化的価値の学びも含む広義の教育概念とされる。科学技術教育だけではなく、倫理観、文化的理解、社会的責任感の育成がSTEAM教育の中心的な目的とされる点が特徴である（Yakman 2006）。

一方、ジョン・マエダ（John Maeda）は、「A（Arts）」をデザインとアート（Design & Art）として解釈し、創造的産業や市場価値の創出に直結する要素として捉えた。彼はロードアイランド・スクール・オブ・デザイン（Rhode Island School of Design：RISD）の学長として、STEAM教育の普及運動を推進し、技術的な成果物に美的価値を加える力、デザイン思考、ユーザー体験の向上を重視した（Maeda 2013）。それは、技術革新が社会的価値を持つためには、美的価値やユーザー体験（UX）の設計など、視覚的・感覚的な要素が不可欠であるとの考えに基づいている（Maeda 2013）。

いずれの「A」についても、異なる分野間の統合や、専門的な教育者の育

成、評価基準の設定などが主要な課題として挙げられる。特に STEAM 教育では、理系と文系の協力が求められ、教育資源の確保も課題となっている（胸組 2019）。

2.2 計算論的思考

2006 年にジーニー・ウィング（Jeannette Marie Wing）により提唱された計算論的思考（Computational Thinking）とは、複雑な問題を分解し、解決策を順序立てて設計するための汎用的な思考法である。ウィングは、計算論的思考を「コンピュータ科学的な問題解決の思考法」と定義し（Wing 2006）、コンピュータを実際に使うか否かに関わらず複雑な問題を効率的に理解し、解決するための基本的な思考スキルとして位置づけた（中島ほか 2022）。

このアプローチの核となるのが、分解、パターン認識、抽象化、そしてアルゴリズム設計という 4 つの主要なプロセスである。まず分解では、複雑な問題をより小さく管理可能な部分に分割する。これにより、大規模な課題も扱いやすい単位で検討することが可能になる。次にパターン認識によって、分割された問題の中から共通点や規則性を見出し、既存の解決策や効率的な処理方法を特定する。抽象化のプロセスでは、問題の本質的な要素を特定し、不要な詳細を取り除くことで、より扱いやすいモデルや概念を作り出す。最後にアルゴリズム設計において、具体的な解決手順を明確に定義する。

ウィングは計算論的思考の主要要素としてアルゴリズム（Algorithm）、抽象化（Abstraction）、自動化（Automation）という 3 つの「A」が含まれると主張した（Barr and Stephenson 2011）。ここでの自動化とは、電子計算機（PC）などのデジタルツールやシミュレーションツールを使用して問題解決を機械化することである。

2.3 計算論的思考の STEAM 教育への寄与

STEAM は、2.1 で述べたように学際的な統合、評価基準の不明確さ、教育者の専門性の不足、リソースの不平等など、さまざまな課題が指摘されている。これらの課題に対し、計算論的思考（Computational Thinking）を教育に導入することで、効果的な解決策が得られると考えられる。

まず、学際的な統合の困難については、計算論的思考での分解、パターン認識、抽象化、アルゴリズム設計のプロセスを活用することで、異なる分野を統合的に整理することが可能となるとの指摘がある（Grover and Pea

2013)。

また、評価基準の不明確さについては、プロジェクトの進行プロセスをアルゴリズム設計として分解し、ステップごとに評価可能なタスクに変えることで、成果を測定することが提案されている (Brennan and Resnick 2012)。この測定法を用いることで、たとえば、プログラミングのプロジェクトであれば、コードの完成度やエラー処理の工夫を評価基準に設定できるし、アートプロジェクトでも作品の完成度だけでなく、設計プロセスそのものを評価する指標を与えることが可能となる。計算機などのリソースの不平等やインフラの不足の問題については、計算論的思考は、物理的なりソースに依存せず、アイデアベースでの教育が可能である (Barr and Stephenson 2011)。

2.4 STEAM 教育と計算論的思考の意義と課題

STEAM 教育と計算論的思考を組み合わせることは有用であるが課題もある。まず、教育者の専門性の不足が課題となる。STEAM と計算論的思考の教育では、分野横断的な指導が求められるため、幅広い専門知識を持つ教育者の育成が重要である。特に、STEAM 教育では科学や芸術、計算論的思考の全体をカバーできる指導力が不足しており、計算論的思考の教育でもプログラミングやアルゴリズム設計に関する知識を持つ教師が不足している。また、計算機資源や創作活動のための機器や教材 (プログラミングツール、実験機材、アート用具など) に制約をうけることで、リソースの不足が教育の質を制限する可能性がある。

このような課題がある一方で、計算論的思考はアルゴリズム化のための「問題の分解」や、「問題の抽象化」により、異分野の知識を統合して複雑な問題を整理する具体的な方法を提示するため、STEAM 教育に計算論的思考を取り入れることで、学際的な学びの整理や指導方法の標準化が進む可能性がある。

例えば、STEAM 教育のプロジェクトで「持続可能な都市のデザイン」をテーマにする場合、科学や技術 (気候変動やエネルギー効率の理論)、工学 (構造設計)、アート (ビジュアルデザイン) を統合する必要がある。このプロジェクトでは以下のように計算論的思考を援用することができる。

- 問題を分解（Decomposition）し、それぞれの学問分野の役割を明確化
- パターン認識（Pattern Recognition）を活用し、類似する都市計画事例から共通点を抽出
- 抽象化（Abstraction）により、課題の本質に集中し、無関係な要素を排除
- アルゴリズム設計（Algorithm Design）により、効率的な解決手順を設計

このように、計算論的思考は STEAM 教育の学びを整理し、学際的な統合を支援するツールとして機能する。このように、計算論的思考は、STEAM 教育の複雑な学際的学びを支援し、評価や指導方法の標準化を進める可能性ある。

3. 「アルゴリズム的思考」を基盤とした計算論的思考の再構築

STEAM 教育の課題を解決するために計算論的思考（Computational Thinking）を導入することは有効な手段である。しかし、計算論的思考そのものを教育現場で実践する際にはいくつかの困難が伴い、特に抽象化（Abstraction）や自動化（Automation）といった要素の難解さが障壁となる場合がある。

この問題を克服するために、計算論的思考の中核的要素である アルゴリズムに焦点を当て、計算論的思考の導入方法を再構築することを提案する。アルゴリズムの作成は、問題解決を手順化し、論理的かつ明確に進めるためのスキルを育成するものであり、抽象化や自動化といった計算論的思考の他の要素を自然に導入する橋渡しとなる。以下では、モノコトをアルゴリズム化して考える仕方を以下では「アルゴリズム的思考」とよぶことにする。アルゴリズム的思考により、STEAM 教育の課題解決と計算論的思考導入の実現可能性を同時に高めることができる。

3.1 アルゴリズム・計算の再定義

「アルゴリズム的思考」を教育に導入するためには、従来のアルゴリズムや計算の概念を再解釈して定義を拡張する必要がある。本論では、「モノコトの状態を遷移させる順序」のことをアルゴリズム（algorithm）と定義する。そして、アルゴリズムを実行する主体を計算主体とし、計算主体がアルゴリズムを実行することで生じる状態の遷移を計算と定義する。この定義によると、多くのモノコトの状態遷移をアルゴリズムとして記述

できる。たとえば「歯磨き」もアルゴリズムとして、たとえば以下のように記述できる。

1. 歯ブラシに歯磨き粉をのせる
2. 歯を磨く
3. 口をすすぐ

通常歯磨きは1→2→3の順序のアルゴリズムであるが、3→1→2の順序のアルゴリズムで状態遷移を生じさせると、口の中が泡でいっぱい状態を終了することになる。このアルゴリズムを実行する主体を計算主体とする。

3.2 計算主体

目の前にトマトとニンニク、そしてオリーブオイルがあるとします。しばらく眺めていても何も変わらない。この3つのモノの状態遷移を生じさせる順序、つまりアルゴリズム（ここではレシピ）を与えてみよう。

1. ニンニクをみじん切りにする。
2. オリーブオイルをゆっくりと温める。
3. オリーブオイルに1の結果を加えてゆっくりと加熱する。
4. 2の結果にトマトを入れて煮詰め、塩で味を整える。

このアルゴリズムをメモ用紙に書いただけでは状態は遷移しない。このアルゴリズムに基づき状態を遷移させるには、料理人というアルゴリズムを実行する主体が必要である。この主体のことを以下では計算主体と呼ぶ。ほかにも例えば、ラジオ体操をアルゴリズムとすると、ラジオ体操をしている私たちが計算主体になる。

計算主体が変わると、アルゴリズムも変わる場合が多い。ラジオ体操のアルゴリズムの計算主体ロボットならば、人間用のアルゴリズムとは全くことなったアルゴリズムを与える必要がある。トマトソースのアルゴリズムでも同様で、もし計算主体が料理未経験者であれば、上掲したアルゴリズムでは簡潔すぎるので、より順序を細分化したアルゴリズムが必要になる。またもし、計算主体が学習して能力が高くなれば、アルゴリズム変化していく。このように、アルゴリズムは計算主体によって内容や順序が相対的に変わ

っていく。

すでに、計算論的思考でのアルゴリズムに重点をおいた小中学校 (K-12) での教育実践の報告があるが (Yadav 2014)、こうした実践例では計算機科学でのアルゴリズムの概念や内容が用いられている。たとえば、計算機言語やフローチャートこそ使われないものの、計算機科学で研究されてきた知見、例えば経路探索やソーティングのアルゴリズムなど、の学習が促される。

一方、上述した「アルゴリズム的思考」でのアルゴリズムとは、こうした計算機科学によるアルゴリズムを拡張した一般性の高い概念に相当する。そのため、指導者は計算機科学の知見に習熟している必要はなく、学習者は専門知識が不要である。

以上で拡張したアルゴリズムの定義に基づく、アルゴリズム的思考により学習者は一般的なモノコトをアルゴリズム化する能力が養われる。この能力が十分に養われていけば、その後に計算機科学でのアルゴリズムの知見を理解することも容易となる。

3.3 アルゴリズム的思考：「アタマの中の思考」を取り出す

これまでの議論で、アルゴリズム的思考の基本的な枠組みを示してきた。本節では、この思考法が既存の思考法とどのように異なり、なぜ教育実践において有効なのかを考察する。特に注目すべきは、アルゴリズム的思考が、暗黙知として内在化されている『アタマの中の思考』を、明示的な形で取り出す手法を提供する点である (詳細を省くが、以下は計算論的思考の諸概念の組み合わせに含まれる)。

私たちは一日中ずっとアタマのなかでことばを呟きながら、考えている。だが、私たちはアタマのなかのことばで熟考した上で、よく間違える。私たちのアタマの中のことば」による思考は脆弱で頼りないのである。人類はずっとアタマのなかの言語のみでの思考に限界を感じつつ、より正しく思考することができる「数学」などの“人造言語”をつくってきた。

だが、人類が自ら構築してきた“人造言語”の言語世界を、私たちが理解できないことも多い。たとえば、「数学」は長い歴史を誇る“人造言語”だが、数学の言語世界は私たちの能力を超えてしまっている。「数学」言語を操ることに長けた数学者であっても、数百年もアタマを抱えるような難問が数学にはたくさんある。

人造言語の言語世界が私たちの能力を超えてしまうのは、数学だけではない。優れた科学者が「アタマの中のことば」で考えて作り、多くの科学者

が賞賛した理論であっても、アルゴリズムとして記述して「コンピュータ」で計算してみればはじめて、致命的な欠陥があることに気づくことがある。どんなに知的能力が高くても、「アタマの中のことば」だけで考えると間違えることが多い。

たとえば、初期の人工知能による自然言語処理の研究は、言語学者チョムスキーの生成文法理論に依るところが大きかった。その当時は、まず言語の構文解析を行い、それをもとに意味処理を行えばよいと考えられていた。構文解析の研究は比較的順調にすすみ、高速に構文解析を行うアルゴリズムなどが提案されていった。だが、意味処理の研究は大きな困難にぶつかった。

たとえば、Time flies like an arrow は“光陰矢の如し”の意味にもとれるが、Time flies を“トキバエ”という蠅としても文法的には正しいため、“トキバエは矢を好む”の意味にもなってしまう。この意味処理の困難は当初想定されていたよりも深刻で、この問題が提起された1960年から半世紀を超えた現在でも本質的には解決していない（意味処理の問題はその後コーパスを用いる統計的方法や、近年のLLMなど、全く別の方向から乗り越えられていくことになる）。

初期の自然言語処理の失敗は、思考や理論をアルゴリズムとして表現し実際にコンピュータで実行してみることの“威力”を示している。「アタマの中の思考」をアルゴリズムとして取り出すと、そのアルゴリズムによりPCなどの電子計算機に、「アタマの中の思考」を移植することができる。そして電子計算機でアタマの中から移植してきた思考を実行させてみるることができる。

数学でも同様のことができるが、正しく“数学語”に翻訳したり、間違えずに計算を行ったりするにはかなりの修練と才覚を要する。一方、アルゴリズムを使うなら「アタマの中の思考」を「順序」として記述さえできればよい。

アルゴリズムは、自然言語に比べて「アタマの中の思考」を取り出すことができるだけでなく、効率良く他者へ伝送・移植」できる。たとえば私たちは、ホメロス¹⁾の詩（書きことば）に感動できても、彼の「アタマのなかの思考」はわからない。だが、ユークリッド²⁾の2つの自然数の最大公約数の求め方のアルゴリズムから、彼が数千年前のある日の「アタマのなかの思考」は現在でも辿ることができる（ユークリッドの互除法）。

アルゴリズム的思考に習熟していくと、「アタマの中のことば」もアルゴリズム的になっていくであろう。「アタマのなかのことば」が変わることの影響は甚大だ。例えば、日本語の使用を禁じ、生まれた子供を日本語以外の

言語でのみ教育することを3代も続ければ、やがて日本語を理解する“日本人”は激減するだろう。そんな「日本語を理解できない日本人」の「アタマのなかのことば」は外国語となり、その外国語で思考するようになる。同様に、もしPCも計算機科学も全く不慣れだとしても、アタマの中のことばがアルゴリズム的であれば、生成系AIへの的確な指示や、IT技術者などとの円滑なプロジェクト推進も可能となるであろう。

4. STEA²M の提唱

これまでの議論をまとめると、STEA²M (Science、Technology、Engineering、Arts、Algorithmic Thinking、Mathematics) とは、科学技術と芸術・教養を統合するSTEAM教育に「Algorithmic Thinking (アルゴリズム的思考)」を新たに加えた教育モデルである。従来のSTEAM教育は、「A (Arts)」に創造的表現や幅広い教養を意味付けし、科学技術教育の創造的側面を補完しようとした。しかし、教育現場においては、芸術的要素が視覚的な装飾や象徴的な意味にとどまり、学際的な相互作用が不十分であるという課題が残された。STEA²Mは、こうした課題を克服するため、「A」の創造性と教養の要素を支える論理的思考の枠組みとして、アルゴリズム的思考を導入する点に独自性がある。

そのSTEA²Mの中核をなす「アルゴリズム的思考 (Algorithmic Thinking)」とは、計算論的思考 (Computational Thinking) から発展した概念であった。計算論的思考の教育への応用では、コンピュータサイエンスとの結びつきが強いため、プログラミングスキルの獲得が前提となり、教育現場では、具体的な応用例や実践方法が明確でない場合も多い。また、文系教育においては、コンピュータサイエンス的手法そのものがなじみにくいという問題も存在する (平嶋・林 2019、清水 2023)。

4.1 STEA²Mにおけるアルゴリズム的思考の役割

STEA²Mの教育モデルにおいて、アルゴリズム的思考は次のような役割を果たす。まず、科学技術分野では、アルゴリズム的思考はデータ分析やシステム設計において、問題を分解し、解決策を構造化する思考法として機能する。例えば、新薬開発のプロセスでは、問題設定から実験計画、データ分析、効果検証まで、各段階をアルゴリズムとして整理することで、複雑な研究プロセスを管理可能なものとする。

一方で、芸術分野においては、アルゴリズム的思考により創造的なアイデアを分解し、構成要素を明確化することで、美術作品やデザインの完成度を高める。具体的には、絵画制作における構図決定から色彩選択、技法適用までをアルゴリズム化することで、直感的な表現活動をより意識的な創造プロセスへと発展させることができる。

また、人文学的思考においては、アルゴリズム的思考を用いて、例えば、倫理的判断や批判的思考の基準を整理し、評価基準をアルゴリズム化することで、意思決定の透明性を高めることができる。環境問題に関する政策決定において、アルゴリズム的思考を導入することで、経済的影響、社会的公平性、環境負荷などの評価要素を明確化し、それぞれの重要度を考慮した判断のアルゴリズムを設計することで、より客観的な意思決定が可能となる。あるいは、文学作品の批評において、文体分析、主題の抽出、社会的背景の考察というアルゴリズムを明確化することで、より体系的な作品理解に至ることができる。

STEA²M は計算論的思考の基本的な考え方をアルゴリズムの再定義により拡張・再解釈することで、アルゴリズム的思考を核とした、従来の教育モデルを超えた次世代型教育フレームワークとなる可能性がある。

4.2 STEA²M でのアルゴリズム的思考

「アルゴリズム的思考」について、モノコトを無理やり「アルゴリズムに当てはめるために思考・学習の自由が制約をうけるのではないか？」と思うかもしれない。注意していただきたいことは、アルゴリズムの概念を拡張し、アルゴリズムを“モノコトを順序としてとらえる”考え方へ抽象化したことである。あらかじめ定められていたフローチャート（アルゴリズムを記述するための図形言語）、や計算機科学で得られている最適化のアルゴリズムなどに、思考を無理やりはめ込むことがアルゴリズム的思考ではない。

モノコトを（拡張された）アルゴリズム的に考えた結果の表現の一つがフローチャートになるかもしれないし、最適化の課題を解こうとして試行錯誤するなかで、計算機科学での何らかの最適化アルゴリズムの“考え方”が助けになるかもしれない。ここでのポイントはフローチャートや最適化アルゴリズムに対して、私たちが既存のモノコトに最初から“あてはめにいく”ものではないことである。

モノコトを考えているなかでアルゴリズムを設計する場合、問題解決のアルゴリズムがすぐに決まることは少ないであろう。とりあえず、アルゴリ

ズムをつくってみて、結果をみながら、アルゴリズムを修正していくことになる。

たとえば、トマトパスタをつくるアルゴリズムに習熟すると、そのアルゴリズムを基盤として冷蔵庫の奥のほうから出てきた野菜や残り物をつかって、オリジナルのパスタをつくることができるようになる。そのオリジナルパスタをつくる過程で得た経験知により、アルゴリズムを修正することもできる。こうして、ひとつの料理に習熟すると、そのアルゴリズムを基盤として新しい料理を創造できるようになっていく。

学習者は未知の課題に対する場合、まずは“とっかかりがない”状態に直面する。そこで、既存の知識や方法を探したり、指導者に助言を求めたりすることになる。このような場合、例えばインターネットでの検索は便利な道具となり、インターネット検索に頼る場合も多いだろう。だが、このようなことを繰り返していると、自ら創造的にモノコトを解決したり、発想したりする機会が失われる可能性がある。

アルゴリズム的思考は、未知の課題に対する場合の“とっかかり”となるものである。たとえば「地球は温暖化しているのか？」について考察する場合、あまりにも多くの要素が含まれる課題であるため“とっかかり”が掴みにくい。こうした場合にアルゴリズム的思考は、たとえば「地球温暖化のアルゴリズム」との作業課題をほぼ自動的に与えてくれる。

この作業課題について、まずインターネット検索などの文献検索などを開始し、地球温暖化のアルゴリズムという観点で課題に取り組むことができる。この作業をすすめていくに従って学習が進んで知識が増えていくことで、地球温暖化のアルゴリズムから、より具体的な課題へと変わっていくことも十分にあり得る。アルゴリズム的思考を基盤とした作業をすすめるうちに、自ら知識や学習は分野横断的となり、融合的なものとなっていくであろう。

また学習成果を発表する場合には、学習したモノコトをデザインやアートとして表現していくこともあるかもしれない。地球環境科学とデザイン・アートは異なった分野であるが、ここでのデザイン・アートは学習したモノコトの表現であるため“科学とデザイン・アート”として明確に分離することはできない。表現したモノコト（地球温暖化）がなければ、デザイン・アートでの表現は生まれないし、デザイン・アート化するために地球温暖化について考察したわけでもないからだ。

5. STEA²M の教育実践

以下の実践例は、アルゴリズム的思考の教育現場での適用可能性を例示するものである。これらの事例は、提唱した概念の完全な検証ではなく、その可能性と発展性を示唆する試みとして位置づけられる。

実践例として、異なる2つの文脈での取り組みを分析する。まず最初に紹介する、名古屋大学の全学共通の基礎教育である「基礎セミナー」での実践例では、文理を問わない汎用的な思考法としてのアルゴリズム的思考の導入を試みた。次に、アートスクールでの実践例では、専門性の高い芸術教育にアルゴリズム的思考を導入することで、感性と論理の統合を目指した。STEA²M の提唱は以下で紹介する「基礎セミナー」での実践例がきっかけとなった。

5.1 「基礎セミナー」における実践

名古屋大学では、全学部共通で学部1年生の前期に「基礎セミナー」を実施している。基礎セミナーは最大15名程度のセミナーの形式で、大学で学び研究するための最も基本的なスキル（コモン・ベーシック）としての読み（文献調査、考察、検討）、書き（まとめ、報告書作成）、話す（討論、発表）を中心とした多面的な知的トレーニングを行うことを主な目的としている（名古屋大学内部文書より抜粋・改変）。

「基礎セミナー」を2005年から5年間担当した期間では、身の回りのモノコトのなかでの問題点を示し・デザインとして解決することを中心としたアプローチで行った（このアプローチは現在では「デザイン思考」とよばれている（Maeda 2013））。基礎セミナーに参加してくる学生の学部が多様であること、基礎知識や技術なども多様であることから、事前知識・技術がなくても創造的な学びを行うことができるため、デザインを題材とした。

まず“デザインの考え方”を体験するために、「デザインの原型（深澤ら 1970）」を教科書として事例をもとにデザインの考え方についての解説を行い、類似の事例についてのディスカッションを行った。

つぎに、講義室内でフィールドワークを行い「講義室内にある問題点」を探し、全員で白板に問題点を書き込むことで共有を行った。この共有をもとに、問題点の抽象化と分類のグループワークを行うことで「問題発見」を行う方法を体験的に学習した。次に発見した問題を解決するための方法を考案するグループワークを行い、その成果を全員で共有した。

この時点で、全員で名古屋大学情報学部内（当時は情報文化学部）のプロジェクトギャラリー（CLAS ギャラリー）の見学を行い、「これまで行ってきたデザインの考え方による問題発見と解決のプロセスと成果について、このギャラリーで企画展示を行うこと。すべては学生主導で行うこと」をセミナーの最終課題とすることを伝えた。ここで教員と TA が最大限注意を払ったことは、最終的なゴール（学内ギャラリーでの展示）を提示した後は、学生の主体性に全面的に委ねた点である。学生たちは、教員や TA から一切のファシリテートを受けずに、自らコンセプトを構築し、作品制作、展示方法の検討まで行った。

その後 2022 年に担当した「基礎セミナー」では、アルゴリズム的思考によるアプローチを行った。まず教員自身の研究について、「研究者はモノコトからどのように問題を発見し、解決するのか」に焦点をあてて解説を行った。それをもとに、学生たちに「研究者の視点を持ったつもり」になってもらい、まず日常における問題の発見を行い全員で共有した。

次に問題を解決する“考えかた”として「アルゴリズム的思考」の導入を行った。まず「風邪の治し方のアルゴリズム」など、日常生活をアルゴリズムとして捉え直すワークを行った。そして、教員が全員で共有した問題について、アルゴリズム的思考により解決する方法を示し、それを参考にして学生がアルゴリズム的思考を用いて、問題解決するワークを行った。

最終課題を「日常生活から問題を発見して、アルゴリズム的思考をもちいた問題解決と研究成果の発表」とした。最終課題に向けて、問題発見のフェーズでは自分が発見した問題を発表して共有を行い、学生と教員からフィードバックを行った。これを踏まえて、自分が取り組む問題を確定させ問題解決のフェーズへと移行することとした。このフェーズでは TA や教員は各々の学生とディスカッションをしながら、問題解決へのファシリテートを行ったが、学生の独自の考え方や方法を尊重することに注意を払った。

その結果、各々の学生の独自性が反映され多様な研究が行われた。教員も TA も学術的・技術的なサポートは一切行わなかったが、自主的に必要な統計手法などを学習して研究を深めている学生も多くみられた。

たとえば、クラブチームのテニス選手として活躍している学生は、試合における逆転負けの原因分析を行った。過去の試合データを分析し、「2 回連続ミスの直後の失点」が大敗につながる確率が高いことなどを発見した。これは学生が自発的にデータ分析の手法を用いて結論を導き出した例である。この例以外にも、独創的な研究が多くみられた。

このテニス選手による研究は、アルゴリズム的思考の特徴を明確に示している。まず、試合という複雑な事象を「連続ミス」という要素に分解し、その影響を順序立てて分析している。これは、アルゴリズム的思考による「状態遷移の順序」の把握が、スポーツという身体的活動の分析にも有効であることを示している。さらに、この分析過程で学生は自発的に統計手法を学んでいるが、これはアルゴリズム的思考が新しい知識の獲得を自然に促す足場かけとして機能していることを示唆している。

5.2 アートスクールにおける実践

アートスクール（名古屋市立大学芸術工学部）の3年生を対象に、アルゴリズム的思考を用いた作品制作の実践を行った。この取り組みでは、感性的な制作プロセスにアルゴリズム的な思考を組み込むことを試みた。

この実践では、アルゴリズム的思考をもちいて著者らが提案している、触覚の記述法「触譜」を用いた点である³⁾。触譜とは時間変化する触覚を楽譜（五線譜）を用いて記述する方法である。楽譜は音の高さの変化を記述するのに対し、触譜では押す力（垂直力）の変化を記述する。この講義はデザイン、アート（グラフィック、音楽、写真、立体ほか）、建築などバックグラウンドの異なる学生を対象としたものである。触覚というメディアに依存しない感覚を扱うことで、全ての学生が自らの作品制作に応用できるようににした。

実践例として、立体（彫刻）を専攻する学生は、ろくろでの制作プロセスを触覚的な要素に分解し、それを触譜として記述した。その後、付箋紙の長さで強弱を表現するなど、アナログな手法で触覚を視覚化した。また、テキスタイルを専攻する学生は、クッションの触り心地を数値化し、それを色彩に変換して染色を行うなど、感性的な作品制作にアルゴリズム的な手法を導入した。

ろくろでの制作プロセスを触覚的な要素に分解し、それを視覚化する過程は、アルゴリズム的思考による『アタマの中の思考を取り出す』実践といえる。また、クッションの触覚を数値化して染色に変換する試みは、感性的な活動とアルゴリズム的な思考の統合が、新しい創造的表現を生み出す可能性を示している。これらの事例は、アルゴリズム的思考が芸術表現における感性と論理の架け橋として機能することを示唆している。

5.3 実践を通じた STEA²M の検証

これらの実践を通じて、STEA²M のフレームワークの有効性が以下の三つの側面から確認された。

第一に、アルゴリズム的思考のコモンベーシックとしての機能である。基礎セミナーにおける文理融合の実践では、専門分野や既有知識の差異に関わらず、すべての学生が問題解決に取り組むことができた。特に、テニス選手の試合分析事例は、スポーツという身体的活動においてもアルゴリズム的思考が有効に機能することを示している。

第二に、感性と論理の統合機能である。アートスクールでの実践では、触覚という感覚的な要素をアルゴリズム的に記述し、作品制作に活かすことができた。これは、アルゴリズム的思考が感性的活動と論理的思考を橋渡しする機能を持つことを示している。

第三に、学習者の主体性を引き出す機能である。両実践において、教員は最小限の枠組みを示すのみで、学習者は自律的に問題を発見し解決方法を見出していった。これは、アルゴリズム的思考が学習の足場かけ (scaffolding) として機能することを示している。

6. 結論と展望

本研究では、STEAM 教育に「アルゴリズム的思考」を加えた STEA²M という新しい教育モデルを提案し、その理論的フレームワークの構築と実践的検証を行った。実践を通じて、STEA²M が文理を超えた汎用的な思考法として有効であること、感性と論理の統合による創造的活動を促進すること、そして学際的な知識統合の基盤として機能することが確認された。

これらの研究成果は、高等教育における新しい可能性を示唆している。特に、AI との共生が求められる現代において、アルゴリズム的思考を基盤とした教育モデルは、人間固有の創造性と論理性を育むフレームワークとして機能する可能性がある。

一方で、本研究にはいくつかの限界と課題も存在する。まず、実践研究が限られた文脈でのみ行われており、より広範な教育場面での検証が必要である。また、アルゴリズム的思考の評価方法については、より精緻な指標の開発が求められる。さらに、教員養成や支援体制の整備など、実装に向けた具体的な方策の検討も必要である。

注

- 1) Homer、紀元前5世紀のギリシアの詩人。
- 2) Euclid、紀元前3世紀頃のギリシアの哲学者。
- 3) Tactile Score 触譜については鈴木泰博研究室ウェブサイト参照。(https://www.sensory-communication.info/1, 2024.12.16)

参考文献

- Barr, V. and Stephenson, C., 2011, “Bringing Computational Thinking to K-12: What Is Involved and What Is the Role of the Computer Science Education Community?”, *ACM Inroads*, 2(1): 48-54.
- Brennan, K. and Resnick, M., 2012, “New Frameworks for Studying and Assessing the Development of Computational Thinking”, *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
- 深澤直人・原研哉・佐藤卓、日本デザインコミッティー、2004、『デザインの原形』六曜社。
- Grover, S. and Pea, R., 2013, “Computational Thinking in K-12: A Review of the State of the Field”, *Educational Researcher*, 42(1): 38-43.
- 平嶋宗・林雄介、2019、「情報科学からの教材研究の試み－計算論的思考を指向した内容のコンピューテーショナル化」『教育システム情報学会中国支部研究発表会講演論文集』19(1): 54-61。
- 磯崎哲夫・磯崎尚子、2021、「日本型 STEM 教育の構築に向けての理論的研究－比較教育学的視座からの分析を通して－」『科学教育研究』45(2): 142-54。
- Maeda, J., 2013, “STEM+Art=STEAM”, *The STEAM Journal*, 1(1): 34.
- 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』34: 58-72。
- 中島秀之・平田圭二編著、南部美砂子・M. ヴァランス・片桐恭弘・美馬のゆり、2022、『計算論的思考ってなに？－コンピュータサイエンティストのように考える』公立はこだて未来大学出版会。
- 清水美憲、2023、「「AI時代」の学校数学カリキュラムの展望－計算論的思考 (Computational Thinking) への着目」日本教材文化研究財団編『日本教材文化研究財団研究紀要』53: 22-9。
- 鈴木泰博ほか、2020、鈴木泰博研究室ウェブサイト。(https://www.sensory-communication.info/1, 2024.12.16)
- 辻合華子・長谷川春生、2020、「STEAM 教育における “A” の概念について」『科学教育研究』44(2): 93-103。
- Wing, J. M., 2006, “Computational Thinking”, *Communications of the ACM*, 49(3):

33-5.

Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambruch, S., and Korb, T., 2014, "Computational Thinking in Elementary and Secondary Teacher Education", *ACM Transactions on Computing Education*, 14(1): 1-16.

Yakman, G., 2006, "STEM Pedagogical Commons for Contextual Learning: How Fewer Teaching Divisions Can Provide More Relevant Learning Connections". [DOI: 10.13140/RG.2.2.10682.44489]