

SD-STEAMモデルに関する一考察

A Study on SD-STEAM Model

井越 昌紀*・大谷忠**

*持続可能エネルギー環境教育研究会・**東京学芸大学大学院教育学研究科

STEAMは人間性を入れた点で、科学技術中心のSTEMよりスコープが広がり、多様性を受容でき、これからの子どもたちの学習や生涯学習のスキルの方向を表している。一方、国際的には、環境問題、資源の枯渇など多くの問題が顕在化し、持続可能な開発（Sustainable Development : SD）の方向が模索されている。これからは倫理と結びついた持続可能性という点に目を向ける必要がある。ここでは歴史的にS.T.E.A.M.の源流を見ながら、倫理的な視点を入れたSTEAMであるSD-STEAMモデルについて考察する。

キーワード：STEAM、持続可能な開発、倫理、歴史、モデル、工学

1. はじめに

アメリカでは国を挙げて科学技術教育に力を入れる必要性から、オバマ政権時の2013年にSTEM教育の推進のために年間予算を大幅に増加した。STEMに関する背景や現状に関しては、熊野（2017）、（2018）の報告書に詳しい。STEMはその枠組みを次世代科学スタンダード（NGSS）に依拠しており、実践（工学）を含むものの比較的科学的探求能力の向上に力点がある。（NGSS 2013）

一方、科学技術を実践する立場から、多様な人の考え方や行動などを受け入れられる、感性などのArt（芸術）や人文系など人間性を豊かにするLiberal Arts（教養）の分野を加えたSTEAMに対する認識が深まり、アメリカでは2013年から、J.マエダが音頭を取りSTEMからデザイン思考に基づくSTEAMへという動きが出てきた。（ヤング 2019）

日本でも、経済産業省が2018年1月から『『未来の教室』とEdTech研究会』を立ち上げ、そこではSTEAMが取り上げられ、第2次提言（案）（経産省2019）で「学びのSTEAM化」の必要性を説いている。

STEAMの“A”は、もともとのArtの意味からするとArtificial（人工）ということでもあり、人工の多くの問題に目を向けられる。21世紀はAIの時代と言われる。AIの可能性は、科学技術分野だけでなく、絵画・造形・作曲・作文など人工の世界全体に及ぶ。

このように考えたとき、STEAMが果たす役割についても、歴史的視点から見直し、改めてこれから進むべき道と一緒に考えることが必要である。

ここで重要な視点として、国連が提唱し模索されている持続可能な開発（Sustainable

Development :SD）に内在する倫理感に目を向けると、新しくSD-STEAMの考え方が導かれる。このSD-STEAM（STEAM for Sustainable Development）について、ここではその考え方やモデルについて考察する。

2. 歴史に学ぶS.T.E.A.M.

歴史の背景の中で、過去の人の考え方や発見、発明がどのようになされたかを知り、その中の基礎的な部分について、科学の実験や作品の製作に結び付け、知識や経験を成長させる姿勢が学習者にとっての動機付けにもつながる。

2.1. 技術・芸術の黎明からギリシャ時代

3万2千年前にはショーヴェ洞窟壁画が創られ、その後も多くの洞窟壁画が残されている。また、同じころにライオンマンのような精巧な造形物も創られ、建造物では1万2千年前の狩猟時代に建築されたといわれるトルコ東部のギョベクリ・テペ遺跡がある。このように芸術と技術は一体となって出現し現人類種の創造力の証となった。建造物では、ピラミッドに代表されるように、幾何学（数学）と天文学（科学）を基にした大建造物が建造（技術）されている。

BC7世紀ころからギリシャでは、ものの存在や善とは何か（メタ倫理）といった哲学を中心とし、幾何学（ピタゴラス、エウクレイデス）、医学（ヒポクラテス）、物理学（アルキメデス）など、文化の興隆がなされた。アリストテレスは、人が作り出すものすべてをテクネー（Technology）と呼び、これは今でいう技術・芸術などを総合する呼び方であった。このテク

ネーはローマ時代にはラテン語でアルス (Ars) と呼ばれ、のちの英語のアート (Art)に通じる。このテクネーに対して、アリストテレスはものの存在を追求する言葉として、エピステーメーという呼び方をした。これは知識や存在を探求する科学 (Science) に対応している。(山本 2016)

2.2. ルネサンスから近代科学の始まりまで

文芸復興期の15世紀末には、ミケランジェロ、ダヴィンチなど多くの芸術家が作品を残した。現在から見れば、この時期がArt (芸術) とTechnology (技術) の分水嶺期と言える。

さらに16世紀になると、1543年にはコペルニクスが地動説を唱え、近代科学時代が始まった。これ以降、17世紀にかけて、ガリレオ、デカルト、ニュートンなどにより、科学 (物理) とともに数学(Mathematics) の興隆をも見ることとなる。近代化学は、「近代化学の父」と呼ばれる18世紀のラボアジエ以来とされる。

17世紀以降の科学や数学の発展に伴い、技術 (Technology) は工学 (Engineering) という新たな境地も開くこととなる。

2.3 工業化時代と問題への気づき

動力機関が効率よく広く使われ始めたのは、J.ワットの蒸気機関 (1776年) で、産業革命の発端となり、ものの大量生産への道を開いた。内燃機関 (エンジン) も発明されたが、動力機関のエネルギー源は石炭や石油とともに化石燃料である。このことが現在の大きな問題を引き起こす源ともなる。

1800年にA.ボルタが電池を発明すると、電気の時代に入る。1820年代にはM.ファラデーの電磁誘導原理が発見され、電動モーターや発電機が発明され、動力源として使われ始めた。通信技術としては、1875年にG.ベルが電話機を発明し通信が有線で実用化され、1895年にG.マルコーニが無線電信器を発明し、無線通信を実用化した。ここから通信の時代となり、デジタル化を経て情報化時代へつながる。

20世紀を過ぎると、理論物理の成果から核をエネルギーとして使うことになり、その利用面で種々の問題を引き起こしている。

一方、化学を代表するプラスチックでは、2000年初頭までに、ポリエチレンなどが発明されたが、いずれも工業化し大量に使われるようになったのは戦後である。これらは石油を主原料として、環境の中で分解されにくい。このことが、プラスチックにかかわる問題を引き起こしている。

さらに、技術は生物分野ともつながり、生物工学 (バイオテクノロジー) として進展している。1953年にJ.ワトソンとF.クリックらによって、DNAの二重らせん構造が明らかにされた時から、遺伝子工学が急速に発展した。現在ではいくつかの生物種の全遺伝子 (ゲノム) が解明され、的確に遺伝子を編集するゲノム編集で生物の遺伝子が容易に改変されるようになった。この技術は便益がある一方、生物を容易に改変することでの倫理上の問題も発生している。

2.4 情報化時代からAI時代へ

1946年にJ.モークリー、J.エッカートによってENIAC計算機が開発され、デジタル時代がくる。1958年には集積回路、1968年には大規模集積回路が登場する。1972年にはインテルからマイクロコンピュータチップ8008が登場して、パーソナルコンピュータ (PC) 時代を迎え、情報化時代へ入る。

一方、1991年にT.バーナーズ=リーがウェブ (WWW) の仕様を公開してからインターネット利用による本格的な情報化時代を迎える。

また、人工知能 (AI) の研究では、はじめ知識を記述する方法で行われたが限界があった。つぎに、ニューラルネットワーク (NN) 型で画像認識などの分野からのアプローチが始まったがこれも限界があった。2006年に深層学習の分野でビッグデータから教師なしのシステムが開発され、2012年に実用化の方向が示された。ここから現在のAIの大きな可能性が示されるとともに、AIの知能が人間を超えることに対する問題も生じさせることとなった。

2.5 技術 (Technology) と工学 (Engineering)

技術や工学に関する定義に関して、大橋 (2009) は欧米の技術習得の分類を、Engineer (技術者)、Technologist (テクノロジスト)、Technician (技能者) の3分類に分けていることを紹介している。

技術 (Technology) の語源はテクネーに由来し、科学や数学を使わなくても、ノウハウや技能があり、目的とする「もの」が合理的な方法でできればそれを技術ということができた。近代になり工学 (Engineering) が技術を支えるようになると、技術とは、工学で得られる構築法を用いて作られる事物やシステムのことも含む概念と広がったといえる。

Engineeringの語源は、ラテン語のIngenium (才能、資質、賢さ) にあるとされ、15世紀では軍事技術者はIngeniatorと呼ばれた。Engineerはその言語の流れを汲んでおり、比較的高度の技術を扱う技術者と言

える。その意味で、工学(Engineering)とは、「数学と自然科学を基礎とし、時には人文科学・社会科学の知見を用いて、有用な事物やシステムを論理的に構築する方法を研究することを目的とする学問」(検討委員会 1998)を一部改変)といえる。

現在の工学は、医学、農学、生物学との関係も深まり、かつ、学問が分化するごとに広がりを見せ、これによる技術の利用は、人にとって便益を与える一方で、倫理的な面に一層気を配る必要が出てきている。

3. 環境問題から倫理へ

3.1. 環境問題

1938年P.ミュラーは害虫に効果的なDDTを開発し農薬として利用した。それ以降、各国で殺虫剤が開発され大規模な畑に大量に撒かれ、これがレイチェル・カーソンの「沈黙の春」(1962)によって警告され、環境問題への関心の高まりにつながる。(図1)

一方、産業革命以降の近代化において、企業の活動により、動力や発電に大量の石炭が使われ、有害な物質の外への廃棄での問題が発生した。その後、扱いやすい石油が使われるが、車の排気ガスなどによる人への影響も顕在化し、企業活動の有機水銀などの廃棄物問題と合わせて公害問題が深刻化した。

3.2 環境問題への国連の取り組み

各種公害問題に加え、二酸化炭素による地球温暖化の現象が科学的に証明され国際的にも対策の必要性に迫られた。1987年に国連のブルントラント委員会が、持続可能な開発の定義を提案した。それによると持続可能な開発とは「将来の世代の欲求を満たしつつ、現在の世代の欲求も満足させる開発」である。この理念の下、1992年にブラジルのリオ・デ・ジャネイロで「持続可能な開発に関する国際連合会議」(地球サミット)が開かれた。「気候変動枠組み条約」では、2015年に「パリ協定」が結ばれ、地球温暖化対策が本格化した。

3.3 地球を取り巻く諸問題と持続可能な開発

産業革命以降、多くの人々が物質的に豊かになったものの、地球温暖化問題、資源の枯渇問題、プラスチックのごみ問題、インターネットセキュリティーなど問題、ゲノム編集による生物の人工的な改変の問題、などなど多くの問題を抱えることになる。

その問題と対策が示されてきたのは、地球の持続性を問題視する国連の一連の「地球サミット」であり、その中で提案された認識が「持続可能な開発

1962 「沈黙の春」レイチェル・カーソン 農薬の被害について警鐘
 1972 国連人間環境会議(ストックホルム) 国連環境計画(UNEP)採択
 ローマクラブ「成長の限界」H.メドウズ、L.メドウズ、J.ランダーズ
 1973 第1次オイルショック
 1975 「複合汚染」布吉佐和子 複合汚染の深刻さを指摘
 1982 UNEP管理理事会特別会合(ナイロビ)
 持続可能な開発の概念の提唱
 1986 チェルノブイリ原発事故
 1987 「持続可能な開発」概念の提唱 ブルントラント委員会報告
 1988 IPCC(気候変動に関する政府間パネル) 発足
 1992 「持続可能な開発に関する国際連合会議」(リオ・デジャネイロ)
 気候変動枠組み条約、生物多様性条約の署名開始
 1997 COP3国連気候変動枠組条約(地球温暖化防止条約) 京都議定書
 2002 「持続可能な開発に関する世界首脳会議」(ヨハネスブルグ)
 持続可能な開発のための教育の10年(DESD)、2005年行動計画
 2005 「成長の限界」人類の選択H.メドウズ、L.メドウズ、J.ランダーズ
 2006 「不都合な真実」A.ゴア ディープラーニング開発(新たなAIの始まり)
 2011 3.11 東日本大震災と福島第1原発事故
 2012 「持続可能な開発に関する国連会議」(リオ・デジャネイロ、リオ+20)
 持続可能な開発におけるグリーンエコノミー グーグル「猫」(ディープラーニングの
 実用性)
 2014 IPCC第5次報告(CO2削減シナリオ)
 2015 国連「持続可能な開発サミット」SDGs
 COP21(パリ)協定
 2018 IPCC1.5℃特別報告

図1. 近年における環境問題の歴史

(Sustainable Development :SD)」であり、その具体的な行動計画が、持続可能な開発目標SDGs (S.D.Goals)である。

3.4 STEAMと倫理

STEAMだけでは、人間中心の考えから抜け出していない。人は未来を考えると、自然環境や人間が作り出す人工環境への負の影響にも思いを馳せ、改めて倫理(Ethics)の点から考える必要がある。

ギリシャ時代の哲学においては、普遍的に通用する基本的な思想を生み出している。プラトンによる真・善・美の対比、アリストテレスによる弁論術におけるロゴス(論理)・エトス(倫理)・パトス(情動)、近代ではカントによる純粋理性批判(理性)・実践理性批判(倫理)・判断力批判(美)においても、この分類は、人が考えるべき独立したベクトルを示している。我々は合理性(真、論理、理性)と人の心や、そこから来る情動や感性(美)の追求だけでなく、人類の持続可能性から改めて倫理というベクトルにも想いを致すべき時期ではないかと考える。

事実、最近の動きで見ると、SDGs、CSR(企業の社会的責任)、ESG(環境・社会・統治)投資など、社会が厚生経済学(A.セン 2016)を受け入れ始めているといえよう。

4. SD-STEAM モデル

ここでは倫理の側面を「持続可能な発展(SD)」に見、さらに具体的にはSDGsを当面の対象として、

そこに倫理規範が内在していると見たSTEAMをSD-STEAMと呼ぶ。

4.1 SD-STEAMモデル

多くの課題はシステムの解となる。唯一の解はなく、課題の持つ価値に対する要求を仕様として表し定義し、最適解を探す。近年、課題解決に関しては、デザイン思考が研究されてきた。この思考法は柔軟性があるものの、STEAMとの関係については明確にあらわされていない。ここでは、STEAMのモデルをSD-STEAMとの観点からモデル化することを試みる。SD-STEAMモデルは、地球環境・STEAM・実施環境の3つの側面からなる。(図2参照)

4.2 地球環境層

地球環境の層は、自然環境、人間環境、人工環境の枠組みからなる。自然環境とは個体としての生物だけではなく、個体を構成する要素(細胞や遺伝子など)、鉱物(資源)、大気、エネルギー資源などからなる。人間環境とは、人の持つ生得的な特質、グループ(集団)の持つ特質、及びそれがなす行動などを含む。

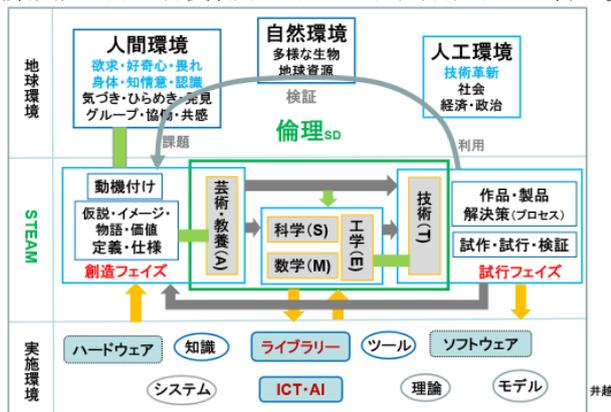


図2 SD-STEAMモデル

人工環境とは、人が人知で作り出すすべての存在、すなわち、社会、経済、政治、産業、生活などで使われるすべてのもの・ことが作り出すシステムを含む。

4.3 STEAM層

ここでは、創造フェイズ、STEAM(形式)、試行フェイズと分ける。

4.3.1 創造フェイズ

STEAMにおいては、創造フェイズに重点を置く。課題を発見し、その解決に関する価値を見出し、仕様として定義する。仮説的なイメージを作るところに発散的思考が入るが、この段階で異分野の多様な視点、あるいは工学としての深さが必要なる。デザイン思考における共感・定義・創造の段階といえる。こ

の創造フェイズにおいて、ICTによる工学的な方法(S.E.M.)や知識が実施環境から得られる。創造と計算機との協働作業に関しては、井越ら(2010)の考察や実施例がある。

4.3.2 試行フェイズ

このフェイズでは創造フェイズで得られた知見を、技術の力で試作に持ち込み、試行、検証する。さらに、試作を製品レベルにして世に出し、利用してもらう。地球環境で検証の結果また新たな課題に挑戦する。

4.4 実施環境層

科学技術に関する創造の結果は多くの知識や実体として蓄積されてきた。この知識の中には、工学的知識、方法論、あるいは部品や道具としてICTで使えるツールなどもある。これからのSTEAMでは、これらの成果を効果的に利用し、また新たな創造により実施環境に取り込んで、さらに質の高いSTEAM利用環境を構築していくことができる。

5. おわりに

以上の考察を踏まえ、次のステップとして、技術の現状を工学的立場で直視しながら、これからの子どもたちの学習や生涯学習のスキルとしてのSTEAM教育の在り方を考えていく。

参考文献

熊野善介(2017)(2018).「日本およびアメリカにおける次世代型STEM教育に関する理論的実践的研究」,中間報告(その1)(その2)
 NGSS(2013).国立教育政策研究所訳
<http://www.nier.go.jp/shirouzu/translation/ngss-first.pdf>, (2019.4.20 閲覧)
 ヤング吉原麻里子・木島里江(2019).「世界を変えるSTEAM人材」,朝日新書
 経産省(2019).「『未来の教室』とEdTech研究会」,
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mirai_kyoshitsu/index.html
 山本貴光(2016).「百学連環を読む」,三省堂
 大橋秀雄(2009).「技術者 日本の認識、世界の認識」,工学教育、57-2、pp2-6
 検討委員会(1998).「8大学工学部を中心とした工学における教育プログラムに関する検討」工学における教育プログラムに関する検討委員会
 A.セン(2016).「経済学と倫理学」,ちくま学芸文庫
 井越昌紀・大澤幸生編著(2010).「知の協創支援」,オーム社