



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	創造性駆動型社会に対応したSTEM教育
Author(s)	佐々木, 伸; Sasaki, Tadashi; 細川, 敏幸 他
Citation	高等教育ジャーナル : 高等教育と生涯学習, 30, 51-62
Issue Date	2023-03
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/J.HighEdu.30.51">https://doi.org/10.14943/J.HighEdu.30.51</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/88832">https://hdl.handle.net/2115/88832</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	HighEdu_30_51.pdf



## STEM Education for a Creativity-Driven Society

Tadashi Sasaki<sup>1)\*</sup>, Toshiyuki Hosokawa<sup>2)</sup>, Hisao Suzuki<sup>3)</sup>, Keiichiro Yoshinaga<sup>4)</sup> and Jun Saito<sup>5)</sup>

1) Institute for the Advancement of Graduate Education, Hokkaido University

2) Professor Emeritus, Hokkaido University

3) Graduate School of Science, Hokkaido University

4) Institute of Liberal Arts and Science, Kanazawa University

5) Department of Human Sciences, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine

## 創造性駆動型社会に対応した STEM 教育

佐々木 伸<sup>1)\*\*</sup>, 細川 敏幸<sup>2)</sup>, 鈴木 久男<sup>3)</sup>, 吉永 契一郎<sup>4)</sup>, 斉藤 準<sup>5)</sup>

1) 北海道大学大学院教育推進機構

2) 北海道大学名誉教授

3) 北海道大学理学院

4) 金沢大学国際基幹教育院

5) 帯広畜産大学人間科学研究部門

*Abstract* — We explain STEM education policies and budget measures in the United States, China, and Korea. Next, STEM education in elementary and secondary (K-12) education in the United States and Korea is summarized. We conclude with the development of STEM education in higher education around the world, using Purdue University and Asia Pacific Economic Cooperation (APEC) as specific examples. Our research reveals that even in the last 5 years, STEM education has developed in many countries. The speed of this change has greatly surpassed that in Japan. There is a growing awareness of the importance of innovation education, and STEM education has become a good tool for this purpose. However, there is also a need to correct the gender bias in STEM education as well, and for society to recognize that STEM-educated graduates are endowed with value. In addition, there is no prototype for integrated STEM in universities, and many universities are currently conducting trials; therefore setting up a standard curriculum model is a future challenge.

(Accepted on 25 January 2023)

---

\*) Correspondence: Institute for the Advancement of Higher Education, Hokkaido University, Sapporo 060-0817, Japan  
E-mail: t-sasaki@high.hokudai.ac.jp

\*\*\*) 連絡先: 060-0817 札幌市北区北 17 条西 8 丁目 北海道大学高等教育推進機構

## 1. はじめに

社会における教育への期待が増している。その最も大きな要因の一つが Society 5.0 への対応である。日本経済団体連合会 (2018) によると、Society 5.0 とは、狩猟社会 (Society 1.0)、農耕社会 (Society 2.0)、工業社会 (Society 3.0)、情報社会 (Society 4.0) に続く、新たな社会という意味で、政府の第 5 期科学技術基本計画 (2016 年 1 月) において初めて提唱されたとされる。国際的には第 4 次産業革命という名称が良く用いられているが、未来予測が困難なため、その実態は明らかではない。ただ一つ確かなことは、現在アルゴリズムやビッグデータを用いた人間の作業は、AI やロボットを用いて置き換わられつつあることである。このため多くの職種で必要な人的資源構成に変更が生じている。むしろ、こうした機械による省力化と職種の変更は今までも絶えず起こっていたが、絶えず新しい職種が現れてきた。しかし、Society 5.0 社会では、これまでとは全く異なり、新しい職種には AI やロボットで置き換わられるアルゴリズムの仕事は発生しにくい。これに換わり AI に置き換われない新しい価値を創造する職種の価値が高くなると共に、創造的でない仕事の価値が下がり、求人市場での需給ギャップが発生し、収入の格差が拡大する。Society 5.0 の目指すべき社会としては、格差のない社会を要望しているが、現在のところ貧富の格差解消への道筋は見えていない。このような状況から、今後の教育の主眼は、創造性のある職種をこなす人材育成が目標となる。またこのことがイノベーション教育の重要性を増す要因となっている。かつてはイノベーション教育とは、ごく一部のエリート教育として認識されていたが、新しい価値の創造が個人レベルで求められる社会においては、イノベーション教育は必須のものとして認識されるようになってきた。それは、イノベーション教育のほとんどが創造性とその実現のための教育であるからであり、後に見るようにアメリカや中国などの教育施策が、イノベーション教育を掲げるようになってきている。

近年日本においては Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) 教育や Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics

(STEAM) 教育が注目されている。これらは海外での STEM 教育の影響が強いが、最近の日本の提言でどのように書かれているかを見てみよう。

日本経済団体連合会 (2022) では、今後重視すべき教育として「文理融合教育・STEAM 教育・リベラルアーツ教育」があげられている。創造性を育む教育は、初等・中等教育においても重要であり、現在の学習指導要領では「探求」が重視されている。また、日本経済団体連合会 (2020) においては、よりはっきりと STEAM 教育推進が述べられている。また中央教育審議会 (2021) でも STEAM 教育の推進が謳われているのである。

この STEAM には Arts が含まれており、韓国では Arts には単に芸術でなく、リベラルアーツが含まれるとして解釈し、すでに 2010 年頃から取り組んでいたが、近年日本でもこの解釈を取るようになった。ただし、後で述べるように、多くの国では STEM 教育には、必然的にこうした要素が含まれると解釈しているので以下では韓国や日本で通用している STEAM でなく、世界的に通用する STEM 教育としておく。この STEM 教育に関しては、初等・中等教育と高等教育においてそれぞれのフレームワークで独自に発展してきた。他方、大学における STEM カリキュラムについては未だスタンダードなプロトタイプが存在していない。このような状況の中で、それぞれの教育段階において STEM 教育とそのカリキュラムについて現在までの取り組みをまとめ、今後の方向性についての示唆を得ることは重要であると考えられる。

本稿の目的は、世界の初等・中等・高等教育における STEM 教育へのアプローチを概観し、今後大学における STEM 教育の構築に向けた示唆を得ることである。実は、これらの研究として先行しているのは初等・中等教育であり、大学教育においては組織的変更が伴うため、世界的にも構築途中にあると言って良い。そのため、本稿では高等教育だけでなく、初等・中等教育を含むものとして見ていくことにする。また著者らは、アメリカの高校、中国、シンガポール、オーストラリアの大学を視察した。そのときの調査についても紹介していく。次の章では、世界における STEM 教育への政府レベルでの取り組みを紹介する。3 章では主としてアメリカにお

ける初等・中等教育における統合型 STEM 教育カリキュラムについてみる。4 章と 5 章では、大学レベルでの STEM 教育についてみていく。最後に、まとめとして今後の大学における STEM 教育の方向性について論じる。

## 2. 世界における STEM 教育施策

細川 (2022) は、21 世紀に入って調査された米国やヨーロッパでの STEM 教育に関する総合的報告書について詳細に報告した。ここでは、それに答える形で実施されてきた米国ならびに中国、韓国における STEM 教育施策、予算措置等について見ていく。

### 2.1 米国における教育施策

STEM という名称の由来は全米科学財団 (NSF) にある。もともと 1990 年代初頭に NSF では Science と Mathematics というアカデミックなものに Engineering と Technology を加えて SMET という略語を用いていたが、2001 年より、語呂が良い STEM に変更して以降この言葉が用いられるようになった。日本では当時この STEM なるものが輸入されなかったのは、おそらく「理系」という便利な用語があったからであろう。たとえば STEM ジョブといえば、理系の仕事を指すのはほぼ間違いがない。ただし、後にみるように STEM とは何かということになると、アメリカの政府内でもコンセンサスがない。たとえば、NSF は科学には、自然科学だけでなく人文・社会科学を含むものとした区分として用いるようである。他方、米国商務省では科学として自然科学や数学、コンピュータサイエンスを対象としている (Noonan 2017)。以下 STEM 人材と言うときは理系人材を念頭にしてもらいたい。

近年の米国における STEM 教育への施策としては、まず 2007 年ごろブッシュ政権下で「研究開発を通じたイノベーションに投資し、米国の競争力を向上させること」(Government Printing Office of U.S.A. 2007) に重点を置き、STEM 関連分野のプログラムや活動に対して 2008 年から 2010 年の間に 327 億ド

ルの資金を認可している。オバマ政権では、2010 年にこれらを再承認するとともに 5 年間の連邦 STEM 教育戦略計画が作成され、2020 年までに 10 万人の優秀な K-12 教員を育成し、既存の STEM 教員を支援することにより、STEM 教育を向上させること、今後 10 年間で 100 万人の学生が STEM 分野の学位を取得し、学部生の STEM 体験を向上させることなどが目標とされた。2015 年、オバマ大統領は、STEM 教育に対して、1 億 7000 万ドルの支援と、教師や生徒の STEM 教科の指導と学習を改善し、次世代のイノベーターを育成することを目的としたイニシアチブを提案した (細川 2022)。2018 年、全米科学技術会議 (NSTC) の STEM 教育委員会は、「Charting a Course for Success」を発表した。アメリカの STEM 教育戦略は、政府機関、高等教育、K-12 教育、非公式教育機関の関係者が参加し、「アメリカ人が生涯にわたって質の高い STEM 教育を受けることができ、米国が STEM リテラシー、イノベーション、雇用において世界のリーダーとなる」ための 5 年間のビジョンを提示した (Carla ほか 2021)。こうした動きの背景の 1 つとしては、2003 年の学習到達度調査 (PISA) において OECD 加盟国 29 か国中数学リテラシーで 23 位、科学リテラシーで 19 位と低迷したことが指摘されている (Kuenzi 2008)。

また、STEM 人材の社会における活用に関して米国商務省によれば、STEM 分野の雇用は非 STEM 分野の雇用と比較して、2000 年から 2010 年にかけては 3 倍、2005 年から 2015 年にかけては 6 倍の増加を示している (Noonan 2017; McKittrick ほか 2011)。同省はさらに、2014 年からの 10 年間で、STEM 職は非 STEM 職の 1.4 倍の速さで成長すると予測している (Noonan 2017)。

他方、教育効果の検証も議論されており、国防総省 (Department of Defense, DoD) の STEM 教育アウトリーチプログラム (Army Educational Outreach Program, AEOP) では、AEOP の取り組みに参加することで、高校生と大学生の参加者のメンターが評価した 21 世紀型スキルが大きく成長したことが示された (DoD 2017)。このように、アメリカでは STEM ジョブの増加への対応とイノベーター育成のための施策が現在までもとられてきた。

## 2.2 中国における教育施策

中国は、近年急速に発展している国家である。ただし、アメリカのように経済を牽引するイノベーションを多くは打ち出せていない。2016年の世界的所有権機関（WIPO）グローバルイノベーションインデックスではトップ25位とアメリカ4位、韓国11位、日本16位に比べて劣る結果であった（Duttaほか2016）。こうしたことから教育部のシンクタンクである国立教育科学研究所（National Institute of Education Sciences, NIES）は、中国のSTEM教育の背景と現状を分析した「中国STEM教育白書」（NIES2017）を公表し、「中国STEM教育2029イノベーション行動計画」を打ち出した。イノベーション駆動型経済を実現するために、国家のSTEM教育政策設計の推進、STEM人材育成計画の実施、資源統合と教師訓練のためのプラットフォームの構築、STEM教育基準と評価システムの構築、統合型STEMイノベーションエコシステムの構築、経済発展のための教育と人材育成の戦略検討という6つの目標を掲げている。直近の2021年のグローバルイノベーションインデックスでは、中国は12位となり、日本（13位）を追い抜いた。ちなみに日本が抜かれた要因は、ICTサービスの輸出、イノベーション投資額、高等教育の研究などが振るわなかったためと見られる。

## 2.3 韓国における教育施策

韓国教育科学技術部（MEST）は国家カリキュラム再編の主要政策としてSTEM教育を開始し、韓国科学技術省に属する政府系機関である韓国科学創造振興財団（KOFAC）と連携してSTEM教育のフレームワークを提案し、国家レベルのSTEM教育プログラムの運営に乗り出した。アメリカでは芸術（Arts）を加えたSTEAM教育というものを芸術教育委員会が提唱していたが、MESTでは2011年にArtsはリベラルアーツなどを加えたものとしてSTEM教育を提唱し、国家的な教育ポリシーとした。後にみるように、STEM教育はそれ自身リベラルアーツを含むのであるが、STEAMはこれを明示的に表す用語となっている。2012年よりSTEAM教材作成に資

金を提供しており、教員に対してプロフェッショナルな開発ツールの提供し、数百に上る充実したプログラムモジュールを提供してきている。2015年から、日本の「探究」にあたる「創造的体験」という科目が作られ、2019年には統合型STEMカリキュラムは、小・中学校の約半数、高校の約3分の1でSTEAM教育を行っている（Kang2019）。

韓国においてこのようにSTEAM教育が推進されてきた背景には、若年層における科学や数学への興味・関心の程度が国際平均と比較して大幅に低いことへの問題意識がある。国際教育到達度評価学会（IEA）による2011年の国際数学・理科教育動向調査（TIMSS）において韓国は、8年生（日本の中学2年生に相当）の数学で1位、科学で3位となるなど上位のスコアを記録したものの、数学・科学を学ぶことが好きであると回答した生徒の割合が同学年においてそれぞれ8%、11%であり国際平均26%、35%を大きく下回った（Mullisほか2020；Martinほか2012）。この傾向については最新のTIMSS2019においても大きく変わっておらず、数学・科学に対する興味関心を養成したり価値を見出させたりする教育の必要性が訴えられている（KICE2021）。

このように、STEM人材とイノベーター育成のための施策は多くの国で出されている。創造性を基準とする教育が強調されるなかで、イノベーション教育との境がなくなっている。またこれは、OECDのtransformative competenciesの影響も考えられる。

## 3. 初等・中等教育におけるSTEM教育

この節では米国の初等・中等（K-12）教育におけるSTEM教育についてまとめる。3.1節ではSTEM教育が指す対象とその目標についてまとめる。続いて3.2節においてSTEM教育を学校教育において実施する際の形態について概観した後、特にカリキュラムレベルでの統合型STEM教育について3.3節で述べる。最後に3.4節では韓国のK-12教育でのSTEAM教育について整理する。

### 3.1 STEM 教育

まず、STEM 教育とは何かについてみてみよう。実は STEM 教育についてのコンセンサスは存在していない。ただし、テクノロジーとエンジニアリングに関してのコースが一般的にない初等・中等教育においてはその方向性は比較的はっきりしている。米国において NSF により STEM という呼称が使用され始めた当初、それは単に 4 つの分野をまとめて呼ぶ略称という認識であった (Sanders 2009)。科学、技術、工学、数学の 4 つを一括りとしたのは、それらがイノベーションの源泉であり、互いに相補的に発展してきたという認識に起因する。しかしながら、これら 4 つの分野が目指すものは必ずしも同じではない。科学や数学が主として知的好奇心を元に自然界や真理を知ることとを目的とするのに対し、技術や工学は科学や数学の知識を元に人間の生活の質を向上させることが目的である。したがって、統合的な STEM 教育という観点では、従来の科学や数学に関する分野ごとの教育を強化するというよりもむしろ、実社会の問題を解決するために様々な学問分野を目的に応じて統合して学ぶことを強調する (Jonathan ほか 2012)。しかも現代のエンジニアは、かつての技術者ではない。情報が瞬時に伝わるグローバル化の中で特定の技術が通用する期間が非常に短くなり、大学レベルの知識ですら、容易に取得でき、知識の価値もほぼゼロとなってきた。このことから、工学の定義やその教育も変化してきたのである。The engineer of 2020 Visions of Engineering in the New century では以下のような記述がある。

「エンジニアリングは、非常に創造的なプロセスである。エンジニアリングとは、「制約の中で設計を行うことである」と言うのが、最もエレガントな表現である。エンジニアは、私たちの生活の質の向上につながるという意味で、成功した設計を作成するために、技術、経済、ビジネス、政治、社会、倫理などの問題によって与えられる制約の中で仕事をしなければならない。」

このように、工学とテクノロジーは本質的に、人間の生活の向上を目的としており、本質的に人間の

経済、ビジネス、政治、社会、倫理を考える必要がある学問なのである。このため、STEM 教育では、STEM 教育の動機付けとして、生活の質の向上あるいは社会貢献という視点が導入されるのである。

もう一つの重要な視点は、探求のための科学的方法についてである。科学的方法は、根拠を元に予想するための比較的应用範囲が広い手法であるが、科学者にとってはこれだけでは研究はできない。なぜなら、研究においては他者の気づかない視点を持ち、企画する独創性が最も重要なことであるからである。そのため研究の成果物は、自然界の真理であるとともに、人間の創造性の成果でもある。こうしたことから、科学的方法を人間の側から見たデザイン思考が重要となる。これは、工学におけるデザインプロセスによって養成され、しかも単に科学的テーマによる探求よりもサイエンスや数学が苦手な生徒でも養成が可能となる。また、同時に後で見られる例でもあるように、少なくとも起業家精神についての知識も習得できる。

STEM 教育の関しての取り組みは様々である。しかし、米国における初等・中等教育に関する 2014 年までの取り組みの目標はおおよそ以下のようになっている (National Academy of Engineering and National Research Council 2014)。

- STEM リテラシー
- 21 世紀型コンピテンシー
- STEM 人材育成
- 興味と関心
- STEM 分野間の関連付けを行う能力

注目したいのは 21 世紀型コンピテンシーに言及していることである。21 世紀の職場で市民、労働者、リーダーとして効果的に機能するために必要な認知的、人格的、対人的スキルや能力は、21 世紀型スキルまたはコンピテンシーと呼ばれる (Bybee 2010; NRC 2012; Partnership for 21st Century Skills 2015)。STEM のカリキュラムでこれらを修養できることから、汎用的スキルを意識したカリキュラムデザインとすることができる。これは日本では「生きる力」として捉えられるものをより分析的にしたものに対応する。この中には創造性と革新性、柔軟性と適応性、主体性と自己管理能力なども含まれ、日本の「生きる力」よりもさらに分析的である。ま

た、教員は評価に困ることが懸念されるが。このことはアメリカでは驚くにはあたらないようである。それは、アメリカの大学の共通出願システムでは、教員は、学業以外にも、生産性の高い議論、創造性、誠実さ、挫折への対応など 14 項目にわたって相対評価することが求められ、そのため生徒はそれらの評価項目を教員にアピールすべく高校生活を送るのである。

### 3.2 STEM 教育の形態

STEM 教育では、統合型とすることにより教育効果が高いことを述べた。それでは実施するにあたってどのような形態があるのであろうか。

第 1 の手法は、既存の各教科カリキュラムに STEM の要素を加えることである。例えば理科に工学的要素や数学的要素を入れる。このためには、既存の教科の科目が関係する身近な問題設定を探ることになり、動機付けしやすいという利点が生まれる。また、問題解決の方法として創造的デザインを取り入れることもできる。このような形態ではカリキュラムを変更しなくてもよいので実行しやすいが、通常のアクティブラーニングよりもさらに時間を取られることになり、全体的な知識項目を教える時間が減少する。このため STEM 的要素に多くを費やすことはなく、多くの他教科の深い理解を促すことが難しくなる。

第 2 の手法は、カリキュラム自体を大きく変更し、数学や理科科目すべてを統合的 STEM 科目とすることである。しかし、日本のように学習指導要領が定められているなかで、知識・理解項目すべてをカバーする統合的 STEM カリキュラムを実現することは容易ではない。特に難しいのが、高校段階であり、理科が細分化されており、統合をさらに難しくしている。ただし後でみるようにアメリカでの STEM Road Map プロジェクトのカリキュラムでは K-12 段階の理科と数学をカバーするものとしている。この統合型 STEM カリキュラムでは、通常の科目別の知識・理解項目がすべてカバーできているかは明確ではないが、アメリカの高校で通常授業の他に実施される Advanced Placement 科目とそのテストを活用することで知識・理解項目の質保証ができる

と考えれば、その分通常授業のカリキュラムを変更する柔軟性があると言えるだろう。また、期末試験の後などに STEM Day を作るなど、1 回程度統合するということも考えられる。

第 3 の手法は、課外活動として STEM を扱うことで、これは理科クラブや、物理クラブなど現行のものを使う。時間的制限が緩くなるものの、強制することはないので、対象が一部の積極的な生徒のみに限られる他、教員に新たな負担が生じるなどの欠点がある。

### 3.3 統合型 STEM カリキュラムへの取り組み

K-12 段階のカリキュラムの研究もなされており、その一つが米国の STEM Road Map Project である (Carla ほか 2021)。2014 年にバージョン 1 が刊行されたが、2021 年に Road Map 2.0 へと改訂されるまでの間に、全米に STEM 分野と非 STEM 分野における将来のイノベーションのための人材基盤を育成する必要性が浸透したとある。これは創造性教育がより重視されてきたことに起因している。

STEM Road Map でのカリキュラムは、各学年「原因と結果」「イノベーションとプログレス」「表現された世界」「持続可能なシステム」「人間の経験の最適化」という 5 つのテーマからなる。それぞれのテーマには到達目標、授業計画、評価指標、期待される 21 世紀型スキルなどが設定されている。基本的にプロジェクトベース学習か課題解決学習を用いることを前提にし、工学デザインプロセス (EDP) を元にしたデザイン思考が採用され、創造的思考を出発点としたプロセスを取り入れる。サイエンスは知的好奇心といった動機付けでなされるが、工学は人間生活の質の向上を目的としていることから、テクノロジーと工学を入れることで、より多くの生徒の関心が高まることが期待される。また、生活の質の向上への取り組みは、アントレプレナーシップ養成に重要である。事実、Road Map でのテーマのいくつかでは、21 世紀型スキルのなかで、起業家精神に関するリテラシーが設定されているものもある。これは、アカデミックな学問重視の学校教育では、十分に育成することが困難なスキルである。

このカリキュラムで設定されている到達目標は

Common Core State Standards (CCSS) Mathematics/English Language Arts, Next Generation Science Standards (NGSS) Performance Objectives, そして Framework for 21st Century Learning に基づいている。CCSS は全米知事協会と全米州教育長協議会により策定された K-12 教育において児童・生徒が身に付けることが期待される教育基準であり、大別して English Language Arts と Mathematics の 2 種類がある。ただし前者には英語そのものだけでなく歴史や科学などの基準も含まれている。それぞれの基準は K-12 教育の各学年における基準と、大学進学や就職において期待される高校卒業時点での基準から構成される。現在では全米 40 以上の州で採用、承認されている。NGSS は全米研究評議会 (NRC) やアメリカ科学振興協会 (AAAS) などにより 2013 年に発表された科学教育に関する基準である。これは NRC が先立って策定していた K-12 Framework for Science Education に基づいており、科学と工学の実践、分野横断的概念、各学問分野の核となる考えという 3 つの次元を統合したものとされている。このことからわかるように、Science Standards ではあるが純粋に科学のみに焦点を当てたものではなく、工学における概念や考え方も統合されている点の特徴である。

### 3.4 韓国の STEAM 教育

ここまで米国の初等・中等教育について見てきたが、第 3 節の最後に韓国の初等・中等教育における STEAM 教育についてまとめる。

韓国では 90 年代後半以降、若年層の STEM 離れがおこっており、科学への関心が低下していた。このため韓国の国際競争力低下を危惧することが予想された。KOFAC は 2011 年に STEAM イニシアチブが始まって以来、STEAM に関するコンテンツと教員への教育支援を行っている。韓国の教育プログラムは日本のそれに類似している。2015 年改定の国家カリキュラムでは、「創造的体験」が必修として課されて、総授業時間の 9~13% をこれに当てることが求められた。この中で STEAM 教育をする教員もいる。これらの教員を支援するために、KOFAC は、入門レベル、基礎レベル、上級レベルのオンラ

インコースを提供している。これらは主として小学校と中学校の教員のためのものとなっている。

STEAM-RGT (research group of teachers) では、毎年教員に STEAM のプロジェクトに教材費を支援している。テーマ別 STEAM, テクノロジー活用 STEAM, 科学と芸術の融合 STEAM, 将来のキャリアに関する STEAM の 4 つの分野でそれぞれ 10~20 のプロジェクトに資金が提供されている。すなわち、毎年 60 程度のコンテンツが増加する。

このような取り組みからは、統合的 STEM カリキュラムとしてではなく、あくまでも通常の授業へ STEM 要素を加えるか、日本の「探求」に相当する授業への STEAM 教育をすることが念頭にあるが、少なくとも日本よりも早期に対策がなされてきたことは確かであろう。

韓国において単に STEM ではなく STEAM 教育と強調されている背景には、上述した若年層での科学・技術への関心の低下を改善することを目的の一つとして芸術的な要素を統合しているということが挙げられる。しかしながら、このことに対して初等・中等教育の現場では、芸術教育自体が他の STEM 分野の教育と同じレベルで統合されておらず、単に科学・技術に対する児童・生徒の関心を高めるための道具として利用されているだけに過ぎないという批判がなされている (安東ほか 2014) ことにも注意が必要だろう。

## 4. 高等教育機関での取り組み

高等教育機関に求められるのは、社会が要求する STEM 人材確保のための教育である。このため、高等教育では STEM 教育とは概ね理系の教育と解釈されている。アメリカにおいて、理系人材確保の大きな障害とされたのが、大学初年次の数学および自然科学の授業である。アメリカでは STEM 分野の魅力的な職種がそろっており人気がある。アメリカの多くの大学において学生は入学時点で専攻が決まっておらず、指定の科目を指定の成績以上で取った後に専攻を決める。多くの学生が STEM 分野の専攻を志して入学するが 1 年次の微積分や物理学、化学、生物などを履修したのち、およそ 44% が文系

学部で専攻を変えるとという結果がでた。このようなことから STEM 人材確保のボトルネックが、大学初年次の理系科目にあり、理系科目改善が理系人材確保にとって重要な役割を担うことが認識されたのである。

もっとも理系でも分野ごとに教育研究が進められてきており、2000年代にはエビデンスベースで有効な教育法が数多く開発されてきた。物理学において始まったアクティブラーニングの効果は Freeman ほか (2014) が検証している。それによれば大学初年次の基礎理系科目において、「アクティブ・ラーニングの授業では試験の平均点が約6%向上し、従来の講義を行う授業の学生は、アクティブ・ラーニングを行う授業の学生よりも1.5倍落第しやすい」ことが明らかにされた。また、この研究では、50人以下の少人数クラスで最大の効果が見られたとして、クラスの大きさも要因として指摘してされている。

アメリカ大学協会 (AAC & U) の中でも STEM 教育の実践的研究のコミュニティー「カレイドスコープ・プロジェクト」が1989年に立ち上がる。ただし、ほとんどは教員レベルであり、多くの大学で先進的な教育をする教員は少数であった。そのため、教育研究の成果は大多数の学生には届かなかった。Dancy and Henderson (2010) は、「学部の STEM 教育を改善するための最大の障壁は、現在利用可能で研究が実証済みの教育上のアイデアや戦略を効果的に普及させる方法に関する知識が不足していることである」と論じている。つまり、大学における STEM 教育人材確保の主眼は個別の授業改善から、すべての授業を改善するという組織的教育改善が重視されるようになった。Austin (2011) は、各教員の行動は、学部や学科に始まり、教育機関や外的要因など、何層にもわたる文脈に組み込まれていると説明している。

米国大学協会 (Association of American Universities, AAU) は、教育学、足場作り・支援、文化的変化を考慮した、組織における STEM 変革の枠組み (AAU 2013) を策定した。AAU STEM イニシアティブの競争的提案プロセスとして、8つの機関が、この取り組みの実現可能性と方法を研究するプロジェクトサイトとして指名された。また、米国とカナダの大学の連合体であるベイ・ビュー・アライアンス (Bay

View Alliance, BVA) は、大学における改善された教授法の採用を増やすための文化的変化のリーダーシップに関する応用研究を行う研究大学のコンソーシアムである。そして、Coalition for Reform of Undergraduate STEM Education (CRUSE) は、エビデンスに基づく実践を広く実現することを目的とした取り組みを行う全米組織のグループである。この連合には、米国科学振興協会 (AAAS)、米国大学協会 (AAU)、公立大学協会 (APLU)、プロジェクト・カレイドスコープ、米国カレッジ・大学協会 (AAC & U)、米国学術会議 (NRC) の科学教育委員会が加盟している。これらの組織の指導者たちは、相互の利益のために協力し、データやアプローチを共有し、制度改革のための指標やモデルについて全国的な進捗を監視し、格差を分析し、格差に対する行動を促し、議題に対する資金を誘致するために活動している。

2007年にカナダのブリティッシュコロンビア大学で始まった科学教育イニシアチブ (ワイマン 2021) を参考にして、NSFからの支援を受け AAU の STEM Initiative などのようにアメリカの大学でも大学初年次授業の組織的なアクティブラーニング化をするようになってきた。筆者は、ノースカロライナ大学やコロラド大学ボルダー校を視察したが、科学の基礎科目においては、クリッカーを用いた大規模授業がなされていた。ただし、アメリカでおこったことがそのまま日本の大学でおこるわけではないことに注意が必要である。それは、日本の多くの大学が学部別入試であり、この理系人材の障壁は、高校レベルで生じている。そのためアメリカで生じている動機付けが、日本にそのまま当てはまるわけではないことには注意が必要である。

## 5. 大学における統合的 STEM コースへの取り組み

最後に、著者らが調査した Purdue 大学ならびにアジア太平洋経済協力 (APEC) の具体的な活動を概説する。

## 5.1 Purdue 大学での Interdisciplinary Engineering コース

導入のしやすさからいった場合、やはり工学からスタートするのが最も容易なプロセスである。エンジニアリングのなかでも、複雑なシステムを扱うのが Interdisciplinary Engineering であり、これは必然的に統合的 STEM コースとなる (Bosman ほか 2019)。

2016 年、米国中西部の研究集約型大学である Purdue 大学では、学際的でコンピテンシーベースの教育に焦点を当てた 2 つの学士号、「技術における学際的研究の学士号 (Transdisciplinary Studies in Technology, BS-TST)」「工学技術における学際的研究の学士号 (Transdisciplinary Studies in Engineering Technology, BS-TSET)」を導入した。学生が出身学部・学科以外のコースにアクセスできるようにすることで、学生は「人文科学からテクノロジーまで様々な分野を統合し、より全体的で人間中心の視点から問題解決に取り組むことができる」120 単位からなるコースである。

学際的なコースの評価をコンピテンシーに結びつけることは困難である。たとえば、工学的実践に関する評価の大半は、工学設計の反復性よりも最終製品に焦点が当てられていると報告している。工学設計の他にも、問題解決、学際的な推論やコミュニケーションプロセス、コラボレーションなどの学習実践も、STEM 教育の評価に含めるべきである。したがって、大学の教員が、さまざまな STEM 授業に適した評価ツールを特定するための訓練を受けることが重要である。

そこで、ここではコンピテンシーとして以下の習得を目標にしている。

- ①創造と革新 (システム思考, デザイン思考, プロブレムソーピング, 起業家的思考)
- ②他者との交流 (個々の貢献, 批評を与える, 受ける, そして行動する, リーダーシップ, エモーショナルインテリジェンス, アクティブリスニング)
- ③探求と分析 (クリティカル・シンキング, 定量的推論, 質的推理, 情報リテラシー)
- ④文化, 価値観, 芸術への関与 (文化への関与, 芸術への関与, 倫理的関与)
- ⑤コミュニケーション (ライティングコミュニケー

ション, オーラルコミュニケーション, ビジュアルコミュニケーション, 統合コミュニケーション)

## 5.2 アジアにおける統合的 STEM カリキュラムへの取り組み

Actualization of integrated STEM degree programs は APEC 人材開発ワーキンググループ、STEM 統合学位の実現プログラムである。学際的・横断的な大学教育に情報を与え、触媒し、形成するためのモデルとして 2021 年に設定された (APEC Human Resources Development Working Group 2021)。

APEC 事務局は、第 4 次産業革命に対応するために、人材開発ワーキンググループを通じて APEC エコノミーにおける新しい統合的でジェンダーを含む STEM 学位プログラムの設計、実施、評価に情報を提供するモデルを開発するために、APEC 人材開発ワーキンググループに資金を投入した。

通常の STEM 学位デザイン最大の欠点は、男女の比率の偏りである。一般に理系のディシプリンでは男性が多い傾向がある。しかし、幅広い有効性を持つためには、女性が参加しやすい統合型 STEM 学位プログラムの設計が必要である。このような性質を備えた学位プログラムはほぼ存在しないことから、このプロジェクトの目的は、大学におけるジェンダーフリーな統合型 STEM プログラムの構築である。一般的に 2 つ以上のディシプリンを統合する例はあるが、多くは、学際的コースを既存の工学カリキュラムに取り入れるか、既存の 2 つ以上の学位の専門科目の中から選択するものである。これでは真に統合型 STEM プログラムとは呼べないとする考え方である。

この提案書 (APEC Human Resources Development Working Group 2021) によれば、統合型 STEM プログラムの設計における重要な成功要因は、カリキュラム設計、組織のリーダーシップ、教員、学生の 4 つに大別される。一方、統合的 STEM カリキュラムへの取り組みについて実施を阻害する要因、問題は、

- ①学科間・大学間連携における構造的制約
- ②資金調達
- ③報酬と認知の欠如
- ④不十分なマンパワー

である。

これらを解決するために考えられた学際科学フレームワーク (IDSF) は、人文社会科学などを含む文理融合型フレームワークである (Tripp ほか 2019)。ただし、学際的研究のためのフレームワークとなるので、生活の質の向上といったものに直接は結びつかないものも出てくる。

さらには、マーケティングの問題がある。すなわち、STEM 教育を受けた卒業生に価値が備わっていることを社会に認識してもらう必要がある。

一番大きい問題はカリキュラムデザインである。大学ごとに使用できるリソースが異なることから統一的なコースワークの実現が困難となることが多い。ディシプリンベースの教育と異なり、このことが信頼性の欠如へとつながりやすい。したがって、標準的なカリキュラムモデルを設定することが今後の課題である。

## 6. まとめ

本稿ではここ 5 年の世界の高等教育における STEM 教育を調査してきたが、各国で STEM 教育が発展してきていることが明らかとなった。そのスピードは日本の変化を大きく凌駕するものである。背景にはイノベーション教育、なかでも IT 技術重視の認識が高まったことがあり、STEM 教育がそのための良いツールになっているのである。

しかし、これらの改革が功を奏するためには、高等教育の課題である男女の比率の偏りを STEM 教育においても是正する必要がある。さらに STEM 教育を受けた卒業生に、これまでの教育以上の価値が備わっていることを社会に認識してもらう必要がある。

また、大学における統合型 STEM カリキュラムにはプロトタイプがなく、多くの大学で試行が行われているのが現状であり、標準的なカリキュラムモデルを設定することが今後の課題である。

## 文献

- 安東恭一郎, 政孝金 (2014), 「科学と芸術の融合による教育の可能性と課題: 韓国 STEAM 教育の原理と実践場面の検討」, 『美術教育学: 美術科教育学会誌』
- 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)』
- 日本経済団体連合会 (2018), 『Society 5.0 ーともに創造する未来ー』, <https://www.keidanren.or.jp/policy/society5.0.html> (2022 年 9 月 20 日閲覧)
- 日本経済団体連合会 (2020), 『Society 5.0 に向けて求められる初等中等教育改革 第二次提言 ーダイバーシティ&インクルージョンを重視した初等中等教育の実現ー』, <https://www.keidanren.or.jp/policy/2020/110.html> (2022 年 8 月 23 日閲覧)
- 日本経済団体連合会 (2022), 『新しい時代に対応した大学教育改革の推進 ー主体的な学修を通じた多様な人材の育成に向けてー』, <https://www.keidanren.or.jp/policy/2022/003.html> (2022 年 8 月 23 日閲覧)
- 細川敏幸 (2022), 「高等教育研究部と大学改革の 15 年」, 『高等教育ジャーナル』 29, 1-12
- ワイマン カール 著, 大森不二雄・杉本和弘・渡邊由美子 監訳 (2021), 『科学立国のための大学教育改革: エビデンスに基づく科学教育の実践』, 玉川大学出版
- Association of American Universities (2013), “Framework for systemic change in undergraduate STEM teaching and learning” [https://www.aau.edu/sites/default/files/STEM%20Scholarship/AAU\\_Framework.pdf](https://www.aau.edu/sites/default/files/STEM%20Scholarship/AAU_Framework.pdf) (2023 年 1 月 10 日閲覧)
- APEC Human Resources Development Working Group (2021), “Actualization of Integrated STEM Degree Programs: A Model to Inform, Catalyze, and Shape Inter- and Trans-Disciplinary University Education” [https:// www.apec.org/](https://www.apec.org/) (2022 年 9 月 20 日閲覧)
- Austin, A. E. (2011), “Promoting Evidence-Based Change In Undergraduate Science Education” A

- Paper Commissioned by the National Academies National Research Council Board on Science Education.
- Bosman, L., & Duval-Couetil, N. (2019), "Communicating the Value of a Transdisciplinary Degree: Comparing and Contrasting Perceptions Across Student Groups," *126th Annual Conference & Exposition* (pp. 1-10). American Society for Engineering Education.
- Bybee, R. W. (2010), "Advancing STEM Education: A 2020 Vision," *Technology and Engineering Teacher* 70, 30-35
- Carla C., Johnson E., Peters-Burton and Tamara J. M. E. (2021), "STEM Road Map 2.0, A Framework for Integrated STEM Education in the Innovation Age, 2nd Edition," Routledge.
- Dancy M., Henderson, C. (2010) "Pedagogical practices and instructional change of physics faculty," *American Journal of Physics* 78 (10), 1056-1063
- Department of Defense (2017), "DoD STEM Education and Outreach Portfolio Overview: Descriptive Analysis for FY 2017 - FY 2018," <https://dodstem-assets.dodstem.us/files/DoD-STEM-Education-and-Outreach-Portfolio-Overview-FY2017-18.pdf> (2022年9月20日閲覧)
- Dutta, S., Lanvin, B. and Wunsch-Vincent, S. (2016), "The Global Innovation Index 2016," [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo\\_pub\\_gii\\_2016.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2016.pdf) (2022年9月20日閲覧)
- Freeman, S., Eddy S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. and Wenderoth, M. P. (2014), "Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111, 8410-8415
- Government Printing Office of U.S.A. (2007), "America COMPETES Act of 2007," <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CREC-2007-03-08/pdf/CREC-2007-03-08-pt1-PgS2889.pdf> (2022年9月20日閲覧)
- Jonathan M., Breiner C., Johnson, S., Sheats H., Catherine M. and Koehler, C. (2012), "What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in Education and Partnerships." *School Science and Mathematics* 112 (1), 3-11
- Kang, N. (2019), "A review of the effect of integrated STEM or STEAM (science, technology, engineering, arts, and mathematics) education in South Korea," *Asia-Pacific Science Education* 5, 6
- Korea Institute for Curriculum and Evaluation (KICE) (2021), "VIII. The Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS): Findings from TIMSS 2019 for Korea," [https://www.kice.re.kr/upload/brochureBoard/8/2021/08/271/1630037366634\\_2948347074802046.pdf](https://www.kice.re.kr/upload/brochureBoard/8/2021/08/271/1630037366634_2948347074802046.pdf) (2022年9月20日閲覧)
- Kuenzi, J. Jeffrey (2008), "Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: Background, Federal Policy, and Legislative Action," Congressional Research Service.
- Martin, M.O., Mullis, I.V.S., Foy, P. and Stanco, G.M. (2012), "TIMSS 2011 International Results in science," *TIMSS & PIRLS International Study Center*, Boston College. MA.
- McKittrick, D.L., Beede, D., Khan, B. and George, M.D. (2011), "STEM: Good Jobs Now and for the Future," United States, Department of Commerce, Economics and Statistics Administration.
- Mullis, V. S., Martin, M. O., Foy, P., Kelly, D. L., & Fishbein, BI (2020), "TIMSS 2019 International Results in Mathematics and Science," <https://timssandpirls.bc.edu/timss2019/international-results/> (2022年9月20日閲覧)
- National Academy of Engineering and National Research Council (2014), "STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research," Washington, DC: The National Academies Press.
- National Institute of Education Sciences (2017), "White paper on STEM education in China," Beijing
- National Research Council (NRC) Education for Life and Work (2012), "Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century", Washington, DC: The National Academies Press

Noonan Ryan (2017), “STEM Jobs: 2017 Update,” U.S. Department of Commerce, Economics and Statistics Administration.

Partnership for 21st Century Skills Ohio Department of Education (2015), “Framework for 21st Century Learning,” [https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21\\_Framework\\_Definitions\\_New\\_](https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21_Framework_Definitions_New_)

Logo\_2015\_9pgs.pdf (2022年9月22日閲覧)

Sanders, Mark (2009), “STEM, STEM education, STEM mania.” *The Technology Teacher* **68** (4)

Tripp, B., & Shortlidge, E. E. (2019). “A Framework to Guide Undergraduate Education in Interdisciplinary Science,” *CBE—Life Sciences Education* **18** (es3), 1-12