

STEM 教育と STEAM 教育

—— 歴史, 定義, 学問分野統合 ——

胸 組 虎 胤

(キーワード: 理科, 教科横断, STEM, STEAM, 芸術)

1. はじめに

近年 STEM 教育 (Science, Technology, Engineering and Mathematics Education) と STEAM 教育 (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics Education) という用語が科学教育の分野で使われるようになり, 2017年には日本 STEM 教育学会¹⁾が創設された。日本 STEM 教育学会のホームページの会長挨拶には次のようにある。

「STEM の起源は1990年代の米国で, 国際競争力を高めるための, 科学技術人材の育成を目的とした教育政策として, 注目されてきたと言われています。さて, 時代は21世紀も5分の1を迎えようとしていて, AI などの高度な科学技術を基盤とした, 新たなステージに向かおうとしています。文部科学省では学習指導要領を改訂して, 次の時代への備えを始め, STEM 教育の活動のひとつであるプログラミング教育を必修としました。

諸外国ではすでに STEM 教育に取り組んでいるケースも多く, Art を加えた STEAM や Robotics を含んだ STREAM, 更には Ethics を加えるなど, 内容も様々に変化してきましたが, 最近はまだ, それらを含んで簡潔に STEM と捉え直し, むしろ概念論から実践論に移っているように感じます。」¹⁾

また, 「私たちも当初は, 学会名を STEM 学会にするか, STEAM 学会にするかの議論がありましたが, 結局それらを含んで, これからの STEM という意味で, STEM としました。一方で変わらないのは, 現実の課題に対して, S・T・E・M など (A も R も含めて) の個別の領域からではなく, ①融合させて解決していくという考え方であろうと思います。プログラミング教育の思考プロセスはまさに, この典型的な例ではないかと思えます。このような背景のもと, 本学会では実践研究を通して, プログラミング教育はもちろんの事, これからの AI 時代の STEM 教育のあり方を考え, 新たな提言をしていきたいと考えています。そのためには, 関係する様々な領域の方々に参加いただくことが必要です。様々な領域が集まると, 時には領域間での意見の相違などが生まれるかもしれませんが, その時にも呉越同舟の精神で互いを尊重し, ②融合して解決していくような風土をもち, 革新, 創造, 感動を重んじるような学会にできればと考えています。」¹⁾とある(上付き①と②はこちらで付した)。以上のように, STEM と STEAM の意味については様々な見方があり, 上記の①と②の2か所で使われている「融合」の意味が明確でない。STEM 関係科目に Arts も含めた「融合」の具体的内容を解明していくことも STEM 教育学会の目的の1つかもしれない。

ただし, 会長挨拶の英訳¹⁾を見ると, 最初の「①融合」の箇所は“integrating multiple domains of Science, Technology, Engineering and Math (and may include Arts or Robotics...)”の“integrating”が対応し, 後の「②融合」には“I hope the society will have a culture to respect each other, fuse together to solve problems, and share innovative, creative and emotional values.”の“fuse together”が対応する。つまり, 「融合」には異なる意味の用語を用いている。複数分野の内容を合わせる場合, integrate (「融合」よりも「統合する」)を用いることが多いため, 本稿では integrate の意味で「統合する」を用いる。fuse together 「融合」については, 完全に溶け合って構成成分が見えないイメージがあり, 教育に関して使われない表現ではないが, 教育上の意味も不明瞭であるため別の機会に論じたい。

本稿ではまず, STEM 教育の歴史と成り立ちを概説し(第2章), 次に STEAM 教育の歴史と成り立ち, STEAM 教育の基本的な考え方について議論する(第3章)。さらに, STEAM 教育については自然科学教育, 芸術, 技術からの見方があることを提示し(第4章), おわりに, STEM と STEAM という学問領域の統合の意味と方法についてまとめる(第5章)。

2. STEM教育の歴史と成り立ち

2-1. アメリカのSTEM教育の歴史

STEMはScience, Technology, Engineering and Mathematicsの頭文字をとったもので、NSF (the National Science Foundation)の理事長補佐だったジュディス・ラマレイ博士(Dr. Judith Ramaley)が2001年に命名した²⁻⁵⁾。ラマレイは、STEMの概念を現実世界の問題を解決するとか、新しい革新的なことを追求していく機会という文脈上の学修として位置づけた⁶⁾。NSFは、STEMを使用する以前にSMET (Science, Mathematics, Engineering, and Technology) という用語を使用しており⁷⁾、Journal of SMET Educationという雑誌も発行されていた⁸⁾。しかし、NSFの長官であったリタ・ロッシ・コルウェル博士(Dr. Rita Rossi Colwell)が2003年に正式名称をSTEMに変更したことを受けて、第4巻3号からJournal of STEM Educationに変更された。SMETの発音がsmut(汚れ、すず、猥談などの俗悪さを意味)⁴⁾の発音に似ていたので、ある幹部職員(ジュディス・ラマレイか?)が不満を漏らして⁹⁾、STEMという略号(頭文字)が生まれたとされる^{2-5,9)}。

アメリカ合衆国では科学と数学における教育の重要性が、多くの教育提言の中で論じられてきた(表1^{10a)})。第二次世界大戦後の冷戦時には典型的な例が見られる。1957年にソビエト社会主義共和国連邦(ソ連)がスプートニク1号という人工衛星の打ち上げに世界で初めて成功し、アメリカが防衛上の脅威を感じた「スプートニクショック」がきっかけとなっている。1958年には国家防衛教育法によって、理数系教育の推進のために奨学金制度が創設された。1961年には旧ソ連が人類初の有人宇宙飛行を実現させたこともあり、アメリカはアポロ計画を推し進め、1969年にはアポロ11号の月面着陸という成果を挙げた。これは対外的には誇れる内容であったし、宇宙空間での人工飛行物体の制御とそれに関わる様々な技術革新と人材の育成という点では成功したであろう。しかし、1980年代初めにかけて、アメリカの生産技術とそれを支える産業育成という点で、他国との関係が大きく変化していった。1983年「危機に立つ国家」(“A Nation At Risk”)と題する教育の卓越に関する全米審議会報告書^{10b)}には、以下のような典型的な例が紹介されている。

“History is not kind to idlers. (中略) The world is indeed one global village. We live among determined, well-educated, and strongly motivated competitors. “(中略)“America’s position in the world may once have been reasonably secure with only a few exceptionally well-trained men and women. It is no longer.”

「歴史は怠け者には親切ではない。」(中略) 「世界は1つの地球規模の村である。我々は、本気でよい教育を受け、強く動機付けられた競争相手の中に生きている。」(中略)「世界におけるアメリカの地位は、かつては例外的に良い教育を受けたわずか少数の男女によって、適度に安定を保ってきたかもしれない。しかし、もはやそうではない。」また、次のような記述もある。“The risk is not only that the Japanese make automobiles more efficiently than Americans and have government subsidies for development and export. It is not just that the South Koreans recently built the world’s most efficient steel mill, or that American machine tools, once the pride of the world, are being displaced by German products.”「危険は、日本がアメリカより効率的に自動車を作り、開発と輸出の政府助成金を出していることばかりではない。韓国が最近世界で最も効率的な製鉄所を建設し、アメリカがかつて世界に自負していた工作機械が、ドイツ製に置き換わりつつあることばかりでない。」

表1. アメリカのSTEM教育の歴史(概略)

西暦/年	事項
1957	旧ソ連の人類初の人工衛星「スプートニク1号」打ち上げ
1958	国家防衛教育法(National Defense Education Act) 理数系教育の充実、奨学金制度
1961	旧ソ連が人類初の有人宇宙飛行船「ボストーク1号」を地球の周回軌道に乗せ地球に帰還させた
1969	アメリカの有人宇宙飛行船アポロ11号が月面に着陸し史上初めて人が月面上に立った
1983	教育の卓越に関する全米審議会報告書(NCEE: National Commission on Excellence in Education)「危機に立つ国家」“A Nation at Risk”
1984	経済保障教育法(Education for Economic Security Act (Title II))
1985	全米科学振興協会(AAAS: American Association for the Advancement of Science)が“A Nation at Risk”に答えてProject 2061(全アメリカ人が科学、数学、技術の教養を身に付けることを支援)を公表した。
1989	全米科学振興協会「科学的教養のための水準点」(AAAS Benchmarks)
1989	全米数学教員協議会「学校数学のための原則とスタンダード」(NCTM: Mathematics Education Standard); 米科学振興協会が「全アメリカ人のための科学」(Science for All Americans)を出版; NSFがSMET (Science, Mathematics, Engineering, and Technology) という用語を使用し始めた
1996	全米研究評議会が「全米科学教育スタンダード」(NRC Science Education Standard)
2000	「学校数学のための原則とスタンダード」改定
2001	NSFがSTEM(science, technology, engineering, and mathematics)という頭文字を最初に使用した。
2012	NRCが「幼稚園から高校までの科学一貫教育の枠組み」A Framework for K-12 Science Educationを発刊
2013	「次世代科学標準」(Next Generation Science Standards)が発刊
2015	STEM教育法が制定

1983年当時までのアメリカ人の自然科学系のノーベル賞受賞者は百数十人（数人の女性も含む）であり、他の先進国を圧倒的に引き離していたが、その一方でアメリカ人の識字率87%、マイノリティーで40%であった。これは、アメリカが多く優れた科学者を輩出しているにもかかわらず、母国語である英語を話せない国民が13%、マイノリティーでは60%と、十分な教育を受けていない国民が相当数いることを意味している。この当時、世界第一の自動車生産国であったアメリカに進出した日本の自動車企業が生産する自動車の売れ行きがよく、アメリカ企業の自動車販売数が減少したことで、アメリカの労働者が日本製自動車をハンマーでたたき壊すことがしばしば報じられた。

しかし、そのころから90年代にかけては、現在のSTEM教育に比べ普及活動が盛んでなかったのは、連携と公の普及活動が欠落していたためとも見られている。その後、自然科学、数学、技術、工学の教育強化の必要性は、多くの報告書で強調されてきた。そのような教育は一時SMETという頭文字が使用されてきた(前述)が、2001年にSTEMが使用されるようになってからは、国家的、州としても、各地区でも、アメリカ合衆国としての世界水準での競争力を刷新することの重要性が認識されるようになった⁴⁾。2012年にアメリカ学術会議が発行した“A Framework for K-12 Science Education”¹¹⁾という科学教育の指針が出された。2013年にはNGSS (“Next Generation of Science Standards”) ¹²⁾という科学教育の標準が出版され、具体的な教育課程とその目標を含む枠組みが提案された。2015年にはアメリカでSTEM教育法が成立した¹³⁾。

2-2. 技術 (Technology) と工学 (Engineering)

STEMを考察するにはその構成分野である技術 (Technology) と工学 (Engineering) の理解が必要であるが、その区別については不明瞭な点がある。2012年にアメリカ学術会議が発行した“A Framework for K-12 Science Education”¹¹⁾という科学教育の指針では、Technologyは、“Technology is any modification of the natural world made to fulfill human needs or desires.” (「技術とは、人間の必要や欲求を満たすためになされる自然世界の何らかの改良である。)」とされ¹¹⁾、Engineeringは、“Engineering is a systematic and often iterative approach to designing objects, processes, and systems to meet human needs and wants.” (「工学とは、人間の必要や欲求に合致するように、対象、過程、システムをデザインするための系統的で、しばしば繰り返しの取り組みである。)」とされている¹¹⁾。

また、technology (技術) はengineering (工学) とhumanity (人間性) の2つの観点から見る事ができるという研究者もいる^{14,15)}。工学的視点は機器的な視点を指し、技術は人工物である物質的対象を作り、使うことである。人間性の視点は人間的な努力に対応する技術の側面に焦点を当て、表2はその詳細を示している^{14,15)}。

表2. 技術についての2つの見方

<p>工学的視点 技術が以下のものを含んでいる：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・明確な知識体系 ・実施の活動または方法 ・デザイン、工学、生産、研究手順 ・物理的道具、機器、人工物 ・組織化統合された仕組と、技術を創造、生産、使用するのに慣れた組織 	<p>人間性からの視点 技術が以下のように見られる：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・道具、機器、人工物、過程とシステムを合わせた以上のもの ・使用者の意図にかかわらず、文化や社会階層に影響する ・人間的価値と影響値を達成する ・しばしば伝統的で競争的な価値を超えるような自立した社会的で経済的な力 ・破壊的な社会的経済的結末も、予期しない肯定感も容認できる
--	--

バラク (Barak) は、「工学が技術と異なる点は、工学のみが技術を発展、生産する専門的職業を構成している。一方、技術のより広い概念は技術の使用の次元にも関係する。テクノロジストは、エンジニア以上に、問題解決と新しい製品開発の経済的、文化的、環境的側面と同様に、人間的要求を扱っている。」と記している¹⁶⁾。テクノロジストはエンジニアとテクニシャンの中間層にある職業人であり、工学の機械的側面と人間性の側面を併せ持つとの考えであろう。

2-3. STEM 教育の定義と内容

STEM教育の定義は多数あり意見の一致は得られていないという見方がある^{17,18)}。しかし、STEM教育の対象については、科学の学力が劣る小中等学校生^{17,19)}と、STEM教育の対象は幼稚園児から大学卒業以降まで^{17,20)}という見方に二分される。アメリカ教育省 (Department of Education) の学術競争力懇談会 (Academic Competitiveness Council: ACC) によるSTEM教育支援の対象については、“The programs cover kindergarten through postgraduate education and outreach—” (「幼稚園から大学卒業とアウトリーチ」) とある²⁰⁾。また、STEMを学問分野と捉える見方、その領域を専門とする教育機関と捉えることもある。

当初 NSF が行った定義は STEM を広く捉えており、Science, Technology, Engineering, Mathematics 以外に、心理学、経済学、社会学、政治学のような人文社会科学も含んでいた^{7,21)}。しかし、STEM についての見方は、NSF のような政策実施機関による視点、法律的な視点、教育機関からの視点でも異なる^{4,21)}。教育機関においても、(1)Science, Technology, Engineering, Mathematics の従来学問を STEM と見て、統合を考えない見方があり、(2)一方、現実の課題解決のために従来学問を統合するという見方がある^{4,9,21,22)}。後者の見方は、Science, Technology, Engineering, Mathematics の各学問の内容を統合させた1つの単元 (unit) として扱う⁴⁾。ここで、STEM 領域の専門を体現し、実際の課題に対応している技術者は、その技術者の専門領域 (たとえば、化学や電気など) に関する仕事であったとしても、実際には数学も使うし、自分の専門以外の知識も駆使して⁴⁾、生産コストを下げ、性能を向上させるなどの工夫をしている。一方、学校現場の「STEM 領域」の教師はこのように異なる学問の知識やスキルを統合する教え方は採用せず、学問に基づいた教科毎に教えてきた⁴⁾。

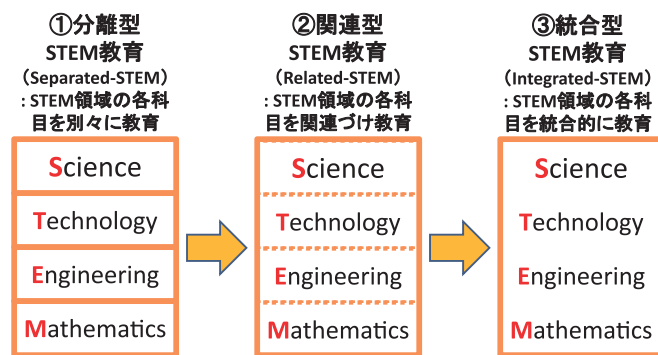


図1. 統合性の度合いによって分類したSTEM教育

以上のようにSTEM教育についての見方を構成学問間の関連付けと統合性という観点から図のように表すことができる。これは1つの概念図であり、STEMの各構成学問間の線でその区分と関係づけを印象付けている。①のような実線はSTEMの構成学問間の境目が明確で、各学問間の融合や統合はない。②のような点線の場合、部分的な関連付けがある。③のように境目の線がないのは無差別の融合や統合を意味する。

分離型STEM教育は、4つの学問領域を別々に教育することであり、その学問領域全般と関連する教育機関も意味する。ただし、教育機関での実際のカリキュラム内容の統合性とは関係なく、STEM領域の少なくとも1つでも教育機関の目的に含まれていればよい。関連型STEM教育は、4つの学問領域のそれぞれの領域の少なくとも2つを関連付けて教育することを意味する。統合型STEM教育は各学問領域の特性を把握した上で統合して、実際の課題解決に則した教育を行うことである。しかし、現実の課題解決を考慮する場合、①分離型STEM、②関連型STEM、③統合型STEMそれぞれでも対応可能なこともある。ただし、③統合型STEMの教育であれば、1つの学問領域での理想的で固定的な課題解決に囚われず、柔軟な対応が可能になると考えられる。何がSTEM教育であるかをさらに解明するには、本稿の初めにも述べたが、統合とは何であるかをさらに明らかにしなければならない。

2-4. STEM教育の統合の考え方

2-4-1. 文脈統合と内容統合

- (1) ムーア (Moore, T. J.)²³⁾はSTEMの統合を、「科学、技術、工学、数学という4つの学問分野のうちのいくつか、あるいは4つすべてを、教科と実世界の課題を結びつけることを基礎にして、1つの学級、単元、授業の中に結集する努力」と定義している。彼はSTEMの統合という考え方の原点が、1900年代初頭の発展的教育 (Progressive Education) であるとして、デューイ (Dewey, J.) の書籍²⁴⁾を例に挙げている。また、内容と工学的思考を統合する方法には、文脈統合 (context integration) と内容統合 (content integration) の2種類があるとしている。文脈統合とは、いくつかの学問分野 (通常は数学や科学) を教える動機付けの要因として、工学的デザインの形に統合することを指し、目的は工学自体ではなく、学生が内容を学ぶのに役立つ教育としての工学デザインをできることである。内容統合とは、工学的思考と数学や科学の内容を統合することであり、そこでは工学を含む複数分野が学修活動や単元の対象の1つとなり、数学と科学の学修と工学的な達成が求められる。
- (2) リー (Li, Y.) は、「統合されたSTEMの特徴を定義する観点には、学問分野の境界横断 (crossing) が最重要であり、境界横断の程度で定義は著しく変わる。」としている²⁵⁾。これは境界横断の程度は文脈によって変わるとも取れ、文脈統合と内容統合を包含している定義内容と見ることができる。
- (3) ハニー (Honey, M.) らは統合の基本的定義として、「複雑な現象という文脈で仕事をするか、学生が様々な学問分野の知識とスキルを使うことを求める状況」を挙げている²⁶⁾。
- (4) STEM Task Force Report は、「4つの学問分野を便宜的に統合するのではなく、現実世界の問題に基づく学修、すなわち、密接で活動的な教えと学修の取り組みを通して、学問分野を結びつけること。」としている²⁷⁾。

これらの例は文脈統合と内容統合という2つの見方を支持する例である。

(5) ケリー (Kelly, T. R.) とノールス (Knowles, J. G.)³⁵⁾は、荷物を引き上げる滑車装置の各部品を STEM に見立て、分野相互の関係性を示して、統合を表現しようとした(図2)。STEM の統合をギアの絡みで表現したモデルも存在する²⁸⁾が、ここでは前者の滑車のモデルを考える。

そこに示される部品は①荷物 (load) としての「状況的 STEM 学修」(situated STEM learning), ②滑車 # 1 (pulley # 1) としての「エンジニアリングデザイン」(engineering design), ③滑車 # 2 (pulley # 2) としての「科学的探究」(scientific inquiry), ④滑車 # 3 (pulley # 3) としての「技術的操作能力」(technological literacy), ⑤滑車 # 4 (pulley # 4)「数学的思考」(mathematical thinking), ⑥縄(rope)「実践共同体」(a community of practice) の6種類である。

これらの部品間の関係性について見ていく。①荷物 (load) としての「状況的 STEM 学修」と、直接結合している②滑車 # 1 (pulley # 1) としての「エンジニアリングデザイン」は、STEM の統合のための文脈であると見ることができる。両者の結合の意味は、状況的学修理論^{29,30)}と状況的認知理論³¹⁾の考え方に基づいている。すなわち、学修で得られる知識は学修内容自体とともに、学修の活動、文脈、文化等の状況が大きく影響する。社会的な関わりを持ち、協働することは、現実世界の状況的学修に重要な要素である。状況的学修を牽引するのは、⑥縄 (rope)「実践共同体」(a community of practice) であり、学修者がその活動、文脈、文化等に関わることで知識とスキルを身に付けられる。したがって、「状況的 STEM 学修」という荷物に結合した「エンジニアリングデザイン」(文脈) という滑車 # 1 は、「実践共同体」(文脈を作る環境) という縄で引き上げられる。

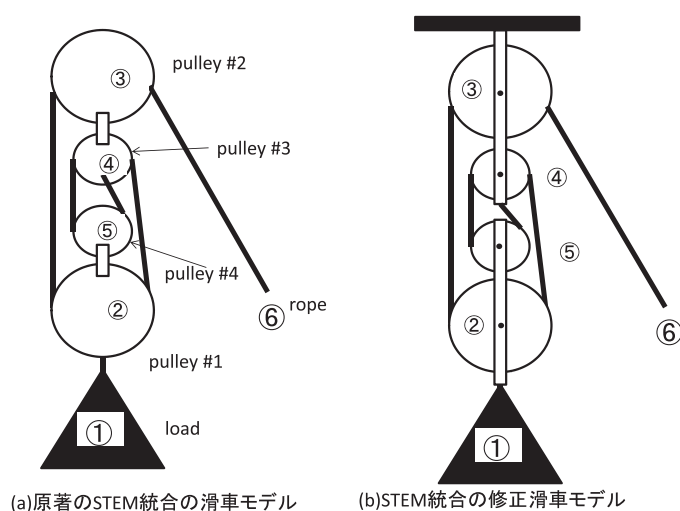


図2. STEM 統合の滑車モデル

(①荷物：状況的 STEM 学修；②滑車 # 1：エンジニアリングデザイン；③滑車 # 2：科学的探究；④滑車 # 3：技術的操作能力；⑤滑車 # 4：数学的思考；⑥縄：実践共同体)

②滑車 # 1 (pulley # 1) としての「エンジニアリングデザイン」と⑤滑車 # 4 (pulley # 4)「数学的思考」が枠を共有して直接結合していることは、エンジニアリングデザインの分析的思考には数学的思考が関係しているからであろうか。同様に、③滑車 # 2 (pulley # 2) としての「科学的探究」が、④滑車 # 3 (pulley # 3) としての「技術的操作能力」と枠を共有して直接結合していることは、科学教師が教育活動の中で直接手を使う (hands-on) の指導を必要としているためであろうか。これらの結合 (②と⑤, ③と④) については明確な説明を見出せなかった。

以上見てきた STEM 統合の滑車モデルは、STEM を構成する学問分野の一面を取り上げて、それらを「実践共同体」という力によって、「エンジニアリングデザイン」を駆動させることで授業実践を生み出すモデルである。STEM の統合の形は、実践共同体により変わり得るので、固定的でないことを主張していると思われ、滑車モデルはいわば文脈の統合に対応する。尚、原著に見られる図は明らかに滑車として不合理な構造を有している。図2の右側(b)は本来の滑車の構造を示している。滑車間の結合部品の結合形態を修正した。2つを連結する結合部品は滑車の中心にピンでとめられていなければならないのでそれを書きかわえた。また、滑車は上部を固定されていなければ、荷物を吊るすことができないのでそれを加えた。

2-4-2. カリフォルニア州教育局の定義

STEM の統合についての共通の定義は困難であることを容認して、カリフォルニア州教育局は次のような広範な定義を提案している^{32,33)}。「STEM は、それぞれの科目、独立した科目、連続的な科目、4科目のどのような活動を含んでもよく、STEM 関連科目、あるいはそれぞれが結合的なまたは統合的な科目である。」

このような定義は図 1 に示すような 3 段階の STEM 教育をすべて包含すると見ることもでき、文脈統合も内容統合もすべて包含しているとも見える。カリフォルニア州教育局の定義は基本的に内容的統合の程度が低くとも統合とみなし、文脈的統合があれば高水準の統合とみなせる。

2-4-3. 統合の水準

(1) バスケスら (Vasquez, J) は表 3 に示すような STEM の統合段階の分類を提案している^{32, 34, 35)}。これらすべて (Disciplinary, Multidisciplinary, Interdisciplinary, Transdisciplinary) の段階はカリフォルニア州教育局の STEM の定義と同様に広い範囲を含むが、統合の水準も分類している。Disciplinary は、学問分野毎に別々の知識とスキルを学ぶが、分野間の連携はなくとも STEM の 4 分野が揃っている点が重要である。Multidisciplinary は、共通のテーマに関連づけて STEM のうち少なくとも 2 分野の知識とスキルを学ぶ。Interdisciplinary は、複数分野で密接に関連した知識とスキルを双方の分野から学んで理解を深める。Transdisciplinary は、特定の課題解決やプロジェクトに知識とスキルを応用するので、個々の事象への対応を学ぶことになる。Disciplinary⇒Multidisciplinary⇒Interdisciplinary⇒Transdisciplinary へと移るにしたがって学問分野中心から現実対応の割合が高まっていることがわかる。統合 (Integration) の割合は現実の課題解決の割合が増えるにしたがって高まるという仮定がうかがえる。各統合水準で、「各分野の知識、概念とスキルを統合する。」ことを基礎においていることが特徴である。

表 3. 統合の水準

統合の形	特徴
Disciplinary (分野別)	概念とスキルを各分野で別々に学ぶ
Multidisciplinary (多分野的)	共通テーマに関する概念とスキルを各分野で別々に学ぶ
Interdisciplinary (分野連携的)	知識とスキルを深める目的で、密接に関連した概念とスキルを 2 つ以上の学問分野で学ぶ
Transdisciplinary (分野包含的)	2 つ以上の学問分野で学んだ知識とスキルを実世界の課題解決とプロジェクトに応用し、学習経験の形成を助ける

(2) ニコレスク (Nicolescu, B.) による学問分野全般に関わる統合の定義^{36, 37)}

ニコレスクは、STEM の統合の最上位にある Transdisciplinary は Multidisciplinary と Interdisciplinary と異なるとして、STEM の統合に限らず、学問的研究の範疇で次のような区別を提示している³⁶⁾。「Transdisciplinary は多くの学問分野の視点から問題に取り組むこと (Multidisciplinary) ではない。1 つの学問領域を使って他に伝える Interdisciplinary でもない。Transdisciplinary とはたぶんそれらすべての上位にある思考であり、従事であり、探究である。」とある。また、個々の説明と具体例は以下のようにある³⁷⁾。

「Multidisciplinary (Multidisciplinary であること) は、1 つの学問分野だけでなく、1 つの研究課題をいくつかの学問分野から同時に研究することに関係する。たとえば、ジョット (Giotto di Bondone, イタリアの画家) による絵画は美術史の文脈だけでなく、宗教の歴史、ヨーロッパの歴史、幾何学の領域での研究もする。」³⁷⁾

「Interdisciplinarity (Interdisciplinary であること) は、Multidisciplinary とは異なった目的を持ち、1 つの学問分野の方法を他の学問分野の方法に移し代えることに関係している。人は Interdisciplinarity に関して、3 つの度合 (程度) を区別できる。(a) 応用の程度：たとえば原子物理学の方法を医学に移すと新しい癌治療を生み出すことにつながる；(b) 認識論の程度：形式論理の方法を一般法に移すと法律の認識論に関する興味深い分析を生み出せる；(c) 新学問領域発生の程度：数学的方法を物理に移すと数理論理学が生まれ、数学的方法を気象学的現象や株式市場過程に移すとカオス理論が生まれ、粒子物理学の方法を宇宙物理学に移すと量子宇宙学になる。Multidisciplinary と同じく Interdisciplinarity の研究範囲が学問分野を超えそうになることがあるが、その目的はあくまでその学問領域の範囲を維持した研究である。」³⁷⁾

「Transdisciplinarity (Transdisciplinary であること) は、trans という接頭辞が示すように、学問分野間にあり、異なる学問分野を交差して、同時にすべての学問分野を超えることに関係している。その目的は、現実世界を理解することであり、現実世界についての要請の 1 つは知識の一貫性を得ることである。」^{37, 38)}

以上のような学問的統合の水準という捉え方、そして、文脈統合と内容統合という捉え方は、STEM の統合だけではなく、次の STEAM を考える上にも使える見方であろう。

3. STEAM 教育の歴史と原理的な側面

3-1. STEAM 教育の定義と特徴

STEAM 教育^{39, 40)} は STEM と Arts (芸術) を統合し、Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics

とした教育の頭文字をとった表現である。先にも示したが、STEM 教育の文脈統合的な観点が強調されていると、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、1つの解決策を目指す傾向（収束思考：convergent thinking）がある。他方、芸術は収束思考よりも、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：divergent thinking）を促す。つまり、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される⁴⁰⁾。Arts の内容については芸術とする捉え方と Liberal Arts まで広く捉え方があるので議論を要するが別の機会に論じる。

3-2. STEAM 教育の歴史

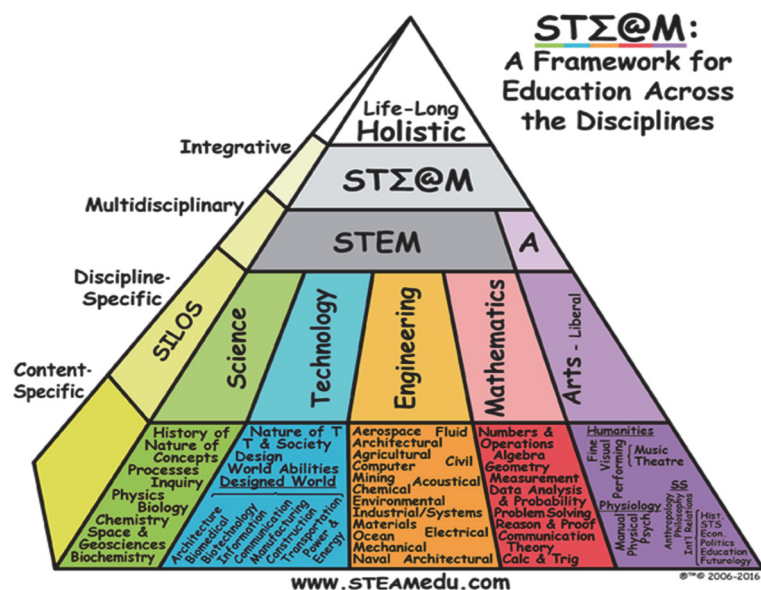
3-2-1. STEAM 教育の始まり

STEAM という用語は、2006年ヤークマン（Yakman, G.）により初めて使われ^{39,41)}、STEAM 教育の枠組みとカリキュラムが作られた⁴¹⁻⁴⁶⁾。2007年には NPO 法人オハイオ芸術教育同盟(Ohio Alliance for Arts Education) のプラッツ（Platz, J.）が“STEM into STEAM”という表現をして Arts を加えた STEAM を強調している^{47,48)}。また、RISD(Rhode Island School of Design)の学長であったマエダ(J. Maeda)が2008年から2015年まで“STEM to STEAM”の教育プログラムを主導したとされる⁴⁹⁻⁵¹⁾。2010年にはメイズ（Meas, B.）から STEAM の順番を入れ替えた TEAMS³⁾という表現も提案されている。上記以外に、韓国では2007年から科学英才高校で STEAM 教育を実施し^{39,47)}、同年に学習指導要領が改訂されて STEAM 教育の内容が加えられ⁴⁷⁾、2010年から初等教育を含む義務教育でも実施されている^{39,47)}。尚、1980年前後に STEAM 的教育の実施報告⁴⁰⁾もある。

ほぼ同時期に開始されたこれらの STEAM 教育に共通しているのは、場合によっては協働で作品を制作するという文脈統合の側面、STEM 分野と芸術等の STEM 以外の学問分野とを統合するという内容統合の側面である。これらの2つの側面は STEM 教育の統合の箇所でも述べた点と共通しているが、内容統合では一見して大きく異なる芸術やリベラルアーツ（STEM 以外の学問分野）を加える点が STEAM 教育の特徴である。

ヤークマンの提案する STEAM 教育は、STEM と統合する Arts が芸術以外の Liberal Arts も含むことである。その枠組みを図 3 に示す。

この図はピラミッドで STEAM 教育の全体構造を表現したものである。最下層から2番目の層にある Science, Technology, Engineering, Mathematics, Arts という各学問分野が表示されており、最下層にはこれらの構成分野が書かれている。たとえば、Science であれば、History of Nature of Concepts, Processes Inquiry, Physics, Biology, Chemistry, Space & Geosciences, Biochemistry などと書かれている。必ずしも、学問分野だけではないので詳しく検証する必要があるが、本稿の目的と部分的に関わるが、別の機会に論じる。また、Arts は“Arts-Liberal”(リベラルアーツ)とあり、その下には芸術が含まれ、STEM と芸術以外の様々な分野の名称が書かれている。



<https://www.iteea.org/Community/36937/16987.aspx>

図 3. Yakman による STEAM 教育の枠組

ピラミッドの上に行くとも下部の分野が統合されていることを表現している。最上部には“Life-Long Holistic”とあり、一生にわたり統合することが書かれている。側面には下から専門分野の特定内容、分野、STEM と Arts の層には他分野、そして、STEAM では統合と書かれている。色分けされて、一見わかりやすそうであるが、統合の具体的な内容が明確には理解できない。何れにしても、Arts をリベラルアーツとしている点がこの枠組の特徴である。

3-2-2. STEAM 教育に影響したと見られる教育理論(1)

STEAM 教育に含まれる作品を作るという実習を取り入れた教育は、ジョージア工科大学のコロドナー（J. L.

Kolodner) の提案した Learning by Design (デザインによる学修) に1つの原型が見られる^{39, 52-56)}。コロドナーは1996年にノースカロライナ州の中学校の科学授業で、Problem-based Learning [52-56] を用いた授業を教師に実施させた⁵²⁾。そこでは、①課題の前提となる事項 (最近13歳の少年が廃坑から3万3千ドルのサファイアを見つけたという例を挙げ、ジョージア州でかつてゴールラッシュがあったことを引き合いに出し、金 (きん) はどここのような場所で見つけられるかなど) を課題として提示した。②生徒が知っている a. 事実, b. 前提となる考えや仮定, c. 何をもっと知らなければその問題が解決できないか, d. どういう行動をとればよいかなどについての問いかけを黒板に書き、ブレインストーミングを行った。③壁に張った大きな紙に生徒の考えを書かせた。④4, 5人のグループに分けて研究させ、考えを裏付ける証拠をまとめさせた。

また、1997年別の科学授業で、肺の機能を理解させるため、テーマを与えて生徒に議論、調査させた後、人工の肺のモデルをデザインさせた報告をしている。ソーダボトル、風船、スポンジなどを使って肺のモデルを作らせた⁵³⁾。この授業では、STEM分野に関連する知識と現実に存在する肺の機能をよく表現するようにデザインさせ、肺の模造品という作品を作らせたことになる。そこには、STEM分野の知識とスキルに造形 (芸術的要素) が統合されていると見ることもできる。この授業目的はデザインによる学修 (Learning by Design) であるが、STEAM教育との共通項を持つ³⁹⁾。また、コロドナーは当初 Learning by Design の研究が Problem-based Learning⁵⁷⁻⁵⁹⁾ を適用させたとある⁵²⁻⁵⁴⁾ が、別の研究では Project-based Learning^{58, 60, 61)} に相当する研究としている⁵⁵⁾。Problem-based Learning と Project-based Learning はともに教科内容とは独立した学修方法であり、学修状況を生み出す駆動力となっている。つまり、これらの要素から成る 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。

3-2-3. STEAM 教育に影響したと見られる教育理論(2)

Problem-based Learning と Project-based Learning は Learning by Design に影響した教育理論であるが、ともに PBL という略号を用いて表現されることが多く⁴⁵⁾、同じ概念であると誤解されやすいので、これらの違いと関係性を明示する必要がある (表4)⁴⁵⁾。

これらの教育理論に類似した教育方法として、1919年の The Problem Method (プロブレム・メソッド)^{62, 63)} と1918年の The Project Method (プロジェクト・メソッド)^{63, 64)} がある。市川の研究⁶³⁾ には、「プロジェクト・メソッドの核心をなす「目的を立てる」という基本的な段階は、その意味するところの解釈において、プロブレム・メソッドの原理

と同様に、プラグマティックな反省的・創造的思考過程の理論を背景として成り立っている、ということができるのである。」とあり、基礎的な考え方はともにデューイ (Dewey, J.) から発していると考えられる⁶³⁾。尚、本稿では The Problem Method がその後 Problem-based Learning に結びついたかどうかは明らかにすることはできなかった。しかし、Problem-based Learning は1960年代から始まり、1980年代からバローズ (Barrows) により医学関係の教育に導入され^{57, 65)}、学生中心の思考を基本にし、多数の学問領域が含まれる医学関係の教育に利用された。さらに、Problem-based Learning の手法は、高等学校⁶⁶⁾ の教育や、小中学校⁶⁷⁾ の教育にも利用された。Problem-based Learning と Project-based Learning の相違を表4に示す^{68, 69)}。

表4はラーマー (Larmer, J.) が提案した比較を用いている^{68, 69)}。ラーマーは Problem-based learning を Project-based Learning の部分集団 (a subset of project-based learning) と呼んでいるが⁶⁸⁾、これらを Problem-BL, Project-BL と呼んで一応区別している。作品制作を目指す傾向が強い Project-based learning は STEAM 教育に近い要素を示している。この2つの理論と類似する Case-based Learning と Inquiry-based Learning の関係についてもサベリー (Savery, J. R.) は論じている⁵⁸⁾ が詳細は本稿で論じない。

以上のように STEAM に影響したと考えられる LBD (Learning by Design) に至る教育理論の系統を論じて

表4. Problem-based learning と Project-based learning の比較

	Problem-based learning	Project-based learning
概要	学生中心の教育理論である。学生は課題を解決することを通して特定の話題について学び、通常グループで活動して解答が1つであるとは限らない課題を解決する。学修者の研究力になり、理論と実践の統合、知識とスキルの応用で、明確な課題を実行可能な解決につなげる。	アクティブラーニングと学生の関与を促し、高次元の思考を可能にする。学生は現実世界の課題に取り組み、プロジェクトの完成を通して解答を見出す。学生は自分たちが取り組むプロジェクト全般にわたり、最終成果とともにプロジェクトをどのように終えるかを管理する。
違い	<ul style="list-style-type: none"> ・学修成果を共有し、教師と連携して学修 目的と成果を設定する。 ・単一分野的 ・短期間である。 ・課題ごとに特定の段階を踏んで進める。 ・現実世界に関わらないシナリオやケース ・具体的な作品もあるが、書いたり発表したりすることで表現する解決を提案する 	<ul style="list-style-type: none"> ・目的が設定されており、教育がなされる方法が構造化されている。 ・多分野的であることが多く、 ・長期にわたる。 ・一般的な段階を踏んで進める。 ・現実世界の課題解決する本物の課題を解決する。 ・作品の制作と演じることを含む。

きたが, その関係を図4に示す。(a)は STEAM に至る系統を示している。STEAM は統合の結果として生じる学問領域または教科ではあるが, 文脈統合の方法と解釈することも可能であろう。つまり, STEAM を作る手段は STEAM 化とすることができ, STEAM という意味の中には統合の方法論も含まれている。一方, (b)は内容統合の系統を示している。両者とも最終的に STEAM に至る系統を示している。

3-3. STEM 分野と芸術分野の関係

3-3-1. STEM 教育だけでは限界

STEM 教育は Arts を加えた STEAM 教育に発展する必要があるという意味がタイトルに込められている“From STEM to STEAM” (初版) の序章では, 2013年当時のアメリカの教育界の状況が示されている。たとえば, アメリカで共通コア州標準 (Common Core States Standards: CCSS), 重要決定に関わるテスト (high-stakes testing), 生徒の多様性に応じた指導 (differentiated Instruction), 専門的学修集団 (professional learning communities), どの子も見捨てない法 (the remnants of the No Child Left Behind Act: NCLB) など多くに政策が掲げられている中で, 教師が何をしたらよいか悩んでいることを示している⁴⁰⁾。

その中であって, 全米学術会議が2006年にアメリカの STEM 領域の教育が十分な成果を上げていないことを指摘し, 2007年にはアメリカ COMPETES 法が議会を通過して STEM 教育の促進を行ったが, 2011年の全米学力調査では十分な学力向上が認められないことを述べている。2013年には“A Framework for K-12 Science Education”¹¹⁾が発表になり, その内容を基礎として当時作成中 (2013年に出版) だった“The Next Generation Science Standards” (NGSS)¹²⁾への期待とともに, NGSS の成果は実際のカリキュラムで左右されることへの不安が述べられている。また, STEM 教育における次の2点の必要性が提案されている。(1)科学者と数学者が実際にしていることに教育内容を集中させ (創造性と実世界の問題解決につなげる), (2)芸術関連のスキルと活動を STEM 関連の授業に織り込むこと (児童生徒の興味と達成度促進につなげる)。

さらに, 2018年に発刊された“From STEM to STEAM” (第二版)⁴⁰⁾には, 初版発刊時にはなかった情勢変化に関し, NGSS の採用はまだ全50州中18州に留まるとあり, STEM 教育の展開に限界があることが示されている。「STEAM 教育への関心がますます高まり, 多くの学校が STEM 教育の改善をする必要があることを認識している。それはこれらの STEM 科目での全米学力テストの成績が向上していないからである。」⁴⁰⁾とある。

3-3-2. STEM 分野と芸術分野の印象比較

“From STEM to STEAM” (初版, 第二版とも) は, STEM 領域の学問 (その関係の教科を含むと思われる) が, 芸術と異なる点についての一般人の見方を示している。STEM 領域の学問と芸術とを5つの対立軸を挙げて比較している (表5)。

しかし, 芸術に対するこれらの評価は必ずしも芸術に価値がないことを示してはいない。主観的, 直感的, 感覚的, 独特であることは STEM とは対立的であるが, 芸術は STEM と同様な有用さを持たなくても, それ自身に価値がある。また, 芸術は STEM 領域の学問が生まれるずっと以前から人間に身につけていたと考えている。人間が進歩して, STEM で客観的な世界観を創造するようになったが, 芸術で主観的な世界観を創造し続けている。“From STEM to STEAM”⁴⁰⁾は, 「STEM と芸術は競い合わず補完的なものである。」と述べている。

3-3-3. 芸術が与える STEM と創造性への影響

“From STEM to STEAM”⁴⁰⁾は, 「芸術は科学者, 数学者, 技術者が成功するために欠かせないものであり, 彼らは芸術から借用したスキルを用いている」と記し, 芸術をすることに必要な能力 (スキル) には次のような

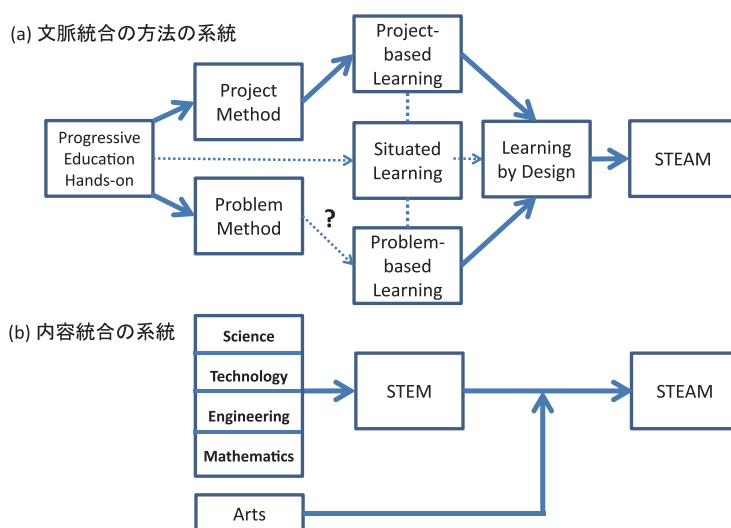


図4. STEAM に至る文脈統合と内容統合の系統

表5. STEM と芸術に関する一般人の見方

観点	STEM	芸術
1	客観的	主観的
2	論理的	直観的
3	分析的	感覚的
4	再現可能	独特
5	有用	取るに足りない

ものがあるとしている（表6）。

また、児童生徒と教師が芸術によって何が促進されるかを表7に示す。脳を夢中にさせ多忙にすることは、芸術によって児童生徒の脳の様々な箇所が活発に働き、脳内のネットワーク生成を促進することにつながり、「芸術活動をすることで、たとえば、音楽は情報を記憶する助けとなるし、色分けすることで、アメリカ合衆国の州と州都、太陽系の惑星と惑星とを区別して記憶することができる。」としている。認知的能力の促進の意味は、アイスナーが提案した21世紀に求められる8つの能力（コンピテンシー）に対応させて論じている（表8）^{40,70)}。

4. STEAM 教育に対する各専門分野からの見方

STEAM 教育について様々な議論がなされているが、STEAM に関連する教科の教育を専門とする研究者から別々な捉え方が提案されている。その典型は(1)科学（理科）、(2)技術、(3)美術と音楽等に代表される芸術による捉え方である。

4-1. 科学から

科学からの捉え方は、自然科学的な知識と見方を数学的に捉え直し、再構成された知識を技術や工学の上でどのように活かすかを考察し、芸術的に表現する。つまり、多くの場合、技術、工学、芸術は自然科学と数学の知識と思考方法で解析し得られる新たな知識を活かす手段または表現形式という捉え方である。あくまで、自然科学と数学的の知識と見方を用いることを主眼に置いている。A Framework for K-12 Science Education¹¹⁾や NGSS¹²⁾に記載された内容はこの立場をとる。

4-2. 技術から

技術からの捉え方は、近年、情報教育との関連で議論されることが多

い。自然科学と数学の知識と思考方法そのものが目的ではなく、これらの知識と思考方法を用いて人間が生み出した製品などを捉え直し、情報との関連で発信する際の表現方法で芸術を意識することである。STEAM 教育を技術教育と捉えている教育専門書もある⁷¹⁾。

4-3. 芸術から

安東らは、韓国で現在行われている STEAM 教育を評価して、何れも「予め定められた概念や法則を発見していく問題解決学修」が基本となっている。そして、美術活動における創造的過程の意義や美術表現することの意味が十分に問われないまま（若干の批判はあるが）、科学教育と産業振興政策中心で状況が展開している」と評価し、韓国の STEAM 教育で美術教育と科学教育の同等性が脳生理学を根拠としていることから、「美術教育が科学教育に取り込まれている。」としている³⁹⁾。STEAM 教育における美術そのものの意義が明確でないと主張している。さらに、アメリカでは、1960年代から進められていた芸術と科学を融合する教育開発プロジェクトの課題となっていた点について、「これら融合教育においても問題となっていたのは、他教科と結びつく芸術(美

表6. 芸術に求められるスキル

1. 好奇心の誘導
2. 正確な観察
3. 異なる対象物の知覚
4. 意味の構築と観察内容の正確な表現
5. 他者との効果的な協働
6. 空間的な思考
7. 運動感覚的な知覚

表7. 芸術による効果

1. 脳を多忙にする（夢中にさせる）
2. 認知的能力の促進
3. 長期記憶の改善
4. 創造性の促進
5. 社会的成長を促進
6. 新しさを取り入れる
7. ストレスの減少
8. 教育を面白くさせる（教師も児童生徒も）

表8. コンピテンシーと芸術の役割

コンピテンシー	芸術の役割
関係性を認識できる	芸術作品の創作は、その構成要素間の相互作用を理解できる。生物学者が生物の構成要素同士やシステム間の作用を認識できる能力につながる。
微妙な意味の違いに気付ける	微妙な意味の違いが大きな効果をもたらすことを教える。大量の視覚的推論は微妙な意味の違い、形と色を決めることにつながる。言語使用の細かい点に注意を向けることがほのめかし、風刺、メタファーの使用に役立つ。このスキルは、科学者が科学者でない人たちに難しい抽象的概念を説明する際に役に立つ。
課題解決、質問の回答に多様性があると理解できる	よいことは異なった方法でも行える（学校は1つの正しい答えに焦点化し過ぎる）。仕事や生活上で最も困難な課題解決には、優位性の異なる多様な解決の選択肢を考察し、各解決策に見込まれる結果がよい場合と悪い場合の両方があることを認識することある。
途中で目的を変えられる	芸術の活動は初めに考えなかった目的を認識し、追求することに役立つ（学校は手段と目的との関係性を単純化し過ぎる）。芸術は目的を途中で変えてよいと知る助けになる。
規則にない決断を許容できる	計算には規則と測定可能な結果があるが、他の多くのことは規則に支配されるという特異性がない。規則がない中何が正しいか、そしていつ仕事があまくいったのかと決めるのは個人の判断である。
内容の情報源を想像できる	芸術は、状況の視覚化能力と、計画行動の適切性を判断する能力を高める。
抑制の中での活動を容認できる	言語的、数的、視覚的、聴覚的であろうが、すべての目的を達成する仕組みは存在しない。芸術は少ない手段（抑制）を生産的に活かす方法を見つける機会を与える。
美的視点から世界を見られる	芸術は斬新な方法で世界を組み立てる助けとなる（ゴールデンゲートブリッジ（Golden Gate Bridge）をデザインし、詩的な角度から見るなど）。

術) 教科の基底となる原理 (discipline) をどう定めるか, ということであった。」と記している³⁹⁾。そこに記された discipline については, まだ十分に研究が進んでいないことは明らかである。STEM と Arts を統合する際にも, 両者の学問的要素そのものと統合によってどのような形にするかについては十分な議論を要する。

5. おわりに

本稿では STEM 教育と STEAM 教育の歴史, 定義, 統合について議論してきた。STEM と STEAM 教育の共通点は学問分野が統合されることである。統合の観点については, (1)文脈統合 (context integration) と(2)内容統合 (content integration) という見方, (3)統合水準 (Discipline, Multidiscipline, Interdiscipline, Transdiscipline) という見方を示した。これらを別々に論じてきたが, 学問分野の統合と深い学修の成果を考える場合, これら 2 つの見方の関係性を明らかにすることも必要であろう。ある目的に到達できる効果的で効率的な学びを設計するには, 統合の状態という原因と学修成果という結果の関係性を明らかにする必要がある。まず, この 2 つの見方の関係性を知り, 統合の状態をどのように把握できるかが課題である。学問分野の統合には, 文脈統合と内容統合の両者の視点が含まれ, 文脈統合と内容統合は対極にある見方ではない。文脈統合は統合過程を重視する動的過程論であり, 内容統合は生成した統合状態を表す静的結果論である。つまり, 文脈統合という駆動力が働いて統合過程が進行し, 内容統合という結果が生まれる。内容統合という結果は最終結果および統合過程の各段階において統合水準で評価できる。しかし, 文脈統合の評価はどうであろうか。

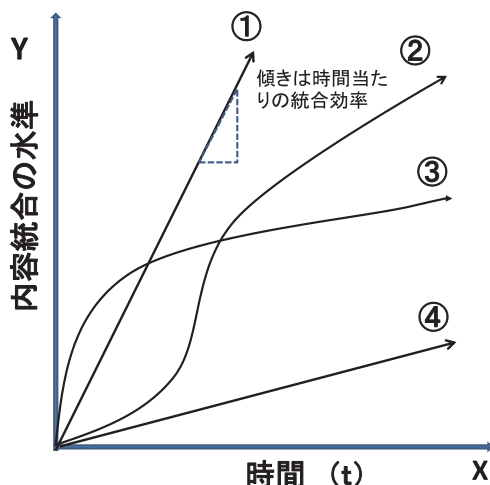


図5. 学問分野の文脈統合による内容統合の水準変化 (①~④は異なる文脈統合が働いていたと考える)

文脈統合は内外から働いた駆動力に対して内容統合がどれだけ進んだかという効率で評価できる。つまり, X 軸に時間を取り, Y 軸に内容統合の水準を取ると (図5), 文脈統合は時間当たりの統合水準の変化量である傾きで表現できる。文脈統合の働き方によって, 曲線の形が変わるが, 曲線上の各時点での統合効率を求められる。これは短期的な統合の評価であるが, 長期的評価としては文脈が始まった時点から時間を長くとり, 最後の時点での統合水準を比較すればよい。

しかし, 統合効率は文脈統合による学修成果 (知識とスキルの向上など) の評価とは, 必ずしも一致しない。得られた水準が文脈の目的に一致するかどうかという評価も必要だからである。ただし, 文脈統合と学修成果との関係を明らかにすれば, 求める学修成果にはどのような文脈統合の水準が必要であるか, そして, 各学修過程時点でのどのような統合水準の変化が必要かも調べられるであろう。これは現状では単なる理論的な段階であるが, 具体的な実践例を用いて定量化が可能であるかもしれない。今後の研究を行う必要がある。また, 最近, STEAM 教育と21世紀スキルとの関係が論じられた書籍⁷²⁾や幼児教育における具体的な取り組みが示された書籍⁷³⁾も発刊されており, 子供たちが小さい時からどのような教育を受けるかについて考える参考になる。

引用文献

- 1) 日本 STEM 教育学会 (Japan Society for STEM Education : JSTEM) ホームページ, <https://www.j-stem.jp/> (2018年7月29日参照).
- 2) ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA (<https://www.britannica.com/topic/STEM-education>) by Judith Hallinen. (2018年9月2日参照).
- 3) Maes, B. Stop talking about “STEM” education! “TEAMS” is way cooler!, 2010. (<https://bertmaes.wordpress.com/tag/stem/>)
- 4) Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., Koehler, C. M., What Is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships, *School Science and Mathematics*, 112 (1), 2012, pp. 3–11.

- 5) David A. Koonce, Jie Zhou, Cynthia D. Anderson, Dyah A. Hening, Valerie Martin Conley, *American Society for Engineering Education*, 2011–289, 2011, 8pages. (www.asee.org/file_server/papers/.../What_is_STEM_-_Final.pdf)
- 6) <https://bertmaes.wordpress.com/tag/stem/> (2018年9月2日参照)
- 7) Expert Panel for the Review of Federal Education Programs in SMET, *The Federal Investment in Science, Mathematics, Engineering, and Technology Education : Where Now? What Next?* (Washington, DC: NSF, 1993).
- 8) <https://jstem.org/index.php/JSTEM/issue/archive> (2018年9月2日参照)
- 9) Sanders, M., STEM, STEM Education, STEMmania, *The Technology Teacher*, 68 (4), 2009, pp.20–26.
- 10) (10a) https://www.edreform.com/wp.../02/A_Nation_At_Risk_1983.pdf (2018年9月2日確認); (10b) 表1は以下の論文を参考に作成：堀田のぞみ, 7 科学技術政策と理科教育—初等中等段階からの科学技術人材育成に関する欧米の取組み— (国立国会図書館調査及び考査局による調査報告書「科学技術政策の国際的な動向」, 2011年3月)
- 11) National Research Council. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (2012). (http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13165&page=6).
- 12) The National Academies Press, *Next Generation Science Standards*, 2013 (<https://www.nextgenscience.org/>).
- 13) <https://science.house.gov/news/press-releases/smith-s-stem-education-act-signed-law> (2015).
- 14) Herschbach, D., *Technology education : foundations and perspectives*. Homewood : American Technical Publishers, Inc. 2009.
- 15) Kelley, T. R. and Knowles, J. G., A conceptual framework for integrated STEM education, *International Journal of STEM Education*, 2016, 3 : 11.
- 16) Barak, M. Teaching engineering and technology : cognitive, knowledge and problem-solving taxonomies, *Journal of Engineering, Design and Technology*, 11 (3), 2013, pp.316–333.
- 17) Jayarajah, K., Saat, R. M., Rauf, R. A. A. A review of science, technology, engineering & Mathematics (STEM) education research from 1999 – 2013 : a Malaysian perspective, *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 10 (3), 2014, pp.155–163
- 18) Brown, J., Brown, R., Merril, C., Science and technology educator’s enacted curriculum: areas of possible collaboration for an integrative STEM approach in public schools. *Technology Teacher*, 71 (4), 2012, pp. 30–34.
- 19) Hernandez, P. R., Bodin, R., Elliott, J. W., Ibrahim, B., Rambo-Hernandez, K. E., Chen, T. W., de Miranda, M. A. Connecting the STEM dots : measuring the effect of an integrated engineering design intervention, *International Journal of Technology Des Educ*, 24, 2014, pp.107–120.
- 20) USA, Report of the Academic Competitiveness Council, 2007, p.1.
- 21) Green, M., *Science and engineering degrees: 1966–2004*(NSF07–307). Arlington, VA: National Science Foundation.
- 22) Labov, J. B., Reid, A. H., & Yamamoto, K. R., Integrated biology and undergraduate science education: a new biological education for the twenty first century? *CBE Life Science Education*, 9, 2010, pp.10–16.
- 23) Moore, T. J., Smith, K. A. Advancing the state of the art of stem integration, *Journal of STEM Education*, 15 (1), 2014, pp.5–10.
- 24) Dewey, J., *Experience and Education*, 1938, London, Collier Books ; デューイ著, 市村尚久訳, 『経験と教育』(講談社学術文庫), 2004.
- 25) Li, Y., Editorial : International Journal of STEM Education—a platform to promote STEM education and research worldwide. *International Journal of STEM Education*, 2014, 1 : 1.
- 26) Honey, M., Pearson, G., Schweingruber, A., *STEM integration in K-12 education: status, prospects, and an agenda for research*. Washington National Academies Press, 2014.
- 27) *STEM Task Force Report, Innovate a blueprint for science, technology, engineering, and mathematics in California public education*. Dublin, California : Californian Dedicated to Education Foundation, 2014.

- 28) Vasquez, J, Sneider, C., Comer, M., STEM lesson essentials, grade 3–8: integrating science, technology, engineering, and mathematics. Portsmouth, NH : Heineman, 2013, p.12.
- 29) Lave, J., Cognition in Practice: Mind, mathematics, and culture in every life. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1988.
- 30) Lave, J. & Wenger, E., Situated Learning: Legitimate Participation. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990.
- 31) Brown, J. S., Collins, A., Duguid, P., Situated cognition and culture of learning, *Educational Researcher*, 18 (1), 1989, pp.32–42.
- 32) English, L. D., STEM education K-12: perspectives on integration, *International Journal of STEM Education*, 3 : 3, 2017, pp.3–8.
- 33) カリフォルニア州教育局ホームページ : Science, Technology, Engineering, & Mathematics (STEM) information. (<http://www.cde.ca.gov/PD/ca/sc/stemintrod.asp>) (2018年9月2日確認)
- 34) Vasquez, J, Sneider, C., Comer, M., STEM lesson essentials, grade 3–8: integrating science, technology, engineering, and mathematics. Portsmouth, NH : Heineman, 2013, pp.58–76.
- 35) Vasquez, J., STEM : beyond the acronym, *Education Leadership*, Dec/Jan., 2014/2015, pp.10–16.
- 36) Nicolescu, B., Transdisciplinarity theory and practice, Hampton Press, Inc., 2008, ix.
- 37) Nicolescu, B., Transdisciplinarity theory and practice, Hampton Press, Inc.2008, pp.2–3.
- 38) 中垣啓 他, 「ピアジェ没後30年記念シンポジウム—ピアジェの遺産をどう受け継ぐか—」, *教育心理学年報*, 50, 2011, pp.20–22.
- 39) 安東恭一郎, 金政孝韓国のSTEAM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*, 35, 2014, pp.61–77. (https://www.jstage.jst.go.jp/article/aaej/35/0/35_KJ00009814766/_pdf-char/ja) (2018年9月2日確認)
- 40) D. A. Sousa, T. Pilecki, From STEM To STEAM, Corwin, 2013. ; 同日本語翻訳版 : 胸組虎嵐訳, 『AI時代を生きる子供のためのSTEAM教育』, 幻冬舎, 2017. ; D. A. Sousa, T. Pilecki, From STEM To STEAM 2nd Ed., Corwin, 2018.
- 41) Yakman, G., STEAM Integrated Education: an overview of creating a model of integrative education, pupils attitudes toward technology, 2006 Annual Proceedings, Netherlands, 2006.
- 42) <https://www.iteea.org/16991.aspx> (2018年8月29日確認)
- 43) Yakman, G. STΣ@M Education : an overview of creating a model of integrative education, 2008. (http://www.Steamed.com/2088__PATT_Publication.pdf)
- 44) Yakman, G., STEAM Education Professional Development Practicum & Research, 2007–17, 2017, pp. 1–11.
- 45) Connor, A. M., Karmokar, S. and Whittington, C., From STEM to STEAM : strategies for enhancing engineering & technology education, *International Journal of Engineering Pedagogy*, 5 (2), 2015, pp. 37–47.
- 46) Taaljad, J., A review of multi-sensory technology, engineering, arts and mathematics (STEAM) classroom, *Journal of learning Design*, 9 (2), 2016, pp.46–55.
- 47) Platz, J., How do you turn STEM into STEAM? Add the Arts! Columbus: Ohio Alliance for Arts Education, 2007. (<https://www.oaae.net/en/resources/educator/stem-to-steam> ; <http://www.ikzadvisors.com/wp-content/uploads/2009/09/STEM-%2B-ARTS-STEAM.pdf>)
- 48) 孔泳泰, 池仁哲 (2013). 紙工作を通しての新しいSTEAM教材の開発, *科教研報*, 27 (3), pp.21–26.
- 49) Foutain, H. Putting Arts in STEM, https://www.nytimes.com/2014/11/02/education/edlife/putting-art-in-stem.html?_r=0 (2018年8月29日確認)
- 50) <http://www.designindaba.com/profiles/john-maeda> (2018年8月29日確認)
- 51) Biffle III, R. L. Introduction to STEAM(science, technology, engineering, arts, and mathematics)-course design, organization and implementation, Thomas College, 2016. (<https://thomasstorage1.blob.core.windows.net/wp-media/2017/09/RLB3-STEAM-Article-2016-D8-copy.pdf>) (2018年9月2日確認)

- 52) Gertzman, A., Kolodner, J. L., A Case Study of Problem-Based Learning in a Middle-School Science Class: Lessons Learned. *Proceedings of the Second Annual International Conference of the Learning Sciences*, Evanston/Chicago, IL, July 1996, pp.91–98.
- 53) Hmelo, C.E., Holton, D.L., Allen, J.K., Kolodner, J. L., Designing for Understanding: Children’s Models of Lungs. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 1997, pp.313–318. Mahwah, NJ : Erlbaum.
- 54) Kolodner, J.L., Crismond, D., Gray, J., Holbrook, J. & Puntembakar, S., Learning by Design™ from Theory to Practice. *Proceedings International Conference of the Learning Sciences ’98*, 1998, pp.16–22.
- 55) Kolodner, J.L. Learning by Design™ : Iterations of Design Challenges for Better Learning of Science Skills, *Cognitive Studies*, 9 (3), 2002, pp.338–350.
- 56) Hmelo, C. E., Douglas, L. H., Kolodner, J. L., Designing to learn about complex systems, *Journal of the Learning Sciences*, 9 (3), 2000, pp.247–298.
- 57) Barrows, H. S., How to design a problem-based curriculum for the preclinical years. NY: Springer, 1985.
- 58) Savery, J. R., Overview of problem-based learning: definitions and distinctions, *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1 (1), 2006, pp.9–20.
- 59) Hmolo-Silver, C. E., Goals and strategies of a problem-based learning facilitator, *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1 (1), 2006, pp.21–39.
- 60) Campbell, C. , Problem-based learning and project-based learning, *Teacher Magazine*, 2014.
- 61) Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., and Palincsar, A., Motivating project-based learning: sustaining the doing, supporting the learning, *Educational Psychologist*, 26 (3 & 4), 1991, pp.369–398.
- 62) Chartes, J. A., The problem method of teaching ideals, *The English Journal*, 8 (8), 1919, pp.461–473.
- 63) 市村尚久, キルパトリック教育理論におけるプロジェクト法の位置, 教育哲学研究, 1962年, 7号, pp.14–30.
- 64) Kilpatrick, W. H., The project method, *Teacher College Record*, 19 (4), 1918, pp.319–335.
- 65) Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M., *Problem-based learning : An approach to medical education*. New York: Springer, 1980.
- 66) Barrows, H. S., & Kelson, A., *Problem-based learning in secondary education and the Problem-based Learning Institute (Monograph)*. Springfield : Southern Illinois University School of Medicine, 1993.
- 67) Torp, L., & Sage, S., *Problems as possibilities : Problem-based learning for K-16 education (2nd ed.)*. Alexandria, VA : Association for Supervision and Curriculum Development, 2002.
- 68) Larmer, J., *Project-based learning vs. problem-based learning vs. X-BL*. 2014. (<http://www.edutopia.org/blog/pbl-vs-pbl-vs-xbl-john-larmer>).
- 69) Champbell, C., *Problem-based learning and project-based learning*, *Teacher Magazine*, Short article (16 September 2014). (<https://www.teachermagazine.com.au/articles/problem-based-learning-and-project-based-learning>) (2018年9月2日確認)
- 70) Eisner, E., *The arts and the creation of mind*. New Haven, CT : Yale University Press, 2002.
- 71) 日本産業技術教育学会・技術教育分科会技術科教育概論, 2018.
- 72) Ge, X., Ifenthaler, D., Spector, J. M., *Emerging Technologies for STEAM Education*, Springer, 2015.
- 73) Baumgart, N. A. & Kroll, L. R., *STEAM Concepts for Infants and Toddlers*, Redleaf Press, 2018.

STEM Education and STEAM Education : History, Definition, and Integration

MUNEGUMI Toratane

(Keywords : Science, Cross-curricular, STEM, STEAM, Arts)

STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) and STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) have been educational topics for more than ten years or so, but the contents, the definition and integrated styles of them are still controversial. This paper summarizes the past researches about the definition and history of STEM and STEAM as well as the integration of disciplines. Important three integration categories : context integration, content integration, integration level are extracted from the past researches. These three categories are supposed to be useful to analyze the quality and quantity of the integration of all disciplines. The difference between the terms: disciplinary, multidisciplinary, interdisciplinary, and transdisciplinary became clearer. The role of arts in the integration of disciplines must be clearer in the future.