

【研究ノート】

STEM 教育の実践に関する研究

難 波 宏 司

1 はじめに

本論は、本学共同研究で実施してきた「小学校でのプログラミング教育」プロジェクトの活動をさらに発展させるために、STEM 教育の視点から活動を見直そうとしている途中経過の報告である。

「小学校でのプログラミング教育」プロジェクト（以後本プロジェクトとする）は、主にレゴロボット Ev3 を用いて、プログラミングの基礎や制御の基礎を主体的に学ぶことにより、IT に関する興味・関心を高め、「科学的な考え方」の基礎を学ばせることを目的とした内容である^{1,2)}。（但し、ここでいう「科学的な考え方」については後で議論する。）こうした内容は、国際的には STEM 教育の分野に該当する。STEM 教育とは science, technology, engineering, mathematics 分野いわゆる「理系」の教育のことである（これについては2で議論する）。Khine らの「Robotics in STEM Education」によるとロボットを使った教育プログラムで教育的意義を明確にしたものは、2014 年から 2017 年の間で、世界的に公開されている論文では約 60 あるが、まだ、教育評価を明確にしているのは 25% 程度しかないとのことである。また、その評価について詳細を見ると協調性や創造性・主体性などの育成に対する評価で、狭義としての STEM 教育としての評価（「理系的資質の育成に関する評価」）を行っているものは更に少ない。

本論では、STEM 教育の見地から、本プロジェクトの教育目標を検討し、ロボット教育の現状を考察する。

2 STEM 教育の概要

2.1 STEM 教育の経緯と目標

STEM 教育とは、前述のように science, technology, engineering, mathematics 分野の教育のことである。政策プロジェクトとしては、理系人材の確保と初等中等教育での学力向上を目標として、アメリカで 1990 年代ころから始まり、2000 年代以降本格的に推進されるようになった。

論文誌の「Journal of STEM Education」は 2000 年創刊である。2000 年当時、こうしたプロジェクトは「SMET Education」と呼ばれていたが、語呂が悪いので、2003 年にアメリカ国立科学財団のリタコールウェルによって提唱され、2005 年ころから「STEM」が広く使われるようになった。

た³⁾。

オバマ大統領就任時の 2009 年に全米科学アカデミー総会で STEM 教育の重要性を演説し、それを受けて、教育改革キャンペーンが開始され多くの資金が投じられた。特に、3D プリントの普及政策と相まって、世界的にも STEM 教育が広まっていった。こうした理数教育がいつ始まったかについては諸説があり、H. B. Gonzalez⁴⁾らによるとアメリカ建国以来のアメリカでの教育の伝統であるとのことである。一般には初中等教育での理数教育は 19 世紀の半ばにイギリスの William Sharp によってはじめられ⁵⁾、アメリカではスプートニクショックの影響を受けて成立した 1958 年の「国家防衛教育法」を始めとする教育改革が本格的な理数（科学技術）教育推進の始まりされている。このプロジェクトでは科学・技術力高めるために、初等中等教育での教育内容の改革や、高等教育の教育法の改革が行われた。これによって、小学校からの集合論や離散数学の基礎が取り入れられ、高等教育においても、「ファインマン物理」や「バークレー物理」などの基礎的内容を履修していない学生に対しても先端の内容が理解できる教材が作成された。また工学教育の分野においても、「エンジニアアナリシス」が刊行され課題解決にモデル化の手法や数学による解法の定式が示された。その後、1980 年代になり、アメリカの生徒の学力低下が課題となり、特に「理科」の学力低下が問題視された。それを受けアメリカ科学技術振興協会（AAAS）やアメリカ科学教育連合学会（NSTA）は「プロジェクト 2061：全てのアメリカ人のための科学（Project 2061: Science for All Americans）」（1989）や「全米科学教育スタンダード NSES（National Science Education Standards）」を発表した。特に前者は科学的な方法についての定義が述べられている。1990 年代半ばより、アメリカ社会での理系離れ経済移行傾向が明確になり、それにより科学技術力の低下とそれに伴う、社会変革の停滞が指摘されるようになった⁶⁾。これから、現在の STEM 教育が始まったと考えられる。更に 2000 年代になり、理系教育に関して、性や人種による教育格差が指摘されるようになりこうした格差を是正することも課題としてあがるようになった。以上の経緯をまとめると、

プロジェクトの目標は、

- 1 理系人材の育成とそれによる科学技術及び社会のイノベーション。到達指標として高等教育進学者数と学位・博士号修得数の上昇。
- 2 初等中等教育における学力向上。到達指標として、TIMES 等の国際的学力到達調査の順位上昇。
- 3 性・人種による理系学力格差の解消。到達指標として、理系人材での性・人種別の学位修得数の格差の縮小。

である。

対象とする層は、初等中等高等教育と大学院・大学等卒業者等の高度人材で、2015 年ころまでは、初等教育・中等教育を区別して展開する教育プロジェクトが多かったが、最近では K16 教育という小学校から大学教育までを一貫した教育プロジェクトが増えつつある。また女性や移民等に対する特別な教育プログラムも提案されている。特に Google 等の企業のサイトでは、上記

内容が充実している⁷⁾。

2.2 STEM 教育の分野

STEM 教育に関する研究分野のカテゴリ分けにはいくつかあるが、最近のものとして、International Journal of STEM Education の 2019.6.19 付けの「Learning about research and readership development in STEM education: a systematic analysis of the journal's publications from 2014 to 2018」がある。それによると、研究分野は 7 分野あるが整理すると以下の 5 分野となる。

1) 教師の側から見たときの教育方法 (教育実践)・教員研修に関する事。2) 学習者の側から見たときの学習内容と学習環境 3) STEM 教育の目標・カリキュラム・評価法 4) STEM 教育の社会的・文化的意義 5) STEM 教育の歴史・現状・今後の意義。

STEM 教育の意義を考えるには、STEM の定義が必要になるが、文献⁶⁾にあるように STEM の定義 (science, technology, engineering, mathematics や個々の定義や概念) はあいまいである。古く、「歴史における科学」を表わしたパネルは、その中で、「科学」を定義することは有意義ではない、それによって、「科学」は限定され進歩がなくなる恐れがあるというようなことを述べている⁸⁾。その例として 17 世紀までは、「科学」といえば、「物理学」と「天文学」を指していたが、18 世紀以降、方法論や思考法は全く異なる「化学」、「生物学」も「科学」の分野に入るようになった。更に 20 世紀になると、「心理学」までが「科学」の分野に入るようになった。これらの分野に共通する思考法や方法論を具体的に挙げることは難しい。こうしたことから、STEM 教育は学習する分野で定義することが多かった。ただ分野による定義も組織によって少し異なっている⁵⁾。このように、STEM 教育についての標準的な定義は存在せず、必要な場合は独自に定義する必要がある。

2.3 本プロジェクトにおける STEM 教育の意義

本プロジェクトでは、「見方・考え方」をつけさせることを目標としている。したがって、science 的思考、technology 的思考等を明確にする必要がある。

文献⁹⁾では、科学的リテラシーを定義し、それは science (科学)、mathematics (数学)、Technology (技術) からなるとし、それぞれの意義を解説している。その中の「科学の本質」に科学的思考に該当することが述べられている。それによると、科学は人間が認識できる事象を扱う学問であり、事象を説明する論 (仮説や理論) を立て検証する。論は想像力や思考力によって形成されるが、観察・実験などで検証されなければならず、それは論理的推論の原則に合致しなければならない。また、論は特定分野のみに適応されるのではなく、一般的に検証できることを目指し、永続的なことを目指す、となっている。これは、パネルの「歴史における科学」の中の科学の方法とも合致する内容である。本プロジェクトでは、想像力や思考力を駆使して論を立て、それを観察・実験により実証し、論理的推論することを科学的思考とする。

次に Technology (技術) 思考について考察する。Technology とは何かについて以前から多く

議論されてきた。主にアメリカでは科学との対比で、科学を合目的に活用するものという説明がよくされている。その場合、engineering との差異はあまりなく、規模の大小や「科学」との遠近から区別されているようである。一方、日本では生産活動の一部として経済的な要素としてとらえたり、工学との対比で、理論化される以前としての活動というとらえ方をすることがある¹⁰⁾。一方、製造現場では、「技能」との対比で「技術」をいう場合がある。技能とは訓練等に個人的に身につけた能力のことであり、誰もが同じようにできる能力ではない。それに対して、「技術」は複雑な処理・事象をモデル化・パターン化して誰もが合目的に物事を進められるようにすることをいう。本プロジェクトでは、合目的に事象・処理をモデル化・パターン化することを技術的思考とする。

Engineering は、日本では「工学」と訳される場合が多い。しかし、Engineering は語源的には「エンジン」からきている。エンジンの発明者ワットは、当時蒸気機関の主流であったニューコメンの修理を行っている時に、知人のブラックが発見した潜熱の理論を応用して分離凝縮器を蒸気機関に取り付け、従来の蒸気機関の効率を高めた。また、バーミンガムの工場で作られた円筒シリンダを利用してはずみ車と遠心調整器、絞り弁を組み合わせた一定速度で回転する機関を開発した¹¹⁾。このように、ワットは自身で考案した部品はほとんどなく既存の部品・技術を組み合わせて新しいものを開発した。本プロジェクトでは、既存の技術・部品を組み合わせて合目的の物を作り出すことをエンジニアリング的思考とする。「工学」という言葉は、現在「技術」を対象とした「科学」というイメージが強く、ここでいうエンジニアリング思考とは差異があるので、工学的思考という言葉は避けた。従来、エンジニアリング的思考は、自然での遊びや自給的生活の中で自然と身についたところがあるが、現在は意図的に身につかせる必要があると考える。また、従来はエンジニアリング的思考があることを前提に、科学技術教育を行ってきたところがあるが、現在は、エンジニアリングの思考力が少ないことを前提に科学技術教育を行う必要があると考える。これらの推論については今後検証していきたい。

数学的思考について、上記の文献⁵⁾では、1 事象の抽象的表現 2 論理規則による抽象概念の操作 3 操作後の有用化どうかの検証 の3段階を踏まえた作業からなるとしている。本プロジェクトでは、事象を抽象化（記号化）し論理規則に従って操作し、その有効性の検証を行うことを数学的思考とする。

3 「小学校でのプログラミング教育」プロジェクトの活動報告

本プロジェクトは、本学におけるコンピュータサイエンスの教育内容を検討する過程の中で、小中高等学校との連携を調査し始めた2016年度から開始した。2016年6月に急に小学校でのプログラミング教育の開始が決定した。それに伴い、多くの教材が公開された。それらの教材を吟味し、コンピュータサイエンスを効果的に学ばせる教材としてLEGO ロボットEV3を採択した。また、この時期本学は文部科学省の地（知）の拠点整備事業を実施中であり、地域との連携

活動が求められていた。こうした中で、尼崎市立立花西小学校長と懇談する機会があり、小学校で先行してプログラム教育を実施したいという話があり、できれば本学学生が小学生を指導する形にして欲しいという要望があった。そこで、試行的な取り組みとして、教育支援を希望する学生を募り、5名がボランティア的に活動に参加してもらった。児童への教育は4～6年生のコンピュータクラブ活動で、児童20名に対し、2017年1月から3月に計4回実施した。学生が指導する際、教え込む指導はせず、基本的な使い方を実習した後、課題を与えるように伝えておいた。最終課題は、学生の発案で、課題のデモンストレーションビデオを作成しておき、それを使って、課題（ロボットが動くコースを自動自身に作成させ、そのコースをロボットがトレースするプログラムの作成）を説明し、児童にプログラムを作成させた。児童の取り組む意欲は高かった。

3.1 2017年度の活動概要

2017年度から本格的に活動を開始した。地域の課題解決に取り組む「つながりプロジェクト」の授業の中で活動を行った。「つながりプロジェクト」は、2年次学生が学科の枠を超えてテーマを選択するPBL（Project Based Learning）型演習科目である。本プロジェクトを選択した学生は17名ですべての学科の学生が揃った。これを3グループに分けて活動させた。当初は、学科に捕らわれずに横断的なグループにしたが、活動する時間を考慮すると、学科単位のグループにする方が現実的であると判断して、次のような3班編成とした。

グループA 人間看護学科・食物栄養学科 4名 グループB 児童教育学科 6名

グループC 総合健康学科 7名

本プロジェクトを選んだ学生は、特にプログラミングが得意という学生ではなく、児童に接したいという学生が多かった。プログラミングが苦手という学生もグループB、Cに2名ずついた。活動は次のように行った。

4～7月 学生への指導（児童への教育支援の意義、ロボットの使い方、プログラミング、教育支援法）、関係組織と連絡をとり、実施校との打ち合わせ

9月～12月 教育支援計画作成、教材・教具作成、学生の教育支援実践

1月～3月 学生の教育支援実践、活動のまとめ

小学校での学生の指導の状況は、次のとおりである。

①基本操作説明



②児童の操作体験



③グループへの指導



④応用課題にチャレンジ



⑤答え合わせ



⑥自分で課題設定



また、指導風景を次に示す



この年の学生は学科ごとに3グループに分けたが、指導スタイルにそれぞれ顕著な特徴が出た。それを、図で示す。

スタイルの違いにより比較

教員

チームA の指導 (応用課題:光センサーによるモータ制御)

教え込みタイプ:十分準備された丁寧な指導。効率よく高度な課題をクリア

お姉さん

チームB の指導 (応用課題:タッチセンサーによる制御)

仲間タイプ:児童に寄り添い、一緒にやっていくスタイル

教員

チームC の指導 (応用課題:自分で決めたコースに沿ってロボットを動かす)

コーチタイプ:児童の主体性を重視。解答を言わずアドバイスに徹する

受講した児童に対して満足したか、時間は短かったか、わかりやすかったか、もう一度参加したいかについて、5段階でのアンケートを取り、その集計を表1に示す。最も高い評価を得たのがチームBであった。チームAの教え込みタイプは教育効率は高いが、児童に残るものは少な

く、達成感も得にくいものとなった。チーム C では、児童のグループに差が出て、意欲のあるグループの満足度は高かったが、意欲のないグループについては、満足度は低いものとなった。チーム B ではどのような層のグループに対しても比較的満足度が高い結果を得た。

表 1 児童へのアンケート集計

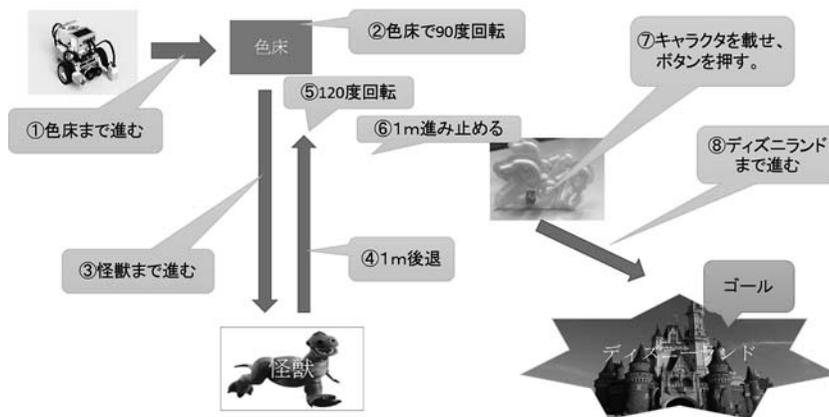
	チーム			全体
	A	B	C	
満足度	4.7	5	4.7	4.8
時間短いか	3.4	4.5	4.7	3.9
分かりやすさ	2.4	3.7	2.9	3.1
再参加	4.5	4.7	4.4	4.5
n	14	16	16	46

3.2 2018 年度の活動

上記のことを踏まえて本年度はチーム B の指導を行うように学生に伝えた。活動に関しては、前年度とほぼ同様であるが、7月末に本学主催の小学生ロボット講座を実施した。7月の時点であったので、学生は指導に不慣れであったが、逆にそれが参加児童の主体性を増し好評であった。

また、前年度の考察から、課題を物語（ロールプレイ）風にし、ディズニーランドに行く途中でいくつかのトラブルに会いそれを克服する展開とした。次図参照

今日の課題



本年度の本学学生に対しては、昨年度の結果からできるだけ教えないように、寄り添う姿勢での対応をさせたが、寄り添いすぎて、課題解決しないまま時間が過ぎてしまったことが多かった。そのため。満足度は低いものとなっている。

4 プログラミング教育に関する考察

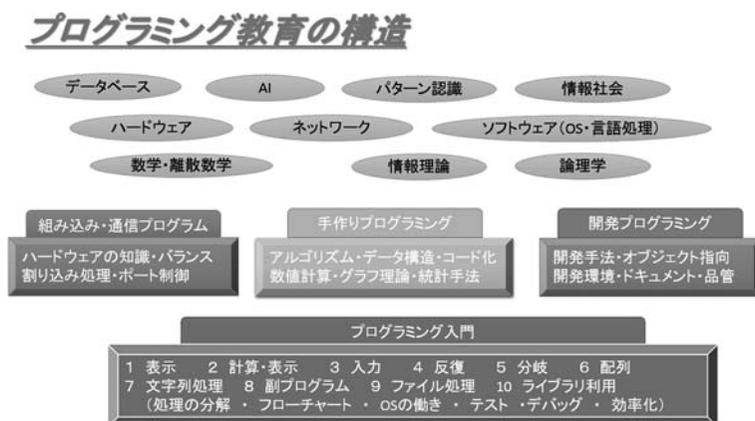
小学校のプログラミング教育に関して 2018 年 11 月に文部科学省から、小学校プログラミング教育の手引き（第 2 版）が出た。そこにある、教育の目標は（一部略）

- ①「プログラミング的思考」を育むこと

- ②プログラムの働きやよさ、などに気付くことができるようにするとともに、コンピュータ等を上手に活用して身近な問題を解決したり、より良い社会を築いたりしようとする態度を育むこと
- ③各教科等での学びをより確実なものとする

である。また、ここにあるプログラミング思考は、「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」である。初中等教育でのコンピュータ教育は、世界的な流れとして、「リテラシー教育」「操作教育」からコンピュータサイエンスへの教育に移行しつつある。世界的に、コンピュータサイエンスの初等中等教育での展開は Wing の「コンピュータシンキング」¹²⁾に基づいて行われることが多い。コンピュータシンキングでは、1) 抽象化（モデル化）思考、2) ヒューリスティック推論（実験などによる近似解による推論）、3) 再帰的思考、4) 創造性、5) 論理的思考、6) アルゴリズム などの資質を養うことが目的となっている。これは2章で考察した STEM 的思考と合致する。つまりコンピュータサイエンスを学習することが STEM 教育を実施する事である。

そして、実施する科目・内容の名称は「コンピューティング」や「コンピュータサイエンス」といった名前が多い。日本で実施するようなプログラミングという名前ものは少ない。コンピュータサイエンスの分野の中でプログラミングはごく一部の分野であり（下図）、プログラミングを強調しすぎると、コンピュータサイエンス全体の理解がいつつなものにならないかという心配がある。

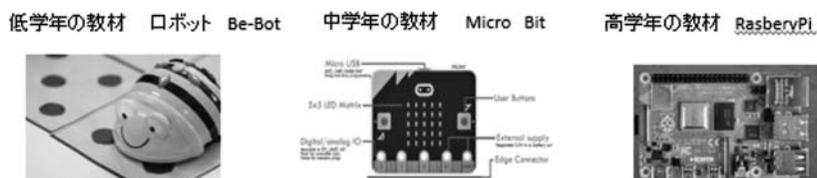


日本では、従来、情報教育＝プログラミングという時代があり、プログラミングの中にハードウェアを含めてコンピュータサイエンスの内容を詰め込むという指導があった。しかし、各技術が高度に発達した現在、そうしたことは不可能であろう。また、以前は OS やネットワークのしくみ、CPU の働きなどはブラックボックス化していたが、コンピュータサイエンスが普通教育として位置づけられ、STEM 教育や探究的学習が言われる中、ブラックボックス化で通すことは

難しく、プログラミングの教育の中だけに押し込めることも難しい。小学校でのプログラミング教育実施ということで、高まった世間の関心をさらに高めて、コンピュータ教育や STEM 教育の推進につなげることが重要であると考えます。

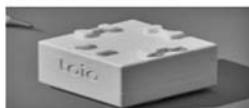
5 ロボット教育の現状とプロジェクトの教育内容の考察

前述のように、ロボット教育は STEM 教育の一環として広まっている。多くのメーカーからロボット教材生み出されている。イギリスでは、発達段階に応じて以下のようなロボットが使われている。



また幼児向けロボット次のようなものが販売されている。

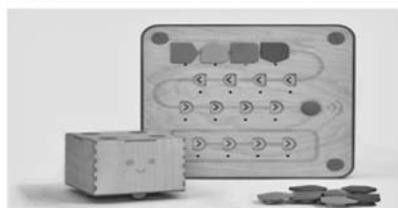
t o i o (ソニー)



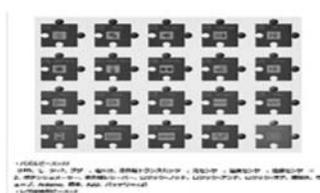
KUMITA (ICON)



プリモイズ キューベット(キャンドルウィック)



Active Puzzle



こうしたロボットを制御するプログラムは、ブロック型言語が多く、各メーカーにより独自に提供されてきたが、最近の傾向として、ブロック型言語は絞られつつあり、特に Scratch に対応させて制御するものが増大しつつある。Scratch は優れた言語であるが、創造性や・協調性の資質育成に重きを置いたものであり、やや STEM 教育の意義からはずれたところにあるように思える。STEM 教育の意義に対応した言語でのプログラミングが必要と考える。これについても、今後検証していきたい。また、産業ロボットの分野においては、世界標準となるミドルウェア ROS¹³⁾が浸透しつつあり、高等教育ではこれを用いたプログラミングでロボット教育と称するようになってきているが、ロボット教育がプログラミングに矮小化されないかという危惧を感じ

る。

参考文献

- 1) 文部科学省 (2017) 「小学校学習指導要領 (平成 29 年告示)」
- 2) 文部科学省 (2017) 「小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 総則解説」
- 3) Editors : Khine, Myint Swe 2017、Robotics in STEM Education Redesigning the Learning Experience
- 4) Lund, John R.; Schenk Jr Tom (2010). “Developing a Conceptual and Operational Definition of Stem for Iowa Community Colleges”. SSRN : 1831973.
- 5) H. B. Gonzalez, J. J. Kuenzi (2012-8-1), CRS Report for Congress Prepared for Members and Committees of Congress Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education : A Primer
- 6) Prepare and Inspire : K-12 Education inScience, Technology, Engineering and Math (STEM) for America’s Future)」 (PCAST 2010)
- 7) Google for Educatio. <https://edu.google.com/> (参照 2019-08-19)
- 8) バナール (著)、鎮目恭夫 (訳) 「歴史における科学 I」、みすず書房 1967
- 9) AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE 1989, “A PROJECT 2061 REPORT ON LITERACY GOALS IN SCIENCE MATHEMATICS, AND TECHNOLOGY”
- 10) 日本科学者会議編 「日本の技術と工学」 大月書店 1975
- 11) Charles Singer, E. J. Holmyard, A. R. Hall, T. I. Williams (著)、平田寛、八杉龍一 (編訳) 「技術の歴史 7 産業革命上」 筑摩書房 1979
- 12) Wing, Jeanette M. (2006). “Computational thinking”. Communications of the ACM, 49(3)
- 13) ROS. <https://www.ros.org/> (参照 2019-08-19)

[なんば こうじ 教育工学]