

日本及びアメリカにおける次世代型 STEM 教育の構築
に関する理論的実践的研究

平成 28・29・30 年度

文部科学省科学研究費補助金

【基盤研究(B)】研究成果中間報告書

(課題番号 16H03058)

平成 29 年 3 月

研究代表：熊野善介

(静岡大学教育学部、静岡大学創造科学技術大学院)

日本及びアメリカにおける次世代型 STEM 教育の構築に関する理論的実践的研究
中間報告書

平成二十九年三月

研究代表
熊野善介

平成 28・29・30 年度文部科学省 科学研究費補助金

【基盤研究(B)】研究成果中間報告書

(課題番号 16H03058)

日本及びアメリカにおける次世代型 STEM 教育の構築に
関する理論的実践的研究

平成 29 年 3 月

発行者 研究代表 熊野善介

(静岡大学教育学部, 静岡大学創造科学技術大学院)

〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836 TEL&FAX 054-238-4636

印刷 篠原印刷所

〒422-8033 静岡市駿河区登呂 6 丁目 7 番 5 号 TEL 054-286-5141 FAX 054-285-6261

はじめに

本報告書は、平成 28 年度科学研究費基盤研究費 (B)「日本及びアメリカにおける次世代型 STEM 教育の構築に関する理論的実践的研究」の 1 年目の中間報告書である。本研究の目的は STEM 教育改革の全貌を把握するため、先進的な STEM 教育研究・実践を行う研究機関・学区・学校を直接訪問するとともに、2015 年 12 月に至り、ついにアメリカでは「STEM 教育法」が連邦レベルで策定され、各州にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにすることが目的の一つである。さらに、日本型 STEM 教育の実践を試行するため、STEM 教育改革を先導する理論と実践の両面から、我が国の教育改革への示唆を抽出し、それらの要素をもとに事例研究を展開するのが次の目的である。

本年度はまず第一に、理論面、実践面での先進性の解明のため、アメリカ合衆国のワシントン州、ミネソタ州、アイオワ州の訪問からの分析、第二に日本型の STEM の理論と実践の構築のためのアメリカで展開されている STEM 教育・学習の内容分析研究、第三に STEM 教育に基づく日本における教育研究プログラムの開発と STEM 教師教育の開発である。

第 1 章では、昨年の初秋に本基盤研究 (B) の研究費により、ワシントン州、ミネソタ州、アイオワ州に研究者 9 人、静岡大学熊野研究室の博士課程の学生 3 人で訪問できたが、その旅行日程と内容についてまとめられている。これらの三つの州を選んだ理由は、NGSS が州の科学のスタンダードとして受け入れられている、または、間もなく受け入れられること、そして、同時に STEM 教育が州を挙げて最も推進されているという分析による。第 1 章は、創造科学技術大学院博士課程 1 年の坂田尚子さん、同じく博士課程 3 年の奥村仁一さんにまとめていただいた。

第 2 章では、「STEM 教育の現状」と題して、「21 世紀型スキル (資質・能力) と STEM 教育改革」と題して熊野がまとめ、なぜ急激に STEM 教育が全米で展開したのか、21 世紀型能力を科学教育でどのように受け入れられていったかが明らかにできた。「米国の科学教育」と題して、常葉大学の田代直幸先生がおまとめになり、次に、「アメリカにおける STEM 教育の研究学会の現状」と題して、東邦大学の畑中敏伸先生がおまとめになり、「米国の公教育における環境 STEM (eSTEM) 教育の取組」と題して東京都市大学の佐藤真久先生にかなり詳しい論文としてまとめていただいた。さらに、静岡大学の萱野貴広先生には、「STEM における”Argument”」と題して、NGSS においても大切にされているアーギュメントに関する論文をまとめていただいた。また、理論的な STEM 教育のまとめとして、博士課程の院生の齊藤智樹さんを中心に、「新しいパラダイムとしての超領域カリキュラムの構成概念」というタイトルでまとめられている。第 2 章の最後に、埼玉大学の二宮裕之先生により、「STEM の“M”はどこにあるのか」というタイトルで、数学教育の立場から STEM 教育について分析が展開されている。

第 3 章の「日本における STEM 教育の取り組み」では、静岡大学の技術科教育の専門の立場から、紅林秀治先生に、「モーションキャプチャシステムを利用したデータを活用する授業の試み」と題して、STEM 教育に近いと考えられる技術科教育研究結果をまとめていただいた。そして、STEM 教育の日本での事例研究として、千葉大学の山下修

一先生と教育学部学生の宮嶋将人さんに「植物工場を活用した STEM 教育」と題して、実践研究をまとめていただいた。最後に千葉大学の野村恵伍先生と山下修一先生に「科学的根拠をもとに説明できる生徒を育てる STEM 教育」と題した、千葉県における STEM 教育の実践研究としてまとめられている。最後に研究協力者の静岡県教育委員会教育委員の興直孝先生に「おわりに」をまとめていただいた。

今年度の教師教育については、平成 28 年 8 月 2 日に浜松において、約 150 人の理科教師に、STEM 教育についての熊野の講演会を行い、プレとポストのデータを集めた。また、平成 29 年 1 月 17 日に、県内の工業系（科学技術系）の先生約 50 名に対して、STEM 教育に関する研究会を行い、そのうち 10 名程度の高校の教師が STEM 教育の研究委員会をつくりあげることになった。これらのデータは次回の報告書にまとめることとする。

本中間報告書をまとめるにあたり、日本が第 5 期科学技術基本計画に基づき科学技術イノベーションが強力に展開されているにも関わらず、これを促進する積極的な科学教育の改善・改革が極めて不備であり、アメリカにおける積極的な STEM 教育改革に対応するような、科学技術イノベーションを促進する抜本的な教育改革が求められる。本研究はそのための基礎的な研究であり、多くの人々にそのモデルや知見が行きわたり、より国民的なプロジェクトへと広がっていくことを願ってやまない。今回、忙しい中にも関わらず、研究成果をまとめていただいた分担研究者ならびに協力研究者の関係各位に心から感謝申し上げます。

平成 29 年 3 月 18 日

基盤研究 (B) 課題番号 16H03058 代表 熊野善介
(静岡大学創造科学技術大学院・教育学部)

研究組織

研究代表

熊野 善介 静岡大学 創造科学技術大学院・大学院教育学研究科 教授

研究分担者

今村 哲史 山形大学 教職大学院教育実践研究科 教授

片平 克弘 筑波大学 人間総合科学研究科(系) 教授

萱野 貴広 静岡大学 教育学部 教務職員

清原 洋一 国立教育政策研究所 教育課程研究センター 教育課程調査官

紅林 秀治 静岡大学 教育学部 教授

郡司 賀透 静岡大学 教育学部 准教授

佐藤 真久 東京都市大学 環境学部 教授

高木 浩一 岩手大学 理工学部・大学院工学研究科 教授

田代 直幸 常葉大学 教育学部・大学院初等教育高度実践研究科 教授

二宮 裕之 埼玉大学 教育学部 教授

畑中 敏伸 東邦大学 理学部 准教授

裕元新一郎 静岡大学 教育学部 教授

山下 修一 千葉大学 教育学部 教授

連携研究者

興 直孝 静岡県教育委員会 教育委員

長洲南海男 筑波大学 人間総合科学研究科(系) 名誉教授

小林 俊行 東海大学 清水教養教育センター 教授

鈴木 宏昭 山形大学 地域教育文化学部 講師

室伏 春樹 静岡大学 教育学部 講師

(2017年3月15日現在)

研究成果報告

(1) 口頭発表

(1) シンポジウム I 「理科教育の新しい潮流 (NGSS/STEM) と次期学習指導要領に応えるエネルギー環境教育」、「新学習指導要領を考える—これからのエネルギー概念をどのように教えるか—」熊野善介、日本理科教育学会第 66 回全国大会論文集、信州大会 2016, 8 月 7 日、招待シンポジスト, 52-53.

(2) LHS カリキュラムに見られる分析的な枠組みと現代スタンダードへの適用に関する研究、齊藤智樹・熊野善介、1C-07、日本エネルギー環境教育学会第 11 回全国大会論文集、86-87.

(3) ソーラーオープンを利用したエネルギーについてのプロジェクト学習による生徒の STEM 的学びの深まりについての実践的研究、奥村仁一・熊野善介、1D-05、日本エネルギー環境教育学会第 11 回全国大会論文集、100-101.

(4) 日本における STEM 教育研究の在り方と展望—アメリカの STEM 教育改革の理論と実践を踏まえて—、熊野善介、課題研究発表、日本科学教育学会年会論文要旨集 40、3-4.

(5) [2704E-2] Status Study on STEM Education Development and Results from Shizuoka STEM Education Trials 2014-2015 and Future Setting (A0520) Yoshisuke Kumano, Tomoki Saito, Jin-Ichi Okumura, Shoko Sakata, Naoko Kosaka, and Lely Mutakinati, 2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education, 2016, August 26-28, Conference Handbook, 100.

(6) [2704E-1] Development of the Theories to Assess Students' Learning in a STEM Integrated Learning Environment (A0522) Tomoki Saito, Jin-Ichi Okumura, Shoko Sakata, and Yoshisuke Kumano, 2016 International Conference of East-Asian Association for Science Education, 2016, August 26-28, Conference Handbook, 101.

(7) 招待パネラー ; Great Debate. "Geoscience and Society"; U24A.AGU-JpGU Great Debate, 16:00~18:00, Room 2020, Moscone West, 2016 AGU The Fall Meeting, San Francisco, 13th December 2016.

Invited speakers: Dr. Naomi Oreskes, Dr. Laura A. Guertin, Dr. Peter B. Klemen, Dr. Yoshisuke Kumano. ; This session is open to the public through AGU website.

(2) 論文

(1) 奥村仁一・熊野善介 (2016). 高等学校生物の胚発生実験での Bio-STEM 発展学習における生徒の生物学的知識の拡張や科学的思考の変容についての実践的研究、科学教育研究、Vol.40, No.1, pp.21-29.

(2) Tomoki Saito, Ilman Anwari, Lely Mutakinati, Yoshisuke Kumano (2016). A Look at Relationships (Part I): Supporting Theories of STEM Integrated Learning Environment in a Classroom - A Historical Approach, K-12 STEM Education, Vol.2, No.2, pp.51-61.

(3) 出版

(1) 「4. 教育の新しい潮流と次期学習指導要領を支えるエネルギー環境教育実践」はじめてのエネルギー環境教育、日本エネルギー環境教育学会編、エネルギーフォーラム、熊野善介分担執筆、2016 年 6 月、52-62.

(2) Chapter 11. Science Education Reform and the Professional Development of Science Teachers in East Asian Regions, Science Education Research and Practice in East Asia: Trends and Perspectives, Edited by Huann-shyang Lin, John K. Gilbert, and Chi-Jui Lien, East-Asian Association for Science Education, Heui Baik Kim, Yoshisuke Kumano, Hyunju Lee, Cheng Liu, and Shang Yao Liu, 2016, 303-330.

中間報告書 目次

はじめに

研究組織

研究成果報告

目次

第1章 アメリカでの STEM 教育視察調査の概要

ワシントン州における STEM 教育に関する情報収集の報告	1
米国視察報告（ミネソタ）	11
ミネソタ州オワトナ、アイオワ州における STEM 教育の調査報告	21

第2章 STEM 教育の現状

21 世紀型スキル（資質・能力）と STEM 教育改革	29
米国の科学教育	39
アメリカにおける STEM 教育の研究学会の現状	43
米国の公教育における環境 STEM（eSTEM）教育の取組	47
STEM における“Argument”	69
新しいパラダイムとしての超領域的カリキュラムの構成概念	81
STEM の“M”はどこにあるのか	93

第3章 日本における STEM 教育の取り組み

モーションキャプチャシステムを利用したデータを 活用する授業の試み	109
植物工場を活用した STEM 教育	117
科学的根拠をもとに説明できる生徒を育てる STEM 教育	127

あとがき

第1章 アメリカでのSTEM教育視察調査の概要

ワシントン州における STEM 教育に関する情報収集の報告

坂田尚子

静岡大学創造科学技術大学院 自然科学系教育部

2016年9月21日より9月23日にかけてワシントン州各所にて、STEM教育に関する現状調査を行った。訪問先、視察先は研究・支援機関として「ワシントン STEM」、大学として「ワシントン大学」、「ウエスタン・ワシントン大学」、学校現場として「ウェストヒルズ STEM アカデミー」、社会教育施設として「パーク自然史文化博物館」「フューチャーフライトミュージアム」の6か所である。以下、日にちを追って研究・支援機関、大学、学校、社会教育施設の各訪問先について概要を報告する。

(1) ワシントン STEM

訪問日時：2016年9月21日 10:00～13:00

住 所：210 S Hudson St. Seattle, WA 98134

対応者：Patrick D'amelio 他

「ワシントンの STEM」の使命は、ワシントンの全学生に対する科学、技術、工学、数学 (STEM) 教育の卓越性、平等、革新を進歩させることであるとしている。

ワシントン州において、若者は繁栄している STEM 経済に囲まれて成長するが、その経済の枠組みに参加するための必要なサポートは必ずしも受けることができない場合もある。彼らが皮膚の色が違ったり、女子であったり、農村の学生である場合、彼らは格差に直面する可能性がより高い。そこで、「ワシントン STEM」では、STEM 教育に触れる機会やそれらへの興味を増すための、またすべての学生が成功を収めるための努力をしている。具体的には、STEM の教育と学習における画期的なアイデアを生み出し、拡大し、地域間のパートナーシップ構築に取り組み、学生の成功を促す重要な政策変更を提唱してきた。コンピューター・サイエンス、早期からの算数・数学教育の重視、科学と工学、キャリアコネクション型学習という4つの重要な取り組みに力を入れている。すべての若者を「将来の準備ができている」コミュニティメンバーとして育成すること、つまり今日の仕事で成功し、将来の仕事を創造し遂行するために必要な技術力をもち、私たちのコミュニティのために機会

を生み出せるような、共に生き繁栄を創造する人々の育成が「ワシントン STEM」の目的であるとしている。

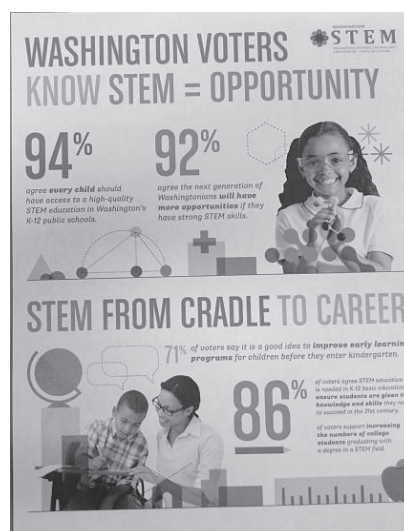
実際には、STEM 教育を普及させるための方策として、①イノベーションのためのプログラムのデザイン、②地域のネットワーク構築と作業の調整、③政策に注意を払ってきており、K-プレスクールレベルでの算数・数学カリキュラムの重視、NGSS へ対応してデザインやプロセスを取り込んだ工学（Engineering）の実践、ボーイング社、マクロソフト社など産業界の協力を得ることなどに取り組んできたそうである。

2013 年からこれまでにワシントン STEM が関わった学校区は 295 区、生徒は 100 万人にのぼり、ともに歩んできた K-12 の教師たちは 50～60 人いるとのことであった。ワシントン州は東部と西部では文化が違うので、それぞれに Project based learning（プロジェクト学習）、Problem based learning（問題学習）を行っている。プログラムは NGSS に対応したものとなっており、Inquiry も重要であるがより Practice を重視するようになったそうである。「エネルギー」に関しては、STEM 教育のフィールドでもあり、キャリア教育ともかかわるので、エネルギー関連企業などの産業界とのつながりを作ることも重視している。低所得層の子どもたちに確かな影響を与えるために、専門能力の開発向上のためや工学を学ぶために奨学金を授与したり、また、女子や少数派の子どもたちに対して、コンピューター・サイエンスやデザインを強化したりしている。

図 1 の報告書によると、ワシントン州の有権者の多くは、STEM 教育が「機会」であることを知っており、94%が公立学校の K-12 のすべての子どもが良質な STEM 教育を受けべきだとしており、92%が次世代を担うワシントンの子どもたちが力強い STEM スキルを身につけるためには、もっと機会が必要だとしている。また、ゆりかごから職業（キャリア）まで続く STEM 教育ということで、71%が幼稚園に入るまでに行う学習プログラムとして STEM 教育は良いアイデアだとしており、生徒たちが 21 世紀に活躍できるようなスキルと知識を得るためには、86%が K-12 の基盤となる教育において STEM 教育が必要だとしている。

ワシントン STEM の活動だけではないかもしれないが、この報告書からもワシントン州では、STEM 教育が社会に普及し、認められていることが理解できる。

図 1
ワシントン
STEM の報告書



<ワシントン STEM の理念>

STEM は生徒たちにとっても、我々の州にとってもゲームチェンジャーである。

「*STEM* は機会」：*STEM* は科学者やエンジニアだけのものではない。ピュージェット湾からヤキマ溪谷に至るワシントン州の経済は *STEM* に根差している。21 世紀において、*STEM* は全ての生徒たちが成功するために扉をあけている。

「*STEM* の不足に直面」：過去 10 年間で、*STEM* 関連の仕事は *STEM* とかわりのない仕事の 3 倍の成長を遂げた。しかし、生徒には *STEM* の力や可能性があまり見えていない。

「*STEM* をハイギアに移す時」：今、私たちは、*STEM* 教育を再考するという前例のない機会をもっている。私たちの子どもたちは待てないし、私たちの州も待てられない。しかし、我々は、一緒に変えることができる。

ワシントン STEM のホームページより

(2) Burke Museum (University of Washington)

視察日時：2016 年 9 月 21 日 14:15~15:15

住 所：NE 45th St & 17th Ave NE, Seattle, WA 98105

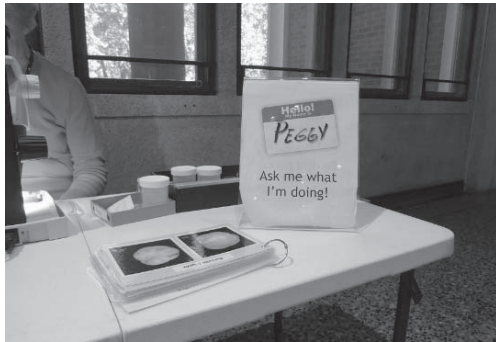
1899 年にワシントン州立の博物館として開館。ワシントン大学構内にある自然史文化博物館である。ワシントン州の自然史と文化に関する展示をしている。この博物館では、展示物が近くて大きいというイメージをもった。展示スペース自体はそれほど大きくはないのだが、マンモスの骨格標本の展示場所の設定や、恐竜の大腿骨の化石と復元図を合わせて展示していることや、展示物自体が大きいものであることなど、展示の仕方が工夫されており、空間の広がりや臨場感を感じられる展示となっていた。

展示物としては、化石、植物標本、岩石標本、ワシントン州の自然環境に関するものが

主体であったが、特段、展示物や表示に STEM あるいは STEM 教育に関する記述はなかった。ただ、展示スペースと展示スペースをつなぐコーナーに「体験スペース」が設けられており、ワークショップなどが行われるようである。訪れた時には、ホールの入口付近のスタッフが常駐してワークショップを行っていた。「私に、何をしたいのときいてください。」という看板



図 2 バーク博物館ワークショップスペース



がおいてあり、声をかけやすく、また Hands-on がとりいれられていて、来館者には親しみやすい雰囲気となっているようである。

図3 バーク博物館

ワークショップの様子

(3) University of Washington

訪問日時：2016年9月21日 15:30~17:00

住 所：115B Miller, Seattle, WA 98105

対 応 者：Mark Windschitl 教授

ワシントン大学教育学部の Mark Windschitl 博士を訪問し、教師教育などについての情報を収集した。教授は、教育学部において科学教授と学習 (Science Teaching and Learning) について講義をしている。彼の研究の関心は若い科学教師のキャリア開発についてで、特に彼らの野心的で公平な教育への軌跡にある。最近の研究において、彼は野心的な教育をしようとする際直面する困難な問題を、共同で解決するための社会基盤として改善されたコミュニティのネットワークを開発した。

STEM 教育について、教師たちは理解できていないのではないかと指摘した。それは、STEM 教育においては、工学 (engineering) について理解が不十分で、それぞれの領域を統合 (integrate) することが難しいためとしている。また、21 世紀型のスキルに関しても、ともに働くこと、民主主義を発展させること、複雑な問題・課題を解決することを実現するために身につけるべきではあるが、そのことに対する理解も十分かどうか疑問が残ると語った。NGSS については、地域に地球環境システム (earth-eco systems) に対して興味を示さない企業があるところでは、政策として取り入れにくい状況があるが、NGSS を取り入れることで、教師教育が変わる可能性があるとも述べた。

実際に、Windschitl 教授は、NGSS に沿う形で、教師教育に関して「Ambitious Science Teaching」をデザインした (図4) として、今回紹介してくれた。これは貧困層の生徒たちに向けて教育をする教師たちへの教授法、子どもたちの学習に関するガイドであり、NGSS が指摘した課題は変更していないとのことである。

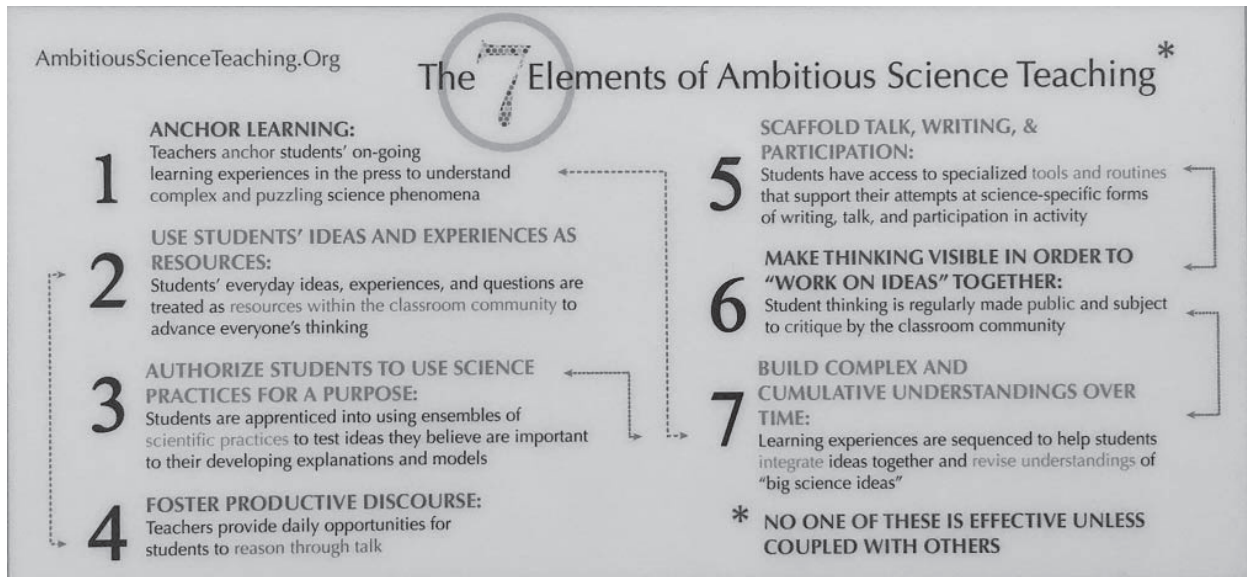


図4 Ambitious Science Teaching の7つの要素

(4) West Hills STEM Academy

訪問日時：2016年9月22日 10:00~12:30

住所：520 National Ave. Bremerton, WA 98312

対応者：Lisa Heaman 校長 他

West Hills STEM Academy はブレマートンにある公立小中学校である。学校に STEM 教育を取り入れようとしたとき、1年目は K-5 学年からスタートし、2年目で 6、7 学年、3年目で 8 学年までと、段階的に対象学年を広げていった。現在ではすべての K-8 学年で STEM 教育が実践されている。しかし、新しい STEM 教育を学校に取り入れて学校の在りようを変えろという取り組みは決して容易ではなかったそうで、当初から比べると約半数の教師が入れ替わっているということである。

現在では地域の理解も得ることができており、コミュニティの協力組織として 17 か所の外部協力機関（West Sand technical center, Skills Center, 高校など）がある。そのため、子どもたちを連れて一日出かけ、オフキャンパスプログラムを行うことができたり、地域の海軍基地からエンジニアや科学者が学校に来てくれて、子どもたちとのづくりや科学の活動をしてくれたりできるということである。また、NGSS に対応できるように、学校内にフィールドワーク用の場（森、藪、畑、砂山など）を整備し、そこを「Outdoor Learning Center」として子どもたちの学習に用いている。STEM 教育を取り入れた結果、1年で約 30%ほど州の成績アセスメントの結果が上昇したそうである。

STEM の授業は毎日行われ、科学や歴史も工学と関連させており、海洋科学やキャリア教育にも注目している。授業の時間割は、基本的に ELA (English Language and Art) のブロックと算数・数学のブロックからなり、そこへ STEM ブロックを加えて編成している。STEM のブロックには科学や社会も含まれているようである。7 学年の堆積岩 (砂・泥シルト、ロームなど) の授業と、2 学年のフィールドでの昆虫の隠れ方 (擬態など) の授業と、6 学年のアートの授業を見学することができた。

このアカデミーでは、Hands-on の活動を授業だけでなく多くの場で取り入れている。その一つが、子どもたちも出展する「STEM Fair」である。フェアでは多くのボランティアの人たちが手伝ってくれる仕組みができています。毎年 2~3 月にかけての数日間、学校を会場に開催され、そこでは 10~14 のブースが展開されるそうである。子どもたちは、学年によって K-2 ではクラス全体で、3 学年はグループで、4、5 学年は 2 人組で、6-8 学年は個人で何かしらプロジェクトに取り組み、発表をすることになっている。高学年になるにつれて、活動としては難しくなるようにしているとのことである。



図 5 Lisa Heaman 校長, Andrea Tee 副校長とともに

(5) Western Washington University

訪問日時 : 2016 年 9 月 23 日 10 : 00 ~ 12 : 00

住 所 : 516 High Street Bellingham, WA 98225-9155

対応者 : Ph.D. Edward E. Geary : SMATE ディレクター

ウェスタン・ワシントン大学の数学・科学・技術教育のセクションで SMATE (Science Mathematics and Technology Education) プログラムのディレクターをしている、Geary 博士を訪問した。博士の前職は、NFS (National Science Foundation) のフォーマル・インフォーマル教育の研究チームでプログラムディレクターをしており、そこでは、STEM 教育プログラムにかかわっていた。

博士によると、現在博士が所属している学部では科学・数学教師養成のための教育をしており、数学・コンピューター科学、教授法、持続可能な発展のための教育、K-12の教育、教師育成教育の5つのグループに分かれて、学生はこのうち4年間で3つのグループの学習を行っているとのことであった。STEM教育に関しては二つのグループで実施しており、大きなアイデア、学習課題、デザイン、協働などについて注目しており、モデルを使う→デモンストレーションする→理解するという流れができるとK-12の生徒たちの成績は上昇していくことが分かっている。

また、学びをアクティブ・ラーニングにするために、このセクションでは、高等学校の授業の支援もしている。高等学校の学習は、昔ながらの授業（教師が前で話をすることが大半の授業）が行われていることが多く、変化を起こすのが難しいのだが、それでも、授業の中にHands-onとMinds-onの活動を両方一緒に取り入れながら新たな方法で支援をしているということである。

図6のスペースは、併設されているSTEM Education Resource Centerの内部である。大変広々とした空間で、学生の学びの場として使用されるばかりでなく、地域の子どもたちへの科学教室のために使われたりしている。

多くの参考図書や実際に子どもたちが使っている教科書が数種類準備されており（図7）、優れた科学学習のプログラムパッケージである、ローレンスホール・オブ・サイエンスのGEMSやFOSS、シカゴ・サイエンス・グループのScience CompanionといったNGSSに対応している教材も多く準備されている。その他に乾電池、コード、はさみ、のりなどといった細々した実験用具や道具などが数多く、コンテナに入れられストックされている（図8）。こういった教材、道具類などは、棚に整然と整理されて収められており、いつでも取り出し使い易いように管理されている。



図6 STEM Education Resource Center

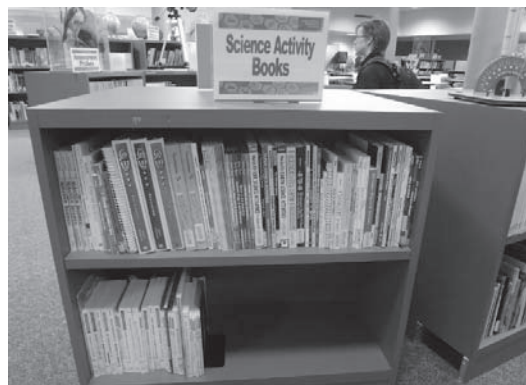


図7 参考図書

訪問した次の日が土曜日ということもあり、この部屋の一角では次の日の科学教室のために準備がすでに行われていた（図9）。参加する子どもたちへ渡すファイルや資料などが整えられており、地域の子どもたちへの科学教室開催にも力を入れているようであった。



図8 教材・道具のストック



図9 科学教室の準備

(6) Future of Flight Aviation Center

視察日時：2016年9月23日 14:30~16:30

住 所：8415 Paine Field Blvd, Mukilteo, WA 98275

視察したフューチャー・オブ・フライト・アビエーション・センター（Future of Flight Aviation Center）は、北米の商業用ジェット組立工場を見学する機会を唯一有している博物館である。飛行のダイナミクスを探索し、燃料やエネルギーについても触れつつ航空革新を体験的に学べる施設となっている。博物館ギャラリーのバックグラウンドでは、自分で飛行機を設計したり、ボーイング工場で撮影した写真を見ることができたりする。また、週末には家族向けのワークショップが行われ、常設展示のファミリーゾーン「どのように飛行機が作られているのか」（図10、11）は、あらゆる年齢の人々、子どもたちにも受け入れられやすいようにとねらった展示構成となっている。そして、このセンターでは、実際にボーイング747型機、777型機、778型機ドリームライナーのジェットが組み立てられている様子を見学することができる、ボーイング組立工場の巡回ツアーも行われている。大きな機体がどのように形作られているかを見ることは、子どもたちだけでなく大人へもインパクトのある学習体験となっている。

また、このセンターでは、「Education Planning Guide」（図12、13）が発行されており、この博物館で行われる教育ツアーやキャンプ、科学教室や家族向けのプログラムなど学習プログラムの概要が提示されている。これらのプログラムは、すべ

てSTEMに関連づけられており、それぞれのプログラムへの参加の仕方や料金、学習プログラムにかかわっている人々の紹介なども記載されている。また、教師のための相談窓口についても情報が載っている。



図 10 常設展示場のようす

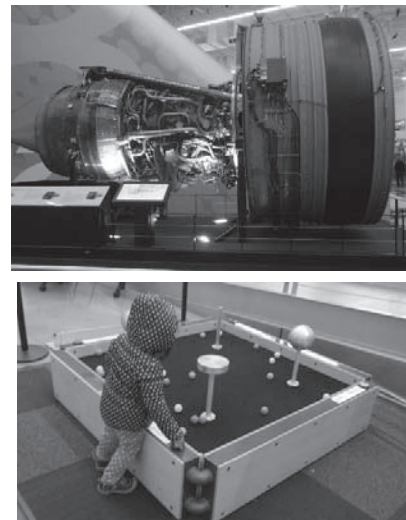


図 11 常設展示物

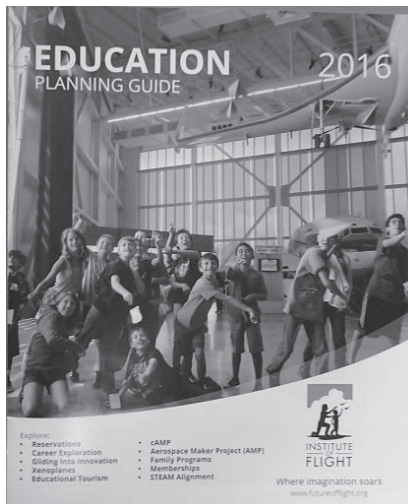


図 12 Education Planning Guide

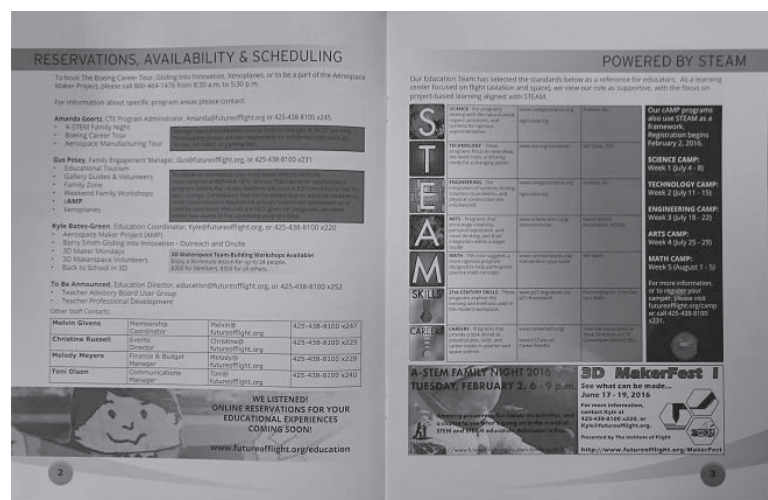


図 13 ガイド (STEM 教育についての説明)

米国視察報告(ミネソタ)

奥村仁一

静岡大学創造科学技術大学院

(1) 9月21日(水) 8:30 ~ 12:00

STARBASE Minnesota の視察

ミネソタの米軍基地内にある一般向け教育施設である STARBASE を見学した。

見学に先立って、ミネソタ大学 STEM 教育研究所において、同研究所教授ジリアン先生と大学院生のジーナさんに、STARBASE で行われている教育活動についての概略の説明を受けた。

STARBASE において行われるプログラムには、参加生徒は希望によりまたは学校ごとの希望により同施設のプログラムに参加する。プログラムは「火星への移住計画」をテーマとし、ロケットの設計を通じて様々なSTEMの学習を体験的に行う。通いで5日間のプログラムを行っている。

ミッション1は「ロケットのフィンのデザイン」を行うというミッションが参加者の子供たちに与えられ、ペットボトルロケットの尾翼のデザインを生徒が体験を通して学び、考え、自分たちでデザインする。まず、フィンの枚数の違う既製のフィンを取り付け、ペットボトルロケットを実際に飛ばして観察し、飛行距離や安定性について体験的に学習する。その体験を元に、自分たちで最も飛行に適したフィンをデザインする。デザインに際しては、フィンの大きさや面積をマス目を使って計算するなど、STEM 体験が出来るよう工夫されている。自分たちでデザインしたフィンはコンピューターで完成させ、コンピューターと連結された3Dプリンターで造形される。完成したオリジナルフィンは実際にペットボトルロケットに装着し、再度検証実験を行うという体験学習を行う。

さらに、実際の飛行機に用いられている技術を見るため、基地内に置かれている戦闘機や輸送機の見学を行う。

ミッション2は「火星での探索装置」と題して、火星での陸上探査を想定しレゴの学習教材であるリモコン式ローバーを用いて車輪の回転や走行距離などの計算を行うなどの学習活動を行う。

ミッション3は「ロケットでの居住区域の安全設計」と題し、飛行中の安全確保のためのロケット内の居住空間を設計する。その際に、伝導性や断熱性などについて学び、実験により様々な素材の温度変化を計測し、グラフ化し、それぞれの材料の性質の違いを実験的に理解し、最善の素材を参加者自身が選択する。

ミッション4は「火星への着陸」である。ここではニュートンの慣性の法則を学び、さらに素材とそのコストとの関連性から最善のフックを選ぶという学習を行う。

ミッション5は「ロケットの完成」である。実際のロケットを見学し、今までのミッションにより考えたパーツを組み合わせ、ロケットを完成させる。「Nosecorn(先端部)」「Body Tube(胴体管)」「Fins(尾翼)」「Solid Rocket Booster(固形ブースター)」「Engine(エンジン)」の

5つのパーツを組み合わせ、ロケットを完成させる。さらに「ロケット発射計画」を立てる。GPS装置を用いて着陸地をコーディネートしたり、Google Earth を用いて飛行距離を計算したりする。

このように緻密に計画された様々なミッションに取り組むことにより、参加した生徒達は、実験したり、計算したりして考え、また様々な体験や実物の観察を通して分野横断的に(STEM的に)学びを深めていく。そして、Define(課題設定)→ Research(調査)→ Develop(解決策の発展)→ Choose(解決策の選択)→ Create(試作品の製造)→ Test & Evaluate(テストと評価)→ Communicate(話し合い)→ Redesign(再デザイン)→ Defineのサイクルで学びを深めながら創造性を養っていく。

約1時間の説明の後、基地内の STARBASE へ移動する。セキュリティは厳重で、入り口ゲートでパスポートチェックがあった。また、ジリアン先生の ID 確認も行われた。身元確認のため、入場まで約30分待たされた。さらに敷地内に入った後も、100m程度の距離の移動のために先導車が付いた。

STARBASE の施設は、さながら小さなテーマパークのようにになっていた。受付ブースは飛行機のエンジンフードを再利用してつくられていたり、テーブルは飛行機の翼の一部が使われて作られていた。また廊下や教室の壁には宇宙の絵や火星の絵が描かれ、スタッフはNASAの技術スタッフが着用するような青いつなぎを着ていた。

見学に訪れた時には、ちょうど約60名の小学生が参加してプログラムが実施されており、屋外でペットボトルフィン(尾翼)の実験を行っていた。約20名毎に1名のスタッフが付いており、さらにボランティアの保護者が数名手伝っていた。また、常駐のスタッフ以外にも、学校参加の場合は引率教員などが付いて手伝うなどもしていた。

各教室にはコンピューターが格納できるテーブルがあり、コンピューターと3Dプリンターが接続して子供のデザインを実際に造形することができるようになっていた。また電子黒板により、低年齢の子供たちに対しても視覚的に解りやすく説明できるようになっていた。各部屋にはスポンサーとなっている企業の製品等に関連する絵や展示がされていた。

見学後の質疑応答で、この施設は多くの企業からの寄付により設立・運営されていることや、軍内にあることにより軍関係者(技術者)等の協力が得られていること、また退役軍人や州兵(民兵組織の構成員)等の協力を得て運営されていることなどがわかった。



図1 ロケットの飛行実験



図2 飛行距離の測定



図3 飛行距離の記録



図4 実験の振り返り

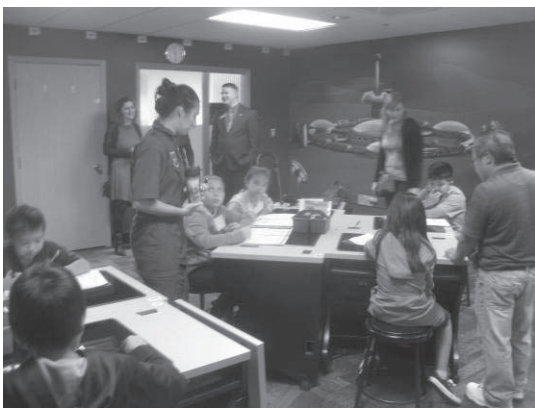


図5 授業の様子



図6 共有と話し合い

こどもの興味関心を喚起するような仕組みが多くみられた。ロケット開発をテーマとした体験型テーマパークのような施設やプログラムになっており、アクティビティには、巧みにSTEMが組み込まれており、ミッションの達成のためにはSTEMを活用しなければならないような仕掛けがあった。また、実際に実験することにより、体験的に学ぶことができ、理解力・創造力や論理的思考力の未熟な児童生徒にとっても、納得できるような学習の仕掛けが設定されており、楽しみながら学べ、その結果充実感が味わえるようなプログラムになっていた。

実際に参加していた子供たちの様子を観察していると、ワクワクしながら夢中で取り組んでおり、科学好きを育てるプログラムとしては有効であると感じられた。

科学館型の、様々な科学的現象等の体験を幅広く体験できる施設は日本でも多く見られるが、本施設のような、1つのテーマに対して深く関わりながら、試行錯誤し、学習サイクルを繰り返すようなタイプの科学の学習施設は日本においてはあまり見られない(のではないかと思います、勉強不足で知らないだけならすいません)現状を考えると、このような学習施設や学習プログラムを早急に日本でも設置することが望ましいと考えられた。

(2) 9月21日(水) 12:30 ~ 14:00

School of Environmental Studies at the Minnesota Zoo の視察

視察内容

・1960~70年頃に地域が急速に発展し、人口が増加して動物園ができた。その後、1993年~94年に広大な動物園の敷地の横に視察校は作られた。

・3つの学習コース

(1) Elective course・・・トラディショナルな一般的な授業を行う

(2) Intensive course・・・専門的な科目を行う

(3) Home course・・・4 class を行う、Environment、Social science、Science、English の4つの科目を行う

があり、生徒はすべてのコースを受ける。

・自由度が高く、course of study に縛られず、独自性の高い教育ができる

・Home course では環境へ焦点化した課題設定等について2人1組で探究活動が行われるなどの教育活動がある

・先生は常に「間違いを恐れるな」と言い、間違いを話し合いにより知り解決していくような教育が行われている

・動物園の横にあるため、動物が入手しやすく、何種類かが教室にいる状態になっている

・各階の教室の配置が特徴的で、生徒が自由に出入りでき、開放的で利用しやすい構造になっていた。各フロアの通路(廊下)のわきで、教師が生徒に個別指導したり相談したりしている様子が見られた。

・校舎外の周囲は森に囲まれ、東側の森林むこうに動物園があるとのことだったが、敷地が広大で動物園自体は見えなかった。スクールバスの発着する玄関前ロータリーの横には、生徒がデザインした市民農園があり、生徒と地域の人たちが共同管理し交流の場となっているとのことだった。また生徒がデザインした風力発電装置も設置されていた。

教室内に水槽があり、生きた魚類やは虫類、ほ乳類などの様々な生物がいた。動物飼育は動物園の飼育員や獣医師のサポートを受けて行われており、また学習教材として必要な生物は一時的に貸し出されるなどの仕組みがあり、日本の学校において様々な理由から動物飼育が減っていたり行われなくなっている現状のなかで、実物を用いた生命科学教育が行われていることは大変意義深く、また獣医師や飼育員等の専門家とのコラボレーションによる教育が行われていることは、飼育技術や繁殖技術等の生命科学技術(Technology)教育の実践につながり、生命科学分野におけるSTEM教育の実践が行いやすい学習環境が整っていると考えられる。さらに、進路学習やキャリア教育につながる学習となっており、STEM教育の目指す技術者育成につながる教育を行うことが可能になるものと考えられた。

米国は州の独自性が高く、カリキュラムや学習内容、その進度や実施方法等についても州のスタンダードに基づき行われている。ミネソタ州はNGSSを受容する形で教育が行われている州であるとのことであるが、日本と比較して、各校の裁量の範囲が大きく、

学校の独自性や各校の生徒に応じた学習活動ができる柔軟性が高いことにより、STEM教育が実践しやすい土壌があると感じられた。



図7 生徒がデザインした風力発電



図8 コミュニティ・ファーム



図9 視察校の入り口で、案内して下さった先生方



図10 GreenRibbonSchool のプレート

(3) 9月21日(水) 18:30 ~ 21:30

Saint Thomas University で行われた教師のための教材研究会に参加

教師のための教材の共有を目的とした勉強会で、希望者が自由に参加できるようになっている。視察・参加した当日も、幼稚園や小学校、中学校、高校、大学の教師や、教師を目

指す大学生等の多様な年齢層の参加者があった。STEM と直接関連性があるものばかりではないとのことだが、STEM 教材のヒントになるようなものも多いとのこと、急遽、参加することになった。

発表された教材は以下の5点であった。

- ・粘土(通電)工作
- ・ブロック状の部品を組み合わせて動かしたり光らせたりする
- ・ステッカー作り
- ・絵をパソコン上で書いて、装置を用いて筆で紙に書く
- ・ミシンを使ったソーイング

研究会の目的は、

- ・ものづくりを通して、楽しさを学ぶ
- ・コミュニケーションをとる(人脈作り)
- ・教材活用のヒントを考え教えあう

等であるとのことであった。



図 11 通電クレイの工作



図 12 全体ミーティング

(4) 9月22日(木) 9:00 ~ 12:00

Northeast Middle School(ノースイースト中学校)の視察

視察に先立ち、ミネソタ大学 STEM 教育センターで、ジリアン先生とジュリー先生の Introduction を聞く。シーナ先生はこれから視察する Northeast Middle School(ノースイースト中学校)の科学教育支援を行っている。近年、この地域は急激に多民族化、多人種化しており、中学校の生徒も以前の白人(コケーション)のみの状態から、現在は黒人、ラテ

ン、黄色人種等の割合が増えている。そして英語が第一言語でない生徒や両親が英語をしゃべれない生徒の割合も増加している。そして両親の職業や家庭の経済状態、宗教等の多様な家庭の生徒が増してきている。ジュリー先生はそのような多様化する生徒に対するSTEM教育の効果の実践的検証と、有効な Teaching Method についての研究をしているとのことであった。



図 13 ジリアン先生（左）とジュリー先生（右）



図 14 ミナト大学 STEM 教育センターで

10:30 から、Northeast Middle School(ノースイースト中学校)を訪問する。授業者の Katrina 先生の Aquaponics System についての説明を受ける。Aquaponics System は、水流(人工川)を中心とした生態系(システム)(ビオトープのようなもの)の中で作物栽培をするシステムを生徒達自身がデザインしながら環境や生物や生態系、そして人間との関わり等について学びながら考える学習であり、さらに実際にそのデザインした Aquaponics System (ビオトープのようなもの)を作り、観察、手入れ等を行いながら実践的に学習を深めていくという学習方略であるとの説明があった。そして当該校では、駐車場部分に Aquaponics System を構築する予定であるとのことで、その設計図(青写真)を見せて貰った。かなり大がかりなものであり、これを本当に作れるのかと思わせる規模のものであった。実際に以前にこの Aquaponics System を実践している学校例の写真等も見したが、この授業が本当にできるなら、米国の STEM 教育への力の入れ様はかなりのものであり、STEM 的な領域横断的な体験的学びができる方略を大がかりに実践しようとしていると感じた。また示された計画の Aquaponics System を実践するためにはかなりの予算が必要であり、そこから察すると科学教育に対する実験実習費(予算)もかなりあるものと考えられた。



図 15 Northeast Middle School 入り口



図 16 Katrina 先生の説明

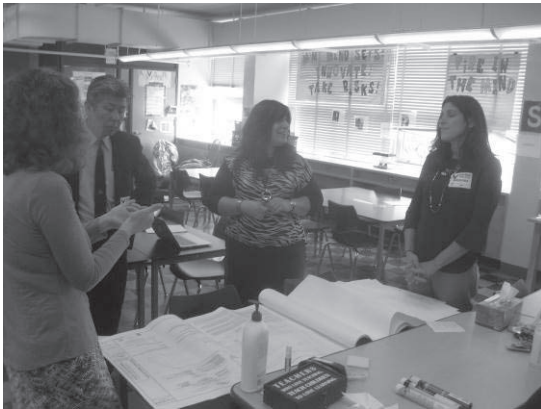


図 17 Katrina 先生の説明

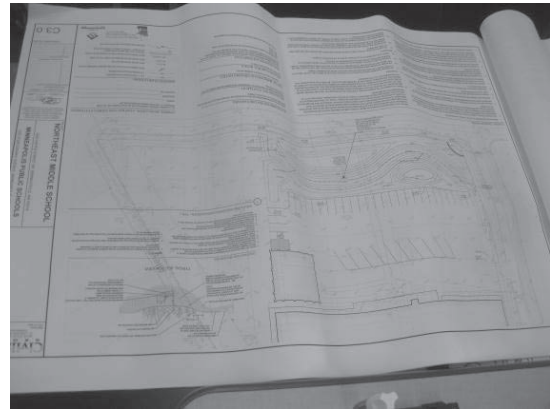


図 18 Aquaponics System 設計図

(5) 9月22日(木) 14:00 ~ 16:30

Minnesota Department of Education を訪問

ミネソタ州教育省を訪問し、教育長の Paula Palmer 氏と、STEM 教育担当者の Doug Paulson 氏の話聞く。

ミネソタ州は州の K-12 教育スタンダードを設定しており、各グレードの生徒が到達すべき知識やスキルを明らかにしている。

州のスタンダードは、「English Language Arts」「mathematics」「Science」「Social Studies」「Physical Education」「Arts」の各教科に設定されている。また各校で独自に設定できる教科は「Health」「World Language」「Career and Technical Education」であるとしている。また、どのようにそれらの Standards を教えるのかについては各校で決めることができるとのことであった。

これらの Standards により、生徒の大学や就職の準備や、進路や卒業のための資格を明確にすること、学区の要求や各校のカリキュラムデザインの助けとなるものとして重要であるとしている。

各教科のスタンダードは1年毎に教育委員会が選んだ 25~45 人のステークホルダーからの指摘に応じてスケジュールを見直したり変更したりしている。

生徒の学習目標の達成状況は、公立学校において

- ・ Reading と Mathematics は、3 - 8 学年時と高校時に 1 回、
- ・ Science は、5・8 年生時と高校時に 1 回、

学力評価(assessment)を行っているとのことである。行っているテストは、

- ・ Minnesota Comprehensive Assessments(MCA)
- ・ Minnesota Comprehensive Assessments-Modified(MCA-Modified)
- ・ Minnesota Test of Academic Skills(MTAS)in reading and mathematics

を行っているとのことであった。

そしてこれらのテストは、

- ・ 知識の深み(複合的な認識の度合い)

- ・読みテストによる複合性や語彙数
- ・項目の型(複合的選択かまたはテクノロジー教科型か)
- ・他の量的要因

を考慮して開発されており、生徒の学習目標の達成状況を測定(評価)することができる
とのことであった。

特にミネソタ州 STEM 教育担当者の Doug Paulson 氏の話では、ミネソタ州は企業からの献金に依存し STEM 教育が促進されている側面があり、社会のニーズに対応できる STEM 教育の実践を行うことに注視しながら、教育の独立性を保つことにも配慮して教育活動を行っているとのことであった。

先に見学した School of Environmental Studies at the Minnesota Zoo や Northeast Middle School においても STEM 教育に多額の資金投入が行われており、これらは BOSCH(ドイツを本拠とする自動車部品と電動工具のメーカー)等を中心とした地元大企業等からの献金においてまかなわれているとのことであった。

米国においては教育委員会や学校等への企業献金が認められており、またそうすることが企業における地域貢献として地域社会から認識されると同時に企業の節税につながる仕組みになっているとのことである。従って、生徒の体験的学習や物づくりが伴う場合が多い STEM 教育には多額の教育資金が必要となる場合が多いが、それらは企業からの献金によってまかなわれている。日本において STEM 教育型の領域横断的な体験的学習を推進するならば、学習のための資金をいかに確保するかが担保されないと、米国レベルでの領域横断的な教育が実践されることは困難であり、中途半端な実践になる可能性があると感じられた。



図 19 ミネソタ教育省



図 20 ミネソタ教育省における議論



図 21 ミネソタ州教育省の Paula 氏と Doug 氏

(6) 全体を通して

米国における STEM 教育は、まだ十分に実践されているわけではないと思われるが、指定校における実践は積極的に推進されようとしていると感じられた。まだ、努力している段階であると感じられるが、しかし着実に実践は進行するような準備がなされ、今後大きく進行するのではないかといい予兆を感じさせるものがある。それは州レベルでの Standards などの行政の施策、各校レベルでの校長の考えや各校に集められた優秀な科学教師の工夫や努力、学校とリンクして支援する地域社会や informal 教育の動向、これらを資金面で支える地元企業、これらのそれぞれが STEM 教育の実践にむけてアグレッシブに努力し、さらにこれらが一体となって STEM 教育の実践を行おうとしている息づかいが感じられた。

そして何よりも、STEM 教育実践校の児童生徒が、実に生き生きと、楽しそうに、前向きに科学教育に取り組んでいる姿が印象的であった。

日本の理科教育への反映を考えると、様々な問題や障壁があることは容易に想像できる。また米国との社会構造や教育システム、社会の教育に対する認識の違い等により、米国のような大きな舵切りは難しいことも予想される。しかし日本の科学教育も留まってはならず、早急に進展させていかなければならないと肌で感じた。

ミネソタ州オワトナ、アイオワ州における STEM 教育の調査報告

坂田尚子

静岡大学創造科学技術大学院 自然科学系教育部

アメリカ調査旅行において、日程の前半は、ワシントン州とミネソタ州の 2 グループに分かれて調査したが、2016 年 9 月 24 日にミネソタ州ミネアポリスで合流した。そして、25 日にミネソタ州の南部オワトナに移動し、その後アイオワ州へと調査地を移しながら、STEM 教育の実態調査に臨んだ。訪問した学校は 5 校、アイオワ州の STEM Council Meeting にも参加することができた。

(1) Mckinley STEM Elementary School

訪問日時：9 月 26 日 7:40～10:20

所在地：ミネソタ州オワトナ

オワトナ地区での公立学校訪問を、学区の STEM コーディネーター Thomas Meagher 先生がすべて手配をしてくださり、訪問に同行、説明などしてくださった。

最初に訪れたのが Mckinley STEM Elementary School である（図 1）。ここは、STEM 教育導入に際して、教師からの全面的な協力が得られ、順調に STEM 教育に取り組んでいる良い例であるとのことであった。

はじめに学校の概要について説明を受けたのち、校内全体を一度拝見した。この学校では、野外学習の場を整備し（図 2）、玄関にも池を設置して（図 3）、子どもたちに自然を感じる工夫をしていた。その後いろいろなクラスを訪問してそこでの授業の様子を見せていただいた。そして、あるクラスでは授業の中に参加させてもらって子どもたちと会話をしたり、授業後教師と意見を交換したりした。授業では、一人一人がステムノートというのを使っており、アイデアを振り返ったり学んだ言葉を追跡したりするために、自分の学びの記録をとるようにしていた。

すべての学年で STEM 教育は取り組まれており、年少（K-1）のクラスでも基礎力を育むとともに興味を育てることを目的として、おとぎ話を STEM の教材として作り上げているそうである。また、とくに「数」に関する基礎力を育てることに力を入れているそうである。最後にスーパーインテンドント（学区の教育長にあたる）の Peter Grant 氏と校長の Justin Kiel 先生にお会いして、話を伺った。授業の在り方を STEM 化するということは、「何をおしえるか」という内容に関することだけを変えるのではなく、「どうやって教えるのか」という教師教育にかかわることまで

変化することが必要であるとして、教師同士の振り返り、話し合いを定期的に行うようになったということである。

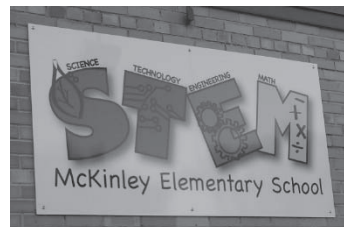


図1 Mckinley 小学校の
登校風景（正面入り口）



図2 野外学習の場



図3 校内に設置された池

(2) Willow Creek Intermediate ESTEM School

訪問日時：9月26日 10:30～12:45

所在地：ミネソタ州オワトナ

ここは、STEMに環境（Environment）のEが加わってESTEMとして、学校の名前にも付けられている。この学校は教室配置に特徴がある。中央に共有スペース（図6）が広くとってあり、ここは図書コーナーとして使用したり、教材や学習の材料、コンピュータが入ったカートなどを置いたりしている（図7）。ここからそれぞれ

の教室は仕切りがなくつながっており、各教室スペースの入り口の頭上には、そのクラスの名前が記されている（図5）。ここで、クラスごとSTEMのプログラムの学習がなされる。授業中訪問したので、その学習の様子を視察させていただいたが、学校全体に自由な伸びのびとした雰囲気が存在していた。校長のJim Kiefer先生からお話を聞くことができ、それによると、昨年からはすべて授業はSTEMを取り入れており、Engineeringを取り入れる際は、成功したとか失敗したではなくて、先生方が新しいことに挑戦することが必要だと語っておられた。また、ここでは、子どもたちと同じメニューのランチをいただくことができた。



図4 クラス名由来の木の葉



図5 各クラスのスペース表示



図6 中央部のフリースペース



図7 教材ごとに収納

(3) Owatonna ESTEM Junior High School

訪問日時：9月26日 13:00～16:00

所在地：ミネソタ州オワトナ

ここでの、STEMの実践例として、Field Tripの授業を紹介してもらった。これは、7年生、8年生が行う学習であり、実践するために教師たちは、月一度程度のスタッフミーティングを開いて準備を整えるのだそうである。約350人の生徒が3つの公園に出向いていき、それぞれ教師がいる二つのステーション（化学的調査を交えた

「水」を調査するステーションと生物学的調査をするステーション)を中心に公園中で一日中、GPS マップを使って「Park Scavenger Hunt」(図 8)をしたり、水質テストパックを使ったりしながら、グループごと活動を展開する。これらの使用薬品や機器は企業が支えてくれており、このレッスンは 6 年前から始めているとのことである。調査結果をまとめたものが、壁に掲示されていた(図 9)。

この学校でも始めは、STEM 教育は授業のオプションとして取り入れられ、それが一部となり、やがて全体が STEM 化されていったのだそうだ。教師たちが授業計画を考案するとき、また共有するとき図 10 にあるようなホワイトボードを使っているようである。横行が実施月、縦行には Social S, Science, Math, English などという教科名が見える。

最後に教師たちと率直な意見交換などを行った(図 11)。そこでの意見としては、「最初 STEM 教育を導入するときに大変だったが協働があって面白い」「STEM はすべてが学ぶところだ」「STEM はいろいろなものが関わってくるので、物語を使って歴史もできる」などという前向きな意見が多く聞かれた。また、ここでは、現地の新聞の取材があり、後日新聞に我々の訪問の様子が掲載された。

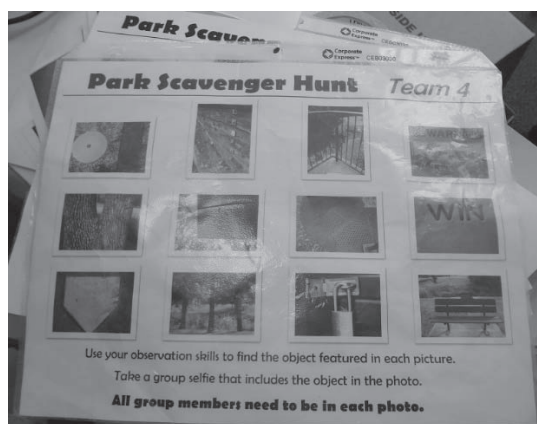


図 8 Scavenger hunt



図 9 調査結果のまとめ



図 10 授業計画の共有ボード



図 11 教師たちとの意見交換

(4) Hoover High School

訪問日時：9月27日 9:00～12:00

住 所：4800 Aurora Ave. Des Moines, IA 50310

この学校では、約250人の生徒のなかに、多くの外国の子どもたちが含まれており、そのため子どもたちの間に存在する大きな文化的、教育的ギャップをどう埋めるかということで、基本となる英語学習、基本的なスキルの習得に力を入れている。それと合わせて、5年前(2012年)からSTEM教育を取り入れるようになった。大学の研究者と教師たちの協働によりSTEMの導入が進められ、STEMの哲学にのっとって、子どもたちの学習の背中を押すということで、教室の机やいすの配置など学びの空間にも特別の配慮がなされているということである(図12,13)。授業内容によって、グループになったり、一人で取り組んだりしやすいようなデザインになっている。

また、教師たちは、Professional learning Communityに属しており、STEM教師であるために、Science, Math, Engineering, Technologyの力を高めるさまざまな研修が用意されている。教師たちは水曜日ごとに、全員で研修のためミーティングをするのだそうである。子どもたちの学習は、これまで、コモンコア、NGSSを適用してきたが、さらに授業のSTEM化を図るために、Project based learningに取り組んでいる。課題(Subject)と課題のつながりをもたせることで、課題の広がりをつくり、クロスカッティングな内容になるようにしているそうである。

校内の見学では、科学室や生物室、一般の教室だけではなく、自由に技術室、コンピュータ室なども見学させていただいた。コンピュータ室では、パソコンでグラフィックをデザインして、3Dプリンターでのものづくりを学んでいた。また、技術室においては、従来からの木工などの作業ができるようになっており、一人一人がものづくりにおけるプロジェクト学習に取り組んでいた。そこでは、評価法として、仕事の進み方チャートを張り出しており、生徒が自分で毎日の進捗状況を小さな紙に書き、貼り付けていた。全員の進捗状況がはっきりと見えて、教師だけでなく生徒にとっても良い確認法だと感じた。



図12 科学室の様子



図13 科学室内の実験テーブル



図 14 数学の授業風景



図 15 カードを使って学習

(5) Saint Theresa Catholic School

訪問日時：9月27日 13:00～15:00

住 所：5810 Cara Carpenter Ave. Des Moines, IA 50311

この学校はキリスト系の私立の小学校で、1学年から7学年まで学んでいる。両親や祖父母、関係者を招いて、学校中でSTEM Festivalが行われこともあるそうだ。これからSTEM教育を続けるために、もう少しタブレットが用意できることを望んでいるそうだ。

授業では英語教育に力を入れているActive vocabulary With STEMを中心に行っており、Communicate, design, doing/watchingといった活動を学習に取り込み、問題解決学習的にアプローチしている。そのことにより子どもたちが、学習内容や概念をよりよく理解できるようになるので、これまでのやり方と比べて、女子が科学の学習に参加しやすくなっているそうだ。数学と科学の境目をなくすことにも注意を払っている。

1学年の学習の様子を視察した時、りんごと爪楊枝で「いかだをつくる」という活動をしていた。16等分したリンゴのかけらを爪楊枝でつないでいかだを作るのだが、まずは個人で絵を描く方法でいかだのデザインをし（前時まで）、次に組み立て、浮かべ、イメージ通りになっているか確認していた（本時）。この後、いかだがうまく浮かばない場合はどこを直すのか考え、再びトライアンドエラーをすることになるそうであった。子どもたちは、あまり多くない水が入った四角い水槽の中で、底につかないようにリンゴのいかだを浮かべることに集中しており、試行錯誤の活動を繰り返していた。

(6) Iowa Governor's STEM Advisory Council Meeting XVI

参加日時：9月28日 10:00～15:00

場 所：DMACC (Des Moines Area Community College)

－Building 5, Room 1240

今回の調査の最終目的でもある、Iowa Governor's STEM Advisory Council 会議に参加した。Jeff Weld 博士からのお誘いにより参加できることになった。またここでは、本研究代表である熊野善介が“Japan's STEM goals and observations of Iowa and U.S.STEM :5 best practice”というタイトルで講演を行い、その後質疑応答もした。



図 16 開会前の会場の様子



図 17 Jeff Weld 博士

STEM 教育を熱心に取り入れようとしているアイオワ州の現在の様子を、政策面から間近かに見聞きすることができる会議であった。STEM 教育の最善の普及法についてや、STEM 教育の評価について、また関心と才能を最大限に引き出す話し合いなどが行われた。アイオワ州の指導的立場にある人々が、STEM に関して話し合う重要な会議に参加できたことは大変有意義であった。



図 18 会議参加メンバー (Jeff Weld 博士とともに)

第2章 STEM教育の現状

21 世紀型スキル（資質・能力）とSTEM教育改革

—連邦レベルでの議論、ワシントン州・ミネソタ州・アイオワ州の事例から—

熊野善介

静岡大学創造科学技術大学院・教育学研究科

（1）はじめに

本基盤研究（B）課題番号 16H03058（代表熊野善介）の資金を得て、2016年9月にワシントン州、ミネソタ州、アイオワ州におけるSTEM教育の実態調査を行うことができた。2012年にフルブライト研究者プログラムにより、3か月アイオワ大学を中心にアイオワ大学に客員教授としてアメリカのSTEM教育研究を行った折に、疑問になっていたことではあったが、全米次世代科学スタンダードが、コモンコアスタンダードと21世紀型スキルと整合できるように、作成されたという説明が何度もくりかえし記載されていることがはっきり理解できなかった。また、今回、3つの州を訪問しながら、訪問する先々でSTEM教育を推進している皆さんに、これらの関係を継続して質問してきた。

したがって、本小論では、STEM教育改革が進められることになる文脈を求めて、21世紀型スキルがどのように科学教育改革につながっていくのかに焦点化することにする。21世紀型スキルは2000年ごろから、アメリカの多く州（21州のリーディング州；2002年から開始）において、州のスタンダードに21世紀型スキルが盛り込まれるようになった。その一方で、21世紀型スキルを主眼とした、数学と母国語（英語）のコモンコアスタンダードがほとんどの州で採択された（2016年現在）。さらに、ほぼ同時にSTEM教育ムーブメントが起こり、2012年に「K-12科学教育フレームワーク」ができ、2013年に次世代科学スタンダード（NGSS）」が作成され、2015年に「STEM教育法」が制定されるにいたった。このことは、STEM教育改革の根底に21世紀型スキルが全米にひろがり、その流れをもとに科学教育改革の内容について議論され推進されていったとみることが出来る。したがって本稿では、科学教育改革と21世紀型スキルの関係を明らかにすることが目標である。このことにより、日本でも新たに示されている21世紀型の資質・能力とは理科教育ではどのような内容を意味するのかを明確に考える基盤となりえるであろう。つまり、アメリカが悩んだ事例をもとに明らかにすることになる。このことはSTEM教育改革により提供される、新たな科学リテラシー（STEMリテラシー）として、明確な内容を提供することにつながるといえる。

（2）研究課題

STEM教育改革の調査を進める中で、次世代科学スタンダードがアメリカの科学教育のフレームを大きく転換させている事実が明らかになってきたわけであるが、現地調査を進める中で、と21世紀型スキルが連邦レベルでどのように科学教育に取り入れられ、NGSSへと進展していったのかを明らかにすること。連邦レベル、ワシントン州、ミネソタ州、アイオワ州ではどのようになっているかを明確にすること。

(3) 研究方法

現地調査とその後の文献研究をもとに分析、考察を重ねる。

(4) STEM 教育論における 21 世紀型スキル；連邦レベル

1) Dr. Bybee の STEM 教育論から

「STEM 教育について：挑戦と機会」(Bybee, 2013)によれば、STEM 教育リフォームは、単なる教育の流行ではなく、国を挙げた教育戦略とみることができ、かつてのスポーツニクショックの後展開した科学教育改革に匹敵する、あるいはそれ以上の科学・技術・工学・数学教育改革と位置づけた。Dr. Bybee の本著作の第 7 章では STEM 教育の文脈として、STEM リテラシーという語彙を登場させ、その特徴として、「*基礎的な科学, 技術, 工学, 数学の概念とプロセスを内容として包含しながら, これまでの伝統的な個々の領域に囚われることなく, 複合して相互に関連している領域を扱わなければならない. すべての教育の中心として位置付ける必要がある. 例えとして, 古代ギリシアにおける, 「paideia」に相当するものである. ここで大切なのは, 知識を獲得するだけではなくこれらの知識を活用し, 応用することが大事なのである.*」(Bybee,2013, p64)

STEM リテラシーの定義として Dr. Bybee は、「*〇日常の状況の中での質問や問題を認識するため, また, 自然界とデザインされた世界を説明するため, そして, STEM に関連したイシューズについて証拠に基づいた結論を導くための知識, 態度, 技能(能力)のこと. 〇人類の知恵, 探究, デザインという形態での STEM 領域の特徴を理解していること. 〇STEM 領域がいかに身の回りのものや知力, そして文化的な環境を形成しているかに関心を持つこと. 〇建設的な関わりを持って熟考する市民として, 科学・技術・工学・数学の思考をもとに STEM に関連したイシューズに意欲的にかかわること. p65*」とした。そして、これらの STEM 教育改革にとって大切なのは、2010 年に出版された、科学教育と 21 世紀型能力の相互関係の探索 (2010, NRC) で示された 21 世紀型能力を積極的に取り入れる必要があるとした。

Dr. Bybee の STEM 教育改革が目指しているのは、やはり、今後ますます加速していく、STEM 分野の進歩そのものからも生み出される様々なイシューズを人類の英知で解決方略を見いだしていくため、教育すべき内容の大きな転換が必要であるとしている。すなわち、人類が直面していない、経験していない様々なイシューズや課題を消化していく必要がある。どのように展開することで、どのような教材を生み出すことで、どのようなプログラムやカリキュラムを生み出すことで、STEM 教育はより適切なものとなるのかを国を挙げて見いだしていこうと Bybee 氏は述べている。

2) Yager 博士の STEM 教育論からみいだされたこと

2012 年の 9 月から 12 月にイエガー先生と様々な質疑応答を行う機会に恵まれた。また、2014 年の 2 月に 4 日間ほど他の日本人研究者とともに STEM 教育に関して様々な議論を展開できた。これまで、イエガー先生の関係者の多くがアイオワ州知事 STEM 諮問委員会に関わり積極的な取り組みを展開しており、全米でも具体的成果が明確に表れている州の一つである。

アイオワ州では、NSES の科学教育改革のおり、1990 年代チャタクロワ教師教育プログ

ラム (STS アプローチを中心とした教育改革) を州全体で展開した経験があり、この時の研究費は数億円規模で展開されていたので、かなりの多くの科学教師が関係し、その後も絶え間ない努力をしてきており、今回の STEM 教育改革も早くから受け入れられ、また実践力も高い教師が多いといえる。今回の改革では、前回より大きな改革で、K-12 教育、大学教育からインフォーマル教育まですべてが STEM 教育の改革のために、細かいアクションプランが立てられ、一つ一つ遂行されている。そういう意味で、州全体が STEM 教育改革に向かっているという点において類まれな教育改革である。イエガー先生は 2014 年に、NSTA から STEM 教育の事例研究の書籍が出版し、この最初のフォワードに文章を出されている。この文章の中で、STEM 教育で最も大切なことは、科学における発見と工学における発明を、児童生徒自ら主体的に、且つ具体的に経験することを積み重ねることが求められていることだとした。

(5) 21 世紀型スキルと科学教育コミュニティー

時間はやや戻ることになるが、2007 年にマサチューセッツ大学の Arthur Eisenkraft 教授を議長とする、21 世紀型スキルと科学教育改革に関する専門家会議が開催された。2007 年 7 月までに、21 世紀型スキルのたたき台が作成され、これに関して科学教育の専門家から、アメリカの科学教育の改革のためにどのような課題があるかが議論された。

1) 専門家会議から出された 21 世紀型スキルのたたき台

専門家委員会のメンバーはマサチューセッツ大学教育学研究科の Arthur Eisenkraft 教授、マサチューセッツ工科大学、ワシントン DC オフィスの William Bonvillian 教授、カリフォルニア大学バークレー校教育学研究科の Marcia C. Linn 教授、ペンシルバニア大学認知科学研究所の Christine Massey 教授、Merck 科学教育研究所の Carlo Parravano 教授、カリフォルニア大学ロサンゼルス校心理学専攻科教授、William Sandoval 教授である。

本専門家会議から出された 21 世紀型スキルとは以下の通りである。

① 応用 (活用) する能力 (Adaptability) ;

不確実で新しく、尚且つ仕事の在り方が急速に変化する状況に意欲的に挑戦していく能力のことである。ここでは、緊急で、危険な状況に対して効果的に対応することや、新しい仕事、新しい技術や工程を学ぶことが包含される。この応用する能力には、仕事のストレスを管理することや、さまざまな性格の人々に適応することやいろいろなタイプの人々と意思疎通を展開することや、屋内や屋外の様々な環境に物理的に適応することができる事が含まれる。

(Houston, 2007; Pulakos et al. 2000)

② 複雑なコミュニケーション・社会的能力 (Complex communication/social skills)

適切に対応するために他から言語的あるいは非言語的な内容を解釈したり、遂行したりする能力のことである。熟達したコミュニケーターは共有する理解を形成するために、画像、音声、言葉で表現される複雑な思考の中からカギとなる部分を選びだす能力を有している。(Peterson et al.,1999)

③ 一非日常的な問題解決 (Nonroutine problem solving)

熟達した問題解決者は幅広い情報を分析し、パターンを認識し、問題の原因の分析をするために、専門的な思考を活用する。問題の原因の分析を乗り越えて、解決に向かうために、2つの知識が必要とされる。一つ目は、情報が概念的につながっているのかという知識、二つ目はメタ認知に内容される知識のことである。すなわち、問題解決戦略が機能するかどうか、もしうまくいかないとすると他の戦略に転換するかどうかに反映される能力のことである (Levy and Murnane, 2004)。ここには、新しく革新的な解決策、一見関係のない情報を統合すること、他が見落としがちな享受の可能性を生み出す創造力が含まれるのである。(Houston, 2007)

④ 自己管理と自己啓発 (能力) (Self-management/self-development)

距離を超えて実際のチームと仕事ができること、そして、自己向上力があり、自己分析する能力があることである。自己管理能力の一つの観点、自ら進んで遂行する能力のことであり、新しい情報を獲得する能力のことであり、関連した遂行するための技能が含まれる。(Houston, 2007)

⑤ システム思考 (Systems thinking)

すべてのシステムがいかに働きあっているかを理解する能力のことである。そして、いかにシステムのある部分におけるあるアクションやある変化、ある不具合が他のすべてのシステムに影響を及ぼすことを理解する能力のことである。(Houston, 2007) 機能している異なった要素が相互に作用していることについて概念的に理由づける能力はもちろん、システム思考には価値判断や意思決定をおこなうこと、システムを評価することが含まれるのである。

2) 上記の 21 世紀型スキル (暫定案) に対して

本委員会の、基本的な疑問は以下に箇条書きされる。すなわち、

- ① 21 世紀型の能力と、今日的な科学教育の改革が展開されている目標と整合性のある知識や能力は何か。
- ② 科学教育の文脈における複雑な仕事に立ち向かうための児童生徒と大人の能力に関する研究の状況はいかにあるか。
- ③ 21 世紀型能力を担保するための科学的な探究と科学的な領域固有の観点とは何か。
- ④ 科学教育という状況において教授能力として、教え諭す教授モデルにはどんなものがあるか。
- ⑤ いかにして生涯学習や市民教育に活用可能な科学教育を人々に授けることが可能な 21 世紀型能力を開発できるか。(例えば、健康や地球温暖化に対する適切な意思決定や職業の決定など)
- ⑥ 21 世紀型の能力を獲得することを支援するために、科学教師にいかなる準備をすべきかに関してどのような知見があるのか。21 世紀型能力のための効果的な教授方略と生徒の学習方略を支援する新しい教師教育モデルにはどのようなものがあるか。そして、これらの新しいモデルの影響力について示す可能な証拠にはどのようなものがあるか。(NRC, 2010, p5)

これらの疑問に答えながら、様々な考察が展開されていく。第 2 章はピッツバーグ大学

の Christian Schunn 教授が招聘され、上記の疑問の 1, 3 に関する質疑応答がなされている。この中で、この Schunn 教授は各州の科学スタンダードの中に工学デザインスタンダードを埋め込むことは価値があると述べ、その理由としては、工学デザインスタンダードのほうがよりよく 21 世紀型スキルの 5 つの要素を包含しているからであるとしている。また、この 21 世紀型スキルの評価はかなり困難であると示した。また、Kolodner (2009) と Kracjik & Sutherland (2009) の論文を引用しながら、科学学習を展開する際、チームで取り組むことで 21 世紀型スキルの内、コミュニケーション能力と社会性を獲得することに繋がり、大きなチームでの学習は適応力と自己管理能力、デザインプロセスは問題解決能力とシステム思考能力を育成することに繋がると示されている。

議論のところで、カリフォルニア大学バークレイ校の Marcia Linn 教授が議長として招聘され、参加した委員から以下のような疑問が投げかけられた。

1. 科学教師たちは 21 世紀型スキルを保持しているのか。
2. 州スタンダードと実際の教授方略との関係はどのようになっているか。
3. 文化的に学校は 21 世紀型スキルの新しい教授モデルへの準備ができているのか。
というも通常の他の教室での教授方略と比べて無秩序な状況に陥る可能性もあるからである。
4. 学校外での学習の補完があることも勘案して、21 世紀型スキルのどのような内容を公的な学校で学ぶべきであるか。

これらの質問に対して、Schunn 教授は、学校で学ぶべき最も大切な 21 世紀型スキルはシステム思考であると示した。Fuchs 教授はどんなに良い学習プログラムを作成しても、教師が 21 世紀型スキルが包含された学習プログラムを展開する能力を保持していなければ、記憶を中心とした学習から脱却することは難しいと述べた。これらの疑問はまさに、日本の文脈にもそのまま当てはまり、21 世紀型のスキルを 3 つの資質能力に埋め込んだ日本であるが、次期学習指導要領の理念を具現化することの難しさがあることも同様である。

3) 第 3 章

第 3 章では、21 世紀型資質能力を獲得するための条件について示されている。(Anderman and Sinatra, 2009)

1. 新しい考えが生まれやすい学習環境を育んでいるかということ。
2. 子どもたちの個人的な興味や将来なりたい職業と連動した活発な活動を推奨すること。
3. 科学リテラシーと新しい科学的な仕事のために必要な必須の知識、能力、性質を伸ばすこと。
4. 既知の内容を訂正することによってより深い「学習の進展」(learning progression) を活用すること。
5. 科学の教授において、課題基盤型学習アプローチ(problem-based learning approach)を用いることを推奨すること。
6. より質の高い学習に焦点化するためのアセスメント(評価)を用いること。
7. 中等の科学教師養成および現職の科学教師に専門性向上のための研修を提供すること。この研修には発達段階と動機づけに関する内容が含まれること。

の 7 つの要素が指摘され、21 世紀型スキルを科学学習に導入するための要素が明らかにさ

れている。これらは、まさにNGSSの中に取り込まれているといえよう。

さらに、ネバダ大学ラスベガス校の Gale Sinatra 教授は、以下の疑問を呈した。これらの疑問は、まさに日本の科学教育の研究者が発している疑問である。

- 今日の生徒の思考から出現していることは何なのであろうか。すなわち前の世代の思考からみて、とても異なっていることは何であらうか。
- 一般的な人々ために必要な科学の知識や能力とはどんなものなのであろうか。
- 科学の本質の理解と 21 世紀型スキルの開発の間にはより明示的な関係があるべきであらうか。
- 知的財産に影響を及ぼす情報の共有や情報にたどり着く技術の使用は、どのようになっているのか。

4) 第4章と第5章

第4章では、21 世紀型スキルの開発にすでに関連している、様々なカリキュラムや学習モデルについての考察が展開された。

- ウェブを介したオンラインの学習でのアーギュメント
WISE Seeded Discussions; Web-based Inquiry Science Environment
CASSIS; The Computer-supported Argumentations Supported by Scripts-experimental Implementation System.
VCRI; The Virtual Collaborative Research Institute
DREW; Dialogical Reasoning Educational Web tool.
- 21 世紀型スキルの獲得を目指している既存の学習モデル
BSCS 5E モデル; (熊野, 2016)
IQWEST; Investigating and Questioning our World through Science and Technology; クラジャック教授がミシガン大学に在職中開発した学習モデル。
LBD; Learning by Design; 1990 年代にジョージア工科大学の Janet Kolodner が開発した授業モデル。
PBIS; Project-Based Inquiry Science;

5) 第7章; 21 世紀型スキルの評価モデル

第7章では、21 世紀型スキルがスタンダードとしてすでに導入されている州(2007 年時点)もすでにあるとされ、それらの州の中で開発された評価事例を示しながら、21 世紀スキルがどのように身についたかを評価することは困難であるが、1996 年の NSES の評価スタンダードですでに開発された内容をさらに進化させることによって、より優れた教科モデルを開発する必要があるとされている。この章で示されていることは、基本的に我が国における、「目標に準拠した評価」で示された内容と同じ方向性を示している。しかし、科学の中に工学を埋め込んだ領域横断的な内容での 21 世紀型資質・能力の評価については、我が国は未知の分野といえる。

6) 第8章; まとめと工学の学習内容を科学に導入する可能性に関する考察

第8章では、先端の科学モデルが 21 世紀型能資質・能力の開発には十分対応可能であることを示しながら、科学教育の新たなスタンダードには 21 世紀型のスキル

を埋め込む必要性があり、十分可能であることが示された。そして、最後のコメントとして、ここでは、技術 (technology) をしっかり埋め込んだ科学教育の可能性が示された。この時点で、全米で合意された 21 世紀型スキルはまだ開発途上であるが、21 世紀型スキルを科学教育に取り入れることは価値があり、いろいろなモデルの開発が可能であり、技術 (technology) が挑戦するとき影響を及ぼしうることが述べられている。ここでは、まだ技術 (technology) と示されているが、これが、工学 (engineering) という言葉になっていくとみられる。

以上、「科学教育と 21 世紀型スキルの共通部分を探究すること」という NRC (全米学術審議会) (NRC, 2010) の著作から読み取れることは、アメリカでも 2007 から 2010 年の間において、政府レベルでの新しいスタンダードを指向した様々な議論が展開し、NGSS (2013) に至る 3 年間で工学のデザインという概念が急速にまとめられていったという一つの証拠を見つけた。この中で示されている多くの質問や疑問こそ、わが国にとっても真剣に議論をしていく必要がある内容を提示しているといえるし、日本でも示された、新しい資質・能力が各教科において、検討されるとき、同様の議論が話し合われ、さらには様々な授業モデルが提案され、授業研究等が積み重ねられる必要がある。

(6) ワシントン州における考察

本基盤研究費(B)で訪問した、ワシントン州であるが、訪問した Washington STEM センターの専門員によれば、ワシントン州は 2013 年の 10 月 1 日に、教育長の Dr. Randy Dorn が正式にワシントン州の科学のスタンダードとして導入を決定し、10 月 4 日に州知事の Mr. Jay Inslee が公的に表明を行った。ワシントン州は全米では NGSS (次世代科学スタンダード) を導入した 8 番目の州である。NGSS より以前に策定されている、州の数学と言語のコモンコアスタンダードは 2011 年の夏に導入されており、NGSS はこれらのコモンコアスタンダードと整合性をもって作成されているとされている。NGSS の州スタンダードの評価の日程は、小学校 5 年、中学校 2 年、高等学校 2 年において 2018 年から開始される。

ワシントン州でも、2000 年以降「21 世紀型スキル」が注目され、基本的に就職指導や技能教育が基本的な対象であったといえる。つまり、科学的リテラシーが、要素として明確に位置づけられていなかったといえる。その後、2010 年ぐらいから STEM 教育の重要性が出てきて、2011 年の科学教育フレームワークが登場し、NGSS が生まれるまで、21 世紀型スキルがイノベーションを起こすための原動力となっていったと考えられる。ワシントン STEM は、学校教育と学校外の教育と企業等とのネットワークを大切にしながら、様々な資金源を提供し、STEM 教育を深化させてきた。

(7) ミネソタ州における考察

ミネソタ州においても、同様の動きが同定できる。2007 年以降の急激な STEM 教育への動きが見られる。ミネソタ大学の Roehrig 教授が ASTE と NARST で 2008 年に科学教育における STEM 教育関連の研究発表を始めるのとほぼ同時にミネソタ大学 STEM 教育センターが開設される。そして、STEM 教育研究の NSF 研究費 (8 億円プロジェクト)

が合格するのである。ミネソタ州の場合、2009年に「P-16 教育連携 STEM 教育ワークショップ 2009」ミネソタ州教育委員会から招致され、議論が展開され、ミネソタ州のSTEM教育政策がどうあるべきかが話し合われた。次に、「STEM ギャップ払拭教育政策プランワークショップ」が招致された。こちらの会議は2010年7月から開始され、2011年12月に報告書が出され、STEM教育に関わるミネソタ州としての教育政策が動き出したといえる。「P-16 教育連携 STEM 教育ワークショップ 2009」には21世紀型スキルの考察があり、「STEM ギャップ払拭教育政策プランワークショップ」では、21世紀型スキルとは示さず、STEM スキルズという表記が用いられた。

(8) アイオワ州における考察

アイオワ州では2007年に「Iowa Core」として「Iowa Core K-12 21st Century Skills」として、21世紀型スキルが、アイオワ州教育委員会の教育施策として受け入れられ、五つのリテラシーとして確認され、すべての教科に埋め込まれたといえる。五つのリテラシーとは市民性リテラシー、雇用スキルズ、財務リテラシー、健康リテラシー、技術リテラシーである。これらの中にはSTEM教育に関する内容は皆無である。ところが、2011年にアイオワ州の州知事のTerry Branstadが「アイオワ州知事STEM支援審議会」を発足することを第74州知事令として打ち出した。ミネソタのような州教育委員会の特別委員会は見つけられなかったが、各大学関係者並びに教育関係者、そして、アイオワ州内の大手の企業が名を連ねていることから、合意形成が展開されたといえるが、今後の調査にゆだねることとする。2011年からの「アイオワ州知事STEM支援審議会」発足後の動きは、むしろミネソタ州よりも迅速で、アイオワ州を六つの地域に分け、大学の准教授レベルの責任者を各大学の拠点に任命し、具体的な目標値を設定して研究と実践が毎年展開されている。さらに2014年10月にアイオワ州では、NGSSの改訂し新しいアイオワ州の科学スタンダードとして導入された。よって、アイオワ州すべての学校で、NGSSスタンダードを基にした、STEM教育が展開しているといえる。

(9) まとめ

ここまで、調査を進めてきて明確になってくることとして、ミネソタ州の教育政策としてSTEM教育を取り入れていくことに大きく貢献したのは、2008年から始まった、教育政策として、連邦レベルでのSTEM教育の導入すなわち、「アメリカ競争力法(The America COMPETES Act)」であったと確認できた。また、アイオワ州においては、州知事令が大きな影響力があったといえる。こちらは、全国州知事連合会があり、2007年7月20日に「イノベーションアメリカ；最終レポート」が出版され、STEM教育を進展させることにより、全米の経済の活力が生まれることが示されている。もちろん、この状況をさらに進めることになるのが、NGSS(2013)であり、「STEM教育法」(2015)であることは、間違いないことである。」ミネソタ州での科学スタンダードとしてNGSSを導入するのは2018年であるとの回答も今回確認できた。

以上、本報告書では、21世紀型スキルとSTEM教育改革の完成性について展開してきたが、まとめとして言えることは、STEM教育改革に示されているSTEMスキルは、それ以前の21世紀型スキルを、科学・技術・工学・数学の領域横断的な学習内容に適応して進化させた内容であり、よりイノベーションが起りやすい内容への転換された内容で

あることがわかる。

我が国が、21世紀型資質・能力をまとめ、深い学び、主体的な学び、対話的な学びとしたが、科学技術系の理科や技術科等の教科の21世紀型スキルは、STEMリテラシーの観点から、日本の文脈に対応して再構築をする必要があることが明らかとなった。

「引用文献・参考文献」

- America Competes Act of 2007(2007). H.R.1867
- Achieve (2013). Next Generation Science Standards. <http://www.nextgenscience.org/>
- Bybee, R. W. (2013). The Case for STEM Education, Challenge and Opportunities.NSTA Press, Arlington, Virginia.
- Kolodner, J.L.(2009). Learning by Design’s framework for promoting learning of 21st century skills, Presentation to the Workshop on Exploring the Intersection of Science Education and the Development of 21st Century skills, National Research Council.
- Krajcik, J.S. and Sutherland, L.(2009). IQWST Materials: Meeting the challenges of the 21st century. Paper prepared for the Workshop on Exploring the Intersection of Science Education and the Development of 21st Century Skills, NRC.
- 熊野善介(2012), 中学校理科の教育課程が目指す学力, 第3章第2節, 今こそ理科の学力を問う-新しい学力を育成する視点-, 日本理科教育学会編著, 東洋館出版社, 98-105.
- 熊野善介(2014), 科学技術ガバナンスの形成のための科学教育論の構築に関する基礎的研究、最終報告書.
- MN P-20 Education Partnership(2011). STEM Achievement Gap Strategic Planning Workgroup Final Report. http://www.mnp20.org/working_groups/documents/December152011WorkingGroupReport-STEMAchievementGapFinal3Report.pdf
- National Academy of Sciences(2007). Rising Above The Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future, Committee on
- National Governors Association(2007). Innovation America: A Final Report, <https://www.nga.org/cms/home/nga-center-for-best-practices/center-publications/page-ehsw-publications/col2-content/main-content-list/innovation-america-a-final-repor.html>
- National Research Council(2010). Exploring the Intersection of Science Education and 21st century Skills, Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2011). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. Committee on a Conceptual
- National Research Council (2013). Next Generation Science Standards: For States, By States. Washington, DC: The National Academies Press, 2013.
- NSTA (2010). Teaching Science and Technology in the Context of Societal and Personal Issues, NSTA Position Statement, Adopted by the NSTA Board of Directors, July 2010. <http://www.nsta.org/about/positions/societalpersonalissues.aspx>
- 文部科学省 (2004). 平成 18 年度版科学技術白書—これからの科学技術と社会— http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa200401/index.html
- 文部科学省(2011). 平成 23 年度版 科学技術白書—社会とともに創り進める科学技術— http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa201101/1302926.htm
- P-16 Education Partnership STEM Instruction Workgroup(2009). Improving STEM Instruction in MN.; http://www.mnp20.org/documents/Final_Report_5-27-09clean-1.pdf
- Roehrig, Gillian H., Moore, Tamara, J., Wang, Hui Wang, and Park, Mi Sun (2012). Is Adding the Enough? Investigating the Impact of K-12 Engineering Standards on the Implementation of STEM Integration, Volume 112, Issue 1,p31-44.
- STEM Education Act of 2015(2015). Public Law 114-59-Oct.7.2015
- United States Department of Education (2010). A Blueprint for Reform, The Reauthorization of the Elementary and Secondary Education Act, , March 2010.

米国の科学教育

—これまでとは異なる潮流を目にして—

田代直幸
常葉大学大学院

(1) はじめに

平成 28 年 9 月 20 日～27 日（米国滞在は 9 月 21 日～26 日）まで、科学研究費助成を受けて米国のワシントン州とミネソタ州を訪れる機会を得た。米国での STEM（Science Technology Engineering Mathematics）教育の現状を把握しにいくためである。そこでインタビュー調査及び教育実践の様子と過去に米国を訪問したときの情報などをもとに、これまでの米国の科学教育とは異なる側面をみたと感じたので、そのことをまとめておきたいと思う。

(2) 研究資金の提供（Funding）と公平性（Equity）

1) 2010 年の米国視察

2010 年 5 月にカルコン（日米文化教育交流会議）主催の「日米理科教育専門家対話」で、米国視察（ワシントン DC）に行く機会があった。当時は、文部科学省の教科調査官という立場で出席させてもらったが、米国からの出席者には米国の教育省の担当官や NSF（National Science Foundation）の担当官も出席していた。

2) 研究資金の提供

「日米理科教育専門家対話」の中で話題にあがったことの一つに研究資金の提供についてのスタンスの違いがあった。NSF の資金提供の場合、教育関係でも研究のオリジナリティ重視だということだった。しかし、教育現場では研究した内容を学校現場で活用してこそ、研究の意義がある。だから、過度にオリジナリティを重視してしまうことが、学校現場への普及という点で課題が残ってしまうのではないかと NSF の担当官に質問した。回答としてはまさにそこが課題であるが、なかなかこれまでの方向性を変えるのが難しいということであった。

一方、日本の場合、学校現場や初等中等教育の先生方への研究資金が提供された場合、開発されたものは、過去に取り組みされた教育実践の焼き直しだったり、開発した教材が過去のを多少改善したレベルの教材だったりすることがある。児童生徒への教材提供の場合には著作権も緩和するためか、本当の意味での開発やオリジナリティの確保がされていないことがある。また、初等中等教育の先生方には研究資金を獲得するための書類の書き方や研究資金を受けた際の研究のやり方をきちんとシステムとして学ぶ機会が与えられていない。

この「日米理科教育専門家対話」の場において、日米の研究資金の提供の方法及び行われた研究に対する評価にはかなりの違いがあることを改めて気付くことができた。研究である以上オリジナルな部分を明確にする必要はあるだろう。しかし、一方で学校現

場等での普及を考えないと資金提供した意義が薄れてしまう可能性も高くなる。生物の進化の適応度ではないが、日米の教育の研究基金の在り方と評価の在り方は、日本のやり方と米国のやり方の中間地点あたりに最適な解があるような気がした。

3) 米国の教育の変化

アメリカ合衆国の憲法により、公教育に関する権限は州に委ねられている。しかしながら、近年の米国の動きにはそれに反するものがある。荒井克弘ら（2006）の調査によれば、ブッシュ大統領の際の「No Child Left Behind Act」（どの子ども置き去りにしない法）以降、全米学力調査（NEAP）も州の説明責任を果たす方法道具としての役割を担うようになってきている¹⁾。2001年以降、「No Child Left Behind Act」と全米学力調査が結び付けられるようになってきているのである。そういう意味で、国のレベルで教育の質保証が注目されるようになってきている。ただし、2010年時の「日米理科教育専門家対話」の際の教育省の担当官との話の中でも、何度となく「国で様々なことを提案しても各州がそれに応じてくれるかは定かではないんだよ」とすごく失望した様子で話す姿をみることができた。そして、前年の2009年に就任したばかりのオバマ大統領の教育政策により教育が大きく変わることを期待している様子であった。その後、米国でも国語（英語）や算数・数学については、Common Core State Standard が作成され、明瞭でしかも一貫したフレームワークがつくられるようになってきている。それを追いかけるように、理科教育においても NGSS (Next Generation Science Standards) が作成された。

州としての独自性は維持しつつも、国全体で目指す枠組みや理念などを共有する動きが従前よりもみられるようになってきていると感じる。

4) 公平性 (Equity)

今や、主要な先進諸国にあっては理数教育を重視していない国はない。それは、グローバル社会の中で理数教育を重視しない国は生き残れないと判断しているからであろう。そういう世界の状況にあって、米国の理数教育である「STEM教育」も動いている。これまでの米国であれば、「STEM教育」というのは優れた児童や生徒の才能教育を彷彿させるような用語と捉えるのが当然であろう。いわゆる Gifted Student とか、Talented Student などを英才教育していくようなイメージである。今回の訪問でもそのような場面を多く見ることを想定していた。

しかし、訪問したワシントン州でも、ミネソタ州でも、状況はどうも異なる様相を示していた。どちらの州でも「Equity」（公平性）というキーワードが語られることが多かった。米国には多くの州があり、州の独自性が保たれているので、即断はできないが、米国における「STEM教育」は「高き者をより高める」英才教育というよりは、教育における方向性としては日本でいうところの「裾野を広げる」教育に近いといえるようだ。開きすぎた教育の格差を是正しながら、理数教育の層を厚くして裾野を広げることで、高度な科学技術系人材を育成するという方向性をとっていると感じた。

(3) Practices と「探究活動」

1) STEM教育と NGSS の3つの柱

STEM はかなり包括的な概念であり、国としての戦略的な取組である。その STEM

の教育面、理数教育についていえば大きく関係するのが、NGSS (Next Generation Science Standards) である。NGSS は「A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas」を取りまとめた米国研究協議会 (NRC; National Research Council) が理数関連団体等に呼びかけてまとめたスタンダードである。その理数系団体の一つが NATA (National Science Teachers Association) であることが内ノ倉真吾ら (2014) によって報告されている²⁾。NGSS には、Crosscutting Concepts, Disciplinary Core Ideas, Science and Engineering Practices の3つの柱がある。Crosscutting Concepts とは「原因と結果」のように物化生地のような領域にとらわれない、領域を横断するような概念で、こういう視点をもつことで、科学の一貫した見方ができるようになることを目指して設定されたものである。また、Disciplinary Core Ideas というのは、科学や工学などの学問上の鍵となる考えである。そして、Science and Engineering Practices というのは、科学者やエンジニアが実際に行っていることを追体験することと捉えればよいだろう。

2) Practices

学習科学の研究者であるソーヤー(2016)によれば、ある領域の専門家と類似した学習活動に取り組むことで生徒はより深い知識を学ぶという学習科学の知見から、より真正な実践 (Authentic Practice) が教育スタンダードの基本原理となっている³⁾。すなわち、STEM 教育や NGSS で Practice が重視される背景には、科学者が自然界をどのように追究し、エンジニアがシステムをどのようにデザインし構築しているのかを、児童や生徒が実際に専門家の振る舞いを体験することで科学や工学について深く学ぶことを意図していると考えられる。

3) 日本の「探究活動」

日本の高等学校の学習指導要領の理科に、「探究活動」が位置付けられている。これはもともと昭和 40 年代後半の理数の現代化の際に、主として米国や英国のカリキュラムを参考にして導入した「科学の方法」の遺産ともいえるものである。小中学校では、多数の観察・実験が実施されるのに、高等学校となるとその数が減ったり、観察や実験をあまり実施しない教師がいたりすることから、観察や実験の重視の方針のもと、平成元年から位置付けられたものである。

【物理 I B】

「イ 「探究活動」においては、各項目の学習活動と関連させながら観察、実験を行うとともに、観察、実験を通して、仮説やモデルの設定、推論、条件制御、測定、数的処理、データの分析・解釈、法則性の発見など、物理学的に探究する方法を習得させ、創意ある研究報告書を作成させること。」⁴⁾

本来、観察や実験そのものが探究の過程の中に位置付けられるものであるが、ともすると観察や実験が探究の過程の中で必然的に生じてくるものというよりは、ある知識や概念の定着のために実施されたり、授業のまとめとしての検証実験として行われたりしているという実態があった。そこで、探究とはどういうものなのか、どういうステップを踏んで真理にせまっていくのか、実際に流れを追って経験するというのが「探究活動」である。ある意味「探究」というお作法を学ぶことを意図してつくられたものといえる。したがって、米国の NGSS で強調されている Practices もねらいとしては、かなり近い

面もある。「探究活動」も Practice も、科学者が普段どのように真理を追究しているのかを実体験してみるとというのがその狙いとるところである。

4) Practices と「探究活動」の違い

Practices と「探究活動」には、決定的に異なる面もある。一つは、日本では工学的なアプローチは、高等学校ではほとんどないということである。小学校には「ものづくり」があるので、授業の展開を工夫すれば工学的なアプローチを行うことは十分可能であるが、その視点は弱い面がある。

また、Practices は科学者やエンジニアのふるまい、プロセスをそのものについて経験することを重視していると思われるが、日本の「探究活動」の場合では探究のプロセスを生徒に踏ませながら、探究の技能的な部分に焦点を当て、技能的な習得を目指している面が強い。

(4) おわりに

日本では平成 28 年度版学習指導要領の案が 2017 年 2 月 15 日に公表された。平成 10 年頃に吹き荒れた地方分権の流れはかなり縮小して、近年は教育行政に関しては中央集権の流れに戻ってきていると感じることが多い。国や政府が教育をコントロールすることにはそれなりのメリットがあるのは事実である。また、米国のように多様化が進みすぎての中央集権化には仕方がない面もあるだろう。しかし、元々日本のように国の中央集権性が強い国では、個々の学校現場の多様性を担保していくことに政策を傾注していくことが、結果として教育を豊かにしていくと思われる。生物の進化に学べば、多様性がなくなったときに、生物の絶滅が起こっている。教育の多様性、様々な可能性を確保しておくことが、結果として教育を豊かにしていくことにつながるはずである。米国の行っている施策と日本の施策の中間地点あたりに最適な教育の在り方があるのだろう。

参考文献

- 1) 荒井克弘ら (2006) 「全米学力調査 (NEAP) の研究 (研究報告)」 教育ネットワーク研究室年報、No.6、pp.135-142pp.1-13
- 2) 内ノ倉真吾ら (2014) 「アメリカにおける STEM 教育推進の活動事例報告—アイオワ州での取り組みに着目して—」 日本科学教育研究会研究報告 Vol.29 No.1
- 3) R.K.ソーヤー編著 (2016) 『学習科学ハンドブック [第二版] 第 2 巻』 (北大路書房)
- 4) 文部省 (1989) 『高等学校学習指導要領』

アメリカにおける STEM 教育の研究学会の現状

International STEM Education Association, STEM Expo 2016 の調査に基づいて

畑中敏伸
東邦大学

はじめに

アメリカにおいては STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)教育の重点化が取り組まれている状況の中、様々な研究大会や学会が開催されている。本稿では、2016年10月9日から11日に、アメリカミズーリ州ブランソンで行われた International STEM Education Association の開催する STEM Expo 2016 に参加し調査した結果に基づいて、STEM教育の現状と今後の研究の可能性を示す。

(1) 主催者、日程、開催地、テーマについて

主催者の International STEM Education Association は、非営利組織であり、代表はアーカンソー大学の健康教育学部 (College of Education & Health Professions) , カリキュラム教授学科 (Department of Curriculum and Instruction) 長の Michael Daugherty である。アーカンソー州、カンザス州、オクラホマ州、ミズーリ州での STEM インテグレーションを実践してきているネットワークを生かし、STEM Expo を開催することとなった。

日程は、2016年10月9日より11日で開催されたが、2016年10月9日は主に TEECA の南西地区のコンペティション、10月10日から11日が STEM Expo という日程であった。

STEM Expo は毎年この時期に開催され、2016年が5回目の開催であった。開催地は、ミズーリ州のブランソン (<https://www.branson.com/>) の Branson Convention Center であり、過去の開催でも同じ会場を使っている。ブランソンは、コンベンションセンターがある他に劇場とテーマパークもある観光地であり、交通の便がよく参加者が集まりやすく、運営者のアーカンソー大学からも遠くない。施設と交通の便などの運営面を考慮すると、学会の開催に適した開催地であると言える。

テーマは Hands-on Science, Technology, Engineering, Mathematics であった。参加者は、米国内の25の州と地域からと、7カ国からの参加者とのことであった。

(2) ワークショップ形式の発表

学会での発表はすべて、ワークショップという形で行われていた。参加者である教師にとって「体験を通して学んだことを持ち帰り、すぐに実践してもらいやすくなる」という利点が案内の中で強調されていた。1回80分のハンズオンワークショップでは、研究の成果のみを発表するのではなく、実際の工作・実験や話し合いなどを含む形での発表形態であった。2日間で6回の開催時間が設けられ、12会場で行われたため、計72の発表が行われた。発表が同時時間帯に行われることにより希望するワークショップに参加できないことを避けるために、同一の発表者が2回発表していたものもあった。発表者は、大学教員や学校教員に加えて、展示業者によるワークショップも含まれていた。

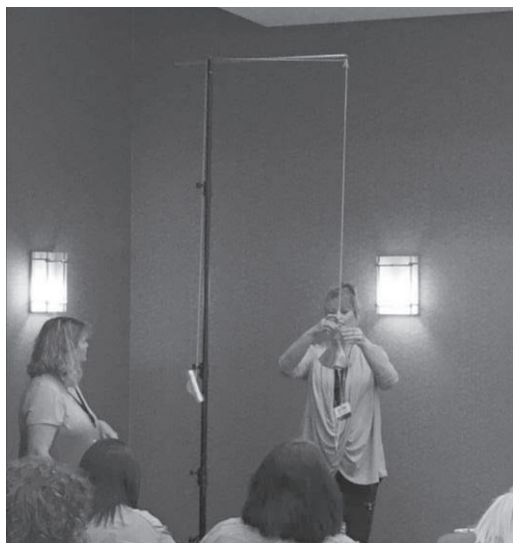


図1 パラシュート教材の演示



図2 家の模型作りに関する実践報告

図1は教員が、展示企業の1つであるPITSCO社のパラシュートの教材を使った授業実践報告の様子である。他にも、ロケット、車などPITSCO社より教材がなされ実際に作成できるワークショップもあった。図2は、中学校教員が生徒に家のデザインをさせる授業実践のワークショップの様子である。ワークショップの時間内には、実際に参加者に家の模型を作成させていた。このように様々な学校での教育実践がワークショップを含む形で発表されていた。

学校段階は、小学校から高校まで幅広いが、比較的小学校を対象としたものが多い。発表では、科学のスタンダードであるNGSS(Next Generation Science Standard)においてエンジニアリングデザインが含まれていることから、科学の授業の中でエンジニアリングデザインの側面を取り入れた授業実践の報告、小学校でのSTEM教科を含む教科統合的な授業実践の報告、英語を母国語としない生徒や貧困家庭の生徒へのSTEM教育の効果や教育実践の発表、プログラミングを扱った教育実践など、発表の内容は多様であった。このように、多様な形でSTEMの発表が行われていたことは、発表者間のSTEMの捉え方は多様であり、STEM教育には必ずしも統一された共通認識がないという現状が推察される。

(3) 展示について

様々な理科、テクノロジー、エンジニアリングに関する教材の展示が行われていた。主な展示は、zSpace(3Dバーチャルリアリティーのデジタル教材, <http://zspace.com/>), EVERFI(デジタル教材, <http://everfi.com/>),



図3 ブロックを用いたSTEM教材の展示

PITSCO(理科, エンジニアリング, テクノロジー教材, <https://www.pitsco.com/>), NWA 3D(3D プリンター, <https://www.nwa3d.com/>), NEW DIMENSION MEDIA(映像教材のストリーミング配信, <http://mysrusa.com/>), DEPCO(エンジニアリング/テクノロジーの教材, <https://www.depcollc.com/>)である. その他に, 大学が大学院を紹介するブースなどもあった.

(4) STEM 受賞式について

最終日の閉会式を兼ねた昼食会では, STEM 教育の実践者を表彰する賞が授与されていた. 賞は, Max E. Lundquest Rising Star STEM Educator Award, STEM Excellence Award, STEM Champion Award, の3賞であった.

(5) 大学生向けの問題解決の競技会

初日の10月9日には, TEECA 南西地区の競技会が開催された. TEECA(Technology & Engineering Education Collegiate Association)は, テクノロジーとエンジニアリング教育の教員を目指す大学生のための団体(<http://www.teeca.org/about-us-c12ff>)である. 団体が開催する競技会形式のイベントに大学生が参加する目的は, チームワークを身につけ, 技術とエンジニアリングへの関心を高め, 問題解決に取り組み, プロジェクトマネジメントを学び, デザインや問題解決に取り組む生徒チームのコーチの仕方を学ぶことができると説明されている. 9日の競技会では, 参加大学の学生がそれぞれ1時間から1時間半の, 製造コンテスト, 授業コンテスト, STEM 問題解決チャレンジ, 技術問題解決チャレンジに参加し, 参加者の中で競い合うことを通してテクノロジーとエンジニアリングを学ぶ様子が見られた.

おわりに

International STEM Education Association の開催する STEM Expo 2016 について, 今後の STEM 教育研究との関連で考えた場合には, 次のような調査研究の可能性が考えられる.

- 1) 表彰事例を調査し, アメリカでの STEM 教育実践のよい事例を明らかにする.
- 2) アメリカの教員を対象した1回80分のワークショップの実践研究を行う機会とする.
- 3) TEECA のテクノロジーとエンジニアリングの競技会での課題の事例を明らかにする.

STEM Expo 2016 へ参加し, 参加者である教員や教育関係者の STEM への関心が高いということと, 参加者と発表者が多いのは様々な財源により STEM 教育が活発に行なわれているためではないか, という感想を持った.

謝辞

本研究報告は JSPS 科研費 16H03058 の助成を受けた.

米国の公教育における環境 STEM (eSTEM) 教育の取組

—米国における eSTEM 教育の取組動向の把握と ミネソタ州における eSTEM 教育実践校の事例研究を通して—

佐藤真久

東京都市大学

2017年3月10日現在

(1) はじめに

米国（以下、当該国）では、「危機に立つ国家 (Nation At Risk)」報告書（1983年）の影響を受け、国際社会において経済的なイニシアティブを取る基礎条件として、イノベーション創出を重視する科学技術施策が施行された。とりわけ教育・人材育成分野では、Common Core と称される数学教科と英語に関する教育とともに、科学・技術・工学・数学 (Science, Technology, Engineering, Mathematics; STEM) 教育（以下、STEM 教育）が推進されている。長洲（2013）の報告書にあるとおり、STEM 教育が、2007年の米国競争力法 (America Competes Act, PL. 110-69) に法的、行政的に位置付けられて以来、科学・技術・工学・数学分野での国際的競争力を維持し、発展するための教科横断的な新たなパラダイムとして STEM 教育改革の推進が具体的に示された。この STEM 教育改革は、1960年代から1970年代にかけての科学教育改革、スプートニクショック後に展開した科学教育改革に匹敵するもの、あるいはそれ以上の科学・技術・工学・数学教育改革として位置付けられている (Bybee 2013)。

これまでの当該国における科学教育と環境教育の関係性を振り返ると、時代ごとに科学教育と環境教育の連関に濃淡が見られる。当該国における環境教育は、3つの母体（ネイチャースタディ、自然保全教育、野外教育）を源流に有するが、科学教育との強い連関は、1957年のスプートニクショック（1957年）の影響により制定された国防教育法（1958年）に基づく科学教育振興施策（初等教育段階における自然教育：野外教育・自然保全教育／中等教育段階におけるエネルギー教育・環境教育、1970年初頭まで）や、環境教育法（1970-1983）にみられる1977年以降のエネルギー環境教育の位置づけなどに見られる。1980年代の科学教育は、本格的な STS 教育の普及に伴い、科学教育が技術的、社会的文脈と関連づけられて議論が深められるとともに、日常生活の諸問題との関連づけや意思決定、科学的教養を有した市民性向上にむけた教育的取組が行われるようになった。しかしながら、1990年代には、理数科教育の向上を目的とした「2000年のアメリカ教育戦略」（1991年）と同時期に、「全米環境教育法」（1990年－1996年）が制定されているものの、科学の探究を軸とし、直接学力の向上に影響をもたらす科学教育と、自然体験や環境行動を重視し学際的で教科横断的な特性をもつ環境教育とでは、各々が持つ特性上、十分に有機的連関が構築されない時代も見られた。近年では、「K-12 科学教育フレームワーク」（2011年）に基づき発表された次世代科学スタンダード (Next Generation Science Standards: NGSS)

(2013年)は、統合領域や教科横断型の教育実践として「STS や環境教育」の観点も色濃く含まれた次世代型の領域・教科横断的な教育改革モデルであると言える(熊野2016a)。このように、当該国における科学教育と環境教育は、時代のニーズや社会背景と連動して、相互の関係性が変化してきていることが窺える。近年のSTEM教育では、芸術分野を組み入れたSTEAM(科学・技術・工学・芸術・数学)教育¹や環境分野を組み入れたeSTEM²(環境・科学・技術・工学・数学)教育の取組も見られる。

(2) STEM教育の位置づけと日本におけるSTEM教育に関する研究動向

STEM教育の定義を希望する声は多いものの、未だ明確な定義づけがなされておらず、科学的な用語にはなっていないとの指摘(Yager 2015)がなされている。ERICシソーラスでは、原則として用語の意味を、ディスクリプタの上位語や下位語、あるいは、関連語を表示して、そのディスクリプタの意味を示している。また、こうした階層表示では十分に意味が示せない場合、人によってその言葉の意味が異なる可能性がある場合には、スコープノート³によってディスクリプタの意味を限定している。スコープノートは、ディスクリプタを限定した意味で使用し、その他の意味を排除するために付されるものである。ERICのシソーラスにおける、STEM教育に関するスコープノートを調べてみると、表1のとおり記載がなされているが、「STEM(科学、技術、工学、数学)を教えること」としか書かれておらず、また、関連用語としては、工学教育、数学教育、科学教育、技術教育と書かれるだけに留まっており、明確な定義になっていないことが窺える。

表1: STEM教育のスコープノート (ERIC Thesaurus : <https://eric.ed.gov/>)

- 対象語:STEM Education
- スコープノート:Refers to the teaching of science, technology, engineering and mathematics. Where appropriate, use in conjunction with Descriptors dealing with preparing students for careers in related fields, e.g. "Science Careers".
- カテゴリー: Curriculum Organization
- 広義語:Education
- 狭義語:N/A
- 関連語:Engineering Education, Mathematics Education, Science Education, Technology Education

熊野(2014)は、当該国において発表された次世代科学スタンダード(Next Generation Science Standards; NGSS)(2013年)に基づき、米国の科学教育の新しいフレームワークとして、その特徴を図1としてまとめている。図1によると、科学

¹ 芸術分野を組み入れたSTEAM教育の取組としては、韓国における事例報告が見られる。韓国における、STEAM教育は、理科学的思考に芸術的思考を取り入れることで、創造的思考力を備えた全人教育が育成できるとし、国家教育政策として、理科学分野と芸術分野の融合教育を推進している。詳細は、安藤・金(2014)を参照されたい。

² 当該国では、環境分野を組み入れたSTEM教育を「eSTEM教育」と称しているため、同様の用語を使用する。

³ 特に日常の使用において曖昧に解釈されている語や、辞書によって多様な意味が示されている語の場合は、スコープノートで定義を示すことが望ましいと指摘されている。詳細は、中山ら(1983)を参照されたい。

教育の目標として、(a) すべての生徒が科学の美しさと不思議さを賞賛することができる、(b) 科学・工学に関係する複雑な課題に科学・工学の知識をもって関わるができる、(c) 日常の生活において、科学と工学の知識の注意深い消費者となる、(d) 生涯をとおして、科学・工学・技術を学び続けることができる、(e) 個人の意思で仕事を選ぶ技能を形成する、があり、子どもの発達段階に基づいた理解と学習の進展が、各次元で存在している点を指摘している⁴。さらには、これらの目標にむけて、7つの共有する大切な概念（パターン、原因とその影響、スケール・比・量、システムとモデル、エネルギー構造と機能、安定性と変化）と、4つの領域の核となる概念（物理学と化学、生命科学、地球と宇宙科学、工学・技術・応用科学）、科学と工学の体験的・経験的活動が重要であるとしている。

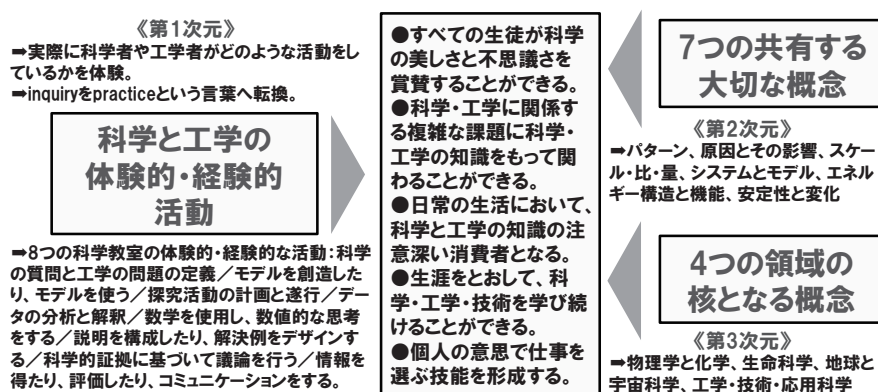


図1：米国の科学教育の新しいフレームワーク（熊野 2014）

さらに STEM 教育におけるカリキュラムの構築には、科学的探究プロセス (Scientific Inquiry Process) だけではなく、工学的デザインプロセス (Engineering Design Process) の重視が窺える。具体例としては、Purdue University Research Foundation (2015) の「定義づける (define)、学ぶ (learn)、計画する (plan)、試行する (try)、試験する (test)、決定する (decide)」や、Carson-Dellosa の「尋ねる (ask)、想像する (imagine)、計画する (plan)、創造する (create)、改善する (improve)、コミュニケーションをする (communication)」、Starbase Minnesota (2016) の「定義づける (define)、研究する (research)、開発する (develop)、選択する (choose)、創造する (create)、試験し評価する (test & evaluate)、コミュニケーションをする (communication)、再デザインする (redesign)」が見られる。科学的な質問と根拠づけ、工学的な問題の定義づけ、モデルの創造と活用、探究活動の計画と遂行、数理的な思考、評価に基づく改善、といった STEM 教育の学習プロセスにおける特徴が見られる。このように、STEM 教育の実施において、各教科に見られるこのような工学的デザインプロセスには、各分野において多様な活動の段階があることが Vasquez ら

⁴ 熊野 (2016b) は、全米科学教師連盟 (National Science Teachers Association; NSTA) の事務局長である David L. Evans 博士に対して、「NGSSとSTEM教育との関係性」についてインタビューを実施している。David L. Evans博士は、「NGSSとSTEM教育には整合性がある、STEM教育は、科学的考えと工学的実践を統合・融合することである」、と述べている。さらに、NGSSとSTEM教育を実践する課題として、科学教育の質的向上と工学的デザインの訓練の必要性を述べている。

(2013) により報告されている (図 2)。

本稿では、上記を踏まえ、STEM 教育を、「実社会における課題発見と課題解決に向けて、科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関によってなされる実践的な学習プロセス」と位置づけることとしたい。

	Science	Engineering	Technology	Mathematics
Practice1	疑問をもつ	問題を明確にする	社会が依存する技術システムの広がり気づく	問題に気づき、それを解くことに励む
Practice2	モデルをつくり、用いる	モデルをつくり、用いる		数学とともにモデルを扱う
Practice3	調査を計画し、実行する	調査を計画し、実行する。	新しい技術をどのように使うかについて利用可能になるたびに学んでいく	戦略的に必要なツールを利用する。
Practice4	データを分析し解釈する	データを分析し、解釈する		精度を求める
Practice5	数学を用いて計算的思考をする	数学を用いて計算的思考をする	科学や工学の発展に技術がどのような役割を果たしているのかについて認識する	抽象的にそして量的に論じる
Practice6	説明を構築する	製品をデザインする		構造体を探し、利用する
Practice7	証拠にもとづいた議論を展開する	証拠にもとづいた議論を展開する	社会や環境との関係性をもたらす技術について情報にもとづいた決定を行う	実現可能な理論をつくりあげ、他の推論の批判をする
Practice8	情報を手に入れ、評価し、交流する	情報を手に入れ、評価し、交流する		度重なる推論の上で規則性を探し、それを表明する

図 2 : STEM 各分野の活動の段階

Vasquez ら (2013) に基づき齊藤・熊野 (2015) 翻訳・作成

日本における STEM 教育に関する研究は、STEM 教育の基礎となる当該国における科学教育政策や法案に関する研究 (長洲ら 2014 ; 長洲 2016 ; 熊野 2016a ; 熊野 2016b)、当該国におけるエネルギーリテラシー教育と NGSS、STEM 教育の関連に関する研究 (長洲ら 2017 ; 出口ら 2017)、州による活動事例報告 (内ノ倉ら 2014 ; 石崎ら 2013)、州主導によるスタンダードの内容構成 (内ノ倉ら 2013 ; 出口ら 2013)、などが見られる。近年では、日本における STEM 教育の理論と実践に関する研究も見られており、STEM 教育を志向する理科授業の内容構成 (原ら 2013 ; 吉野ら 2012 ; 郡司 2015)、次期学習指導要領とエネルギー教育の関連についての研究 (熊野 2016d ; 奥村ら 2017)、日本独自の STEM 教育の理論と実践モデルの構築 (熊野 2014) などの報告がなされてきている。しかしながら、日本における eSTEM 教育に関する研究はなされていない。

(3) 本研究の概要

本研究は、当該国における近年の科学教育改革と環境教育関連施策、STEM 教育の概要を踏まえたうえで、当該国の公教育における環境 STEM (eSTEM) 教育の取組の動向を把握し、当該国のミネソタ州における eSTEM 教育実践校の事例研究を行うものである。具体的には、(a) 全米環境教育スタンダードの概要の把握、(b) eSTEM 教育関連文献の計量書誌学的分析、(c) eSTEM 教育実践校への視察・調査 (2016 年

9月20日－29日)による取組事例の分析を行った。これらの研究を通して、当該国におけるeSTEM教育の取組動向の特徴の抽出、日本の学校教育への示唆について考察を深めるものである。

とりわけ、「(a) 全米環境教育スタンダードの概要の把握」については、eSTEM教育を考察する際の基礎的な背景として、NGSSとSTEM教育の概要の把握(前述)とともに、全米の環境教育スタンダード(1999年完成、2004年改訂)の概要について把握することを行った。「(b) eSTEM教育関連文献の計量書誌学的分析」については、当該国の教育省が管理・運営するERICデータベース⁵を利用し、「Environmental Education」と「STEM Education」を検索語とし、該当する両検索語を文献主題もしくは抄録文に有する文献(以下、eSTEM教育関連文献:48文献⁶)を対象とし、その関連文献の文献特性の把握(収録年、ディスクリプタの頻度、対象とする教育レベル)を行った。「(c) eSTEM教育実践校に関する事例研究(視察・調査)」については、当該国のミネソタ州におけるeSTEM教育実践校への視察・調査(2016年9月20日－29日)による取組事例の分析を行った。本稿では、School of Environmental Studies at the Minnesota Zoo (Apple Valley, Minnesota)、McKinley Elementary STEM School (Owatona, Minnesota)、Willow Creek Intermediate STEM School (Owatona, Minnesota)を、eSTEM教育実践校の事例対象校として取り扱った。対象とするeSTEM教育実践校の事例においては、カリキュラム(教育課程の編成・実施)、キャンパス(学校運営・校舎と校庭)、コミュニティ(地域連携)、所属州における教育施策としての意味合い、に基づいて考察を行った。

(4) 全米環境教育スタンダード(1999年完成、2004年改訂)の概要

当該国において、教科の本質的な内容を抽出し、全米レベルのスタンダードや州のスタンダードを作成しようとする動きは、NGSS(2013年)のみならず、各教科で見られている。環境教育においても全米の環境教育スタンダード(1999年完成、2004年改訂)が作成されている。北米環境教育連盟(NAAEE)は、1993年に「環境教育における卓越性のための全米プロジェクト」を立ち上げ、素案(1995年)を受けて、1999年に完成している(2004年には改訂案が発表)。全米の環境教育スタンダードの作成においては、各教科スタンダードの内容及び作成経緯の研究に基づいてなされており、環境教育の体系と各教科の体系との関連づけを行っている。本プロジェクトでは、教育内容のスタンダードである「環境教育における卓越性－学習のためのガイドライン(K-12)」、教材の評価基準である「環境教育教材－卓越性のためのガイドライン」、良質な環境教育教材を紹介した「質の高い環境教育教材への案内シリーズ」、教育者が備えるべき知識・能力について規定した環境教育者の養成と専門的機能開発の

⁵ ERICとは、米国の教育関係分野の発展のために教育関連の研究や情報の提供を行う組織である。1966年に設立された米国教育省(DOE:Department of Education)から補助を受け、全米教育図書館(National Library of Education)によって管理されている。ERICでは世界中の英語で書かれた教育関連の文献を迅速に収集している。データベースの利用者が包括的な情報源の中から教育に関連するテーマやトピックについての重要文献を速やかに入手できるようにすることがねらいである。そのため、主要なテーマやトピックごとに情報分析を行い、抄録や索引、解説、書評等を作成し二次資料を編集することによって必要な最新情報が確実に速やかに教育現場に取り入れられることを主要目的としている。

⁶ 検索語を「ESTEM」、「eSTEM」とし、該当する検索語を文献主題もしくは収録文に有する文献数は0であった。

ためのガイドライン」、社会教育において行なわれる環境教育の質についての基準である「社会教育における環境教育プログラム—卓越性のためのガイドライン」といった多数の全米レベルの環境教育スタンダードを作成している。

表 2：全米の環境教育スタンダードの特徴（荻原 2011）

- | |
|---|
| <p>①広範な内容—学習の結果、獲得される知識だけでなく、知識を主体的に獲得していく技術(スキル)や知識を活用する過程で必要な技術、環境への責任を重視しており、非常に広範な内容にわたったものとなっている。</p> <p>②教科スタンダードとの対応—環境教育スタンダードの各部分が教科の全米スタンダードのどの部分に対応しているかが明記され、環境教育の体系と教科の体系の関連づけを行っている。教科スタンダードとの関連づけが行われている教科は、英語、美術、音楽、公民(市民と政府)、経済学、地理、歴史、数学、理科、社会科である。</p> <p>③環境教育のこれまでの研究の集大成—環境教育の目的・内容の体系を包括的に記述しようとする試みは、環境教育スタンダード以前にも何回か行われている。なお、環境教育スタンダードの基礎となった研究として、シモンズ(前 NAAEE 会長)が言及しているのは、トビリン宣言(1977年)、ハンガーフォード(1980年)、イオッツィ(1990年)、マルチンコウスキー(1991年)、ウイスコンシン環境教育センター(1992年)、ロス(1992年)、環境リテラシーコンソーシアムである。</p> <p>④多様性と過程の重視—全般を通じて、環境に関わる問題に対して、1つの正しい解決の方法があるという観点ではなく、むしろ環境問題には異なった意見、権利間の対立、複数の解決案が伴うという観点が記述されており、相互の見解の交流を通じてそれらを調整していくことが強調されている。ここには、多様な観点から環境に関わる問題を吟味するという多様性の重視と、問題を扱う過程を重んじる過程重視の考え方が表れている。しかし、多様性が尊重されているとはいえ、価値相対主義の立場を取っているとはいえない。「多くのアメリカ市民に共有され、アメリカを統合している価値」、「共通に受け入れられている市民の権利と責任」の重要性が同時に強調されており、あくまで市民の自由や権利、民主主義といったアメリカの基本的価値観に裏付けられた上での多様性である。</p> <p>⑤行動の重視—「意思決定と市民行動の技術」という副テーマが設定され、また「個人としての責任」の領域にも自己の行動の評価が含まれている。感性や知識といった、伝統的な教育でも重視されてきた部分だけでなく、行動を求めていることがこのスタンダードの特徴の一つである。行動を重視するアメリカの環境教育の考え方を継承している。</p> |
|---|

全米の環境教育スタンダードは、4つの主領域から構成されており、それは、(a)「問題の設定と分析および解釈の技術」領域、(b)「環境を構成する過程とシステムについての知識」領域、(c)「環境問題を理解し、処理する技術」領域、(d)「個人として、市民としての責任」領域、である。「(a) 問題の設定と分析および解釈の技術」領域については、学習者が探究すべき問題を見つけ、それに関する情報を集め、集められた情報を組織化して解釈を加え、説明するという一連の過程から構成されている。「(b) 環境を構成する過程とシステムについての知識」領域については、「物理システムとしての地球」(地学、物理学、化学的内容に該当)、「生物環境」(生物学的内容に該当)、「人間と社会」(個人と集団、文化、政治経済システム、地球規模のつながり、変化と対立)、「環境と社会」(人間と環境の相互作用、場所、資源、技術、環境問題)という4つのサブテーマから構成されている。「(c) 環境問題を理解し、処理する技術」領域については、現実の環境問題を学び、評価し、その解決に向かって行動する技術が明記されており、環境問題を同定し、「分析する技術」(問題の分析、問題の持つ意

味の整理、複数の解決案、行動計画の同定と評価、柔軟性と創造性と率直さを持って学ぶ)、「意思決定と市民行動の技術」(個人の意見の形成と評価、市民行動の必要性の評価、行動の計画と実行、行動の結果の評価)、という2つのサブテーマから構成されている。「(d) 個人として、市民としての責任」領域については、「社会的価値と原理の理解」、「市民の権利と責任の認識」、「有効性の認識」、「個人的責任の認識」の4つのサブテーマから構成されている(荻原 1999)。上記を踏まえ、荻原(2011)は、表2のとおり全米の環境教育スタンダードの特徴として整理している。

STEM教育(実社会における課題発見と課題解決に向けて、科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関によってなされる実践的な学習プロセス)は、とりわけ、全米の環境教育ガイドライン(表2)の「(a) 問題の設定と分析および解釈の技術」領域、「(b) 環境を構成する過程とシステムについての知識」領域において、接点が見られる。実社会における課題発見と課題解決にむけて、その学習プロセスを重視し、実践的な学習スパイラルとして継続的に深化させるものとして、NGSSと環境教育スタンダードをつなぐeSTEM教育の実践は、大きな意義があるといえよう。

(5) eSTEM教育関連文献の計量書誌学的分析

eSTEM教育に関する二次文献研究(計量書誌学的分析)⁷を通して、eSTEM教育関連文献の収録年を見てみると、2008年に初めて収録が開始されて以来、計48文献が収録されていることが明らかになった⁸。とりわけ、2011年以降は、毎年10文献弱程度の文献が継続的に収録されていることが窺える(表3)。尚、収録文献数と経年変化については、現データだけからでは十分な解釈ができず、今後の継続的な研究が必要とされている。さらに、eSTEM教育関連文献に見られるディスクリプタを見ると、上位に頻出するディスクリプタとして、「科学教育(Science Education):14」、「外国(Foreign Countries):13」、「科学的指導(Science Instruction):12」、「持続可能な開発(Sustainable Development):11」、「教授法(Teaching Methods):9」、「探究(Inquiry):8」、「学習者の参画(Learner Engagement):8」、「生徒の態度(Student Attitudes):8」が挙げられる(表4)。頻度6位(実質的には、上位1-2が検索語のため4位)には、「持続可能な開発(Sustainable Development):11」が頻出しており(表4)、従来の環境教育で指摘されている環境科学、環境保護・保全、環境管理の文脈を超えた「持続可能性」に関する視点がeSTEM教育関連文献にはあることが読み取れる。さらに、eSTEM教育関連文献が対象とする教育レベルとして、中等教育以上(Higher Education:21, Secondary Education:18, Postsecondary Education; 17)となっている文献が多いことが明らかとなった(表5)。これは、当該国のSTEM教育推進施策に見られる、STEM教師の養成・任用の取組(例:K-12教育段階における教師教育プログラムである“100 Kin 10”)や、高等教育機関との連携プログラム

⁷ 本稿では、計量書誌学的分析をしているが、今後は、対象文献やWeb等の公開資料の詳細なレビューが必要とされている。

⁸ 検索語を「STEM Education」にすると、5,594文献が収録されていた(2017年2月26日現在)。「Environmental Education」と「STEM Education」の両方を検索語として有するeSTEM関連文献が48文献と圧倒的に少ないことから、STEM教育関連文献は、環境教育と関連づけて議論がなされているのではないことが読み取れる。なお、芸術分野と関連づけたSTEAM関連文献数は301文献となった。

(例：数学・科学パートナーシッププログラム) などの取組が中等教育以上を対象としており、これらの取組によるものだと推測されるが、現データからだけでは十分な解釈ができず、今後の継続的な研究が必要とされている。

表 3 : eSTEM 教育関連文献の収録年

収録年	頻度
2008	1
2009	0
2010	3
2011	9
2012	6
2013	7
2014	7
2015	7
2016	6
2017	2
合計	48

表 4 : eSTEM 教育関連文献に見られる
ディスクリプタの頻度 (上位 20 位)

	ディスクリプタ	頻度
1	Environmental Education	48
1	STEM Education	48
3	Science Education	14
4	Foreign Countries	13
5	Science Instruction	12
6	Sustainable Development	11
7	Teaching Methods	9
8	Inquiry	8
8	Learner Engagement	8
8	Student Attitudes	8
11	Case Studies	7
12	High School Students	6
12	Interdisciplinary Approach	6
12	Science Curriculum	6
12	Science and Society	6
12	Secondary School Science	6
12	Sustainability	6
12	Undergraduate Students	6
19	Climate	5
19	Conservation (Environment)	5
19	Earth Science	5
19	Ecology	5
19	Hands on Science	5
19	Middle School Students	5
19	Pretests Posttests	5

表 5 : eSTEM 教育関連文献の
対象教育レベル

	教育レベル	頻度
1	Higher Education	21
2	Secondary Education	18
3	Postsecondary Education	17
4	Elementary Education	12
5	Middle Schools	11
6	Elementary Secondary Education	10
7	High Schools	7
7	Junior High Schools	7
9	Adult Education	2
10	Early Childhood Education	1
10	Grade 5	1
10	Grade 7	1
10	Grade 8	1
10	Intermediate Grades	1
10	Two Year Colleges	1

(6) eSTEM 教育実践校における事例研究⁹

1) School of Environmental Studies at the Minnesota Zoo (Apple Valley, Minnesota)

1960年代の急速な都市化に伴い人口増加が見られるなかで、広大な動物園の敷地横に設立された高等学校である。当該校では、伝統的な授業 (Elective Course)、専門科目 (Intensive Course)、環境・社会科学・自然科学・英語 (Home Course) の学習コースを編成している。カリキュラムでは、環境へ焦点化した課題設定等について二人で探求活動を行うなどの教育活動が見られる。学校のキャンパス自体、周囲に森に囲まれているだけでなく、校内においても動物飼育がなされている点に特徴が見られる。校外においても、生徒のデザインによる風力発電の設置、生徒と地域住民による市民農園の管理・運営などがされており、地域住民との交流の場として機能している。

2) McKinley Elementary STEM School (Owatona, Minnesota)

50%程度が貧困層に属する児童生徒を抱え、英語を母国として有しない児童生徒が25%いるなかで、STEMに興味のある保護者が、本校への児童生徒の入学を強く希望している (入学児童生徒が500名から600名に増加)。成長のためのマインドセット (Growth Mindset)¹⁰、協働、質問の投げかけ、統合を促すものとして、教科横断的なSTEMの実践を行っている。STEM教育は目的ではなく、多文化社会に対応し、変化を生み出す学習機会 (STEM as an opportunity to change) として位置付けられている。また、“STEMification” という用語を用いることで、各教科・領域における取組に、学習プロセス (問題の発見、調査、デザイン、創造、試行、改善) を内在化させている。STEM教育の強みは、学習プロセスのみならず、統合的、協働的、継続的側面があるほか、学校全体としてのしくみとして機能する点があるとしている。具体的には、ICT技術を生かした数学、キャリア教育、芸術や歴史、校庭における氷河で運ばれた石を活かしたビオトープづくりなどに、各教科や学習活動に学習プロセスの内在化が見られる。地元企業 (BOSCH) による、STEMに関する現職教員研修プログラムが提供されているとともに、地域との連携・協働による学校運営が実施されている。

3) Willow Creek Intermediate STEM School (Owatona, Minnesota)

45%が無料の昼食サービスを受け、英語を母国として有しない児童生徒が15%いる、400名程度の生徒が就学する中等学校である。当該校では、eSTEM教育の実践をしている。eSTEM教育の導入時は、所属する教師 (60名程度) はやる気を見せていなかったが、今日では、教師自身が協働的になっており、教師の意欲・態度に大きな変化が見られている。eSTEM教育を通して、地域の課題を発見し、課題解決に関わることは、児童生徒の変容を促すだけでなく、教師自身の変容を促している。多文化社

⁹ ミネソタ州では、NGSSを受容する形で教育が行われており、また、実践内容については、各校に高い裁量権を持たせてSTEM教育が実施されている。今後、ミネソタ州の教育政策との連関について、事例の考察を深めることが必要とされている。

¹⁰ 例として、「失敗は進展のもと」、「成功への道は一步から」などの用語を通して、主体者意識や学ぶ意欲を高めている。

会である当該校においては、教師自身にも多様性が重要であり、職場環境づくりにも公正性が求められる。生徒が、各教室を移動することを通して、生徒を同質的に取り扱わない点も、多文化社会に対応する学校運営であると述べている。校内の壁には、工学的デザインプロセス（尋ねる、想像する、計画する、創造する、改善する）と、7つの習慣（能動的になる、計画をもつ、実践する、相互の成功を考える、傾聴してから話をする、協働する、バランスを考える）が樹木の絵として提示されているだけでなく、年間授業カレンダーにおける教科間の連関マップの作成を通して、教科間の関係性の強化と教師間のコミュニケーションが図られている。

（7） 考察～当該国における eSTEM 教育の特徴

1) 統合領域や教科横断型の eSTEM 教育実践

eSTEM 教育の特徴の一つとして、まず挙げられるのが、統合領域や教科横断型の教育実践である点が挙げられよう。これは、STEM 教育法（2015）に位置づけられている三分類（単一の STEM 分野、複数の STEM 分野、統合された取組）（House of Representative, 2015）の「統合された取組」として位置付けられよう。環境教育が、日本における「総合的学習の時間」や、英国における「クロスカリキュラム」において、統合領域や教科横断的に教育実践がなされているように、eSTEM 教育は、統合領域や教科横断型の教育実践として取り扱われている。近年の環境教育は、1970 年代から指摘されている「自然と科学に基づく環境教育」から、1980 年代後半の「持続可能な開発」の概念を受けて、1990 年代の環境・人口・開発（Environment, Population and Development, EPD）、1990 年代後半からの「環境・経済・社会」といった複合的な領域へと扱うテーマが拡大してきている（図 3）。近年は、持続可能な開発のための教育（Education for Sustainable Development, ESD）へと概念が発展し、より統合領域や教科横断型の教育実践として位置付けられている。

国立教育政策研究所教育課程センターは、近年、環境教育指導資料（幼稚園・小学校編）（2014 年）、環境教育指導資料（中学校編）（2016 年）を発表している（国立教育政策研究所教育課程センター 2014；国立教育政策研究所教育課程センター 2016）。環境教育指導資料（幼稚園・小学校編）（2014 年）、環境教育指導資料（中学校編）（2016 年）では、双方ともに、学習指導要領の改訂を踏まえ、ますます各教科、道徳の時間、外国語活動、総合的な学習の時間及び特別活動それぞれの特質等に応じ、環境に関する学習を展開する必要があるとし、また、各学校段階において、ESD の視点から様々な課題を多面的、総合的に取り扱う具体的な学習活動を一層強化していくことが、環境教育に求められている点が強調されている。さらに、環境教育指導資料（中学校編）（2016 年）では、「・・もとより環境教育は広範囲で多面的、総合的な内容を含んでおり、各学校、各教科等を通じた横断的・総合的な取組を必要としています。そのため、学校における環境教育は、以前から特別の教科等を設けることは行わず、各教科、道徳、総合的な学習の時間及び特別活動の中で、それぞれ特性に応じ、また、相互に関連させながら学校の教育活動全体の中で実施するようにしています。このことを踏まえて、各学校においては、環境教育に関する指導計画等を作成する際、各教科等を

通じた横断的・総合的な取組を進めることが重要であり・・・」と記載されており、日本において、環境教育が統合領域や教科横断型の教育実践として位置付けられていることが理解できよう。

熊野 (2016c) は、STEM 教育の実践において、領域横断的で、学習者の日常との接点があるものとして、エネルギーや環境に関わる問題や課題は、これらの資質・能力の向上を促すうえでも、学習テーマとして最適な内容であると述べている。

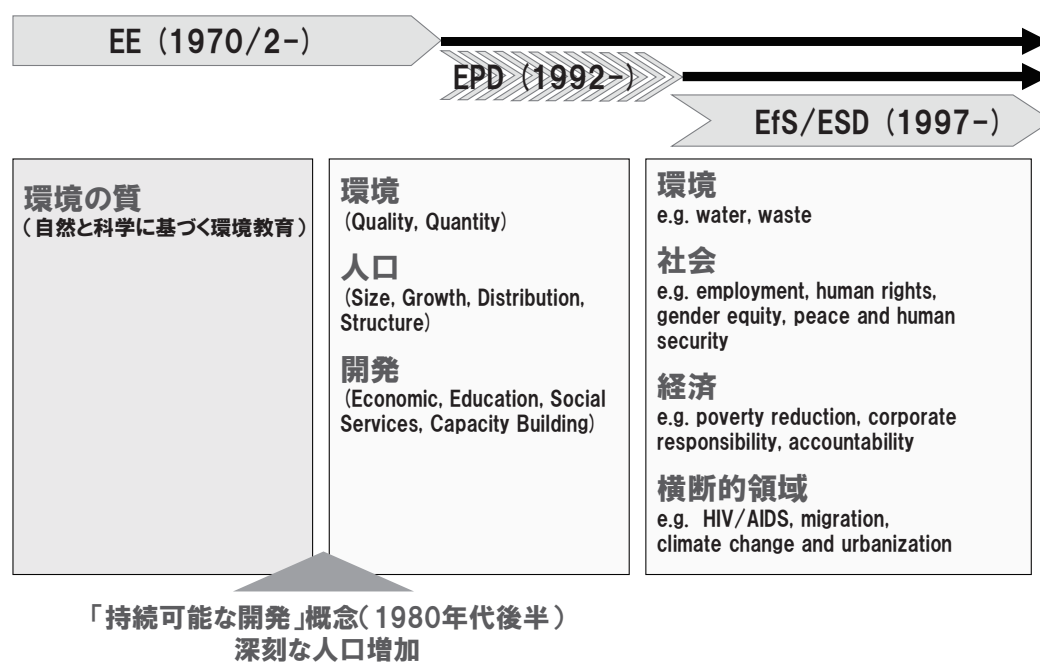


図 3：環境教育のテーマの拡大 (佐藤 2006)

2) 「持続可能性」に関する価値規範や構成概念の内在化に資する eSTEM 教育実践

eSTEM 教育の特徴の次に挙げられるのが、「持続可能性」に関する価値規範や構成概念の内在化に資する教育実践である点が挙げられよう。eSTEM 教育関連文献の計量書誌学的分析により、eSTEM 教育関連論文において「持続可能な開発」がディスクリプタとして頻出していることも踏まえると (表 4)、従来の環境教育で指摘されている環境科学、環境保護・保全、環境管理の文脈を超えた「持続可能性」に関する視点が eSTEM 教育関連文献にはあることが読み取れる。これは、(a) 教育的、社会的、政治的側面をリンクさせた「持続可能性」を主とした環境教育としての位置づけ¹¹ (図 4)、(b) 一連の ESD の議論の中で議論がなされてきた資質・能力論「持続可能性キー・コンピテンシー」¹² (図 5) で指摘されている「規範的キー・コンピテンシ」¹²、(c)

¹¹ Tilburyら(2005)は、国際的なレビューを通して、1970年代に見られる知識伝達を重視した「環境についての教育」、1980年代に見られるフィールドでの体験学習を重視した「環境の中での教育」、1990年代に見られる行動・態度を重視した「環境のための教育」というように、環境教育の概念に歴史的な進展があることを述べている。とりわけ、1990年代以降の環境教育概念には「行動に基づくアプローチ(Action Oriented Approach)」に特徴があるとし、実社会における教育的側面(学びと反省)、社会的側面(協働・協議的行動)、政治的側面(集合的意思決定)をリンクさせた総合的取組の重要性を指摘し、様々な実践的アプローチ(交渉、説得、ライフスタイルの選択、政治的関与等)による社会への関与を強調している。

¹² Wiek *et.al.* (2011)は、持続可能性に関する国際的な議論と文献レビューを通して、「持続可能性研究・問題解決の統合的枠組」を構築し、概念の分類化研究により、5つのキー・コンピテンシ(システム思考、予測、規範、戦略、対人関係)を提示している。

国立教育政策研究所のESD 枠組(図6)における「持続可能な社会づくりの構成概念」(例:多様性、相互性、有限性、公平性、連携性、責任性)¹³との接点を意味している。このことから、環境教育とSTEM教育と関連づけるeSTEM教育は、近年の環境教育/ESD¹⁴において議論がなされている「持続可能性」に関する価値規範や構成概念の内在化に資する取組¹⁵であるといえよう。

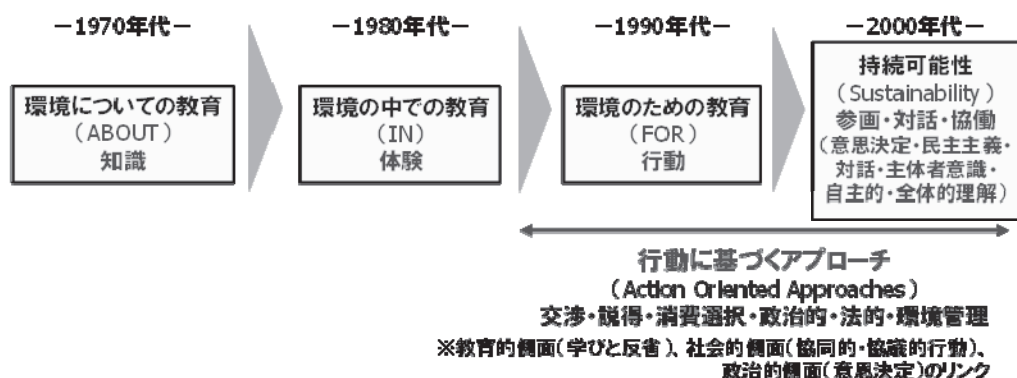


図4: 環境教育の歴史的進展 (Tilbury, D., et. al. 2005.)

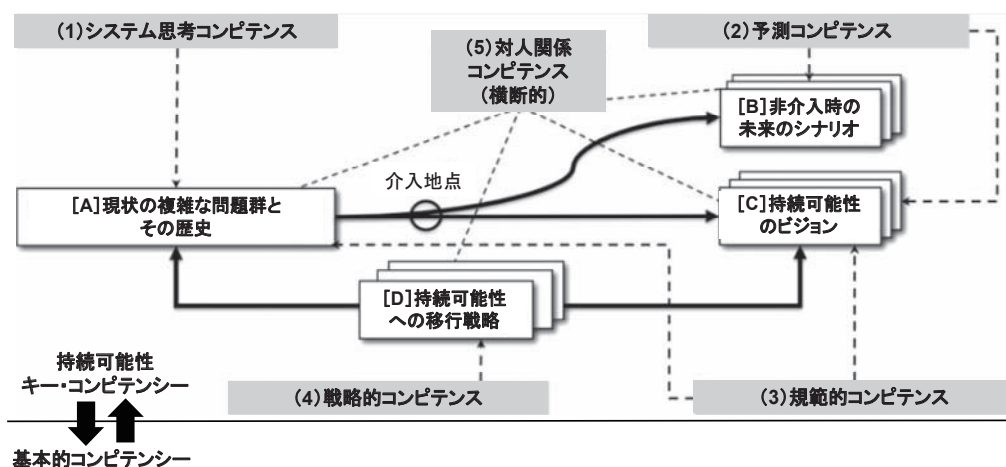


図5: 持続可能性における5つのキー・コンピテンシーと持続可能性研究・問題解決の統合枠組 (Wiek et.al. 2011)

¹³ 提示されている構成概念は、事実概念(多様性、相互性、有限性)と規範概念(公平性、連携性、責任性)として整理がされている。佐藤・岡本(2015)は、国立教育政策研究所のESD枠組を紹介しつつ、「持続可能性キー・コンピテンシー」(Wiek et.al. 2011)の関係性について論考をまとめている。

¹⁴ 持続可能な開発のための教育(Education for Sustainable Development)の略称。国連は、2005年から2014年を「国連・持続可能な開発のための教育の10年」計画を立ち上げ、統合的、文脈的、批判的、変容的側面を重視した、教育の質の向上にむけた国際的取組を展開した。

¹⁵ 当該国のAAC&U(Association for American Colleges and Universities)では、STEM教育関連プロジェクトとして、エネルギー問題や環境保全、気候変動等、実社会のサステナビリティに直結する“Big Question”をテーマとし、関連教育開発を推進するプロジェクト(Sustainability Improves Student Learning in STEM, SISL in STEM)が実施されている。詳細は、<https://www.aacu.org/pkal/sisl> を参照されたい。大学における取組としては、サステナビリティ副専攻プログラムの構築(Winona State University)、サステナビリティ教育学位プログラム(Arizona State University)などがある。

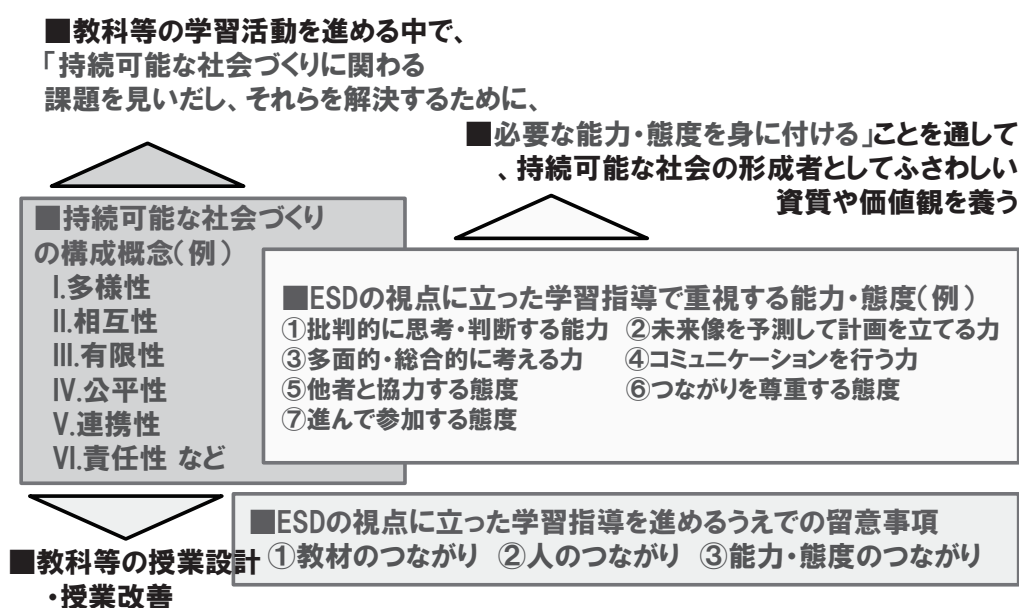


図 6：学習指導における ESD 枠組（国立教育政策研究所 2012）

3) 地域の課題発見と課題解決を促す eSTEM 教育実践

eSTEM 教育の特徴の一つとして、次に挙げられるのが、地域の課題発見と課題解決を促す教育実践である点が挙げられよう。これは、環境教育において、環境に関する知識・技能の獲得を目的とした「環境についての教育 (about)」¹⁶と、フィールド体験による感受性の向上を目的とした「環境の中での教育 (in)」¹⁷と、地域課題の解決を目的とした「環境のための教育 (for)」¹⁸、参画・対話・協働を促す「持続可能のための教育 (sustainability)」¹⁹のアプローチの連関を意味していると言えよう (図 4)。学校において獲得した知識・技能と学校近辺や地域のフィールド体験、地域課題の発見・解決に向けた協働の場とを連関させることは、STEM 教育で強調されている「実社会における課題発見と課題解決に向けて、科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関によってなされる実践的な学習プロセス」との整合性が見られる。事実、本稿において取り扱った実践事例校における eSTEM 教育の取組が、学校近辺や地域のフィールド体験、地域課題の発見・解決に向けた協働的な教育実践となっていることから、地域における eSTEM 教育の重要性が見られる。とりわけ、本稿で取り扱った、School of Environmental Studies at the Minnesota Zoo (Apple Valley, Minnesota) では、近隣の動物園の獣医師や飼育員等の専門家との協働による教育が行われており、飼育技術や繁殖技術などの生命科学技術教育やキャリア教育、市民農園の管理・運営による地域住民との交流の場としても機能している点で、地域におけ

¹⁶ 機械論的アプローチ／特徴：環境についての知識の教授、機械論的、客観主義的、非文脈的、体系的な知の移転、定量的／教育者の役割：知の伝達／学習者：知の受容者

¹⁷ 解釈論的アプローチ／特徴：フィールドでの体験学習、解釈論的、構成主義的、文脈的、体験からえられる、直感的・個人的な知、定性的、場の力／教育者の役割：フィールド体験のオーガナイザー／学習者：フィールド体験による能動的学習者

¹⁸ 批判論的アプローチ／特徴：環境改善のための行動と参加、共同的、文脈的、改造主義的、共同的追及から得られる知、定性的、場の力／教育者の役割：協同の参加者・追求者／学習者：新しい知の能動的創造者

¹⁹ 参画・対話・協働の重視(意思決定・民主主義・対話・主体者意識・自主的・全体的理解)

る STEM 教育としての特徴が見られる。McKinley Elementary STEM School (Owatona, Minnesota) では、校庭における氷河期時代の石を活かしたビオトープづくりなど、学校周辺の地理的文脈を活かした教育実践が行われているとともに、ビオトープづくりの活動においても工学的デザインプロセスの内在化が見られる。また、Willow Creek Intermediate STEM School (Owatona, Minnesota) では、多文化社会における多様な児童生徒を対象に、地域課題の発見、課題解決にむけた取組が行われているだけでなく、各教科への工学的デザインプロセスの内在化が見られる。さらに、そのプロセスにおいて、学習プロセスと協働的な課題解決に向けた習慣（前述）の獲得を目指している点に特徴が見られる。

このように、eSTEM 教育は、当該国の STEM 教育においては主流ではないものの、学校周辺や地域というフィールド環境を活かすことと通して、実社会における課題発見と課題解決に向けて、科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関を効果的に機能させており、STEM 教育の質的向上に資するものと言えよう。視察・調査をした他の STEM 教育実践校においても、学校周辺や地域というフィールド環境を活かしている事例が多く、eSTEM 教育の導入のし易さを窺うことができる。

4) 科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関がもたらす環境教育の深化

eSTEM 教育の特徴の一つとして、更に挙げられるのが、科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関がもたらす環境教育の深化が挙げられよう。STEM 教育の特徴（実社会における課題発見と課題解決に向けて、科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関によってなされる実践的な学習プロセス）は、とりわけ、全米環境教育スタンダードの「(a) 問題の設定と分析および解釈の技術」領域、「(b) 環境を構成する過程とシステムについての知識」領域と接点が見られる。自然体験や環境行動を重視し、学際的で教科横断的な特性をもつ、これまでの環境教育は、その性格上、体験と行動を重視しがちであったが、STEM 教育の特徴（実社会における課題発見と課題解決に向けて、科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関によってなされる実践的な学習プロセス）と連関することで、連邦議会の中で根強くある「客観的かつ適正な科学」に基づく環境教育への指向（下村 2008）に対して応え得る潜在性と可能性を有していると言えよう。また、eSTEM 教育は、質的側面においても、これまでの環境教育をさらに深化させる潜在性と可能性を有していると言える。

5) 教育改革のツールとしての eSTEM 教育実践

eSTEM 教育の特徴の一つとして、最後に挙げられるのが、教育改革のツールとしての教育実践である。Bybee (2013) の指摘のとおり、STEM 教育は、1960 年代から 1970 年代にかけての科学教育改革、スプートニクショック後に展開した科学教育改革に匹敵するもの、あるいはそれ以上の科学・技術・工学・数学教育改革として位置付けられている。その一方で、環境教育も当該国の教育改革の一つのツールになり得る²⁰ことが強調されている。Archie (2003) は、環境教育は、学校と教師に負担を

²⁰ 北米環境教育連盟(NAAEE)の前会長のSimons(1995)は、「環境教育は、グローバル経済の中で、競争していくことのできる、環境について素養のある市民を育成することを目的とする」と述べるとともに、環境教育の学際性が教科の学力を高めることが

増やし、新しい要素を増やすものでなく、カリキュラムの要素を再編成し、焦点を与える「強力で柔軟なツール」になり得ると強調している。さらに、環境というテーマをめぐって、体験的な学習、問題解決的な学習、児童生徒の主体性を重視した学習、児童生徒の学習スタイルに適合した教育を構築でき、その結果として学力の向上や規律の改善が可能になるとしている。当該国においては、学力テストでの成績及び規律の問題（マイノリティや貧困層の児童、欠席率、ドロップアウトの問題など）において、環境教育の有用性を指摘していることを踏まえると、「おちこぼれを作らないための初等・中等教育法（NCLB：No Child Left Behind Act）」（2001年）（教育における経済機会、グローバルな競争、平等及び社会的正義の融合）²¹²²の流れをもつ STEM教育と、環境教育のツールとしての特性（上述）を兼ね備えた eSTEM教育は、その後の Every Student Succeeds Act（2015年）制定における環境教育の明記に伴い²³、今後、大きな実現可能性を有している²⁴ことが窺える。

（8） 考察～日本の学校教育への示唆

1）資質・能力観としての STEM 教育

2015年8月に中央教育審議会教育課程企画特別部会から発表された「論点整理」では、3つの資質・能力の枠組みとして、「何を知っているか、何ができるか（個別の知識・技能）」、「知っていること・できることをどう使うか（思考力・判断力・表現力）」、「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか（学びに向かう力、人間性等）」とした。「論点整理」に記載されている次期学習指導要領の方向性は、諸外国で展開されている「21世紀型能力」を含めたさまざまな学力観を検討してまとめあげられており、課題の発見・解決にむけた主体的で協働的な学びの重要性を指摘している。このように、STEM教育の特徴（実社会における課題発見と課題解決に向けて、科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関によってなされる実践的な学習プロセス）は、獲得すべき資質・能力観としても、大きな示唆を与えている。

2）教科横断型のカリキュラムの編成と実施における工学的デザインプロセスの活用

次期学習指導要領では、その理念を実現するために必要な方策として、「カリキュラム・マネジメント」の重要性が掲げられている。具体的には、(a) 各教科等の教育内

できるとし、教育改革の主目的の1つである国際競争力向上への環境教育の有用性を強調している。また、2001年の論文では、環境教育が、アイデアの分かち合いや持続的探究の喚起による、いきいきとした学びの共同体の発展を支援できること、現実世界の文脈と問題を提供し、そこから概念やスキルを学習できることを挙げて、教科の学力向上に大きく寄与できると述べている（Simmons 2001）。

²¹ 知識基盤社会への移行環境下において、平等と社会的正義を達成し、貧困と低学力の悪循環を断ち切ることによる、経済機会の創出と国際競争力の向上を図ることを目的としている。詳細は、Gruenwald, D.A., *et.al.* (2007)を参照。

²² NCLB導入後、学力向上と学力格差の縮小は着実に実現しつつあるとの報告がなされているが、その一方で、数学・英語重視策、標準テスト重視策が、教師の自律性の喪失、数学・英語以外の教科の脆弱化、野外学習・経験教育・プロジェクト基盤型学数・地域に基礎を置く学習などの衰退、といった副作用も顕在化していることが指摘されている。詳細は、荻原(2011)参照。

²³ ESSA(2015年)では、英語・数学以外の教育分野にも配慮がなされ、環境教育もその重要性が明記されている。詳細は、https://naaee.org/sites/default/files/eeepro/resource/files/ee_in_essa_fact_sheet_2.5.16.pdf を参照されたい。

²⁴ 2007年頃からは、NCLB(2001年)における、カリキュラムの矮小化、自然欠乏症、子どもの肥満などの問題に対して、また、学力向上に資する環境教育の充実、市民的・職業的教養を育む環境リテラシーの充実などを掲げ、No Child Left Inside（子どもを屋内に閉じ込めないための初等中等教育：NCLI）運動が続いている。NCLI連盟には、2011年で2097団体が加盟をしている。詳細は、<http://www.cbf.org/ncli/landing>を参照。

容を相互の関係で捉え、学校の教育目標を踏まえた教科横断的な視点で、その目標の達成に必要な教育の内容を組織的に配列していくこと、(b) 教育内容の質の向上に向けて、子どもたちの姿や地域の現状等に関する調査や各種データ等に基づき、教育課程を編成し、実施し、評価して改善を図る一連の PDCA サイクルを確立すること、(c) 教育内容と、教育活動に必要な人的・物的資源等を、地域等の外部の資源も含めて活用しながら効果的に組み合わせること、が重要であるとしている²⁵。

齊藤・熊野(2015)は、「STEM が統合された学習環境」の整備を提案しており、新しいパラダイムとしての超領域的カリキュラムの構築²⁶に向けて、STEM 教育が有する潜在性と可能性を述べている(齊藤・イルマンら 2017)。これらの指摘は、アイオワ州知事の STEM 教育諮問委員会(Iowa Governor's STEM Advisory Council)において、STEM 教育を各学問分野の頭字語であると述べている一方で、各学問分野を実社会の文脈において関連づける学際的なアプローチであるとし、また、STEM 分野の内容を統合的に学習する方法ととらえている(Iowa Governor's STEM Advisory Council 2017)²⁷²⁸ことから、その重要性が読み取れる。

従来であれば、クロスカリキュラムに見られるように、教科間に共通するテーマの設定が見られたが、STEM 教育が各教科において浸透することは、その学習プロセスにも整合性が取られることを可能にし、テーマ設定の有無にかかわらず教科横断型のカリキュラムの編成と実施を可能にさせると言えよう。

(9) おわりに

本研究では、当該国における近年の科学教育改革と環境教育関連施策、STEM 教育の概要を踏まえたうえで、当該国の公教育における eSTEM 教育の取組の動向を把握し、当該国のミネソタ州における eSTEM 教育実践校の事例研究を行うものであった。そして、これらの研究を通して、当該国における eSTEM 教育の取組動向の特徴の抽出、日本の学校教育への示唆について考察を深めるものであった。STEM 教育の特徴的は、実社会における課題発見と課題解決に向けて、科学的探究プロセスと工学的デザインプロセスの連関によってなされる実践的な学習プロセスであることである。従来の環境教育では、図 4 の通り、知識伝達型 (about)、フィールド体験型 (in)、行動・態度型 (for) といったアプローチが採用されているが、近年では、参画・対話・協働を促す「持続可能のための教育」(sustainability) が求められている。eSTEM 教育は、これらのアプローチを連関させるだけでなく、地域の課題発見と課題解決に向けて、

²⁵ 文部科学省、http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/siryo/attach/1364319.htm (2017年2月25日アクセス)

²⁶ 和田(2015)は、サイエンス思考の根幹は、(1)対象をよく観察し、(2)性格で十分な情報(データ)を取り出し、(3)データ間の因果関係をつなぐ論理を見つけて、(4)対象を理解し説明する最適の解決・解答(仮定、モデル)を出す、(5)高度に技術化された社会を、その仮定、モデルに基づいてスムーズに運転する、(6)将来を見通して、予想、予言し、未来を開拓する、であるとし、世の中のすべてが、サイエンスの考え方で理解し、処理できると指摘している。

²⁷ Iowa Governor's STEM Advisory Council, <http://www.iowastem.gov/about> (2017年2月26日アクセス)

²⁸ STEM教育について、Iowa Governor's STEM Advisory Councilは、Tsuproら(2009)の定義：“...an interdisciplinary approach to learning where rigorous academic concepts are coupled with real-world lessons as students apply science, technology, engineering and mathematics in contexts that make connections between school, community, work and the global enterprise enabling the development of STEM literacy and with it the ability to compete in the new economy.”に賛同している。

地域における参画、対話、協働を促し、実社会における教育的側面（学びと反省）、社会的側面（協働・協議的行動）、政治的側面（集合的意思決定）をリンクさせた総合的取組にも貢献しようと言えよう。更に eSTEM 教育は、従来の環境教育で指摘されている環境科学、環境保護・保全、環境管理の文脈を超えた「持続可能性」に関する価値規範や構成概念の内在化に資する取組であるいえよう。

今後の日本における STEM 教育のさらなる拡充に向けて、以下の四点に対する配慮の重要性を強調したい。以下の点は、当該国における STEM 関連施策の背景でもあるが、今後の日本において配慮すべき点が多く含まれている。

まず一点目は、キャリア教育との連関を向上させることである。これは、高度な素養をもつ労働力不足に対するものとして位置付けられよう。図 1 での指摘の通り、近年の当該国における科学教育の目標には、「個人の意思で仕事を選ぶ技能を形成する」ことが位置付けられている。これは、科学教育とキャリア教育との接点²⁹を意味している。STEM 教育とキャリア教育との連関を向上させることは、「科学技術ガバナンス形成に資する科学教育」（熊野 2014）、「科学の本質、工学の本質を十分理解し、科学的な証拠と技術の利便性に基づく、リスクを熟知しようとする態度の育成」（萱野 2015）を検討する際にも、相互の連関の重要性は明白であることが読み取れる。今後、国際的に議論が深められている雇用される能力（employability）³⁰と STEM 教育との接点についても更に深めていく必要があるだろう。二点目としては、人種間格差の是正である。これは、移民を含む社会的脆弱層の能力・活躍機会が不十分であることに対するものとして位置付けられよう。日本においては、移民問題はさほど深刻ではないと言われるが、今後、増加しつつある外国籍児童生徒や社会的脆弱層に属する人々（マイノリティ含む）に対する人種間格差は少なからずとも存在すると言える。今後の、日本における人種間格差の是正についても配慮をしていく必要があるだろう。三点目としては、ジェンダーギャップ（性差間格差）の是正である。これは、女性の活躍機会が不十分であることに対するものとして位置付けられよう。UNESCO（2016）は、女性はしばしば STEM 教育において過少評価され、学校生活において低い参加の度合いが見られると指摘し、ジェンダーギャップを是正することの重要性を指摘している。今後、日本における STEM 教育の拡充においては、性差間格差を促す様々な阻害要因³¹の改善を通じたジェンダーギャップの是正が必要不可欠であろう。四点目と

²⁹ 熊野(2016b)は、全米科学教師連盟(National Science Teachers Association;NSTA)事務局長であるDavid L. Evans博士に対して、「STEM教育が求める人材像」についてインタビューを実施している。David L. Evans博士は、引率のエンジニアや博士号を有するような科学者だけではなく、実社会において技術的な訓練水準を満たす人材が必要であるとし、職業訓練としての意味合いもある点を指摘している。

³⁰ 英国のSTEMNETでは、英国内の基盤を置く企業からの意見に基づき、(1)コミュニケーションと対人関係スキル(communication & interpersonal skills)、(2)問題解決スキル(problem solving skills)、(3)自身による主導とモチベーションの維持(using your initiative and being self-motivated)、(4)プレッシャーの下で作業と期日にむけた作業(working under pressure and to deadlines)、(5)物事をまとめていくスキル(organisation skills)、(6)チームワーク(team working)、(7)学習能力・適応能力(ability to learn and adapt)、(8)数的能力(numeracy)、(9)多様性と差異性を価値づける力(valuing diversity and difference)、(10)交渉スキル(negotiation skills)を雇用される能力(employability)として位置付けている。STEMNET, <https://www.stem.org.uk/elibrary/resource/25947> (2017年2月27日アクセス)

³¹ UNESCO(2016)は、STEM教育において、女性の低い参加をもたらす要因として、(1)STEM関連教科における女性教師が少ないこと、(2)STEM関連教科における教師教育においてジェンダーに配慮した研修がないこと、(3)女子生徒間にSTEM教科への興味を刺激する潜在的な資料や道具がないこと、(4)教材や学習資料に未だジェンダーのステレオタイプが浸透していること、(5)ジェンダーに配慮したキャリアカウンセリング、奨学金付与、メンタリングの機会が未だに制限されていること、(6)社会的、教育的または他の要因が、教科の好みやパフォーマンスの受け止め方にジェンダーの差を生み出していること、(7)女

しては、教育システムの整備である、STEM 教育に関する教員数の不足、環境整備や教員職能が不十分に対するものとして位置付けられよう。前述の通り、STEM 教育法（2015）に位置づけられている三分類（単一の STEM 分野、複数の STEM 分野、統合された取組）（House of Representative, 2015）といった多様な形態に応え得るためにも、教育システムの整備が必要とされている。

引用文献

- Archie, M. L. (2003) *Advancing Education through Environmental Literacy*, Association for Supervision and Curriculum Development.
- Bybee, R.W. (2013) *The Case of STEM Education, Challenge and Opportunities*, NSTA Press, Arlington, Virginia.
- Every Student Succeeds Act, S.1177, 114th Cong. (2015). Retrieved from http://edworkforce.house.gov/uploadedfiles/every_student_succeeds_act_-_conference_report.pdf
- Gruenwald, D.A., Manteaw, B.O. (2007) *Oil and Water Still: How No Child Left Behind Limits and Distorts Environmental Education in US Schools*, *Environmental Education Research*, No.13., No.12., pp.171-188.
- House of Representative (2015) *STEM EDUCATION ACT OF 2015*, Pub. L. No.1861 (2015) . The United Nations of America: 42 U.S.C.
- McKinley Elementary STEM School (2016) *McKinley Elementary STEM School*, Leaflet.
- Purdue University Research Foundation (2015) *PictureSTEM*
- Starbase Minnesota (2016) *Stars 1Flight Log (2016-2017)* .
- Simmons, D. (1995) *Environmental Education, Social Studies, and Education Reform*, *Social Studies and Young Learner*, September/October, pp.9-11.
- Simmons, D. (2001) *Education Reform, Setting Standards, and Environmental Education*, In Hungerford, H.R.; Bluhm, W. J.; Volk, T. L.; Ramsey J, M. eds.: *Essential Readings in Environmental Education*, Stipes Publishing, pp.65-72.
- Tilbury, D., Coleman, V. and Garlick, D. 2005. *A National Review of Environmental Education and its Contribution to Sustainability in Australia: School Education*. Canberra: Australian Government Department of the Environment and Heritage and Australian Research Institute in Education for Sustainability (ARIES) .
- Tsupros, N., Kohler, R., & Hallinen, J. (2009) *STEM education: A project to identify the missing components. Intermediate Unit 1: Center for STEM Education and Leonard Gelfand Center for Service Learning and Outreach*,

性は、数学と科学の領域において、高い度合いの不安を経験するかもしれないこと、(8)女子学生は、保護者や教師によってSTEM教科を勉強することをあまり奨励されないこと、(9)労働市場における女性の参加と賃金に未だ不平等が見られること、(10)ジェンダーに対するステレオタイプと規範は、女性をよりSTEMに集中させ、特殊な職業に導くこと、(11)STEM領域における女性の低い参加は、女子生徒に対する女性のロールモデルの欠如を意味すること、を挙げている。

- Carnegie Mellon University, Pennsylvania.
- UNESCO (2016) Closing the Gender gap in STEM, UNESCO Asia-Pacific Education Thematic Brief, UNESCO Bangkok.
- Vasquez, J. A., Comer, M., & Cary, S. (2013) . STEM Lesson Essentials, Grades 3-8: Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics.
- Wiek, A., Withycombe, L. and Redman, C. L. 2011. Key Competencies in Sustainability: a Reference Framework for Academic Program Development, Integrated Research System for Sustainability Science, United Nations University, Springer.
- Yager, R. E. (2015) STEM: A focus for current science education reforms. K-12 STEM Education, Vol.1., No.1., pp.1-4.
- 安藤恭一郎・金正孝 (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』、第 35 号、pp.61-77.
- 石崎友規・齊藤智樹・Irma Rahma Suwarma・今村哲史・熊野善介・長洲南海男 (2013) 「アメリカにおける STEM 教育推進の活動事例報告－アイオワ州での取り組みに着目して」、『日本科学教育学会研究会研究報告』、Vol.29. No.1. pp.87-92.
- 内ノ倉真吾・出口憲・伊藤伸也・熊野善介・長洲南海男 (2013) 「米国の STEM 教育の最新動向 (2) －“Next Generation Science Standards” の基本的な内容構成に着目して」、『日本理科教育学会第 63 回全国大会発表論文集』、p.373.
- 内ノ倉真吾・石崎友規・齊藤智樹・Irma Rahma Suwarma・今村哲史・熊野善介・長洲南海男 (2014) 「アメリカにおける STEM 教育推進の活動事例報告－アイオワ州での取り組みに着目して」、『日本科学教育学会研究会研究報告』、Vol.29. No.1. pp.87-92.
- 奥村仁一・熊野善介 (2017) 「エネルギー教育における STEM 教材を用いた実践的研究」、『エネルギー環境教育』、Vol.11. No.1. エネルギー環境教育学会、pp.36-43.
- 荻原彰 (1999) 「北米環境教育連盟により開発された環境教育の全米基準の特徴」、『科学教育』、Vol.23. No.3. pp.195-202.
- 荻原彰 (2011) 『アメリカの環境教育～歴史と現代的課題』、学術出版会
- 下村英嗣 (2008) 「アメリカ合衆国環境教育法の制度と再授權化動向」、『人間環境研究』、Vol.6, pp.155-168.
- 萱野貴弘 (2015) 『キャリア教育を理科で－学習の有用性の実感とキャリア発達』、静岡学術出版
- 熊野善介 (2014) 「科学技術ガバナンスと STEM 教育－日本におけるガバナンス論とアメリカにおける新たな科学教育改革からの観点」、『科学技術ガバナンス形成のための科学教育論の構築に関する基礎的研究』、最終報告書、基礎研究 (B)、研究代表者：熊野善介、研究課題番号 23300283.
- 熊野善介 (2016a) 「日本における STEM 教育研究の在り方と展望－アメリカの STEM 教育改革の理論と実践を踏まえて」、日本科学教育学会年会論文集 40
- 熊野善介 (2016b) 「最新のアメリカの STEM 教育の展開－第 78 回 ITEEA 国際会と NSTA、STEM 教育連合、TechShop の訪問分析」、『日本科学教育学会研究会研究報

- 告』、Vol.30. No.9. pp.57-62.
- 熊野善介 (2016c) 「第4章：教育の新しい潮流と次期学習指導要領を支えるエネルギー環境教育実践」、『はじめてのエネルギー環境教育』、エネルギーフォーラム、pp.51-62.
- 熊野善介 (2016d) 「理科教育の新しい潮流 (NGSS/STEM) と次期学習指導要領に応えるエネルギー環境教育」、『日本理科教育学会全国大会発表論文集』、No.14.
- 郡司賀透 (2015) 「アメリカの科学教育改革—スタンダードに基づくカリキュラム設計と STEM 教育の振興」、『化学と教育』、Vol.63., No.10., pp480-483.
- 国立教育政策研究所 (2012) 『学校における持続可能な発展のための (ESD) に関する調査研究～最終報告書』
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2014) 『環境教育指導資料—幼稚園・小学校編』、国立教育政策研究所
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター (2016) 『環境教育指導資料—中学校編』、国立教育政策研究所
- 齊藤智樹・イルマン アンワリ・レリ ムタキナティ・熊野善介 (2017) 「新しいパラダイムとしての超領域的カリキュラムの構成概念」 (In Press)
- 齊藤智樹・熊野善介 (2015) 「STEM 教室における分野統合された活動とその評価に関する一考察」、『静岡 STEM ジュニアプロジェクト』、平成 26 年度～平成 27 年度次世代科学者育成プログラム (2014-2015)、研究代表者：熊野善介、pp.32-50.
- 佐藤真久・岡本弥彦 (2015) 「国立教育政策研究所による ESD 枠組の機能と役割—「持続可能性キー・コンピテンシー」の先行研究・分類化研究に基づいて」、『環境教育』、日本環境教育学会、Vol.25., No.1., pp.144-151.
- 出口憲・長洲南海男 (2017) 「米国の STEM 教育、エネルギー省 (DOE) のエネルギー教育 その 2」、『エネルギー環境教育』、Vol.11. No.1. エネルギー環境教育学会、pp.11-18.
- 出口憲・内ノ倉真吾・伊藤伸也・熊野善介・長洲南海男 (2013) 「米国の STEM 教育の最新動向 (1) — “A Framework for K-12 Science Education” の物理科学の内容構成に着目して」、『日本理科教育学会第 63 回全国大会発表論文集』、p.372.
- 中山和彦・三輪眞木子・及川昭文 (1983) 『ERIC 入門』、丸善株式会社
- 長洲南海男・北田典子 (2014) 「米国の STEM (科学、技術、工学、数学) 教育改革運動—科学教育の観点よりその全体的動向」、『日本教科教育学会全国大会文集』、pp.56-57.
- 長洲南海男・出口憲 (2017) 「米国の STEM 教育、エネルギー省 (DOE) のエネルギー教育 その 1」、『エネルギー環境教育』、Vol.11. No.1. エネルギー環境教育学会、pp.3-10.
- 長洲南海男 (2013) 『米国の革新的科学・技術・工学・数学教育の解明—日本の教育改革へのビジョン提言』、最終報告書、基礎研究 (C)、研究代表者：長洲南海男、研究課題番号 24531219.
- 長洲南海男 (2016) 『教科と内容構成新ビジョンの解明—米国・欧州 STEM・リテラシー教育との比較より』、第 1 回中間報告書、基礎研究 (B)、研究代表者：長洲南海

男、研究課題番号 15H03493.

原浩輔・大高泉（2013）「米国における STEM 授業の特質に関する研究－STEM Lesson Plan の分析を中心にして」、『日本理科教育学会関東支部大会研究発表要集』、Vol.52. p.60.

吉野和芳・飯田康広・栗田泰生・瑞慶覧章朝・三栖貴行・金井徳兼（2012）「理科基礎が理解でき、活用できる STEM 的学習教材の開発」、『工学教育研究講演会講演論文集』、日本工学教育協会、pp.556-557.

和田昭克（2015）『サイエンス思考～知識を理解に変える実践的方法論』、株式会社ウエッジ

謝辞

本稿は、「日本およびアメリカにおける次世代型 STEM 教育の構築に関する理論的実践的研究」（研究代表者：熊野善介、基盤研究（B）一般、課題番号 16H030508）の一環としてなされており、作成においては、熊野善介教授（研究代表者）ほか、研究分担者、研究協力者、連携研究者等から多くの助言を受けている。この場を借りて、謝辞を表す。

STEMにおける“Argument”

萱野貴広
静岡大学教育学部

(1) 緒言

STEM; Science, Engineering, Technology, and Mathematics (本稿では, 科学, 工学, 技術, 数学と併せて記す) 各分野での象徴的な活動については, Vasquiz 他(2013)が 8practices としてまとめ紹介している¹⁾. 表1に示した 8practices は, “A Framework for K-12 Science Education(NRC, 2012)”と “Common Core State Standards(Common Core Standards Initiative, 2009)”をもとに作成された. 熊野ら(2014)はこれに対して, 「科学と工学については8つの段階がそろっているのに対して, 技術や数学は独自の段階を踏んでいる」と言っている. 実際に技術分野 (Technology) では4つの practice で表現しているが, いずれも段階毎に STEM の特徴的な活動内容であることに変わりない.

本稿は, これらのうち科学, 工学と数学の7番目の活動に示された“Argument (表1中でアンダーラインを引いた)”に焦点を当て, いくつかの調査結果と専門家へのインタビューを含めたいくつかの調査結果をまとめた報告である.

(2) Argument(Argumentation)

アーギュメント (Argument, 以下, 併記する) は, ジーニアス英和辞典によると“議論や論争”と訳されているが, 通常多くの日本人は, 議論を英訳すると“Discussion”と表現することが多い. 広辞苑によるとその議論とは, 「互いに自分の説を述べあい, 論じあうこと. 意見を戦わせること. またその内容.」とある.

表1 STEM 各分野における活動

Practice	Science	Engineering	Technology	Mathematics
1	Ask questions.	Define problems.	Become aware of the web of technological systems on which society depends.	Make sense and problems and persevere in solving them.
2	Develop and use model.	Develop and use model.		Model with mathematics.
3	Plan and carry out investigations.	Plan and carry out investigations.	Learn how to use technologies as they become available.	Use appropriate tools strategically.
4	Analyze and interpret data.	Analyze and interpret data.		Attend to precision.
5	Use mathematics and computational thinking.	Use mathematics and computational thinking.	Recognize the role that technology plays in the advancement of science and engineering.	Reason abstractly and quantitatively.
6	Construct explanations.	Design solutions.		Look for and make use of structure.
7	Engage in <u>argument</u> from evidence.	Engage in <u>argument</u> from evidence.	Make informed decisions about technology, given its relationship to society and the environment.	Construct viable <u>arguments</u> and critique the reasoning of others.
8	Obtain, evaluate and communicate information.	Obtain, evaluate and communicate information.		Look for and express regularity in repeated reasoning.

では、Discussion と Argument の違いは何だろうか。Discussion は一般的に広辞苑の言う意味で使用されることが多いように思う。一方“Argument”については、Crusius 氏が「真理を探究し、善悪を判断し、ひとを説得し、納得させ、行動へと向かわせるための言語的なコミュニケーションである」と表現している³⁾。米国ミネソタ州の STEM コーディネータである Dr. Thomas Meagher 氏は、「Discussion は、課題に対してそれぞれの主張を述べ合うことを目的として、必ずしも結論を得ることを目的としていない。一方 Argument はそれぞれの主張を述べあい、解決のための方策や結論を導き出すことをゴールとする。」と言っていた。また、STARBASE 米軍基地（ミネソタ州）で、小学生を主な対象として展開している“未来の科学者や工学者としての体験的な学習プログラム”の開発に携わっている Jeanna 氏も、「Argumentation では、多くの証拠を提供して説明することによって相手に納得してもらうことを目指すことが必要だ。」と言う。

本稿ではこれらを踏まえた上で、アーギュメントを「科学的なデータや根拠を基に相手を説得し納得を促すための一連の言語活動」とした。また、複数で双方向的に行うものだけでなく、個人が紙の上や頭の中で行う沈黙の言語活動も含めて、アーギュメントとした。

（3）コミュニケーションに対する認識と現状

1) 教育研究者の認識

STEM 教育におけるアーギュメントに対する認識と具体的な活動について検討する前に、教育研究者がコミュニケーションをどう捉えているのか、学校現場を舞台として紙面で質問調査した。

前述の、米国ミネソタ州の STEM 教育コーディネータ（T）と STARBASE で展開している次世代科学者育成を目指した体験的 STEM プログラムの開発者（J）と国内教育系大学教授（A）の 3 氏から意見を得た。質問事項 Q1～Q3 毎に、彼らの意見を要約して記した。

Q1. 授業中、生徒同士にコミュニケーションをさせる際に、あなたは何を大切にしますか？

T； 対話，小集団での議論，全体討論のように様々な形式を導入することが大切だ。その中で，主張を記録させたり，図を表示させたり，人の意見を要約したりする活動を体験することで他の場面やコミュニティでも適応できるようになると考える。

J； 初期の段階で言えば，コミュニケーションする仕組みと方法を理解させることが大切だと考える。生徒がみんなコミュニケーションする方法を知っているわけではないからだ。また，彼らの興味のある話題について話し合うときに，課題を焦点化する方法も学ばせる必要がある。そのためにも，効果的にコミュニケーションする方法を学ぶ機会を多く提供すべきだと考える。

A； 生徒の知識を確認することが大切だと思う。また主張が苦手な生徒に対しては，教師が答えやすい問を考えることも大事なことである。

Q2. 生徒のコミュニケーション能力の伸長のために、どんな指導が効果的だと思いますか？

T； 議論に参加することそのものの力と、発見したことを表現する力を伸ばすための指導がある。

後者では、科学的な情報やデータをもとに、客観的に、敬意を持って（書くことも含めて）表現する方法を身につける必要がある。そのために、彼らが主張を書いたり、グラフ化したり、モデル化する技術を身につけられるよう指導し、その活動と成果をノートさせる指導を行うことが大切だと考える。それをもとに、小集団での議論では、各自の実験や調査の結果を共有し、それから新しい知識の構築に至らせるように仕向けるべきである。大集団ではまず、対話への参加を容易にする効果的な質問が涵養であることは言うまでもない。

J； 発信する際の形式とその姿勢を身につけておくことが、生徒の力を伸ばすことに効果的と考える。

例えば、

- ・興味深いアイデアと思います。なぜなら…
- ・それはどんな意味を持つのですか？
- ・私は賛成できません。なぜなら…
- ・もし……
- ・彼の言うことに付け加えて言うと…

などである。

A； いろいろな事柄の背景を説明し、いろいろな生徒同士で話し合いをさせる経験を積ませる。

Q3. 生徒同士のコミュニケーションに参加したり助言したりするときはどんな時ですか。また、どんな指導や助言をしますか？

T； 教師は常に生徒の議論の場に参加しているべきで、効果的な問を与えるアーティストでなければならない。

効果的な問や関与は、例えば、体験の時間を設けたり敢えて矛盾した情報を提供したりすることで、生徒に興味や好奇心に溢れた魅力的な学習時間を継続して持たせ、それによって彼らの理解を深めることにつながると考える。また小集団の場合は、グループの間を循環しながら議論の方向性を確認し、大集団では一人ひとりの学習成果を共有させ、それらを体系化し要約できるように導くことが大切である。

J； 私にとって、生徒が学習時に話し合うことは全く当たり前の状況で、むしろ小集団での活動をより多く取り入れ仲間との話し合いを積極的に促す。彼らに答えを与えることはほとんどなく、生徒たちがそれぞれの考えや意見をまとめて公式化できるような機会を提供するよう努めている。そこでは、彼らが必要とする補助を提供するようにし、はっきりとした答えではなく、例えば、“前の問題やその解決方法を見てごらん”のように投げかけるようにしている。

A； 関係ないことを話したり，話し合いが止まったりしている場合などに，「...については？」と会話を促す。

T 氏，J 氏と A 氏は教育研究者であると同時に，実際に小学生や中学生に関わる機会を多く持つ教育実践者でもある．生徒の主体性に任せることを基本としているが，そこに至る前に必要な指導者の様々な関与について述べている．

- ① 議論そのものに参加する能力と積極的に参加しようとする姿勢を育むこと．
 - ② 集団や課題の特徴に応じた議論の形式を選択し，それに沿わせること．
 - ③ 他の考えを共有し，何らかの結論を導かせること．
 - ④ 議論の過程で，図やグラフ（思考の図式化も含む）を用いて視覚化させること．
- などである．

米国ではプレスクールの時代から図やグラフを多用する学習活動が習慣化している．日本では，小学校中学年頃からコンセプトマップやイメージマップを導入することがあるが，それ以前の段階では思考の図式化についてはあまり実践されていないように思う．工学や技術分野を中心に調査結果や結論あるいはそのプロセスで具現化（製品化）する活動を伴う STEM 教育では，その必要性和効果を証明されているのだろう．T 氏はこれを，学習の STEM 化（stemify）と表現している．また，“③ 他の考えを共有し何らかの結論を導くこと”については，次の新学習指導要領にある“知識を相互に関連づけてより深く理解する．”に通じる所が大きい．

T 氏の言葉にあった“科学的根拠をもとに敬意を持って説明しようとする”のように，コミュニケーション活動にも何らかのゴール（Product）を求めるのはまさにアーギュメントそのものである．

2) 教員志望の大学生，大学院生の認識

2016 年 11 月から 2017 年 1 月の 3 ヶ月間で，教員養成系学部を有する 5 つの大学の学部生と大学院生あわせて約 40 名を対象に，社会科学的問題（Socio-Scientific issues）をテーマに社会合意形成に関する講義を行った．講義後，前述の教育研究者と同じ質問をした．彼らの意見は様々であったが，その内容や文脈に応じてまとめ表 2～4 に示した．また，学部生は 4 年生，大学院生は 1 年生で，彼らの記述内容に大きな差が見られなかったためその区別をせず「学生」とした．

Q1「授業中，生徒同士にコミュニケーションをさせる際に，あなたは何を大切にしますか？」では，“主張すること（はっきりと・根拠を明確にして・積極的）”と同時に，“聴くこと（敬意を持って・理解しようとしてなど）”を多く挙げていた．また，議論の場のデザインや議論のスキルの育成，ルールの共有など，あらかじめ取り組んでおくことにも言及した学生も多く見られた（表 2）．

Q2「生徒のコミュニケーション能力の伸長のために，どんな指導が効果的だと考えますか？」では，“論理立てて考える，表現する，意見を言う，聴く”ことを習慣にすることや通常の授業で議論の時間を確保することなど，普段からの取り組みの必要性を挙げていた．

Q1（コミュニケーションで大切なこと）と同様に、信頼関係の構築、議論の技法の習得など、事前指導の必要性に関する記述も見られた（表3）。

表2 Q1に対する学生の記述

Q1. 授業中、生徒同士にコミュニケーションをさせる際に、あなたは何を大切にしますか？	
事前	<ul style="list-style-type: none"> 一人ひとりが自由に発言できる場の設計 目標にあわせたグループ編成 何のための活動なのか目標を明確にしておく 言葉使い(態度), 話し合いの方法をまずは確認する
主張	<ul style="list-style-type: none"> はっきりと自分の言葉で伝えること 根拠を明確にした主張 自分の意見と他の意見を結合すること 積極性
傾聴	<ul style="list-style-type: none"> 他の発言に対する敬意 相手の意図をくみ取ること 人と意見は別というルール徹底
その他	<ul style="list-style-type: none"> 活動時間を制限すること 自分と相手の主張のための時間のバランス 事実と考えの区別を意識させる 一人で考える時間を設けること

表3 Q2に対する学生の記述

Q2. 生徒のコミュニケーション能力の伸長のために、どんな指導が効果的だと考えますか？	
事前	<ul style="list-style-type: none"> 話し合うことの意味を理解させる 教師と生徒、生徒同士の信頼関係を築く 議論の技法を学んでからはじめる 言葉使い(態度), 話し合いの方法をまずは確認する
習慣	<ul style="list-style-type: none"> 論理立てて考える習慣を身につけさせる 論理立てて表現する場を数多く提供する 話しをする, 聴くという習慣 討論する時間を確保する
態度	<ul style="list-style-type: none"> 相手の話を聞こうとする姿勢を持つこと 相手や周りの状況を把握すること 質問や反証する気持ち(時間)を持つ 人と意見は別というルール徹底
その他	<ul style="list-style-type: none"> 集団での役割分担とそのローテーション 意見を書く→ペア→グループの段階を踏む それぞれの目標を決めさせる 論述構文のルールを策定する

Q3「生徒同士のコミュニケーションに参加したり助言したりするときはどんな時ですか。また、どんな指導や助言をしますか？」については、「どんな時」と「どんな助言・指導」を分けて記したが、同じ状況で違った対処、またその逆の記述もあって左列と右列とは対応していない（表4）。

表4 Q3に対する学生の記述

Q3. 生徒同士のコミュニケーションに参加したり助言したりするときはどんな時ですか？ またどんな助言や指導をしますか？	
どんな時？	どんな助言や指導？
<input type="checkbox"/> 会話(作業)が止まっている時	<input type="checkbox"/> きっかけとなる言葉を投げる
<input type="checkbox"/> 議論の軸や方向がずれているとき	<input type="checkbox"/> 他の班の私見を紹介する
<input type="checkbox"/> 参加していない生徒がいるとき	<input type="checkbox"/> 課題に立ち返らせる
<input type="checkbox"/> 発言が一人(2人)に片寄っているとき	<input type="checkbox"/> 話し合い方法転換の提案
<input type="checkbox"/> 活発すぎるとき	<input type="checkbox"/> (その状況の)原因の究明
<input type="checkbox"/> 攻撃的な場になっているとき	<input type="checkbox"/> 「人と意見は別」のルールの確認
<input type="checkbox"/> 知識が不足しているとき	<input type="checkbox"/> 発言を促す発問をする
<input type="checkbox"/> 議論が終了しているとき	<input type="checkbox"/> 生徒自身の体験を意識させる
	<input type="checkbox"/> ファシリテータとして振る舞う
	<input type="checkbox"/> 敢えて難しい質問をする
	<input type="checkbox"/> 介入しない

会話が止まっているときや、発表する人が片寄っているときなどに、“話し合い方法の転換”を提案するなど、議論方法の選択に関する記述もあった。“敢えて難しい質問する”などは、T氏の言う、“矛盾した情報を提供したりすることで生徒に興味や好奇心で魅力的な学習時間を持たせる”と同様な対処であろう。

IV. 議論の技法

“課題に適した議論の方法を選択すること”の大切さや、“(会話が滞っているとき)議論の方法転換を提案する”とあるように、議論には様々な方法がある。ここではそのいくつかを挙げて、それぞれの特徴と共に特に中学校の授業への導入の方略について考えてみたい。

1. ディベート； Debate

一般的にディベートは、「2つのグループが、ある特定のテーマについて賛成と反対の立場に別れて、第三者を説得する形で議論を行うこと」と定義される。

ディベートに関しては、特定非営利活動法人全国教室ディベート連盟 (NADE; National Association of Debate in Education) が開催する「全国の中学生、高校生を対象にディベート選手権 (ディベート甲子園)」が知られている。彼らは、ディベートを通して身につく力として次のことを上げている。

- ①客観的・批判的・多角的な視点が身に付く。
- ②論理だった思考ができるようになる。
- ③自分の考えを筋道立てて、人前で堂々と主張できるようになる。

④情報収集・整理・処理能力が身に付く。

ディベートは、ディベート選手権という言葉が示すように競技として展開されることが多く、相手を説得するというよりは言い負かすと表現した方がその場の雰囲気合っているように思う。競技となるとジャッジをする第三者が必要になり、勝敗を決めなければならない。ディベート競技をするには、決められたルールを熟知した上で、事前の膨大な調査、論の展開や構成および戦略そしてグループ構成と、それぞれの役割分担など多くの時間と労力を必要とする。さらに勝利を得るためには経験を重ねることも必要となり、それら無くして授業中に、“さあ、ディベートしましょう”という訳にはいかない。しかしある命題に対する自分の考えとは関係なく、さまざまな根拠をもとにその是非を主張することは、客観性や論理的思考が身につくことは間違いない。ただし、自分の考えとは違うことを主張しなければならないことに負担を感じる生徒への配慮も必要である。

2. ロールプレイング

ロールプレイング法は、役割演技法と呼ばれている。議論に参加するメンバーまたはグループを構成する一人ひとりが、決められたテーマに関係する誰かの立場になって、その人ならどう感じ、どう行動すべきかを考えてその結果をアウトプットするというものである。つまり、自分とは異なる人物の役割 (Role) を演じ (Play)、他者の視点や感覚を体験し社会的なスキルなどを習得するための手法である。ロールプレイングでは、あくまでも自分自身とは異なる役割を演じるようにするのが基本である。

ロールプレイング方による議論では、それぞれの役割を演じることを通して次のようなことを学習することが期待できる。

- ①課題の持つ多面性
- ②それぞれの立場にある課題
- ③違う立場の意見を聞くことの大切さ
- ④共感することの大切さ
- ⑤自発的な行動の必要性
- ⑥意思決定参加への積極的な姿勢

図1は、仮に「堤防延長工事問題 (防災と景観保護)」に関する市長諮問会議が行われるとした場合の出席者例である。ロールプレイングを授業に導入するための準備としては、バランスの取れた登場人物の構成となるよう設定することが大切で、同時にそれぞれの人物がそこに参加する意味をある程度理解しておく必要がある。人数が多いときのロールプレイング法の展開としては、同じ役割を演じる人たちで1グループを構成し意見を出し合い、その結果を全体の場で他の役割の人に対して主張する方法を薦める。1グループに異なった役割の人たちがいると、議論に集中すればするほど結論を出すのに時間が掛かること多いからである。その後グループ毎の主張を共有することで、それぞれの職業にはそれぞれ特徴や課題があることに気づき、もう一度自分の役割に戻って考え直させるといった展開も可能となる。

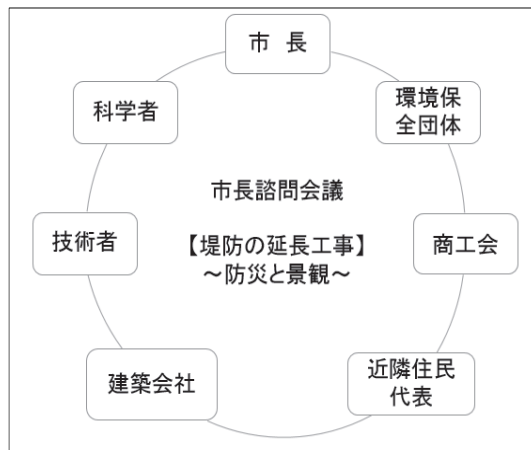


図1「堤防延長工事」に関する会議に参加する人々の一例

3. ブレインライティング

ブレインライティング法は前述の2つほどポピュラーではないが、形態分析技法の専門家ホリゲル(Holiger)氏が1968年に紹介した創造技法で、沈黙会議とも言われている。オーラルコミュニケーションタイプのブレインストーミングと違って、無言で筆記発想するスタイルのライティングコミュニケーションの1つである。これは、参加メンバー間に身分や立場の違いがあり発言しにくい場合に有効で、人前での発言が苦手な人にとっても負担が少なく、ブレインストーミング法で指摘される問題点（・発言する人とならない人が極端に別れる、・発言中心の会議でよく考えられない）を解決するものでもある。

その特徴を以下に示した。

- ①全員が平等に発想（発言）できる
- ②地位や立場が違っていても遠慮なく発言できる
- ③初対面どうしのメンバーでも進められる
- ④他人の発言で思考が妨害されるのを防げる
- ⑤正確な記録が残せる
- ⑥時間の管理ができる

実際の活動場面のイメージは、図2の通りである。

- 1) メンバーを6人として、全員にワークシートを配る（例えば図3. 5人なら3列5行の15枚）
- 2) テーマを書き込む（問題の意識化を図る。）
- 3) テーマや課題に関する指示に従って、5分以内に1行目3枚に意見や考え（アイデア）を記す。
- 4) 5分経過後、時計周りに次の人にそのシートを渡す。
- 5) 受け取った人は、右の人が1行目に書いたものを発展させたアイデア、逆のアイデア、あるいは関連性のないアイデアを記す。
- 6) これを繰り返す

1 グループ 6 人で 1 ラウンド 3 つのアイデアを出してそれを 5 分で行うことから 635 法とも呼ばれるが、課題や参加者の特徴から、5 人で 3 つのアイデアを 1 ラウンド 3 分で行っても構わない (533 法)。

特別なトレーニングの必要も無く、グループ編成といった話し合う環境やシステムの自由度が高く、全員が参加し他の考えを知ることができること、発言への制限もないなどを考慮すれば、日本人の気質には適している方法の 1 つとも言える。開始から 30 分後には、 $3 \times 6 = 18$ 枚全てアイデアが記されたワークシートが 6 枚できあがる。最後に、6 枚のワークシートを基にして、グループで納得できる 1 枚の作成に取りかかる。ここで初めて沈黙が破られ議論が始まる。36 人のクラスであれば 36 枚のワークシートが 6 枚に集約されるのである。その後、それぞれのグループが例えば 5 分でプレゼンテーションを行うという展開も可能だ。この方法の課題と言えば、一旦はじめたら 30 分間は止められないことであろう。



図 2 ブレインライティング法のイメージ

テーマ()			
	A()	B()	C()
I 大切なこと			
学種: 名前:			
II つけ加えること			
学種: 名前:			
III さらにつけ加えること			
学種: 名前:			
VI 他に気づいたこと			
学種: 名前:			
V 大切なことのために必要なこと			
学種: 名前:			
VI 必要なことと関連する他のこと			
学種: 名前:			

図 3 ワークシート例 (6 人用 18 枚)

V. 議論の要素

この十数年、学習指導要領の意図もあって、コミュニケーションを中心に言語能力の育成を目指した研究や実践が盛んに行われているが、その日本型の指導について、大庭氏は「“科学的なデータや過去の事例を論拠として主張する”指導は行いが、“主張の確かさを検証する”ことの指導が欠けている」と言う⁴⁾。今までの教室では、「理由をつけて考えを発表しよう」といった教師の根気ある指導によって、生徒は「〇〇だから、□□だと思います」と発表するようになったが、理由とそこから導いた結論との間に齟齬がないかを考えているようには思えない。そもそも「議論」は、「根拠 ; data」「主張 ; claim」と論拠と主張の整合性を問う「論証 ; warrant」という 3 つの主要要素で構成されていなければならない。大庭氏はこの論証に関する指導が欠けているというのである。このことから、アーギュメント要素を図 3 のような構成にまとめた。ここでは、「根拠」「主張」と「論証」

に、「(その主張が持っている、あるいは持つ可能性がある) 課題」も加えた。つまり、自らの主張に対して、あらかじめ自ら反証しておくのである。

ここで示したことをすべて頭の中でその場で瞬時に組み立てるのは、よほど慣れていなければ難しい。そこで前述のように、定められた議論のルールを共有し“繰り返すこと”“習慣化すること”が必要になってくるのである。そのために話し合い活動の初期段階から、例えば、常に根拠を3つ挙げ、その根拠の信頼性を確認させた上で主張させるようなワークシートを導入することを提案する。ワークシートの記入することによって、論証の Step を視覚的にも踏ませ、さらに自身の主張にある(かもしれない)課題まで考えさせることで、反証の Step も踏ませるのである。議論することに慣れていない中学生はまた、考えを文字化することにも慣れていない。教師が適度にコミットしながら、その都度指導していく必要がある。

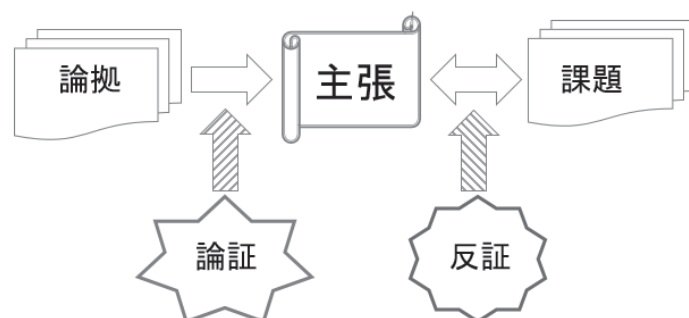


図3 アーギュメントの要素

VI. 結語

宗教や言語文化が異なる多様性が日常の米国では、主張し、理解してもらえること、そのために良く聴くことが習慣化していて、議論に参加する能力の育成や積極的に発言する姿勢はほぼ育まれているように思う。このことについては、2016年9月に訪問した School of Environmental Studies (ミネソタ州)での生徒とのやり取りからそう感じた。

その図書室の一角にあるソファに、飲み物を手に思い思いの格好でくつろいでいる高校生の集団がいた。授業の合間の休憩だろうと思っていたのが、実は専門的な科目(Intensive Course)を受講している最中で、“環境保全と生物の多様性”について議論していた。彼らに“有効なコミュニケーションに必要なスキルは?”と尋ねた所、“普通に話しているだけでスキルとか全く意識していない。ただ話したい人にはその時間を必ず確保できるようにしている。私が話したいときと同じようにね。”という答えだった。このような環境での STEM 活動では、ただ話し合うのではなく、何らかの結論や Product を求めるアーギュメント活動が容易に展開されるのであろう。

一方、次に訪問したカソリック系の小学校で4年生を担当していた女性教師に、“話し合いの中で、合意形成を図るためにはどんな指導をしていますか?”と尋ねた所、“この学校の状況では、必ず結論を導き出させたり合意形成を図らせたりはしない。4年生の段階では、意見を言うこと、話し合うことができるようにすることを目標にしている。”という言葉がかえってきた。一瞬期待外れの感があったが、英語を母国語としない子どもが4割を占める小学校では、そこを目指すことが正解の1つなのであろう。コミュニケーションに対する米国ならではの課題も知ることになった。

2020年から施行予定の新学習指導要領の方針に、“主体的で対話的な深い学び”が柱としてある。対話に関しては専門家による研究や実践成果からいくつか提案がみられるが、まだ十分とは言えない。これから指定校での実践等を通して学校種に応じた具体的な指導法を模索していくことになるが、積極的に自分を主張することに慣れていない児童・生徒を導くには大きな労力が必要となるであろう。しかし、日本と欧米との文化的背景の根源的な差異⁶⁾を理由に立ち止まっていたはいけない時期にきているのは間違いない。

これまで、議論、話し合い、コミュニケーション、アーギュメント等といくつかの表現を用いて述べてきたが、STEMの科学、技術、数学で示されている活動の1つ“証拠に基づいた議論”に対する理解をもとに、これからの日本におけるコミュニケーション活動に関して提案してみたい。

まずは、意見や疑問を一度文字化するといった“思考の言語化”に加え、そのプロセスまでも図やモデルを用いて視覚化させてはどうだろうか。自身の考えやそこに至ったプロセスを追跡しながら確認することで、その後の発言に確信を持ち積極性が期待できると考える。限られた授業時間ではあるが、このように一人で考え自分自身と議論すること、つまり個のアーギュメントの時間をできるだけ確保するようにしたい。教師は、児童・生徒が学習の必然性を持てる課題になるよう十分検討して設定した上で、課題に適した議論の技法を選択し取り組ませる。そこでどのような小集団の構成にするかについての配慮も忘れてはいけない。つまり、議論のための環境を常に最適になるようデザインするのである。

コミュニケーションスキル、特にアーギュメントスキルの伸張には、実践を繰り返して、生徒一人ひとりが思考、判断、主張の流れを作り上げることが必要であると考え。議論することや情報リテラシーに関する概念理解に止まらず、そのスキル獲得には、常に何らかのゴール(Product)を設定した習慣的な実践(Practice)が欠かせないと考え。ただ、どんな問題に対しても議論の場を設けるべきだというわけではないし、議論させておけば良いというわけでは決してない。課題に応じて議論の場を設定し、目的に応じた適切な議論の方法を選択すると同時に、まず一人ひとりが一人で考える時間を十分に確保するべきで、そのことが何よりも大切ではないかと思う。

参考文献

- 1) Vasquiz, Sneider, and Comer (2013), “STEM Lesson Essentials2”, Heinemann, 2013, pp.29-40.
- 2) 熊野善介 (2015), 「静岡 STEM ジュニアプロジェクト報告書」, pp.31-48.
- 3) Crusius & Channell・杉野俊子ほか訳 (2004), 「大学で学ぶ議論の方法」, 慶応義塾大学出版会.
- 4) 大庭コティさち子 (2009), 「考える・まとめる・表現するーアメリカ式“主張の技術”」, NTT 出版株式会社
- 5) 平成 27 年～28 年挑戦的萌芽研究 (課題番号 15K12373), 「シティズンシップ育成のためのセカンドステップとしての理科学習プログラム開発と実践 (代表; 萱野貴広)」
- 6) 長洲南海男, 出口憲 (2017), “米国の STEM 教育、エネルギー省 (DOE) のエネルギー教育・その 1 - Energy Literacy 教育そして NGSS との関連-”, エネルギー環境教育研究, Vol.11 No.1, pp.3-10.

新しいパラダイムとしての超領域的カリキュラムの構成概念

The Construct of the Trans-disciplinary Curriculum as the New Paradigm

齊藤智樹, イルマン アンワリ, レリ ムタキナティ, 熊野善介
Tomoki Saito, Ilman Anwari, Lely Mutakinati, & Yoshisuke Kumano

静岡大学創造科学技術大学院
Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University

[要旨]

This article suggests the theories for STEM Integrated Learning Environment (SILE). By discussing the related theories one by one, the author found that the educational discussions among integration have constructed through past studies and developed the tentative theories for SILE based on the idea of system. The theories are 1) learning is not necessarily included in and assessed by disciplines as in traditional classes; 2) learning within and across networks of learners has relationships beyond STEM disciplines; and 3) thus, the environment would be structured by vectors of those relationships. If so, teachers are expected to prepare for interactions among STEM areas of learning.

キーワード : STEM Integration, Transdisciplinarity, Innovation, System of Learning, Practices

(1) はじめに

本小論は、STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)を統合した授業における学習の性質について、理論づけることを目的としており、既存のいくつかの理論の統合により、STEMの統合(STEM Integration)はその学習の相互作用と関係性に基づいた「学習のシステム」を形成すると著者らは結論づけた。以下では、この結論につながる既存の理論を一つひとつ検証しながら、現実社会の文脈における生徒中心の学習と生徒全員のための科学教育スタンダード(日本で言えば学習指導要領や評価規準)による基礎づけを両立させることと、STEMの学習にとって重要な領域同士の関係性に着目する。そしてその後、私たちの日本型STEM教育の取り組みを支えることになるであろう理論を説明していく。統合されたSTEMの学習は、必ずしも伝統的な教育の学問領域に含まれるとは限らないが、多様な児童・生徒そして教師自身の学習を支援することになるだろう。本小論における理論にまつわる議論を進めながら、将来高度な科学技術社会に大きく寄与することになるイノベーティブで、機知にとんだ人材育成に貢献できれば幸いである。

なお、この小論は Saito, Anwari, Mutakinati, & Kumano (2016) “A Look at Relationships (Part D): Supporting Theories of STEM Integrated Learning Environment in a Classroom - A Historical Approach”, K-12 STEM Education Vol.2 No.2 pp.51-61 を翻訳及び加筆・修正したものである。

(2) “STEM”が曖昧である理由: 全ての学習者のための STEM

STEM を実践・研究しようとしている多くの方が、似たような疑問を抱いている事だろう。それは「STEM の統合とはいったい何なのか」あるいは「これまでの科学教育と一体何が違うのか」といったものである。言いかたを変えれば、私たちはそれを STEM と呼ぶことは簡単にできるが、今のところ私たちが構築し、実践しているものは STEM の分野の自然なつながりを必ずしも反映しているとは限らない(Katehi, Pearson, & Feder, 2009)ということになる。これは、STEM 教育自体の定義が明確でないこと、そしてその学習が授業の中でどのように立ち現われてくるのかといったことを確立することが難しいためであろう。なぜなら、STEM の統合そのものについて理論的な枠組みを論じた文献が非常に限られており(Roehrig, 2012)、そうした文献の中でも、記述が不明瞭である(Wang, 2011)からである。更にはその定義を希望する声は多いものの、一つ提案されてはそれに賛同する者が少ない(Bybee, 2013)というのが現状である。したがって、STEM は研究者が複雑な学習の観察をたった一つの新しいキーワードに置き換えることができるような科学的な語とはなっていない(Yager, 2015)。

そうした現状を鑑み、STEM 教育を計画しようとしている人々が求めている「STEM 教育学」を更に進める(Saito, Gunji, Kumano, 2015)ためにも、既存の理論を集める：アームチェアセオリストとなることで、新たに謙虚でポジティブな一步を踏み出すことを試みることにした。したがって、本小論は、全てのSTEM 実践家と研究者が、STEM の統合とは何であり、それが授業の中でどのように立ち現われてくるのか、そして、それがどのように児童・生徒にとっての利益となるのかといったことを議論するたたき台となるはずである。重要な点は、STEM 教育を定義するだけでなく、それがどのように実践された統合として現れるのかを限られてはいるものの関連する重要な理論をもとに定義することである。もちろん、これらの理論は未来の授業における実践をサポートするはずであるし、この一連の文献とともに教師のための事例を提供するであろう。

しかしながら、教育関係者はここであるパラドックスに直面している。それは、私たちは授業の準備のため、そしてスタンダード(学習指導要領・評価規準)に沿うために、何を教えようとしているのかをはっきりと定義する必要がある一方で、生徒中心の学習は彼らの興味・関心から来るのであって、その学問分野の準備のためにあるのではないということである。例えば Vasquez, Sneider, & Comer (2013)のような、STEM の各分野のリテラシーについて書きながら STEM リテラシーについて言及している教育者は、混合された「STEM リテラシー」は、児童・生徒がそのリテラシーを有しているかどうかについて区別するものであるべきではない、なぜなら、それを明確にすることが、格差を生み出していることにつながっているからであると主張している。科学教育の目的は、これまでも科学(工学)の利用、科学にまつわる社会問題への責任、あるいは将来のキャリアへの気づきを得ることとされてきたにも関わらず、学校が一般的に定める目的は、学問知識の習得のままであった(Yager, 1986)。したがって、私たちは児童・生徒の学習を「STEM リテラシー」と呼ぶことはできるが、そうすべきではないだろう。定義と評価、別の言葉で言えば「評定 grading」は、格差の原因と

なるし児童・生徒の興味・関心・やる気を落としてしまう(Kohn, 1994)。Hutchins (1968)と Adler(1982)はこの点について議論しており、ハチンスは一つのカリキュラムが非常に多様な児童・生徒の学習を支えることはできないとした。アドラーはもう一方で、一つの例外もなく全ての子どもに均等な教育を提供するためには、一つのコースオブスタディが必要であるとした。もし、この点を 21 世紀の現代において再考するならば、学習は全ての学習者ごとに具体的であるはずであるが、その不均質さを含みこむために一つの目的は存在し得なければならない。したがって、著者らは一旦それを STEM が統合された学習環境の「Appearance : 現れ」と呼ぶことにし、彼らの研究課題として「STEM の学習が実際に統合されたとするならば、どんな相互作用や関係性が見出されるのか」という点を発見しようと試みた。しかしながら、これは児童・生徒の学習を評定するというのではなく、教師の授業における仕事を助け、生徒中心の学習のために十分に準備をすることを助けるためである。

(3) STEM 教育の分類と統合

ここでは手始めとして、STEM を定義しようとするのではなく、むしろその取り組みの性質をいくつかの方向性についてまとめてみることにする。例えば、STEM 教育法(2015)には STEM 教育の 3 つの分類を見ることができる。すなわち、単一の STEM 分野、複数の STEM 分野、そして統合された取り組みの 3 つである(House of Representative, 2015)。もし、これらを生徒中心主義の立場から考えてみると、統合された取り組みの重要性が見えてくる(この点については後述する)。

同様の分類として、カリキュラムを統合する 10 の方法を Fogarty (1991)が示している。すなわち Fragmented, Connected, Nested, Sequenced, Shared, Webbed, Threaded, Integrated, Immersed, and Networked の 10 個であり、彼女はこれらの方法を 3 つのカテゴリーに分けている。すなわち、単一の学問分野の中で、いくつかの分野をまたいで、そして学習者の内部や学習者のネットワークをまたいだものという 3 つである。これらの分類は、STEM の学習が統合される場面を示唆している。第一に、学習が単一の学問分野の内部で統合されるとするならば、統合は個別に分けられた教科の伝統的な授業において現れるであろう。第二に、もし STEM の学習がいくつかの学問分野をまたいで統合されるとしたら、教師の共同や教科の再編成を導くであろう。したがって、統合は教師のミーティングにおいてやカリキュラムの構築の場面において起こるはずである。三番目の分類は、より生徒中心の考え方にあっているように思われる。すなわち、もし学習が学習者同士の間やそのネットワークの間で統合されるならば、それは学習者、彼らのコミュニティ、あるいは彼らの脳内でそれが起こることになる。こうしたモデルは、STEM の統合がその学習環境に遍在する(ユビキタス: Olson & Labov, 2014)、「学習の生態系」(Bybee, 1997; Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer, & Schauble, 2003)あるいは、「教育のシステム」(Pestalozzi affected Huxley, 1899 and Spencer, 1864; as cited in DeBoer, 1991, p. 21¹⁾)を構築する可能性を示唆している。ここで、私たちは「STEM が統合された学習環境」(齊藤・熊野, 2015)と名付け、これを提案する。

もし、STEM が学習のシステムとして働くのであれば、そのシステムとしての性質

から私たちはいかにその部分の関係性を予測することができるだろうか。別の階層からの視点から、システムの部分が統合した場合、何が起こるのかについて示唆を得ることができる。過去の教育スタンダードを見ると、システムについての記述があり、「自然や社会のシステムの部分が合わさると、それら単独ではできなかったことができるようになる」(AAAS, 1993; MOEA, 2002)。こうしたシステムの特徴についての記述は、STEM の学習の統合にも読み替えてみることができよう。すなわち、ある統合された環境における STEM の各部分には、シナジー(協働)があり、サブシステムとして特定の異なる機能を果たすであろうということである(MOEA, 2002, p.77 参照)。では、どうしたら STEM は学習のシステムとして機能することができるであろうか²。

(4) 生徒中心主義と超領域性

多くの STEM に関する文献が議論しているように、STEM 教育が統合のアイデアを適用している一つの理由は「現実世界の文脈」(Bybee, 2011, 2013; Fensham, 2009; Katehi et al., 2009; PCAST, 2010, 2012)を提供することにあり、この考えは教育の議論においては新しいものではない。特に工学教育の分野では少なくとも 1950 年代から、生徒を現実社会の課題解決者にすることは重要な論点であった(Bailey, 1978; Felder, 1988; Osborn, 1957)。加えて、STS(Science, Technology, and Society)や科学の本質にまつわる視点からは、科学と社会がお互いにどう影響し合うのかについての議論がなされてきており、(Gibbons, 1994; Hurd, 1958, 1991, 1998; Kuhn, 1962; McComas, Almazroa, & Clough, 1998; Yager, 1980, 1996)統合の基礎となる理論が構築された。特に 1980 年代、90 年代においては、統合と学問分野(Discipline)の再定義が STS の名のもとに議論され(Bybee, 1987; Good, Herron, & Renner 1985)、時にそれは SMET: Science, Mathematics, Engineering, and Technology と呼ばれた(D'Ambrosio, Black, El-Tom, Matthews, Nebres, & Nemetz, 1992)。これらの研究を参考に、私たちはまた超領域的な問題(issues)についての学習を描き出すいくつかの示唆を得ることができる。超領域的な問題に取り組んでいる者は、他の学問領域における人々とともに、あるいは他のステークホルダーとともに領域を超えて働く。この状況においては、問題の文脈によってその適応の仕方が決まるため、人々は異なる理論的枠組みや、方法、あるいはそれぞれの学問分野とは異なる研究のスタイルにおいて働き、しばしば各自の学問領域の厳格さには立ち戻らない。

¹ 彼らは人間活動をいくつかの主要な学問分野に分けたが、人々の生活との関係性が少なくなることを感じていた(DeBoer, 1991)。

² この system of learning という語は時に語学の教育研究者によって使われる。加えて、科学教育においては既に生態系という概念は使われてきている。(Bybee, 1997; Olson & Labov, 2014 を参照)。教育研究者は普通、いくつかのステークホルダーを含めるために、システムをより広い文脈において説明するけれども、著者らは代わりに現実世界の文脈の最小の事例に着目している。例えば、システム概念にしたがって、STEM が統合された学習環境における「STEM 学習のシステム」を見るなど。加えて一つ重要なことに、その観察の結果は、その時点でのシステムの切片であることを指摘しておく。

もし、こうした理論を子どもたちの学ぶ教室に当てはまる言葉に書き換えるならば、学習環境としての現実世界の文脈の意味が見えてくる。すなわち、児童・生徒が問題解決者として現実世界の問題に立ち向かうならば、彼らは自然と学習活動を統合し、協力して働く。この状況においては、STEMのそれぞれの学問分野の役割は、伝統的な分割された学習とは異なるだろう。したがって、児童・生徒は、それぞれの学問分野の結果を学ぶと言うよりもむしろ、他のT,E,そしてMの学習とともに科学を「することになるだろう(Yager, 2014)。この描写はSTEMの授業において働いてきた人々の間でSTEMが統合された学習環境の性質として、共有されるに違いない。事実、著者らの実践においては(Saito, Gunji, & Kumano, 2015)、工学的な活動は、米国のNext Generation Science Standards (NGSS Achieve, 2013)や日本の学習指導要領(文部科学省, 2008)のような科学のスタンダードを必ずしも満たさなかった。もしそうであれば、どの程度の範囲でそれらは異なるのであろうか。この点については、特に科学と数学の間で(Penick, 1984)、STSの時代に議論されてきてはいるが、私たちはどのようにして学習者の間やそのネットワークをまたいだS, T, E, Mの領域の学習の同士の相互作用を識別できるであろうか。

(5) 新しい枠組みと統合

上述のような関係する理論における視点から考えると、STEMの時代における新しい枠組みはいくつかの教育的側面を統合している。

熊野(2012, 2014)が明らかにしたように、A Framework for K-12 Science Education (NRC, 2012)においては、Engineeringが科学の活動の中に位置づけられ、Scientific「Practice」(Michaels, Shouse, & Schweingruber, 2007)がScientific「Inquiry」(Schwab, 1962)に対応する語として使われている。Bybee (2011)によれば、Scientific Inquiryは例えば、熟練や、学校において教科を徹底的に学ぶこと、ある目的のために知識を適用することなどを目指したScientific Practicesの一つの形態である。この意味では、STEMが統合された学習環境における科学は、Inquiryに加えてPracticeとしての姿に変わる潜在性を持っている。それはどういう違いになるのであろうか。そして、それはどう児童・生徒の学習として働くのか。それは、Inquiryの利点を保てるのであろうか？そうした議論は、おそらくDewey(1913, 1938)の考えたように、興味と努力の統合を含んでいる。Deweyにとっては、努力(effort)は学習の内容を記憶するための努力ではなく、むしろ彼ら(学習者)の興味からくる必要性を満たすためのものである(松岡, 2007)。Deweyが示唆するように、活動が直接的に彼らの興味を満たさなかったとしても、practiceはeffortとして働くのであろうか。それとも、それは単に受動的で、手軽に子どもたちを楽しませることで興味を引くだけであろうか。

もう一つの視点では、Inquiryに対応する語は恐らく「デザイン Design」であろう。しかしながら、この場合デザインがInquiryにとって替わるという意味ではないであろう。ここでは、科学的な探究(Inquiry)と工学的なデザイン(Design)はpracticeの中に含まれる(NRC, 2012)。したがって、practiceは探究とデザインをその活動の中に編み込むことになる。ここで、改めてシステムの概念からの示唆に目を向けてみると、もし科学的な探究と工学的なデザインが学習に十分に編み込まれるならば、全体とし

ての性質はそれぞれの部分とは異なるものになるはずである(AAAS, 1993, 2009)。

私たちは、科学的な探究と工学的なデザインの統合としての *practice* における性質や、技術(Technology)や数学(Mathematics)がどのようにこうした活動における学習に関係しているのかを、明らかにする必要があるだろう。

(6) 性質を明らかにするための側面

前述のように、過去の理論から抽出された推論から、研究者はその学習環境における教師の準備、教材、そして児童・生徒の学習などに遍在する統合をいくつかの側面から把握する必要がある。著者らは、既に教師の準備と、教材については着目してきており、教材がこれらの側面をつないでいることを指摘し、T-SM-E法をSTEMの統合をするために開発した(Saito, Gunji, & Kumano, 2015)。こうした取り組みは、継続していくべきであり、いくつかの教師教育(Professional Development)の場面においてより良いものとなっていくようにすべきであろう。一方で、このT-SM-E法を基に児童・生徒が学ぶと考えたものは、その実践をするまでに既にその学習内容を学んだことのある教師による予想でしかない。上述のように、STEM学習の統合は、その授業における関連する学問分野の役割と関係性を変える可能性を秘めている。

したがって、本研究において著者らはある統合されたSTEM授業におけるある時点での関係性を分析することで、STEMの学習における相互作用を定義することを求めている。学問分野の関係性は、内容だけでなく、方法や、原則、保証性、そしてそれらのそれぞれの学問分野における違いに関係しているであろう(Dewey, 1938; Phillips & Burbules, 2000; Schwab, 1964)。さらには、もし学ばれることが伝統的な学問分野を超えたものとなれば、著者らは「ディシプリン」という語を離れ、その学習の全体像に着目する必要性について考慮する必要があるに違いない(ディシプリンについては後述)。

(7) 結論としての新たな理論的枠組み

最後に、ここでは以上の議論を総合し、STEMが統合された学習環境のための理論を提案したい。この環境における学習は、以下のような特徴を持っている。

- a. 伝統的な授業とはことなり、学習は必ずしも既存の学問分野に含まれないし、その内部で評価されないかもしれない。
- b. 学習者のネットワークの内部や、それをまたいだ学習は、STEMの学問分野を超越して関係性を持つ。
- c. したがってその学習環境は、そうした関係性のベクトルによって構築される。

第一に、生徒中心の学習環境においては、その学習は図1に示す雲のように不均質である。したがって、教育者は教育者自身によって描かれた球にだけでなく、ある時には教師の見込みよりも広い範囲でより濃く、ある時は小さい範囲でより薄い児童・生徒の学習の特徴に着目することになるだろう。しかしながら、これらの特徴は学習環境の特徴からくるものではない。



図1 学習の不均質性

したがって、教育者は、STEMの各学習がお互いに効果的なものとなっている関係性から見通しを得、その関係性が保たれる範囲において介入をしていく必要がある。もし、私たちが過ぎた介入をすれば、関係性は姿を消し、児童・生徒は単に教師の想定した球に収まろうとするだろう。それこそ、私たちが「ディシプリン」(本文中では学問分野と訳していることが多い³⁾)と呼んでいるものだ。

第二に、もし児童・生徒の学習が複数の学問分野において期待されるものと異なる現れとなるのであれば、その現れと言うのはS/T/E/Mそれぞれの学習の関係性の協働(シナジー)からくるものとなろう。関係性は児童・生徒が取り組む文脈によって決められるだろう。したがって、児童・生徒が同じ科学的概念を工学的課題の解決策として利用したとしても、その関係性の現れというのはそれぞれの授業の文脈(別の学校、学区、州や県、あるいは国)によって異なるものとなるだろう。これらの関係性というのは、児童・生徒を評定し、価値づけるための観点となる必要はないし、私たちはそうしようとはしていない。代わりに、これらの関係性が児童・生徒がいま何をしようとしていて、どう私たちが彼らをサポートできるのかを評価するのを助けるものとなるはずだ(以下、評価については一般的な解釈と異なる意味で使っていると考えられるので、熊野, 2000を参照)。

第三に、私たちが児童・生徒の学習を評価するために関係性に着目すれば、私たちは彼らの目的、興味・関心や彼らが今やっている活動をどう考え、どう感じているかを推測し、次の計画に生かすことができる。目的は分野同士の関係性として他のS/T/E/Mの学習につながるベクトルを持ち、そしてそれらはSTEMが統合された学習環境を構築するエネルギーとなる。そうしたベクトルは、もちろん学習のシステムからのアウトプットともなるだろう。

この点について、過去の教育研究者からの示唆を得ることができる。Barr (1994, p.244)は Dewey (1913)の実践的な(Practical)活動(Engineering)と科学的探究(Inquiry)の間の関係性についての推論を引用している。児童・生徒が科学的な課題を探索する十分な機会を与えられれば、彼らは自主的に彼らの目的(工学的な課題)から、因果関係を探る活動へと移行していく。とすれば、STEMにおいては図2のように、例えば工学から科学への関係性、あるいはその授業の外への関係性が考慮されることになるだろう。

³Discipline:学問分野、訓練、修養、規律、しつけなどと訳される。研究社新英和中辞典を参照

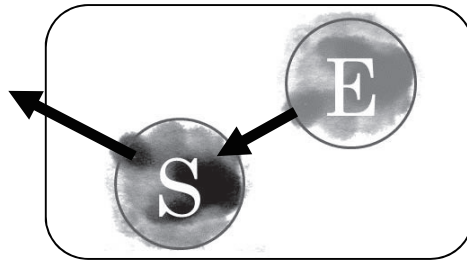


図 2 STEM が統合された学習環境における関係性

この推論のように、授業を注意深く観察することで、私たちは STEM の活動の間の関係性と、いかに児童・生徒が学習を自ら動かしていくのかについて見出すことができる。Dewey の推論が、後に Schauble, Klopfer, and Raghavan (1991) によって証明されたように、この関係性は実証的な研究によって証明されることになるだろう。しかしながら、この関係性は実際に現場で働く教師によっても理解されるべきものである。間違いなく、私たちは研究者と現場教員との共同を向上させていかなければならない。

最後に、前述の STEM が統合された学習環境における理論にもとづくと、その理論そのものやその方法論について、ある研究課題が提起される。すなわち

- 1) もし STEM の統合が観察されるならば、それぞれの事例においてどのような関係性が見出されるであろうか。
- (1.1) スタンダード(や学習指導要領等)への準拠のために、こうした関係性というのは、公立学校のプログラムと学校外のプログラムでは異なるのか。
- 2) その観察は、ケーススタディのような方法論とともに、現場の教師によって記述可能であるものであるか。
- 3) このような形態の学習から、未来の授業実践を向上させるためにどんな示唆があるだろうか。

こうした問いのいくつかは、この一連の論文の中で問われているけれども、全ての課題は多くの文脈において問われ、研究者と現場の教員によって確かめられるべきである。そうした研究では、STEM が統合された学習環境におけるシステムの部分の変更の結果を予測するのは難しいので(AAAS, 1993; MOEA, 2002)、教育研究者はシステムチックなアプローチよりもむしろ、システムミックな改革のために介入をすべきである(Bybee, 1997; Kitahara & Itoh, 1991)。

参考文献

- Adler, M. (1982). The Paideia proposal: Rediscovering the essence of education. In A. Canestrari & B. Marlowe (Eds.), *Educational foundations: An anthology of critical readings* (Third Edit., pp. 141–149). SAGE Publications, Inc.
- American Association for the Advancement of Science. (1993a). *Benchmarks for science literacy*. American Association for the Advancement of Science. Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science. (1993b). *Research Findings for Chapter 11: Common Themes*. Retrieved December 10, 2015, from <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php?chapter=15§ion=C&band=11>
- Bailey, R. (1978). *Disciplined creativity for engineers* (2nd ed.). Ann Arbor: Ann Arbor Science Publishers, Inc.
- Barr, B. B. (1994). Research on problem solving: Elementary school. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning: A Project of the National Science Teachers Association* (pp. 237–247). Macmillan Library Reference.
- Bybee, R. W. (1987). Science education and the science-technology-society (S-T-S) theme. *Science Education*, 71(5), 667–683. doi:10.1002/sce.3730710504
- Bybee, R. W. (1997). Contemporary reform of science education. In L. Peake & V. Merecki (Eds.), *Achieving Scientific Literacy from Purposes to Practices* (pp. 25–45). Portsmouth, NH: Heinemann.
- Bybee, R. W. (2011). Scientific and engineering practices in K–12 classrooms. *Science Teacher*, 78(December), 34–40.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education challenges and opportunities*. Arlington, Virginia: National Science Teachers Association.
- Cobb, P., Confrey, J., DiSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13. doi:10.3102/0013189X032001009
- D'Ambrosio, U., Black, P., El-Tom, M., Matthews, M., Nebres, B., & Nemetz, T. (1992). Summer symposium on educating for citizenship in the 21st century. In *Science, Mathematics, Engineering, and Technology Education for the 21st century* (p. 73). Washington D.C.: National Science Foundation Directorate for Education and Human Resources Division of Research, Evaluation and Dissemination.
- DeBoer, G. (1991). *A history of ideas in science education: Implications for practice*. 1234 Amsterdam Avenue, New York, NY 10027: Teachers College Press.
- Dewey, J. (1913). *Interest and Effort in Education*. Boston, MA: Houghton Mifflin Company.
- Dewey, J. (1938). *Logic: The theory of inquiry*. Holt, Rinehart and Winston (1960th

- ed.). New York: Holt, Rinehart and Winston, INC.
- Felder, R. M. (1988). Creativity in engineering education. *Chemical Engineering Education*, 22(3), 120–125. doi:10.4271/560004
- Fensham, P. J. (2009). Real world contexts in PISA science: Implications for context-based science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 884–896. doi:10.1002/tea.20334
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrate curriculum. *Educational Leadership*, 49(2), 61–65.
- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). *The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies*. London: SAGE Publications, Ltd.
- Good, R., Herron, J., Lawson, A., & Renner, J. (1985). The domain of science education. *Science Education*, 69(2), 139–141.
- House of Representative. STEM EDUCATION ACT OF 2015, Pub. L. No. 1861 (2015). the United States of America: 42 U.S.C.
- Hurd, P. D. (1958). Science literacy : Its meaning for American schools. *Educational Leadership*, 16(1), 13–52.
- Hurd, P. D. (1991). Why we must transform science education. *Educational Leadership*, 49(2), 33–35.
- Hurd, P. D. (1998). Scientific literacy : New minds for a changing world. *Science Education*, 82(3), 407–416. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199806)82:3<407::AID-SCE6>3.3.CO;2-Q
- Hutchins, R. (1968). *The learning society*. New York: The New American Library.
- Katehi, L., Pearson, G., & Feder, M. (2009). *Engineering in K-12 education: Understanding the status and improving the prospects*. National Academy of Engineering and National Research Council of the National Academies. National Academies Press.
- Kitahara, T., & Ito, S. (1991). *Japanese Systems Thinking (1st ed.)*. Tokyo, Japan: Chuo-Keizai Sha.
- Kohn, A. (1994). Grading: The issue is not how but why. *Educational Leadership*, (October), 1–11.
- Kumano, Y. (2012). The competencies which aimed by the middle school science curriculum. In S. of J. S. Teaching (Ed.), *Now asking the competencies in school science-viewpoints for the new competencies* (pp. 98–105). Tokyo, Japan: Toyokan.
- Kumano, Y. (2014). Science & Technology Governance and the STEM Education. In Y. Kumano (Ed.), *A fundamental study on the construction of the research theory of science education to develop the science & technology governance* (Final rep., p. 188). Shizuoka, Japan: Shinohara Publishing Co., LTD.
- Matsuoka, Y. (2007). A Study of the Structure of Interrelation between “Interest”

- and “Effort” in Dewey’s Theory of Interest : Focusing on his Argument in Interest and Effort in Education. *Journal of Education in Nihon University*, 42(20070325), 59–74.
- MEXT (Ministry of Education Culture Sports Science and Technology). (2008). Course of study.
- Michaels, S., Shouse, A. W., & Schweingruber, H. (2008). *Ready, Set, Science!: Putting Research to Work in K-8 Science Classrooms*. (Board on Science Education Center for Education Division of Behavioral and Social Sciences, Ed.). Washington, DC: National Academies Press.
- Minnesota Office of Environmental Assistance. (2002). Environmental literacy scope and sequence. 520 Lafayette Rd. St. Paul, MN 55155-4100.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. (Achieve, Ed.). Washington, DC: The National Academies Press.
- Olson, S., & Labov, J. (2014). *STEM learning is everywhere: Summary of a convocation on building learning systems*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Osborn, A. F. (1957). *Applied imagination: Principles and procedures of creative problem solving*. Charles Scribner’s Sons. (1st ed.). New York: Charles Scribner’s Sons.
- Penick, J. E. (1984). *Science/Technology/Society. Focus on excellence Volume1, Number 5*. Washington, D.C.: National Science Teachers Association.
- Phillips, D., & Burbules, N. C. (2000). *Postpositivism and educational research*. Lanham, Maryland: Rowman & Littlefield Publishers, Inc.
- President ’ s Council of Advisors on Science and Technology. (2010). *Prepare and inspire: K-12 education in science, technology, engineering, and math (STEM) for America’s future: Executive report*. (President’s Council of Advisors on Science and Technology, Ed.). Executive Office of the President.
- President’s Council of Advisors on Science and Technology. (2012). *Engage to excel: Producing one million additional college graduates with degrees in science, technology, engineering, and mathematics. Report to the president*. Executive Office of the President.
- Roehrig, G., Moore, T., Wang, H., & Park, M. (2012). Is adding the E enough? Investigating the impact of K-12 engineering standards on the implementation of STEM integration. *School Science and Mathematics*, 112(1), 31-44.
- Saito, T., Gunji, Y., & Kumano, Y. (2015). The problem about technology on the STEM education: Some findings from action research on the professional development & integrated STEM lessons in informal fields. *K-12 STEM Education*, 1(2), 85-100.

- Saito, T., & Kumano, Y. (2015). A Study about Integrated Activities and Its Assessments in STEM Classes. In Shizuoka STEM Junior Project 2014-2015, A Report for the Future Scientist Program by JST (pp. 32–50). Shizuoka, Japan.
- Schauble, L., Klopfer, L. E., & Raghavan, K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 859–882. doi:10.1002/tea.3660280910
- Schwab, J. (1962). The Teaching of Science as Enquiry. In *The Teaching of Science* (pp. 3–103). Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Schwab, J. J. (1964). Structure of the Disciplines: Meaning and Significances. In *The Structure of Knowledge and Curriculum* (pp. 6–30). Rand McNally & Company.
- Thomas, K. (1962). *The structure of scientific revolutions*. London: University of Chicago Press.
- Vasquez, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM Lesson Essentials, Grades 3-8: Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. (K. Bryant, Ed.). Washington, D.C.: Heinemann.
- Wang, H.-H. (2011). *A New Era of Science Education: Science Teachers' Perceptions and Classroom Practices of Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Integration*. University of Minnesota.
- Yager, R. E. (1986). Searching for excellence. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(3), 209–217.
- Yager, R. E. (2014). Exemplary STEM programs: Designs for success. In R. E. Yager & H. Brunkhorst (Eds.), *Exemplary STEM Programs: Designs for success* (pp. ix–xiv). Arlington, Virginia: National Science Teachers Association.
- Yager, R. E. (2015). STEM: A focus for current science education reforms. *K-12 STEM Education*, 1(1), 1–4.

謝辞

本研究は科学研究費補助金(基盤研究 B)研究費番号 23300283 及びミネソタ大学 STEM 教育センター Gillian Roehrig 教授を中心とした NSF 予算である EngrTEAMS の支援を受けて行った。また、本研究のためのフィールドは静岡科学館る・く・るによって提供され、本文中の図については芸術家須藤萌子氏の協力により作製した。

STEMの“M”はどこにあるのか

—算数・数学教育における「方法」と「内容」に着目して—

二宮裕之
埼玉大学教育学部

1. はじめに

STEMのMはどこにあるのか。数学教育と科学教育・技術教育との関りを考え、STEMの中に存在する「数学」を見出すことが、本稿の目的である。数学教育と科学教育・技術教育との接点の1つに、「数学を『方法』として用いる」といった関わりがある。算数・数学は国語と並び「用具教科」などと呼ばれ、「他教科を学習するうえでの基礎または用具となる教科」と捉えられる場合がある。数学にそのような機能があることは否定しないし、それもまた数学のもつ重要な機能・役割である。そのような意味で言えば、STEMの中には『道具としての数学』が歴然と存在している。しかし、STEMにおいて「数学」は単なる道具に過ぎないのか。STEMの本質として数学を位置づけることはできないのか。

数学を単なる道具として捉えること、即ち「用具教科としての数学」に対して、数学教育関係者の多くは「数学の内容を学習すること自体に価値がある」と捉えようとする。数学の内容それ自体に価値があり、「内容を学ぶ(=数学を学ぶ)」ことを志向する数学教育観である。一方で、情報化や国際化という新しい社会の変容を受け、アクティブ・ラーニングや学び合いといった新しい時代に即した教育のあり方が提案されている。『学び方を学ぶ』『数学の学習を通して学ぶ』などと言われるこのような側面は、「数学の方法(数学で学ぶ)」ことに価値を置く数学教育観と言えよう。数学教育における「内容と方法」の議論は、数学教育における主要な課題の一つにもなっている。

本稿では、従来から論じられてきている数学教育における「内容と方法」の議論を踏まえ、STEMにおける「方法としての数学」に対して、STEMの『内容としての数学』の可能性を論じていきたい。

2. アメリカNCTMスタンダードに見る「内容」と「方法」

全米数学教師協議会(National Council of Teachers of Mathematics : NCTM)は1989年に『学校数学におけるカリキュラムと評価のスタンダード(Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics)』を刊行した。本書(以下、1989年版)では学年を、幼稚園から第4学年、第5学年から第8学年、第9学年から第12学年、の3つに区分している。それぞれの学年区分でスタンダードの内容は異なるものの、最初の四つのスタンダードは全ての学年区分において以下のように共通している。

- スタンダード1 : 問題解決としての数学
- スタンダード2 : コミュニケーションとしての数学
- スタンダード3 : 推論としての数学
- スタンダード4 : 数学的つながり

これら四つのスタンダードは「プロセス・スタンダード」と呼ばれ、主として『学習の方法』

について言及されるものである。1989年版では全ての学年区分において、学習の内容よりも先にその方法である「プロセス・スタンダード」が明記されている点でも、非常に斬新な提言がなされたとされている。

その後、NCTMは、2000年に『学校数学のための原則とスタンダード(Principles and Standards for School Mathematics)』（以下、2000年版）を刊行している。2000年版では、全ての学年帯を通じて、以下にあげる10個のスタンダードが共通して設けられている。

- スタンダード1：数と演算
- スタンダード2：代数
- スタンダード3：幾何
- スタンダード4：測定
- スタンダード5：データ解析と確率
- スタンダード6：問題解決
- スタンダード7：推論と証明
- スタンダード8：コミュニケーション
- スタンダード9：つながり
- スタンダード10：表現、

これら10個のスタンダードのうち、始めの5つは「内容スタンダード」、後の5つは「プロセス・スタンダード」と呼ばれる。そして後者の5つのプロセス・スタンダードについては、最初の4つのうち「推論として数学」が「推論と証明」と変わった外は1989年版とほとんど変わらないものの、最後にスタンダード「表現」が2000年版において新たに加えられている。1989年版ではプロセス・スタンダードが前面にだされ非常に強調されていたが、2000年版では内容と方法とのバランスに配慮したものとなっている。

3. 日本の数学教育における「数学的な考え方」

文部科学省により示されている算数・数学科における評価の4観点のうち、『数学的な考え方』は次のように示されている。

小学校算数（平成23年11月）

日常の事象を数理的に捉え、見通しをもち筋道立てて考え表現したり、そのことから考えを深めたりするなど、数学的な考え方の基礎を身に付けている。

中学校数学（平成23年11月）

事象を数学的に捉えて論理的に考察し表現したり、その過程を振り返って考えを深めたりするなど、数学的な見方や考え方を身に付けている。

高校数学（平成24年7月）

事象を数学的に考察し表現したり、思考の過程を振り返り多面的・発展的に考えたりすることなどを通して、数学的な見方や考え方を身に付けている。

文部科学省は従来から「数学的な考え方」を算数・数学教育の大きな柱としている。しかし、現行の学習指導要領以前は、「数学的な考え方」の中に『表現』は含まれず、数学的な表現は「技能」として別の観点に位置づいていた。平成18年の言語力育成協力者会議での換

討を経て、「考えたことを表現する」ことに加えて「表現を用いて考える」という視点から、数学的な考え方を解釈するようになった。

「数学的な考え方」という概念についての著名な先行研究として、中島(1981)や片桐(1988)がある。中島(1981)は「数学的な考え方」を、算数・数学にふさわしい創造的な活動ができることであり、『創造的』とは何かしら『新しいものをつくり出すこと』であるとしている。このような内包的規定に対して、片桐(1988)は「数学的な考え方」を大きく『方法に関わる数学的な考え方』と『内容に関わる数学的な考え方』に区分し、その具体的項目を次のように示している。

1 方法に関わる数学的な考え方

- ① 帰納的な考え
- ② 類推的な考え
- ③ 演繹的な考え
- ④ 統合的な考え
- ⑤ 発展的な考え
- ⑥ 抽象的な考え（抽象化・具体化・理想化・明確化）
- ⑦ 単純化の考え
- ⑧ 一般化の考え
- ⑨ 特殊化の考え
- ⑩ 記号化の考え（記号化・数量化・図形化）

2 内容に関わる数学的な考え

- ① 構成要素の大きさや関係に着目する【単位の考え】
- ② 表現の基本原則に基づいて考えようとする【表現の考え】
- ③ ものや操作の意味を明らかにし、それに基づいて考えようとする【操作の考え】
- ④ 操作の仕方を形式化しようとする【アルゴリズムの考え】
- ⑤ ものや操作の方法を大づかみにとらえ結果を用いようとする【総括的把握の考え】
- ⑥ 基本的法則や性質に着目する【基本的性質の考え】
- ⑦ 何を決めれば何が決まるかということに着目したり、変数間の対応のルールを見つけたり、用いたりしようとする【関数的な考え】
- ⑧ 事柄や関係を式に表したり、式を読もうとする【式についての考え】

このように日本の数学教育では、学習の内容と並行して「方法」についても議論が進められてきていた。しかしそれは、NCTM スタンドールのように、「内容」と「方法」をきちんと区分したものではなく、それらを融合した形で示されるものであった。

4. 数学教育における「内容」に対する「方法」の位置づけ

1989年版 NCTM スタンドールが示した4つのプロセススタンダード（問題解決としての数学・コミュニケーションとしての数学・推論としての数学・数学的つながり）は、世界の数学教育に大きな影響を与えるものであった。それまでの数学教育において暗黙のうちに

位置づいていた「数学の方法」が、このような形で明示され、強く意識づけられることとなった。このことは一方で、「数学戦争」と呼ばれる論争を巻き起こし、如何にして数学の「内容」と「方法」とのバランスを取るべきか、といった新たな課題を提起した。2000年版スタンダードでは、算数・数学における「方法」の協調は若干トーンダウンしているが、「プロセススタンダード」という用語とともに、算数・数学における方法的な側面の重要性について明確に示している。このことは日本の数学教育にも大きな影響を与え、算数・数学教育における「方法的側面」への注目が集まった。

現行の学習指導要領では、「方法的側面」を『算数的活動』『数学的活動』として位置付け、次のように述べている。

小学校算数

内容の「A 数と計算」、「B 量と測定」、「C 図形」及び「D 数量関係」に示す事項については、例えば、次のような算数的活動を通して指導するものとする。

第1学年

- ア 具体物をまとめて数えたり等分したりし、それを整理して表す活動
- イ 計算の意味や計算の仕方を、具体物を用いたり、言葉、数、式、図を用いたりして表す活動
- ウ 身の回りにあるものの長さ、面積、体積を直接比べたり、他のものを用いて比べたりする活動
- エ 身の回りから、いろいろな形を見付けたり、具体物を用いて形を作ったり分解したりする活動
- オ 数量についての具体的な場面を式に表したり、式を具体的な場面に結び付けたりする活動

第2学年

- ア 身の回りから、整数が使われている場面を見付ける活動
- イ 乗法九九の表を構成したり観察したりして、計算の性質やきまりを見付ける活動
- ウ 身の回りにあるものの長さや体積について、およその見当を付けたり、単位を用いて測定したりする活動
- エ 正方形、長方形、直角三角形をかいたり、作ったり、それらで平面を敷き詰めたりする活動
- オ 加法と減法の相互関係を図や式に表し、説明する活動

第3学年

- ア 整数、小数及び分数についての計算の意味や計算の仕方を、具体物を用いたり、言葉、数、式、図を用いたりして考え、説明する活動
- イ 小数や分数を具体物、図、数直線を用いて表し、大きさを比べる活動
- ウ 長さ、体積、重さのそれぞれについて単位の関係を調べる活動
- エ 二等辺三角形や正三角形を定規とコンパスを用いて作図する活動
- オ 日時や場所などの観点から資料を分類整理し、表を用いて表す活動

第4学年

- ア 目的に応じて計算の結果の見積りをし、計算の仕方や結果について適切に判断する活動
- イ 長方形を組み合わせた図形の面積の求め方を、具体物を用いたり、言葉、数、式、図を用いたりして考え、説明する活動
- ウ 身の回りにあるものの面積を実際に測定する活動
- エ 平行四辺形、ひし形、台形で平面を敷き詰めて、図形の性質を調べる活動
- オ 身の回りから、伴って変わる二つの数量を見付け、数量の関係を表やグラフを用いて表し、調

べる活動

第5学年

- ア 小数についての計算の意味や計算の仕方を，言葉，数，式，図，数直線を用いて考え，説明する活動
- イ 三角形，平行四辺形，ひし形及び台形の面積の求め方を，具体物を用いたり，言葉，数，式，図を用いたりして考え，説明する活動
- ウ 合同な図形をかいたり，作ったりする活動
- エ 三角形の三つの角の大きさの和が180度になることを帰納的に考え，説明する活動。四角形の四つの角の大きさの和が360度になることを演繹的に考え，説明する活動
- オ 目的に応じて表やグラフを選び，活用する活動

第6学年

- ア 分数についての計算の意味や計算の仕方を，言葉，数，式，図，数直線を用いて考え，説明する活動
- イ 身の回りで使われている量の単位を見付けたり，それがこれまでに学習した単位とどのような関係にあるかを調べたりする活動
- ウ 身の回りから，縮図や拡大図，対称な図形を見付ける活動
- エ 身の回りから，比例の関係にある二つの数量を見付けたり，比例の関係を用いて問題を解決したりする活動

中学校数学

数学的活動とは，生徒が目的意識をもって主体的に取り組む数学にかかわりのある様々な営みである。ここで，「数学にかかわりのある様々な営み」として中学校数学科において重視しているのは，数や図形の性質などを見いだす活動，数学を利用する活動及び数学的な表現を用いて説明し伝え合う活動である。もちろん，これらの数学的活動は基本的に問題解決の形で行われ，その過程では，試行錯誤をしたり，操作したり，資料を収集整理したり，実験したり，観察したりするなど数学にかかわりのある様々な営みが行われるが，〔数学的活動〕では上述した三つの数学的活動を示している。

数学的活動については，生徒が自立的，主体的に取り組む機会を意図的，計画的に設けることとしている。その際，生徒の発達の段階や学習する数学の内容に配慮し，次の表のように，第1学年と第2，3学年の二つに分けて示している。

	第1学年	第2，3学年
ア 数や図形の性質などを見いだす活動	既習の数学を基にして，数や図形の性質などを見いだす活動	既習の数学を基にして，数や図形の性質などを見だし，発展させる活動
イ 数学を利用する活動	日常生活で，数学を利用する活動	日常生活や社会で，数学を利用する活動
ウ 数学的に説明し伝え合う活動	数学的な表現を用いて，自分なりに説明し伝え合う活動	数学的な表現を用いて，根拠を明らかにし筋道立てて説明し伝え合う活動

小学校算数における「算数的活動」の例示は、各学年において推奨される具体的な活動を例示する形であるのに対して、中学校数学では概括的にその概要を示す形になっている。いずれも、算数・数学の『内容』に対して、それを学習する『方法』を示すものであるが、NCTM が示す「プロセススタンダード」のように、内容と方法とを明確に区分した形で示されていないところが特徴的である。

NCTM スタンダードでは、学習の内容である「内容スタンダード」と学習の方法である「プロセススタンダード」が、学習の『縦軸』と『横軸』を成すことが非常に分かりやすく示されている。一方、日本の学習指導要領は、「数学的な考え方」という従来からの概念が「内容」と「方法」とを包含する形で示されてきていることもあり、学習の内容の標記と学習の方法である「算数的活動／数学的活動」の例示が並列であり、学習の『縦軸』と『横軸』を成すことが明示的ではない。

学習の内容と方法はそれぞれが相互構成的な位置づけであり、そもそも切り離して議論することはできない。便宜的に『方法』を独立させて議論することで、学習の方法的側面を強調することはあるが、『方法』だけを学習することは不可能であり、また『方法』だけを習得させることも不可能である。その点において、日本の学習指導要領における算数・数学は「内容」と「方法」とを融合的に位置づけ論じているが、融合的に位置づけていることが「方法的側面」を見えづらくさせているようにも思える。

5. 数学教育と科学教育・技術教育との接点

現行の学習指導要領では、算数・数学と『日常の事象』との関連が強調されている。例えば、各学校段階における教科の目標は次のようになっている。(下線筆者)

小学校

算数的活動を通して、数量や図形についての基礎的・基本的な知識及び技能を身に付け、日常の事象について見通しをもち筋道を立てて考え、表現する能力を育てるとともに、算数的活動の楽しさや数理的な処理のよさに気づき、進んで生活や学習に活用しようとする態度を育てる。

中学校

数学的活動を通して、数量や図形などに関する基礎的な概念や原理・法則についての理解を深め、数学的な表現や処理の仕方を習得し、事象を数理的に考察し表現する能力を高めるとともに、数学的活動の楽しさや数学のよさを実感し、それらを活用して考えたり判断したりしようとする態度を育てる。

高等学校

数学的活動を通して、数学における基本的な概念や原理・法則の体系的な理解を深め、事象を数学的に考察し表現する能力を高め、創造性の基礎を培うとともに、数学のよさを認識し、それらを積極的に活用して数学的論拠に基づいて判断する態度を育てる。

このように「現実的な事象」を考察の対象とする学習の事例に、高等学校における科目「数学基礎(高等学校学習指導要領：平成 11 年)」「数学活用(高等学校学習指導要領：平成 21 年)」がある。これらの科目の目標は次のように定められている。

数学基礎

数学と人間とのかかわりや、社会生活において数学が果たしている役割について理解させ、数学に対する興味・関心を高めるとともに、数学的な見方や考え方のよさを認識し数学を活用する態度を育てる。

数学活用

数学と人間とのかかわりや数学の社会的有用性についての認識を深めるとともに、事象を数理的に考察する能力を養い、数学を積極的に活用する態度を育てる。

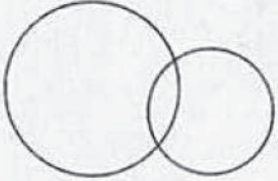
数学基礎や数学活用の学習課題として、教科書にある事例を以下に示す。

2 ▶ GPS

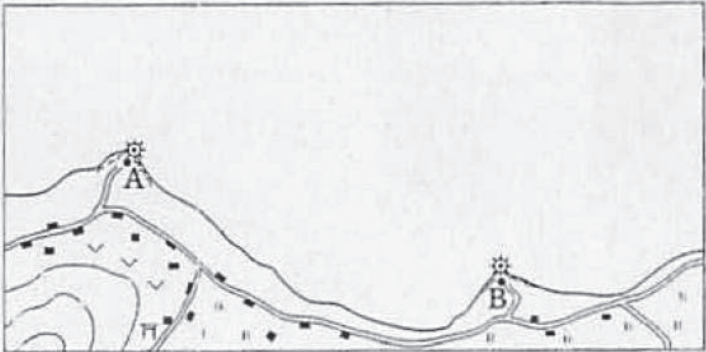
● 2つの円

沖合に1隻の船が停泊している。この船に乗っている人が船の位置を知るには、どのようにしたらよいだろうか。

いま、船から灯台Aまでの距離が2kmと測定できたとしてしよう。すると船は、中心A、半径2kmの円周上にあることになる。さらに、船からもう1つの灯台Bまでの距離が1.5kmと測定できたとすれば、船は、中心B、半径1.5kmの円周上にもあることになる。したがって、これら2つの円が交わってできる2つの交点のいずれかに船は位置していることがわかる。



交わる2つの円

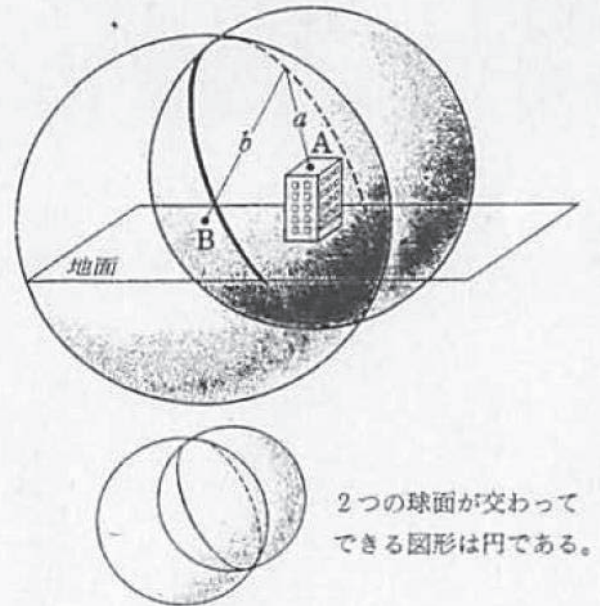


● やってみよう ●

上の図は、縮尺5万分の1の地図である。この地図上に、A、Bを中心とする、半径がそれぞれ2km、1.5kmの円をコンパスで描いて、船の位置を求めてみよう。

● 2つの球面 ●

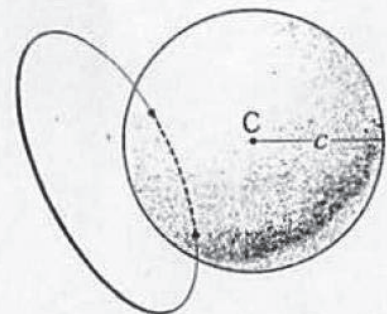
こんどは、空中に静止している1機のヘリコプターを考えよう。ヘリコプターからビルの屋上の点Aまでの距離 a 、別の点Bまでの距離 b がわかれば、ヘリコプターは、中心A、半径 a の球面上にも、また、中心B、半径 b の球面上にもあることになる。したがって、これら2つの球面が交わってできる円周上のどこかにヘリコプターは位置している。



● 3つの球面 ●

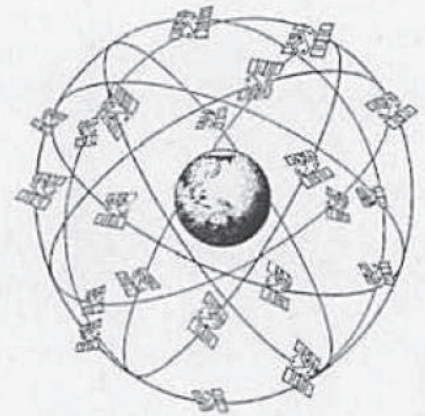
このヘリコプターから、さらに別の点Cまでの距離 c がわかれば、中心C、半径 c の球面と先の円周との2つの交点のいずれかにヘリコプターは位置していることがわかる。

このように、3つの球面の交点によって位置を知るという方法は、地球規模で位置を測定するシステムGPSでも用いられている。



● 全地球測位システム GPS ●

GPS(Global Positioning System)とは、複数の人工衛星から発射される信号電波を利用して、自己の位置を正確に測定するシステムのことである。人工衛星は、地球の周囲を回る半径約26500kmの円軌道に乗せられていて、約12時間で地球を1周している。



GPSの利用者は、専用の受信機を持つだけで、地球上のいかなる場所でも、自分の今いる正確な位置を即座に知ることができる。その位置測定の原理は、3つの球面の交点によって位置を特定するというもので、ヘリコプターの位置を求めた方法と同じである。ただし、球面の中心は人工衛星であり、半径は衛星から受信機までの距離となる。

3つの球面の交点は一般に2つある。しかし、衛星はつねに地球に向けて電波を発射しているので、2つの交点の一方は衛星からの電波が受信できない場所になる。そのため、3つの球面によって1つの位置に確定できるのである。

GPSは、自動車のカー・ナビゲーション・システムをはじめとして、船舶・航空機の運行や、登山などでも利用されている。また、地殻変動の観測にも利用され、地震予知の研究や火山噴火予知の手段としても、なくてはならないものになっている。

● やってみよう ●

GPSは、ほかにどんなところで利用されているだろうか。調べてみよう。

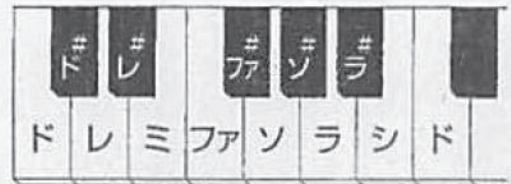
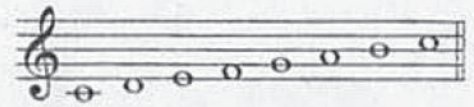
東京書籍『数学基礎』（平成14年版）

4 音階のしくみ

音階がつけられているしくみについて調べてみよう。

▶ 12個の音で1オクターブ——ドレミファソラシドの1オクターブには8個の音が並んでいるが、ピアノでは、右の図のように、^{はっけん}白鍵がこれらに対応している。この1オクターブの中に5個の^{こっけん}黒鍵があり、これらのどの鍵の音も、すぐ左にある音より半音高い音を出す。

したがって、低いほうの「ド」から右に向かって白鍵、黒鍵を順に弾いていくと、半音ずつ高くなりながら12個の音が出て、13番目に高いほうの「ド」に達する。



▶ **振動数で決まる音程**——音程の異なる音の違いは振動数の違いによるもので、音程が高くなるほど振動数が多くなる。

1オクターブの音の間隔では、振動数はちょうど2倍になっており、低いほうの「ド」の振動数を n とすると、高いほうの「ド」の振動数は $2n$ となる。半音ずつ音を高くしていくとき、振動数が一定の倍率 r で増えていくとすると、1オクターブの12音では

$$n \times \underbrace{r \times r \times \cdots \times r}_{12 \text{ 個}} = 2n$$

よって、 $r^{12} = 2$

すなわち、半音ごとに増える振動数の倍率 r は12乗すると2になる数で、およそ $r = 1.06$ である。

練習1 $r = 1.06$ について、 r^{12} がおよそ2となることを確かめなさい。



←両辺を n で割る。

←電卓を利用しよう。

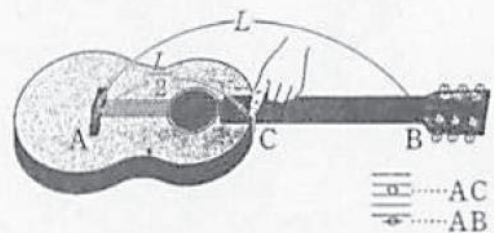
▶ **ギターの弦の長さ**——ギターは、弦の長さを決めるフレットとよばれる装置で半音ずつ異なる音が出るようになっている。

弦の長さが短くなるほど振動数が多くなり、音程は高くなっていく。弦の長さが半分になると振動数は2倍になり、ちょうど1オクターブ高い音が出る。

いま、弦の長さを L として、A から各フレットまでの間隔が順に一定の倍率 t で変わっていくとすると

$$L \times \underbrace{t \times t \times \cdots \times t}_{12 \text{ 個}} = \frac{1}{2}L$$

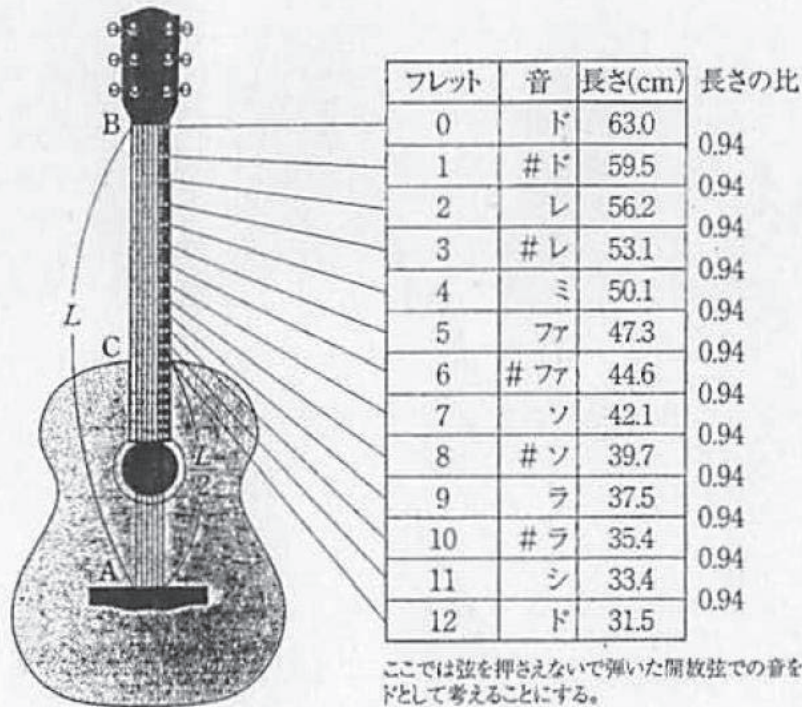
よって、 $t^{12} = 0.5$ であり、 t の値はおよそ0.94である。



練習 2 $t = 0.94$ について、 t^{12} がおよそ 0.5 と

←電卓を利用しよう。

15 なることを確かめなさい。



実教出版『数学活用』（平成 24 年版）

これらの事例は、数学的活動（事象を数学的に考察し表現すること）を通して、数学のよさを認識し、それらを積極的に活用して数学的論拠に基づいて判断する態度を育てることを目的とするものである。「数学と人間とのかかわりや、社会生活において数学が果たしている役割について理解させ、数学に対する興味・関心を高めるとともに、数学的な見方や考え方のよさを認識し数学を活用する態度を育てる」ことや、「数学と人間とのかかわりや数学の社会的有用性についての認識を深めるとともに、事象を数理的に考察する能力を養い、数学を積極的に活用する態度を育てる」ことを目指すものとして位置づけられている。具体的な場面としては、テクノロジーやエンジニアリング、或いは科学の俎上にあると判断できるものであるが、そのアプローチは数学のそれである。

中央教育審議会教育課程部会「高等学校の数学・理科にわたる探究的科目の在り方に関する特別チーム」は、より高度な思考力・判断力・表現力等を育成するための新たな科目として『理数探究(仮称)』を提案している。この科目は、従来の数学と理科の各教科で求められていた資質・能力を統合した科学的な探究能力の育成を図るとともに、課題に徹底的に向き合い考え抜いて行動する力の育成を図るものとされる。従来の「数学活用」と「理

科課題研究」とを融合する形で示される新しい科目が今後どのように位置づけられていくかは、数学教育とテクノロジー・エンジニアリング教育／理科教育との接点を探るための1つの視点となると考えられる。

4. STEM の”M”はどこにあるのか

技術教育と数学教育との接点についての報告に、例えば二宮・國宗(2007)がある。ここでは、「技術的素養の育成」を目指した授業を対象にして、そこでの問題解決プロセスを算数・数学教育の視点から分析し、科学、技術、数学の総合カリキュラム開発に資することを目的とした。具体的には、平成 16～18 年度文部科学省研究開発学校の指定を受けた東京都大田区立矢口小学校・蒲田中学校・安方中学校による「ものづくり科 (Technology Education) 教科書」において提案されている「ソーラークッカーをつくろう(3年生)」と「ザリガニロボットをつくろう(4年生)」の授業について、算数・数学教育の立場から分析した結果、そこには算数・数学との内容的関連性が見いだされるとともに、技術科における「活動」に伴う算数科の非意図的(インフォーマル)な学習が、学習(活動)を通して獲得される(算数の)理解・能力の素地となり得ることが明らかになった。技術科における活動と並行してなされる算数・数学的活動は、技術科の活動の中に確実に位置づいてはいるものの、技術科の活動に内在し、顕在化していない。そこに顕在化している算数・数学は「道具としての数学」であり、「価値ある数学の内容」が伴っているとは言い難い。

平成 28 年 9 月の本科研渡米調査では、Owatonna ESTEM Junior High において STEM における数学が顕在化されている様子を参観できた。この学校の数学教師は、「数学の内容を精査し、STEM に位置づけている」と胸を張って説明していた。しかしながら、実際に参観した数学の授業は決して高く評価できるものではなく、その内容も「価値ある数学」とは言い難いものであった。高々1日の訪問で過度に一般化することは危険であるが、彼らがそもそも数学の学習指導において「価値ある数学の内容」を教えているのか、更に言えば彼ら自身がそのような数学を理解できているのか、については大いに疑問を持った。

数学教育において、数学学習を「内容」と「方法」とに区分する視点がある。そして、方法的側面である「プロセススタンダード」は、文部科学省の言う「汎用的能力」の一部として位置づけることができるという点において、数学の学習のみならず、テクノロジー・エンジニアリング教育や科学教育にも広く適用される。更に言えば、汎用的能力は特定の教科において育成されるべきものではなく、様々な教科における活動を通して、包括的に培われるものとして捉えるべきであろう。

STEM 教育において、数学がその「方法」として位置づいていることは間違いない。しかし数学の「内容」が STEM 教育に位置づいているかについては、非常に疑わしい。一方で、学習の「方法」はそれ単独で学ばれるべきものではなく、必ず適切な「内容」を伴って学ばれるべきものである。数学教育における内容と方法の議論は、それらを相互構成的なものとして位置づけた上で、数学的な内容の学習を通して数学的な方法を習得するとともに、数学的な方法を用いて数学的な内容を学習することを示している。現状の STEM 教育において、科学技術の内容を「数学的な方法」を用いて学習することに異存は無いが、一方で、「『価値ある』数学的な内容」を全く伴わない形で「数学的な方法」が位置づけられているだけのことであれば、そこでの「数学」は単なる道具でしかない。

STEM 教育において「価値ある数学の内容」を位置づけようとするのであれば、そこに関わる数学教師は、まずは「価値ある数学の内容」を深く理解するとともに、「価値ある数学の内容」を伴う数学の授業ができる資質能力、並びにそのための教材研究を深めている必要がある。そのような数学教師が STEM に関わることで、そこでの教育は「価値ある数学の内容」を伴う STEM 教育になり得る。果たしてアメリカの学校に、そのような数学教師はどのくらいいるだろうか。価値ある数学的内容を伴う STEM を提案できるのは、もしかすると日本の数学教師かもしれない。

STEM の「M」の位置づけについては、今後の実践・研究においてさらに深く検討していくべき事柄である。

引用参考文献

※本稿におけるインターネット情報の最終アクセス日は、2017年3月1日

内田伸子(1986)「作文の心理学 - 作文の教授理論への示唆 -」『教育心理学年報』第 25 集,pp.162-177

片桐重男(1988)『数学的な考え方の具体化』明治図書

実教出版(2012)『数学活用』

中央教育審議会(2008)『幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について (答申)』

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2009/05/12/1216828_1.pdf

中央教育審議会(2015)『教育課程企画特別部会における論点整理について (報告)』

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/sonota/1361117.htm

東京書籍(2002)『数学基礎』

東京都大田区立矢口小学校(2007)『ものづくり科(Technology Education)教科書』平成 16・17・18 年度文部科学省研究開発学校

中島健三(1981)『算数・数学教育と数学的な考え方—その進展のための考察』金子書房

二宮裕之(2005)『数学教育における内省的記述表現活動に関する研究』風間書房

二宮裕之(2006)「算数・数学学習における評価とその成果に関する一考察—レポート形式の評価の事例を手がかりとして—」『日本数学教育学会誌』第 88 巻第 10 号, pp.12-21

二宮裕之・國宗進(2007)「技術的問題解決プロセスに算数・数学を位置づける」『日本科学教育学会第 31 回年会論文集』 pp.167-170

二宮裕之(2016)「数学教育と、テクノロジー・エンジニアリング教育の概念と学習プロセスからの連携」, 山崎貞登編『防災・エネルギー・リスク評価リテラシー育成の科学・技術連携カリキュラムの開発』平成 25 年度～27 年度科学研究費補助金(基盤研究 C)第 3 年次研究成果報告書, pp.39-52

文部科学省(1999)『高等学校学習指導要領解説 数学編理数編』

http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/cs/1320144.htm

文部科学省(2008)『小学校学習指導要領解説 算数編』東洋館出版社

文部科学省(2008)『中学校学習指導要領解説 数学編』教育出版

文部科学省(2009)『高等学校学習指導要領解説 数学編理数編』実教出版

文部科学省(2011)『評価規準の作成、評価方法等の工夫改善のための参考資料』

<http://www.nier.go.jp/kaihatsu/shidousiryoku.html>

文部科学省(2015)『数理探究（仮称）に関する資料』

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/070/siryoku/_icsFiles/afieldfile/2015/12/11/1363093_10_1.pdf

NCTM(1989),Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics, National Council of Teachers of Mathematics（邦訳：能田・清水・吉川監修『21世紀への学校数学の創造』，筑波出版会,1997）

NCTM(2000), Principles and Standards for School Mathematics, National Council of Teachers of Mathematics（邦訳：筑波大学数学教育学研究室「新世紀をひらく学校数学」，2001）

第3章 日本におけるSTEM教育の取り組み

モーションキャプチャシステムを利用した データを活用する授業の試み

紅林秀治
静岡大学 教育学部

1. タブレット型コンピュータの普及

校内 LAN や電子黒板等が教育現場に普及し整備されると共に、タブレット型のコンピュータを導入している小中学校が増えてきた。その数は、文部科学省が出した「平成 26 年度学校教育における教育の情報化の実態等に関する調査（概要）（平成 27 年 3 月現在）」によると、平成 27 年 3 月 1 日現在 156,018 台となっている。この数は、平成 26 年 3 月 1 日現在の 72,678 台と比較して 2 倍以上になっている。おそらくタブレット型コンピュータは、今後も普及していき、教育現場で使用される数はもっと増えていくことが予想される。ところが、経済協力開発機構（OECD）は、「教育 ICT に多額な投資を行った国でも PISA の読解力、数的リテラシー、科学的リテラシーの成績に目立った向上は見られない。」という報告を発表している（OECD Publication News 2015）。

これらの報告から、タブレット型コンピュータを活用する学習が、教育現場では今後増えていくと予想されるが、児童・生徒の基礎的な学習を支援するためのツールとして、活かしてきれていないという現状が見えてくる。したがって、タブレット型コンピュータを効果的に活用する学習方法について検討することが急務であると考えた。そこで筆者は、中学校技術・家庭（技術分野、以後技術科とよぶ）の授業での効果的活用方法を検討することにした。

2. 技術科で効果的に活用する授業

技術科では、学習内容に「D 情報に関する技術」がある（文部科学省 2008）。その学習内容では主に、情報コンテンツの設計・制作や、プログラムによる計測・制御の学習を行うなど、ICT 機器の活用よりも、ICT 機器を動作させるアプリケーションソフトを作ったり、計測・制御機器を作ったりする傾向が強い。タブレット型コンピュータを利用した計測・制御の学習も報告されているが（室伏春樹 2015）、制御プログラムを制作することが学習の中心になっている。そこで、筆者は、「D 情報に関する技術」以外での活用を検討した。その活用方法も、インターネットを利用した情報検索であったり、プレゼン資料の作成であったりというように、調べ学習や発表ツール的な利用でない方法を検討した。なぜなら、そのような活用方法は、タブレット型コンピュータでなくても可能だからである。検討の結果、筆者ら以前開発したモーションキャプチャシステム（紅林秀治 2013）を利用した学習方法を考案し実践を試みることにした。

モーションキャプチャシステムは、人の動作をデジタル情報に変換するものであるが、その情報を基に動作の特徴や動作の変化を定量的に分析できる。そしてその分析結果から、

観察だけでは捉えにくい動作と技能の関係や、環境条件と動作の関係などを明らかにすることができる。この分析作業には、一斉学習よりも、グループ学習や個別学習の方が効果的である。そこで、モーションキャプチャしたデジタルデータをグループごとに与えたタブレット型コンピュータを用いて、分析作業を行うことにした。

授業は、技術科の学習内容「B エネルギー変換に関する技術」の中の「2 足歩行ロボットの製作」で行うことにした。2 足歩行ロボットを製作する過程で、人間の歩行動作から考える場面を設け、そこでモーションキャプチャシステムとタブレット型コンピュータの両方を活用する授業を展開しようと考えた。

3. モーションキャプチャシステムについて

開発したシステムでは、KINECT センサーを用いることにより、身体の関節部位を推定し、各部位の 3 次元における位置座標(単位は mm) を一定時間間隔で取得し CSV 形式で保存する。そして、取得した位置座標を基に人体の各部位の変位や、全体の動作を比較することにより作業動作を分析する。KINECT センサーと PC を接続したシステムの概観を図 1 に示す。

作成したプログラムでは、関節部位の認識、座標値変換、データ保存をおこなう。作成したプログラムの実行画面を図 2 に示す。図 2 の「データ取得」ボタンにより、モーションキャプチャを開始する。キャプチャが成功すると、頭・首・胴・肩・肘・手・腰・膝・足が関節として認識される。認識された各関節部位とその名称を図 3 に示す。

PC 画面では、内蔵カメラによる画像と関節部位の画像を見ることができる。同時に、各関節部位の座標 (x, y, z) を取得することができる。キャプチャ時の PC 画面を図 4 に示す。各座標は図 4 の水平方向が x, 垂直方向が y, Kinect センサーから被写体までの距離が z の各座標値(単位は mm)で記録される。作成したプログラムでは取得した値を一定時間間隔で CSV 形式で保存できるようにした。保存する時間間隔は、0.033 秒 (1 秒間に 30 フレーム) とした。キャプチャは、実行画面右上の「×」ボタン(図 4)により終了する。

保存されたデータを読み込み、各関節の変位の様子を「時間の経過における変位」、「空間における変位」、「アニメーションによるモーションの再生」の 3 つを可能にするプログラムを作成した。図 2 の「データ 1 読み込み」ボタンを押すことで、モーションキャプチャした

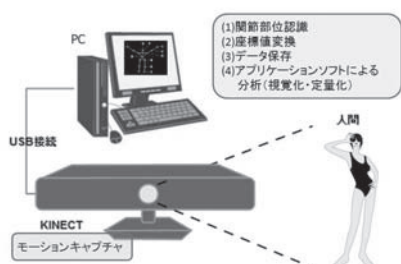


図 1 システムの概観

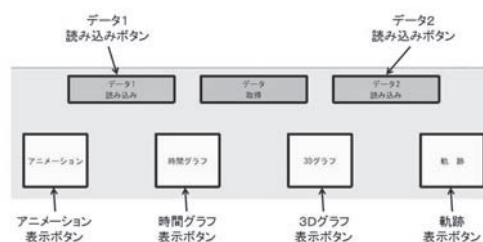


図 2 実行画面

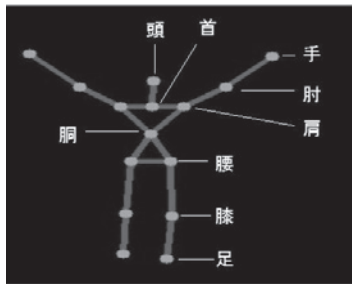


図3 各部の名称と関節部位

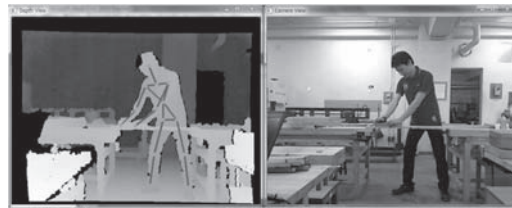


図4 キャプチャした画像，関節部位の画像（左），内蔵カメラによる画像（右）

データを読み込む。同様に「データ2 読み込み」ボタンを押すことで別のデータを読み込むことができる。アニメーションやグラフは二つのデータまで扱うことができるようにした。選択したボタンによりそれぞれのプログラムが実行される。プログラム実行後は、マウスの右ボタンにより再びメニュー画面に戻るようにした。

以降、図2の「アニメーション」「時間グラフ」「3D グラフ」「軌跡」のボタンにより実行されるプログラムについて「鉋がけ動作」(図4) をキャプチャしたデータを基に述べる。図2の「時間グラフ」ボタンにより各関節座標の一成分の時間軸による変位の変化量を示すグラフを表示する。図5に実行画面を示す。各成分は図5の左上の丸からマウスで選択でき、関節は図5左の人関節モデルの丸をマウスで選択することで、各データのグラフを表示

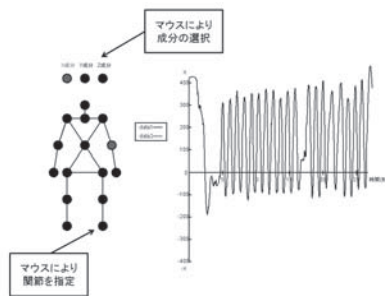


図5 時間と変位（一人）

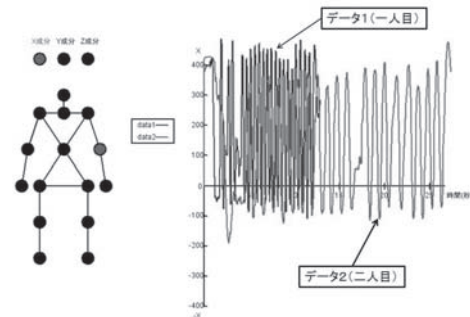


図6 時間と変位（二人）

することができる。図6のグラフは、2名の学生が鉋がけを20回行った時の右肘のx成分の時間による変位を示したものである。

図2の「3D グラフ」ボタンにより、指定した関節の動きの軌跡を3次元グラフで見ることができる。図7に、2名の学生が鉋がけを20回行った時の右肘のxyz空間における軌跡を3次元グラフ化したものを示す。KINECT センサーから見て水平方向(左右の方向)がグラフのx軸、垂直方向(上下方向)がy軸、距離(奥行き)がz軸になる。関節の指定は、図7の左に示した各関節にマウスカーソルを合わせることで任意に選択できる。3次元グラフでは、x軸、y軸、z軸のすべての情報が含まれているため、指定関節の空間的な動き

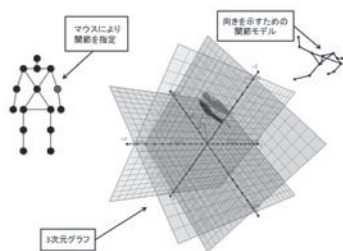


図7 3次元グラフ

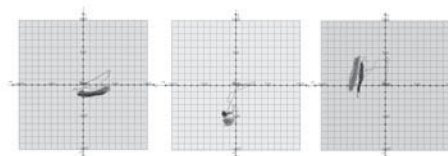


図8 2次元グラフ

を把握することができる。また、このプログラムではグラフを回転させることも可能であるため、指定関節の空間的な動きの軌跡を様々な角度から見る事ができる。グラフの回転はキーボードの“←” “→” “↑” “↓” キーと “SHIFT” “CTRL” キーにより制御する。さらに “;” “-” キーでグラフ表示の拡大と縮小ができる。

3次元グラフを回転させることで2次元平面で見ることが出来る。“1” “2” “3” キーで xy, yz, zx の各平面が表示されるようにした。図8は図7のグラフを xy, yz, zx 平面から表示したものである。平面で見たときの利便性は、二つの変位の軌跡が重なっている場合の比較の際に、その差を明確に確認できることである。このように開発したプログラムでは、指定した関節の動きを空間 (3次元) 的に捉えることも、平面 (2次元) 的に捉えることも出来る。

図2の「アニメーション」ボタンにより読み込んだデータをアニメーションで再現することができる。これによって、キャプチャした人物の各関節の動きを視覚的に捉えることができる。また、任意に回転させることが可能なため様々な角度から見る事ができる。図9と図10にアニメーションで再現した画面を示す。

アニメーション機能だけでなく、3次元グラフの時と同じ操作で回転と拡大・縮小が可能である。さらに、“1” “2” キーを押すことで2人のモデルを重ね合わせたり離したりして表示できる。また、“d” “s” キーでアニメーションの速さの調節、“p” “1” キーでアニメー

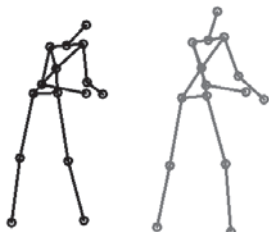


図9 アニメーション画像 (正面から見た画像)



図10 アニメーション画像 (上から見た画像)

ションの停止と再開も可能としている。

図2の「軌跡」ボタンより、アニメーション画像の動きの軌跡から3Dグラフや2Dグラフを描く。アニメーションの動きから軌跡を描くため、グラフの複雑な線が関節の変位であることを簡単に認識できる。図11に実行画面を示す。図11は、二つのデータの肘関節の軌跡を2Dグラフ上で描いているものである。

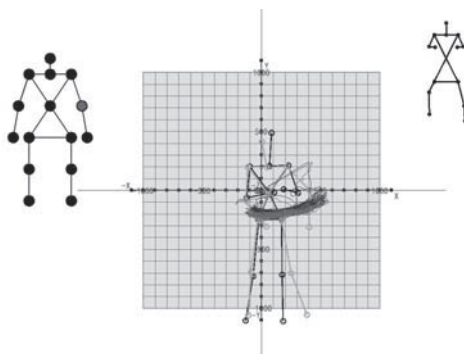


図11 軌跡を描くアニメーション画像
(2D)

4. 技術科の授業実践

技術科の学習内容「B エネルギー変換に関する技術」において、対象は静岡大学教育学部附属島田中学校3年生(120名)に対して「2足歩行ロボットの製作」の授業を行った。製作するロボットは、モータ1個を利用して歩行動作を実現させるもので、リモコンに接続し、前後の移動制御を行うことができるものである。授業計画を表1に示す。

表1 授業計画

No.	学習内容	時数
1	人間の歩行動作を分析しよう	2
2	2足歩行ロボットの設計をしよう	1
3	2足歩行ロボットを製作しよう	2
4	坂を上るときの人間の歩行動作を分析し、2足歩行ロボットの設計をしよう	2
5	坂を上る2足歩行ロボットを製作しよう	1
6	平地でも坂道でも歩くことができるようにしよう	2
7	これからのロボット技術について考えよう	1
	合計	11

表1のNo.1では、2足歩行ロボットを製作する際、モーションキャプチャを用いて、人間の平地を歩く時の動作を分析した。

表1のNo.2とNo.3では、人間の歩行動作から、1個のモータを使ったロボットで実現する方法を考え、ロボットを製作した。

表1のNo.4では、前回の授業までに製作したロボットが坂を上ることができるように改良する方法を考える授業を行った。

表1のNo.5では、No.4の授業より坂道を上ることができるようにロボットを改良する作業を行った。

表1のNo.6では、平地と坂の両方を歩行できるロボットに改良する授業を行った。

表1のNo.7では、現在のロボット技術も関して資料を用いて紹介したり、ロボット技術を活かした社会について話あったりすることで、ロボット技術が及ぼす社会への影響や未来について考えさせる授業を行った。

表1のNo.1, No.4の授業では、モーションキャプチャを用いて授業を行った。No.1の授業では、平地歩行の動作を分析した。使用したシステムによるキャプチャデータを利用したアニメーションや各関節の変異のグラフを、タブレット端末やPC画面上で確認することにより、歩行動作を分析的に捉える学習をおこなった。特にアニメーションの利用では、歩行動作を各関節の動きや関節の角度等から捉えたり、視点を変えて捉えることを通じて、バランスを取りながら歩行するために上半身が左右動いていることや、手と足、膝の動きの規則性などを生徒が気づいたりするなど、ロボットを製作する上で必要な情報を得ることができた。実際に製作するロボットは、モータを1個利用する簡単な構造であるため、人の歩行動作から得られる情報はすべて活かせるものではない。しかし、人は歩行動作を無意識に行っているため、歩行の際の重心移動に気づく生徒は少ないが、モーションキャプチャを利用することで、容易に確認できた。製作するロボットの歩行動作でも、足を交互に出すため、重心を左右どちらか片方に移動する機構が必要となる。そのため、歩行動作の分析結果はロボットの設計に有用な根拠を与えることになった。図12に生徒が歩行動作をモーションキャプチャしている時の様子を示す。

No.4の授業では、坂を上る歩行動作を分析した。製作したロボットは、平地を歩行することができるが、坂道を歩かせようとすると、バランスを崩し転倒する。しかし、人間は平地も坂も転倒することなく歩行できる。そこで、モーションキャプチャを利用して人間の平地と坂道のそれぞれの歩行動作を、アニメーションや各関節の変位グラフで比較し分析した。図13は、授業で用いたモーションキャプチャをアニメーションで比較した時の実行画面である。

この分析から生徒は、平地の歩行動作と比較して、坂を上る歩行動作では状態を前に傾けていることに気づくことができた。日常の動作では無意識に行っている動作であるが、モーションキャプチャしたアニメーションで比較することで、明らかに坂道では前傾姿勢になっていることを生徒は確認することができた。前傾姿勢にする理由として、重心を上る方向

に移動させることで、歩行バランスを取っているという仕組みに気づく生徒も出てきた。そして、坂を上るようにロボットを改良することは、ロボットを前傾姿勢で歩行できるように構造を改良することであったり、重心を上る方向に移動させるために歩く方向におもりを取り付けたりする必要性に気づいていった。図 14 と図 15 に授業の様子を示す。



図 12 歩行動作をモーションキャプチャする



図 13 平地と坂の比較



図 14 動作分析をする生徒



図 15 坂を上るためにロボットを改良している生徒

5. データから何かを見つけ出す授業へ

今回の実践では、タブレット型コンピュータを用いて、モーションキャプチャしたデータから人間の平地を歩く動作と坂道を歩く動作を比較する授業を行った。キャプチャしたデータは、無線 LAN ネットワークを介して各タブレットコンピュータに配信し、生徒は配信されたデータをグラフ化したりアニメーションで再現したりしながら分析を行った。配信されたデータは、3分ほどのキャプチャしたデータでも、表計算ソフトでは 48 列×5400 行もの量のデータになる。図 16 にキャプチャしたデータの一部を示す。

現在は、ビッグデータを扱う時代であると言われている。大量のデータから、現代社会に有用な情報を探り出し、世の中に役立てようとする試みは情報産業の中で盛んに行われている（例えば、インターネット上の情報検索サイトなど）。中学生にビッグデータを与え、その処理を体験させる学習はおそらく困難であろう。しかし、モーションキャプチャは短時間に大量のデータを生成し、そのデータから有用な情報を探り出す学習ができる。ビッグデータとは言い難いが、中学生が扱うデータ量としては十分大きいものであろう。タブレット型

コンピュータの利点は、一斉授業の中で、個別活動やグループ活動を取り入れる学習が特別教室でなく一般教室でも可能にすることである。さらに、コンピュータが得意とするデータの加工や計算処理をさせながら、仲間とデータを共有し且つ話し合うことで、有用な情報を探り出す学習が可能になる。これは、現代に求められている、ビッグデータから情報を探り出すスキルを身につける機会を与えることになるであろう。同時に、データ解析に数学の学習、ネットワークシステムやコンピュータ技術、プログラミングには工学や技術の学習が含まれる。さらに動作の解析には物理的な素養も必要となる。モーションキャプチャシステムとタブレットコンピュータを組み合わせる実践は、今後の ICT 機器を用いた学習事例として期待できる内容であると共に STEM 学習の事例となると確信する。今後は、モーションキャプチャとタブレット型コンピュータを用いた学習を、他の教科でも実践しながらその有効性を明らかにしていきたい。

本報告は、第6回静岡大学教育学部教育研究フォーラム発表要旨集の内容を一部改変したものである。執筆に協力してくださった元静岡大学教育学部附属島田中学校 山崎智志先生、大学院生の小長谷恭平君に感謝申し上げます。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	頭(X)	首(X)	胸(X)	左肩(X)	左肘(X)	左手(X)	右肩(X)	右肘(X)	右手(X)	左腰(X)	左膝(X)	左足(X)	右腰(X)	右膝(X)	右足(X)	頭(Y)	首(Y)	胸(Y)	左肩(Y)
2	8	-6	-14	-147	-414	-383	135	406	402	-115	-125	-84	68	58	0	604	393	145	398
3	9	-6	-14	-148	-411	-385	135	407	403	-114	-128	-85	69	59	4	605	393	145	398
4	8	-5	-14	-149	-411	-387	137	409	404	-113	-132	-86	69	60	2	605	393	144	397
5	9	-6	-14	-150	-412	-386	137	410	402	-113	-130	-85	69	61	8	605	392	144	396
6	9	-7	-14	-152	-412	-386	137	411	403	-112	-128	-86	70	62	14	606	392	143	396
7	8	-7	-13	-152	-410	-388	138	411	403	-111	-126	-83	70	62	0	606	391	144	395
8	8	-6	-13	-151	-408	-385	138	411	402	-111	-125	-82	70	62	4	606	391	144	395
9	8	-5	-11	-151	-408	-389	139	412	403	-110	-125	-82	77	62	8	606	391	143	394
10	8	-5	-11	-150	-408	-389	139	412	407	-110	-126	-81	76	63	9	607	392	143	395
11	8	-5	-10	-150	-404	-391	139	412	405	-111	-126	-80	80	63	13	607	392	141	395
12	8	-4	-11	-149	-404	-389	139	412	413	-111	-130	-80	77	61	17	607	392	142	396
13	9	-3	-10	-148	-401	-392	140	412	409	-111	-128	-79	75	61	15	607	392	142	397
14	9	-3	-11	-147	-401	-392	140	412	405	-113	-128	-81	74	56	12	608	393	144	397
15	8	-3	-11	-146	-399	-389	140	412	407	-112	-127	-82	74	56	9	608	392	144	397
16	7	-3	-11	-147	-400	-394	140	412	409	-113	-128	-81	73	57	8	608	392	142	396
17	8	-3	-11	-147	-400	-394	140	413	410	-113	-129	-80	74	55	4	608	391	142	396
18	9	-3	-11	-147	-398	-397	141	414	407	-113	-128	-80	74	52	6	607	391	142	396
19	9	-3	-11	-147	-397	-393	141	413	408	-113	-128	-81	73	52	7	606	391	141	396
20	9	-3	-11	-147	-396	-395	140	413	412	-113	-129	-79	73	53	9	606	391	141	396

図 16 キャプチャしたデータの一部

参考文献

- OECD Publication News: October/November 2015 No. 75, OECD Tokyo Centre, p. 1
 文部科学省(2008)「中学校学習指導要領開設 技術・家庭編」, pp32-37
 室伏春樹, 高木薫(2015)「タブレット端末を利用したプログラムによる計測・制御教材の開発」『日本産業技術教育学会誌』 Vol. 57(3), pp. 179-185
 紅林秀治, 小林健太, 江口啓, 兼宗進(2013)「KINECT センサーを用いた簡易動作分析システムの開発」『日本産業技術教育学会誌』 Vol. 55(3), pp. 213-220

植物工場を活用した STEM 教育

宮嶋将人， 山下修一
千葉大学教育学部学生， 千葉大学教育学部

(1) 問題と目的

近年，世界各国は科学技術に関する教育に力を入れており，アメリカでは STEM 教育が重要視されている。STEM 教育は科学教育，技術教育，工学教育，数学教育を統合し，一体として学習するプログラムであり，このプログラムを推進する動きが国際的にも加速している。

アメリカが STEM 教育に取り組む理由として，丸山ら（2015）は，より優れた工業製品の開発，より良いヘルスケアの実現，またエネルギー供給，環境の保全，安全保障，経済の発展などの分野で，アメリカが持つ優位性を支えるものが科学・技術・工学・数学からなる STEM 分野であると認識されている。アメリカが持つこれらの優位性を維持するためには，アメリカの教育システムをより洗練し，STEM 教育を十分に普及させなければならないと述べており，次世代の科学技術人材の育成のために新しい科学教育改革が求められている。これを受け，連邦政府に対して科学教育人材の育成について政策対応を求める多数の報告書・提言の発表によって長い年月をかけて全国的な STEM 教育強化の流れが作られ，現在は産業界，民間団体を巻き込み，さらに包括的な推進体制を目指していることが報告されている（堀田，2011）。そして，初等教育から高等教育にかけて，より STEM リテラシーの高い人材を育成するために，2012年に公表された「K-12 科学教育フレームワーク」では STEM 教育の重要性が強調され，STEM 教育推進のための共通理解として 2013年に「次世代科学スタンダード」(NGSS) が発表された。

日本においてもロボットコンテストや科学館を活用したプロジェクト，ものづくり活動を通じた教室などの実践が行われ，将来の先端科学技術に寄与する人材の育成を目指している。しかし，熊野（2014）がまだまだ日本では STEM 教育とは何かがあいまいなままであることや，丸山ら（2015）が，日本でも，同様の研究内容は既に広く取り組まれているが分野ごとに縦割りになっている感が否めないなどといった課題を指摘しているように，日本の学校教育において，領域横断的な STEM 教育を各教科の学習内容に関連付け，いかに学校の教育活動に導入していくかが難しく，明確な教材が確立されていない。そして，熊野（2016）は，STEM 教育と呼ばれるものの多くが科学の基礎やその全ての根底にある核となる概念に欠けていることを報告していることから，STEM 教育の実践には，科学的な現象を基盤として説明したり，課題解決をしたりする学習活動が必要であると考えられる。

一方、2015年9月に千葉県内の公立中学校の空き教室を利用して植物工場が導入された。植物工場は植物が育つ環境を人工的にコントロールすることができ、環境の異なる植物の生育を比較する実験等が行える。植物工場はSTEMのそれぞれの分野の要素を多く擁し、植物工場を活用したSTEM教育の実践が可能であると考えられる。しかし、導入されて間もないことから、理科の授業において植物工場を活用した科学的 content に関する実験・観察の実践や教材開発は未だ行われていない。

さらに、植物工場が学校教育に導入された背景として、中学校周辺の地域には農地がなく、子どもたちが野菜などの植物の生育を観察する機会が少ないという課題がある。STEM教育がアメリカで広がるための重要な側面について、熊野(2016)は、STEMに焦点を置いたとき、本質となる背景はビジネスコミュニティの関心と州のリーダーシップが組み合わさること、つまり州の産業を発展させるために十分な労働者を雇うことができると報告している。農地がなく農家もいない地域にとって、植物工場は新たな産業として十分に期待ができ、この中学校が存在する自治体では大きく計画が進められている。植物工場を活用したSTEM教育の実践における先進科学技術分野に寄与する人材の育成が地域の新たな産業の発展にもつながり、十分に意義があるものであると考える。

そこで本研究では、以下の3点を目的として、植物工場を活用したSTEM教育の理科授業を開発し、その効果を検証することをめざした。

- I. 植物工場を活用した教材を開発する。
- II. 植物工場を活用し、科学的 content の理解につながる理科授業をSTEM教育の視点をふまえて開発する。
- III. 開発した教材と授業を検証・分析し、授業の有効性を実証する。

(2) 研究の方法

本研究の3つの目的を達成するために以下の方法に沿って研究を行った。

1) 授業開発

まず、授業で扱う内容については中学校学習指導要領理科における「植物の体のつくりと働き」に関する内容とした。

この学習内容に関する科学的誤概念を先行研究から調査したところ、工藤(2001)は大学生に対する調査で、光合成は緑の葉緑体のある部分で行われているという光合成の基礎的認識が欠けていることだけでなく、「光合成は緑の葉だけで行われる」という誤概念の存在が懸念されるとし、荒井(2008)も多くの大学生が光合成が行われているのは葉緑体が存在する「緑色の全て」の場所ではなく、「葉のみ」とし、植物の働きが各器官での「機能分化説」と捉えていることを報告している。

以上のことから、植物の緑色に着目して、植物の各器官のつくりと働きにつ

いて光合成を基に相互に関連付け、全体の働きとしてとらえることのできる観察教材・読み物教材を開発した。

観察教材は植物の「緑色」に着目するために、葉緑体の形成と光形態形成を観察することのできる実験と、その実験結果を観察することのできる教材の開発を行った。これらを観察し、考察することで、光合成における誤概念を改めながら、各器官の生育状況にも着目して、光合成の働きが植物体全体の働きとして各器官のつくりと働きと相互に関連しながら行われていることを理解させられるような観察教材を目指し、開発を行った。

観察教材の開発では1台ずつ生育環境を設定できるワゴン型植物工場を活用した。LED照明を昼間の12時間に照射した生育環境（以下、明所）とLED照明を全く照射しない生育環境（以下、暗所）を設定した。そして、水道水をしっかりと吸収させた水耕栽培用スポンジにヤエナリの種子を1つずつ播種し、数日経過し、ヤエナリの種子が発芽できたことが確認できたら、明所と暗所それぞれのワゴン型植物工場に移植し、数日ごとに約2週間、それぞれの植物体を観察した。



図1 ワゴン型植物工場（左：明所，右：暗所）

実験の結果から光の有無による植物の芽生えの相違は主に以下の3点が観察できた。

- I. 光に当てた方は緑色になり、当てない方は白色となった。
- II. 光を当てずに育てた方が茎が長く成長する。
- III. 光を当てて育てた方が根がよく育つ。

これらのことから、植物体が光に当たり、葉緑体が形成されるかどうかによって植物の葉・茎・根の各器官の形態形成に相違があることが確かめられた。つまり、光合成と光形態形成は密接に関連した過程であり、光合成は各器官の働きによって相互に関連した総合的な働きによって行われていることが観察することができた。

光形態形成を観察するために、ワゴン型植物工場でヤエナリを日にちをずら

して育成し，明所と暗所のそれぞれ播種4日後，8日後，12日後の成長の過程を観察できるようにし，図2のような4～5名ほどのグループで観察することを想定した観察教材を作製した。

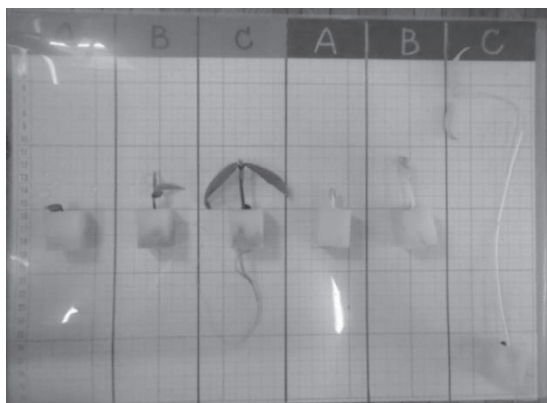


図2 観察教材

観察教材を使用することで，植物体が光に当たり，葉緑体が形成されるかどうかによって植物の葉・茎・根の各器官の形態形成に相違があることが観察することができる。しかし，中学生対象であることを配慮すると，光合成と光形態形成の過程はやや複雑であり，これによって光合成が各器官の働きによって相互に関連した総合的な働きによって行われていることをとらえるのは困難であると推測される。

したがって，より効果的に観察教材を用い，光合成を植物体全体の働きとして理解できるようにするために読み物教材として，全26ページからなる『「もやし」はどうして白いの？～植物の緑化と光合成の関係～』を開発した。この読み物教材は，植物の観察やグループワークをする際のワークシートも兼ねており，本教材を用いて「記入する」と「読む」ことの2種類の活動を行いながら授業を展開した。

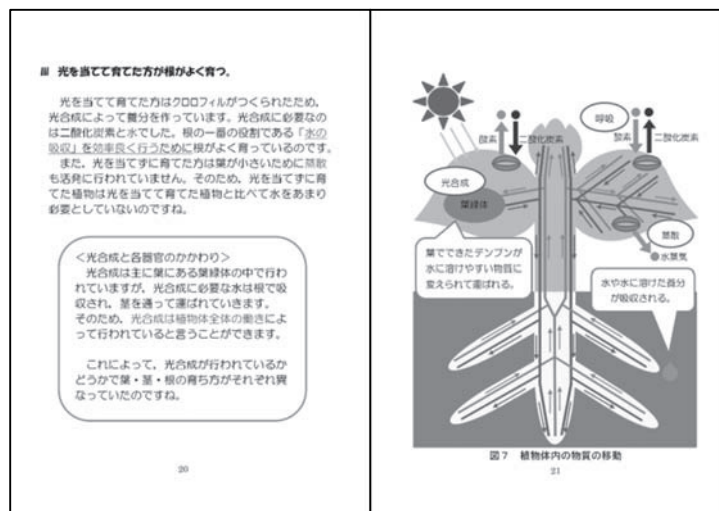


図3 読み物教材の一例

2) 授業実践

植物工場が導入された千葉県内の公立中学校第1学年の2クラス(51名)で中学校学習指導要領における理科の学習内容「植物の体のつくりと働き」を学習済みの生徒を対象とし、平成28年11月上旬に、各クラス2単位時間(1単位50分)ずつの検証授業を行った。

対象生徒のうち、一部の生徒が委員会などで植物工場の活動経験があるのみで、ほとんどの生徒が本授業で植物工場を初めて利用することとなった。

検証授業は第1時に植物工場の紹介・説明、光合成や葉緑体について読み物教材でふり返った。その後、ワゴン型植物工場での実験の方法を説明し、その結果を個人で予想させ、観察教材を4～5名のグループで観察を行った。

第2時は、第1時に観察できたことから、明所と暗所の植物の芽生えの相違の上記の3点について個人で考察した。そして、グループ活動で考察を話し合い、グループとして1つの考えにまとめた。その後、グループの考えの発表を全体で行い、最後に読み物教材を読み進めることによって、学習内容の整理を行った。

3) 授業の有効性の検証

植物工場を活用し、STEM教育の視点をふまえた検証授業を行い、授業前後の調査問題の回答を分析することによって開発した授業の有効性を検証した。検証方法の詳細については後述する。

(3) 授業の有効性の検証方法と結果および考察

1) 調査問題

検証授業の事前・事後で全3問の調査を行った。質問1はSTEMリテラシーに関する意識の変容について、「次の質問で自分の思った数字に○をつけてください。」と問い、以下の7項目について「とてもあてはまる」、「あてはまる」、「あまりはてまらない」、「あてはまらない」の4件法で尋ね、回答を4-1点に得点化した。

-
- ①植物工場がどのようなものか説明できる
 - ②植物工場を利用した授業や活動をしたい
 - ③植物工場は現代の農業の課題を解決できる
 - ④新しい科学技術に興味がある
 - ⑤科学に関係する職業に興味がある
 - ⑥理科を学習することは大切だ
 - ⑦理科の知識を使って疑問を話し合ったり、解決したりすることが好きだ
-

質問2, 3では授業で扱った科学的内容の理解についての調査を行った。授

業前後で対象生徒が植物の体のつくりと働きについての考え方がどのように変化したのか、記述内容を得点化し、比較することで、植物の各器官のつくりと働きについて光合成を基に相互に関連付け、全体の働きとしてとらえられるようになったかを分析した。

質問2は、「ピーマンの①から⑤の部分で光合成は行われますか？あなたの考えに当てはまるところに○をつけてください。また、そう考えた理由を下の〔 〕に記述してください。」と問い、ピーマンの緑色の①葉，②茎，③実，白色の④根，⑤花の部分で、それぞれ光合成が行われるかどうか選択で回答させ、その回答の理由を記述させた。

質問3は、「ワゴン型植物工場を用いて、光を当てて育てた緑色植物と光を当てずに育てた緑色植物の発芽後2週間程度の育ち方の違いを調べる実験をしました。それぞれの環境で育てた植物の葉・茎・根で色や育ち方に違いがありますか？「ない」または「ある」のいずれかに○をつけ、違いが「ある」場合はどのような違いがあるか記述してください。また、色の違いや育ち方について、そのように答えた理由を記述してください。」と問い、明所と暗所のそれぞれの環境で2週間程度育成した植物の葉・茎・根で色や育ち方にどのような違いがあるか、なぜ違いが発生するのかの理由を記述させた。

2) 結果および考察

本研究では調査問題の事後の得点から事前の得点を引いた数値によって上昇得点を算出し、Wilcoxonの符号付き順位和検定を用いて、平均ランクの差に統計的有意差があるかどうかを検定した。

質問1の結果は以下の表1.1から1.7のようになった。また、各項目は4点満点とした。

表1.1 質問1①の調査結果 (N=51)

	事前	事後	z 値
平均値	2.14	2.92	
中央値	2.00	3.00	-4.704**
標準偏差	0.98	0.87	

**Wilcoxonの符号付き順位和検定 p<.01

表1.2 質問1②の調査結果 (N=51)

	事前	事後	z 値
平均値	3.45	3.63	
中央値	4.00	4.00	-1.638
標準偏差	0.73	0.56	

**Wilcoxonの符号付き順位和検定 p<.01

表 1.3 質問 1 ③の調査結果 (N=51)

	事前	事後	z 値
平均値	3.04	3.33	
中央値	3.00	3.00	-2.599**
標準偏差	0.82	0.74	

**Wilcoxon の符号付き順位和検定 $p < .01$

表 1.4 質問 1 ④の調査結果 (N=51)

	事前	事後	z 値
平均値	3.06	3.25	
中央値	3.00	3.00	-1.684
標準偏差	0.95	0.85	

**Wilcoxon の符号付き順位和検定 $p < .01$

表 1.5 質問 1 ⑤の調査結果 (N=51)

	事前	事後	z 値
平均値	2.45	2.61	
中央値	2.00	3.00	-1.706
標準偏差	0.97	1.02	

**Wilcoxon の符号付き順位和検定 $p < .01$

表 1.6 質問 1 ⑥の調査結果 (N=51)

	事前	事後	z 値
平均値	3.25	3.33	
中央値	3.00	3.00	-0.853
標準偏差	0.74	0.77	

**Wilcoxon の符号付き順位和検定 $p < .01$

表 1.7 質問 1 ⑦の調査結果 (N=51)

	事前	事後	z 値
平均値	2.71	3.02	
中央値	3.00	3.00	-3.266**
標準偏差	0.81	0.84	

**Wilcoxon の符号付き順位和検定 $p < .01$

表 1.1 から 1.7 より、質問項目①, ③, ⑦は事前・事後調査において 1% 水準で有意差がみられた。しかし、質問項目②, ④, ⑤, ⑥は事前・事後調査において、有意差がみられなかった。

これは STEM 教育は長期的な活動の経験が必要とされているため、2 回の授業では有意に変化しないものがあつたからであると考ええる。また、対象中学校は理科教育推進校と指定されているため、理科授業に対する関心や有用性に関する意識が事前調査時点で高かつたことも原因として考えられる。

質問 2 の調査結果は表 2.1 のようになった。また、質問 2 は 12 点満点とした。

表 2.1 質問 2 の調査結果 (N=51)

	事前	事後	z 値
平均値	6.14	9.39	
中央値	6.00	10.00	-5.154**
標準偏差	2.03	2.71	

**Wilcoxon の符号付き順位和検定 $p < .01$

質問 2 については事前・事後調査において 1%水準で有意差があったことから、植物体の色に着目して、緑色の場所には葉緑体があって光合成をすることへの理解を深めさせることができた。事前では完全正答である「光合成を行うのは緑色である葉、茎、実」と回答したのは 1 名 (2.0%) であったが、事後では正答を回答したのが 27 名 (52.9%) となった。

表 2.2 質問 2 の回答の割合

回 答	事 前	事 後	
完全正答 緑色の部分は光合成をする	1名(2.0%)	27名(52.9%)	
誤答	光合成をするのは葉のみ	20名(39.2%)	5名(9.8%)
	その他の理由	30名(58.8%)	19名(37.3%)

この結果、事前では最も多くの生徒が「光合成をするのは葉のみ」と回答していたが、授業後には、半数以上の生徒が「緑色の部分は光合成をする」という一貫した認識を持って回答することができるようになった。

質問 3 の調査結果は表 3 のようになった。質問 3 は 18 点満点とした。

表 3 質問 3 の調査結果 (N=51)

	事前	事後	z 値
平均値	4.39	8.53	
中央値	4.00	9.00	-5.736**
標準偏差	2.52	2.86	

**Wilcoxon の符号付き順位和検定 $p < .01$

質問 3 については、事前・事後調査において 1%水準で有意差があった。この結果から、光の有無による緑色植物の各器官の色と生育状況の相違について、光合成と各器官のつくりと働きの関連をとらえての理解を深めさせることができた。

(4) 結論と今後の課題

検証授業の結果から、STEM リテラシーに関わる意識の調査は有意差がみられた項目もあったが、2回の授業では有意に変化しない項目もみられた。よってSTEM教育は長期的な活動の経験が必要であることが確かめられた。科学的内容については植物の光合成は緑色の葉緑体で行われていること、植物の光合成は各器官の働きが相互に関連した植物体全体の働きであることについての理解を深めることができ、開発した授業の有効性が検証できた。したがって、植物工場を活用して開発した理科授業は科学的内容を学びながらも、STEM教育としても有効な教材・授業であることが明らかになった。

上述のように、STEM リテラシーに関する意識調査において、有意差がみられなかった項目があった。本研究では植物工場での長期的な活動ができなかったため、今後は生徒が実際に植物工場を利用して、植物を育成する工学的な学びを取り入れた授業計画を行っていきたい。

付記

本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(B) 課題番号 15H02910 研究代表者：山下修一、基盤研究(B) 課題番号 16H03058 研究代表者：熊野善介)の支援を受けて実施したものである。本研究を遂行するにあたり、浦安市の中学校の先生方、特定非営利活動法人植物工場研究会から、多くの支援を頂いた。記して感謝の意を示す。

文献

- 荒井龍弥 (2008), 「大学生の回答一貫性にみるルール帰納および演繹の状態—植物の光合成を題材に—」, 『仙台大学紀要』, Vol. 39, No. 1, pp. 101-108.
- 堀田のぞみ (2011), 「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り組み - 」, 国立国会図書館調査及び立法考査局, 『科学技術政策の国際的な動向 [本編]』, 科学技術に関する調査プロジェクト調査報告書, pp. 121-134
- 工藤与志文 (2001), 「学校教育によって形成された縮小過剰型誤概念の一例—「ピーマンの実は光合成するか?」という問題について」, 『教授学習心理学研究会研究報告』, Vol. 1, pp. 2-9.
- 熊野善介 (2014), 「STEM教育の理論的枠組みとそこから導かれる実践モデルに関する考察」, 次世代科学者育成プログラム代表：熊野善介『静岡STEMジュニアプロジェクト [平成26年度～平成27年度次世代科学者育成プログラム]』, 平成26年度報告書, pp. 15-31
- 熊野善介 (2016), 「最新のアメリカのSTEM教育の展開 - 第78回 ITEEA 国際会とNSTA, STEM教育連合, TechShopの訪問分析 - 」, 日本科学教育学会, 『日本科学教育学会研究会研究報告』 Vol. 30 No. 9 pp. 57-62

丸山恭司ほか 5 名 (2015), 「STEM 教育の展開可能性に関する研究」, 広島大学
大学院教 育学研究科, 『広島大学大学院教育学研究科共同研究プロジェク
ト報告書』 13 巻 pp. 23-30

科学的根拠をもとに説明できる生徒を育てる STEM 教育

－中学校理科「生命を維持する働き」の学習を通して－

野村恵伍，山下修一
千葉大学教育学部

(1) 問題と目的

近年の米国の科学技術関連政策で重要視されている事項として、STEM 教育が挙げられる。STEM 教育は、「科学・技術・工学・数学を一体として初等中等教育活動の中に盛り込むことができるため、(中略) 分野横断型の研究課題に取り組むことで、将来最先端の科学技術分野を担う人材の育成につなげることができる」(熊野 2014) とされている。しかし、熊野 (2016) が「まだまだ日本では STEM 教育とは何かがあいまいなままである」としているように、日本の学校教育では確立された教材が少ない。特に中学校第 2 分野では、STEM 教育に焦点を当てた教材は著しく少ない。

「科学技術の進展」と関連する第 2 分野の内容の 1 つとして、医療機器の発達が挙げられる。現代の医療技術と学習を関連させることで、学習の動機づけがなされると期待できる。

ヒトの体に関する内容は、中学校 2 学年「動物の生活と生物の変遷」の「生命を維持する働き」で扱われている。ここでは、生命活動を維持するための様々な器官があることや、その働き(消化, 呼吸, 血液の循環)は学ぶ。しかし、病気や加齢などで正常な生命活動を行えなくなってしまう時、「どのように生命維持が行われているのか」ということは扱われていない。中学校 2 学年「生命を維持する働き」で学ぶ、心臓と血液循環の内容は我が国の死因原因の上位である心疾患、脳血管疾患と密接に関連している。このことから、本研究では、「生命を維持する働き」の中でも特に、心臓と血液循環の視点で、生命活動を維持していくための医療や、科学技術(医療器具)について取り上げていく。

一方、現行の学習指導要領では、理数教育における、言語活動の充実が強調された。また、PISA2012 において、我が国の生徒は自分の持つ考えを科学的根拠を基に表現し、説明することに課題があること示唆された。生命維持のために必要なこと、つまり血液の循環という観点で一人ひとりが科学的に根拠を示しながら説明し、結論を導き出せるようにすることで、以上の課題を克服できると考える。これらを踏まえ以下の 2 点を本研究の目的とする。

I. STEM 教育の観点から、血液循環を扱う理科授業の中で、Science, Technology, Engineering, Mathematics を統合的に扱うことのできる授業開発を行うこと

II. 血液の循環に着目し、生徒一人ひとりが科学的に根拠を示しながら生命維持を科学的な見方で説明できる授業開発を行うこと

(2) 方法

STEM 教育の実践について扱われている先行研究から、STEM 教育の視点を取り入れた、科学的根拠をもとに説明活動を行う授業、教材を開発した。授業を円滑に進められ、且つ被授業者の理解が進むよう、読み物教材や映像教材、モデル教材をあわせて開発した。2016年12月に公立中学校の2学年の生徒を対象に検証授業を実施した。開発した教材を用いた教材によって授業を実践する前に、事前調査として対象の学生・生徒に、血液循環による病気のメカニズムを問う問題(調査問題①)と映像資料を見ての感想や考えたことを自由記述(調査問題②)によって調査した。そして授業を実践した後、事後調査として各調査問題を行い、授業前後の変容を明らかにした。

(3) 教材開発について

1) 読み物教材

血液循環の基礎的な知識や、血液循環に不具合が生じる疾病、疾病に対する対応、心臓・心臓弁の持つ能力など授業を行う上での、教科書代わりになる読み物教材を開発した。この読み物教材では、多く STEM 教育を観点が含まつつ、説明活動を明確にかつ円滑に行うための内容が盛り込まれている。すべてのページについて文字の大きさを通常教材よりも大きくすることで読むことが苦手な生徒にも使いやすく、親しみをもって読めるようにした。また、主に各項目を見開きで扱い、左ページには文章での説明や問題提起、右ページには、図や写真などを見ながら内容の理解を促進する工夫をした。

2) 映像教材

本教材は、2015年10月18日からTBS系日曜劇場『下町ロケット』で放映された映像のうち、6話から最終話(全5話分)までを授業内容との関連をもとに、10分45秒間に編集したものである。劇中では、心臓弁膜症に苦しむ子どもを救うために町工場の研究者たちと医者たちが共同で新型心臓人工弁の開発での課題克服に奮闘する様子が描かれている。本教材を用いることで、優れた科学技術である、人工心臓弁について学び、科学技術が多くの人々の生活に安心を与えていることを感じることができる。さらに科学技術の発展には、多くの科学的な困難が存在し、それを乗り越えるためには、多くの試行錯誤が行われていることを学べる。なお、許可を取っている。

3) モデル教材

1. 血管モデル

通常の血管と、毛細血管を、2Lペットボトルとストローで作成した。2Lペットボトルの底をハサミで切り取り、血液を流せるようにしたものが通常の血管モデル。2Lペットボトルのキャップに桐で穴を開け、ストローを刺しグルーガンを使用し固定した。このストローを毛細血管モデルとした。

2. 血液モデル

①サラサラな血液，②ドロドロの血液，③血栓の3種類のモデルを製作した。サラサラな血液は水に赤い水彩絵具を溶かしたものである。ドロドロの血液は，水とPVA洗濯のりを1：1の割合で作成した赤色のスライムである。血栓は，PVA洗濯のりの割合を水よりも多くした非常に固いスライムである。

この両モデルを組み合わせることで，血液の流れを視覚的に捉えることができる。

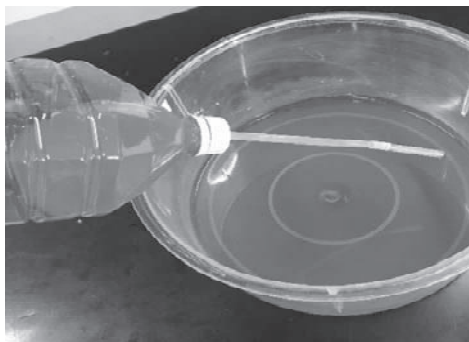


図 3-1 モデルの使用例

(4) 授業開発・実践，事前事後調査問題について

1) 開発した授業の概要

前述した教材を使用し，2時間(50分×2)の授業開発を行った。そして授業前後に調査問題を行い，その変容を分析する。

2) 中学生対象の検証授業

1. 実践対象

公立中学校2年生 A組 25名…授業①

B組 23名…授業②

2. 実践時期

授業① 平成28年12月9日，12日

授業② 平成28年12月1日，2日

3. 事前事後調査

調査は2種類ある。それらを区別するために事前事後調査①，事前事後調査②として記述する。

3-1 事前事後調査①

科学的根拠をもとに説明する力が身につけているかを問うために，授業前後の10分間で調査問題を2題出題した。事前と事後では同じ問いで調査した。問題1は，エコノミークラス症候群の発生原因と肺への影響について問うた問題。問題2は，心房細動によってできた血栓による脳への影響について問うた問題である。これら2問は「血栓が詰まる」

のはなぜかということについて、既習の血液循環と血管の太さを関連ささせて記述できるかを調査する目的がある。また血液が正常に流れないと、どのような影響があるのかを問い、科学的な根拠を基に説明できるかを調査する目的もある。

調査問題①の問題1に対する3点満点の解答例は以下とした。

足の静脈でできた、血栓が血液の循環に心臓まで流される。そして心臓の拍動によって血液が肺へ送り出されると、血栓もともに送り出され、肺の毛細血管で詰まってしまうから。

採点の観点大きく3点である。

1点目は、血液の循環によって、血栓が足から心臓に流されること。2点目は、心臓から肺へ血液の流れに乗って血栓が移動すること。3点目は、肺（肺胞）の血管は毛細血管であるため、血栓が詰まってしまうということである。それぞれの観点が記述されていれば1点ずつ加点し3点満点で採点をした。ただし、血液の循環について記述されているものの、具体的に体のどこからどこへ循環しているのかを記述できていない者には1点のみ加点した。

調査問題①の問題2に対する5点満点の回答例は以下とした。

心臓でできた、血栓が血液の流れに乗り脳へ運ばれる。脳は多くの毛細血管があり、非常に細いため、血栓が詰まってしまう。その結果十分な酸素が送られないことや、血管の破裂にもつながるから。

採点の観点大きく4点である。

1点目は、心臓から脳へ血液が循環していること（観点1）。2点目は血栓が心臓から脳へ運ばれること（観点2）。3点目は、脳の血管の多くは毛細血管であるため、血栓が詰まってしまうということ（観点3）。4点目は、血栓が詰まることによってどのような影響が出てしまうかということ（観点4）である。これら4観点に基づいて採点を行う上で2つ条件を設けた。1つ目は、血栓が心臓から脳へ運ばれていることか記述できている者に、観点1～3を採点対象とする条件である（条件1）。2つ目は、観点4において具体的な影響が示されていることで加点（2点）するという条件である（条件2）。

3-2 事前事後調査②

映像教材を見て、感じたこと考えたことを自由に記述させ、授業前後を比較し、どのような変化があったかを調査した。なお事前調査事後調査②は、生徒が事前調査でどのようなことを記述したのかを自ら比較をするために、同一の用紙を使用した。

(5) 開発した授業・教材の有効性の検証

1) 事前事後調査の検定方法

1. 調査問題①

上記した採点基準をもとに被授業者の回答を点数化した。そして分析は、IBM SPSS Statistics 23.0.0.3 を使用して行った。

事前事後調査①の問題1（3点満点）、問題2（5点満点）の平均ランクの差を、Wilcoxon の符号付順位和検定で検討した。

2. 調査問題②

事前事後調査②は、自由記述であり、映像教材を見てどのように感じ、考えたかを調査するため正答はない。そこで KH Coder による自由記述分析を行った。

2) 中学生対象検証授業の結果・考察

1. 調査問題①問題 1

事前事後調査の結果は以下のようになった。

表 5-1 事前・事後調査① 問題 1 (N=48)

	事前	事後	z 値
平均得点	0.56	1.83	
中央値	1.00	2.00	-5.498**
標準偏差	0.50	0.93	

**Wilcoxon の符号付き順位和検定, $p < .01$

事前・事後調査で差があるかを検定したところ、問題 1 は 1%水準で有意な差が見られた。この結果から、開発した教材を使用し授業を受けた生徒たちは、科学的根拠をもとに説明する力がついたと言える。

事前調査では、「血液が肺へ送られない」という肺循環に目を向けた指摘ができていた生徒が多かったが、血栓が流され、血管の細いところで詰まってしまい、血液が正常に送られないという根拠を示して言及できていなかった。しかし事後調査では、上記したような科学的な根拠をもとに説明することができていた。

2. 調査問題①問題 2

事前事後調査の結果は以下のようになった。

表 5-2 事前・事後調査① 問題 2 (N=48)

	事前	事後	z 値
平均得点	0.54	3.06	
中央値	0.00	3.00	-5.609**
標準偏差	0.68	1.56	

**Wilcoxon の符号付き順位和検定, $p < .01$

事前・事後調査で差があるかを、Wilcoxon の符号付き順位和検定で検定したところ、有意な差が見られた。この結果から、開発した教材を使用し授業を受けた生徒たちは、科学的根拠をもとに説明する力がついたと言える。

3. 調査問題② KH Coder による自由記述分析

事前調査②で語句の出現回数を名詞と形容動詞に着目して表にまとめた。

表 5-3 事前調査② 語句出現回数

	名詞	形容動詞
1	弁 (35)	大切 (10)
2	人工 (29)	大変 (9)
3	人 (28)	異常 (5)
4	心臓 (24)	大事 (4)
5	子ども (17)	いろいろ (3) かわいそう (3) 元気 (3) 必要 (3)
6	命 (11)	
7	病気 (10)	
8	感動 (8) ロケット (8) 血液 (8) 血栓 (8)	

事前調査②では、「感動」や「かわいそう」というような感情的な語句が入っていることがわかる。共起ネットワークでも「命－救う－驚く」「死ぬ－悲しむ」という語に共起性が見られ、感情的な語句の共起性が目立ちます。劇中でのラストシーンに関わる記述が多く述べられていたことが分かる。また「命」という語句も頻出であり、映像の内容から命が救われたことについて大きな印象を持つ生徒が多い結果となった。

しかし科学技術に関連する語や、「開発」などというような科学技術が完成するまでのプロセスについての工学的な語句は見られなかった。

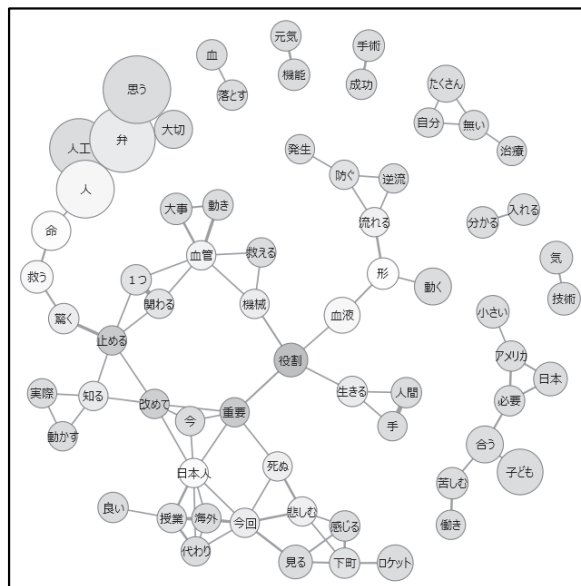


図 5-1 事前調査② 共起ネットワーク

事後調査②で語句の出現回数を名詞と形容動詞に着目して表にまとめた。

表 5-4 事前調査② 語句出現回数

	名詞	形容動詞
1	人工 (33)	大変 (21)
2	弁 (32)	大切 (11)
3	血栓 (24)	必要 (3)
4	人 (18)	いろいろ (2) 可能 (2) 重要 (2) 正常 (2)
5	病気 (15) 体 (15)	
7	心臓 (14)	
8	血液 (13) 子ども (13)	
10	機械 (9) 血 (9)	

表 5-4 を見て分かるよう、感情的な言葉が出現語句の上位に入っていないことがわかる。その代わりに、事後調査では「機械」という名詞が上位に入り、科学技術についての視点が入っていることもわかる。また形容動詞の最上位には「大変」という言葉が下位と大きく差を広げて入っている。実際に生徒の記述を見てみると、「人工弁を作るのが大変」、「血栓ができてしまう可能性があり大変」というように、開発における困難さを表す語として使用していることが分かる。これらのことから、映像から感じたこと、考えたことが感情的な思考から、科学的な思考へ変容したことがわかる。生徒の中には、「授業前に見たビデオと授業後に見たビデオがとても違うように見えた」と記述する者もいた。

事後調査②の共起ネットワーク図を以下に示す。

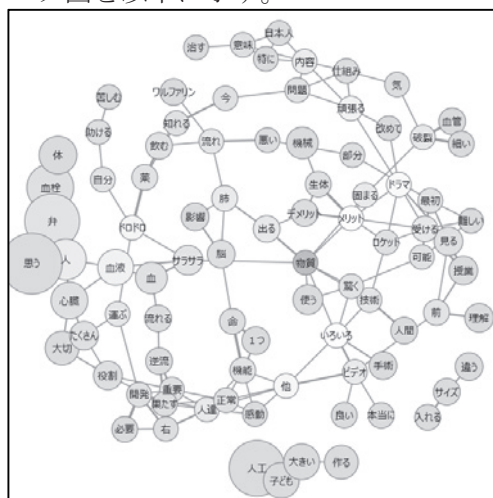


図 5-2 事後調査② 共起ネットワーク

図 5-2 を見ると、「血管—破裂—細い」「薬—ドロドロ」などに強い共起性を見ることができると言える。これは授業内で扱った内容をもとに、人工心臓弁を人体に入れた時の影響を理解して見ることができていると言える。さらに、「開発—心臓」にも強い共起性が見られ、工学的な視点への影響も確認された。一方、記述してある文章を分析すると、生徒の中には、科学技術が優れていることを認めながらも、自分の身体が正常に機能していることに幸せを感じているという記述が見られた。さらに、「弁膜症の人のために頑張っている人がたくさんいることを知った」というような工学的な視点や、読み物教材内で心臓が送り出す血液の量を計算し、その量に驚きを見せている生徒もいた。このことから、具体的に文章を見ても、STEM 教育の工学や数学の観点について効果が表れたことが明らかになった。

(6) まとめ

血液循環と人工心臓弁を関連付けて、STEM の 4 観点を統合的に扱う授業開発を行ってきた。結果として映像教材の見る視点が、事前調査では感情的な語を使った記述が多かったが、事後調査では科学的、工学的そして数学の観点と関連させて示すなど、生物分野を扱う STEM 教育の授業で、一定の効果を示すことができた。

エコノミークラス症候群や心房細動による脳への影響を、科学的根拠を示しながら正確に説明できた生徒が多かった。これは、授業内で生徒が、「血管が細いと血栓は詰まる」という根拠を導けたからである。これを支えたものが、読み物教材やモデル教材であり、これらを使うことで、血栓症について科学的根拠をもとに説明する力を育成することができた。

今後は、生徒が将来の職業選択におけるきっかけとなるような働きかけや教材の改善が必要であると考えられる。

文献

熊野 善介：「静岡 STEM ジュニアプロジェクト [平成 26 年度～平成 27 年度次世代科学者育成プログラム]」、次世代科学者育成プログラム代表：熊野善介，平成 26 年度報告書，pp. i-xviii, 2014

「日本における STEM 教育研究の在り方と展望—アメリカの STEM 教育改革の理論と実践を踏まえて—」、『日本科学教育学会年会論文集 40』，11-14, 2016

「教育の新しい潮流と次期学習指導要領を支えるエネルギー環境教育実践」，日本エネルギー環境教育学会，『はじめてのエネルギー環境教育』第 4 章 ,51-62,2016

厚生労働省：「人口動態統計年報 主要統計表 死亡 第 8 表死因順位（第 5 位まで）別にみた年齢階級・性別死亡数・死亡率（人口 10 万対）・構成割合」 Retrieve from <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/suii09/deth8.html>, 2009

国立教育政策研究所：「OECD 生徒の学習達成度調査（PISA2012）」 Retrieved from <http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/#PISA2012> , 2012

塩田真吾ほか 5 名：「ミニロボを活用した算数科における STEM 教育の試み—技術者に着目するキャリア教育の視点を取り入れて—」、『授業実践開発研究 第 9 巻』，pp.99-104,

2016

文部科学省：『中学校学習指導要領解説 理科編』，大日本図書，2008

丸山恭司ほか 5 名：「STEM 教育の展開可能性に関する研究」，広島大学大学院教育学研究科，『広島大学大学院教育学研究科共同研究プロジェクト報告書』13 巻，23-30，2015

付記

本研究の一部は，科学研究費補助金(基盤研究(B) 課題番号 15H02910 研究代表者：山下修一，基盤研究(B) 課題番号 16H03058 研究代表者：熊野善介) の支援を受けて実施したものである。本研究を遂行するにあたり，浦安市の中学校の先生方から，多くの支援を頂いた。記して感謝の意を示す。

あとがき

本研究については、研究に参加されている方々の努力により、1年目に予定されていた課題について、目標としてきた成果を上げることが出来たものと評価している。研究代表者の熊野先生により、今回は環境分野と数学分野の方々の視点も取り入れられ、多角的な掘下げが進められたことを評価している。素晴らしい成果の数々とともに、今回の研究活動を通して、STEM教育の取組による教育改革を確かな足取りとしていく上での重要な課題も顕在化してきているのも貴重な成果であろう。

STEM教育の特性に鑑み、科学、技術、工学そして数学の各分野に加え、環境分野の研究員の参画により、多様な視点からの知見が盛り込まれ、その上で、チーム討議の機会等により、研究者間で貴重な認識が共有され、多角的に掘り下げられた研究成果が図られつつあり、次年度以降の研究の発展に大きな期待が膨らんできたことを特記しておきたい。

加えて、この研究の遂行を通して、この春、静岡大学の創造科学大学院博士課程の最終試験を受審出来た二人の研究者が有意な研究者として教育・研究コミュニティに輩出されることとなったことを高く評価するとともに、こうした若手の方々が今後の本研究の遂行に積極的な貢献を果たすことを強く期待している。

一方、このあとがきを私に託された意味を真摯に受け止め、国家科学技術行政、高等教育さらには広く教育行政に関わって来た立場から、本研究の一層の充実を期待し、敢えて、次のような問題認識を認めておきたい。

本年3月の研究報告会で、「STEMのMはどこにあるのか」との課題報告は、私には、果たしてMだけの問題として捉えて良いのか、理科教育、算数・数学教育等個々の学科目ではなく、一体となったSTEM教育改革を進めようとする原点に立ち戻っての新鮮かつ重要な問題に及ぶ重要性が顕在化するのではないかと思料している。そうした観点から、スプートニク・ショック以降の画期的で国家的な教育取組とされるSTEM教育についての米国の連邦政府と各州政府などの法制的な枠組みとその実践についての取組、期待される人材像と必要な教育の内容、そして教師教育などの教育現場の質と量の取組等教育取組の実態把握等に一層の研究資源を当て、その成果を我が国のSTEM教育の方策に資することが必要ではないかと思料し、具体的取組を期待している。

我が国の教育取組み等に言及しておきたい。教育再生実行会議の平成27年5月の「これからの時代に求められる資質・能力とそれを培う教育、教師の在り方について」の第七次の提言がなされ、それらを受止めた中央教育審議会中等教育分科会教育課程部会の「次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ」において、2030年の社会と子どもたちの未来を描き、子どもたちに求められる資質・能力と教育課程の課題について、これまで検討されてきた方策が明らかにされている。STEM教育も初めて盛り込まれている。なお、平成28年1月、閣議決定された第5期の科学技術基本計画では、我が国を世界で最もイノベーションに適した国となるよう、先を見通し、戦略的に手を打っていく力とどのような変化にも的確に対応していく力の両面を重視し、政策を推進することとなっている。こうした我が国の種々の取組は期待される人材像を明らかにしたうえでの人材育成取組を図ろうとするものであって、本研究は、これに応えるSTEM教育の在り方について、貴重な貢献を果たすことが出来るものと信じており、その実現に向けての一層の取組を期待している。

本基盤研究(B)連携研究者・前静岡大学学長・静岡県教育委員会教育委員 興 直孝