SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

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

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 静岡大学 公開日: 2018-08-24 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 熊野, 善介 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/00025699

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（その２）

（課題番号16H03058）

平成３０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）

はじめに

本報告書は、平成30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2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月に法律として成立した「STEM教育法」が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、2018年の1月にアメリカ合衆国のバルティモア市で開催されたASTEの国際会議での動向調査、ミネソタ州、アイオワ州の訪問分析、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、今年度の本研究の進捗状況が、熊野によりまとめられている。おおむね研究目的・目標は達成されたといえる。

第2 章では、研究分担者による「STEM教育改革の理論的・実戦的な報告 」がなされている。まず熊野が次世代科学スタンダードを理科するにあたって科学探究に対する考え方が進歩したことに関して、「NGSSが推進するSTEM教育改革と科学的探究論」と題して、2018年2月にNSTA（全米科学教師連合学会）から出された、新しい表明文とその引用文献から新しい知見をまとめた。今後、日本のみならず世界の科学教育に少なからず影響を及ぼすことになるであろう。次に田代直幸先生による「小学校理科の授業でどのようにSTEM教育を普及するのか」というサブタイトルで、「教職大学院の授業二おけるプログラミング教育の導入」に関して、理論と実践例をまとめていただいた。畑中敏伸先生には、「日本型STEM教育としての理科授業の構築」と題して、アメリカにおけるアメリSTEM教育の特徴を踏まえて、日本モデルが考察された。萱野貴広先生には、「STEMにおける”Argument"II」と題して、萱野先生が、大学の学部の講義で展開しているSTEM教育のモデル実践をまとめていただいた。

続いて、博士課程の院生である坂田尚子氏と指導教員による、「インフォーマルな教育施設における「砂」をテーマとしたSTEM教育の試み」と題して、日本型のSTEM教育の実践モデルについてまとめられた。そして、ポストドクターとして活躍している齊藤智樹氏による「Eはいかに強調されたか」と題して、アメリカにおいて、STEM教育改革の中にエンジニアリングが科学教育の中に取り込まれていったかに関する考察が、文献調査を基に明らかにされている。さらに、紅林秀治先生による、STEM教育近接な教材の開発として、「アシスト制御を取り入れた技術教育教材について」と題して、技術科としてのまとめがなされた。続いて、学部四年生であった佐々木博登氏と附属静岡中学校の海野雅爾先生ならびに井出裕介先生らによる、「３Dプリンタ制作「羽ばたき飛行機」を使用したBIO-STEM教材の開発と実践に関する研究」と題して、大学と附属静岡中学校とのSTEM教育の共同研究がまとめらている。大変興味深い結果が得られている。さらに、JSPS 外国人特別研究員としてMs。Jeanna R.　Weeselmann女史が9月から3か月間、静岡大学熊野研究室にてSTEM教育の共同研究を展開したまとめの文が記載されている。

第3章では、2017年度の1月に８名でバルティモア市で開催された全米科学教師学会（ASTE)の国際大会に参加し3件の発表を行うとともに、STEM教育改革の動向を調査した。さらには、ミネソタ大学STEM教育センターのGillian　Roehrig教授を重心とするSTEM教育の研究チームとの理論と実践に関わる議論と訪問調査を展開したが、それらから得られた知見がまとめあれている。

まず、坂田尚子女史により、「平成29年度米国STEM教育調査旅行報告書」と題して調査旅行の概要がまとめらている。坂田さんはASTEには参加せず、アイオワ州の子ども博物館を訪問し、館長のMs.Dunkhase　とアイオワ大学のDunkhase名誉教授からSTEM教育にがインフォーマル教育でどのように展開しているかがまとめあれている。続いて、数学教育の専門家である柗元新一郎教授により、「数学教育の視点からみた科学を中心としたSTEM教育；アメリカ視察の報告」と題して、ASTEの国際学会にどのような数学教育的な要素が見られたか、STEM教育の一環としての「小学生対象の科学実験ショー」に対する考察がなされた。また、Bakken Museum の中で展開されているSTEM教育の考察と今後の課題が提示された。そして、小坂奈緒子女史から、これまで加藤学園暁秀中学校高等学校の生徒ともに開発してきた「海ボタルをSTEM実験教材と位置づけた実践研究」の発表をASTEの国際学会にてパネル発表を行い、アメリカの研究者からの質問と対話をまとめただけでなく、参加したセッションに関する考察と、STEM教材に関する考察とNSTAの科学教師教育スタンダードに関するSTEM教育への転換が起こっていることに関して報告がなされている。Lely Mutakinati (D3)とPramudya Dwi Aristya Putra(D2)は、ASTAにてSTEMに関する研究発表を行っただけでなく、参加した研究発表に関してのまとめと議論が展開されている。

第4章では、本研究に関連する資料や報告や関連している発表内容がまとめられている。特に山下修一研究分担者のチームによる発表資料、日本科学教育学会年会での課題研究について掲載した。

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る。加えて、「本基盤研究へのまとめとあとがき」と題して、前静岡大学長の興直孝先生から、励ましの言葉をいただいたことに感謝申し上げる。

平成30年3月31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・教育学部教授）

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
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
髙木　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
遠山　一郎	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
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
柗元新一郎	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　前静岡大学長
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
竹本　石樹	浜松学院大学　准教授
Lely Mutakinati	D3, 創造科学技術大学院博士課程院生
坂田　尚子	D3 創造科学技術大学院博士課程院生
小坂　那緒子	D3 創造科学技術大学院博士課程院生
黒田　友貴	D2 創造科学技術大学院博士課程院生
竹林　知大	D2 創造科学技術大学院博士課程院生
Pramudya Dwi	D2 創造科学技術大学院博士課程院生
Nurul Sulaeman	D1 創造科学技術大学院博士課程院生

(2018年 3 月 30日現在)

研究成果報告

（１）口頭発表

⑴　熊野善介（2017）アメリカのミネソタ州とアイオワ州におけるSTEM教育改革の教育政策の展開とミネソタ大学STEM教育センターとアイオワ州知事STEM教育審議会の具体的展開と評価、平成28年日本科学教育学会第8回研究会、名古屋女子大学、平成29年6月24日

⑵ 熊野善介（2017）基調講演（招待）、「STEM教育改革と21世紀型資質・能力の関係と静岡における理論と実践からみえて⑵きたこと－理系科目における探究的学びやSTSとの関連を視座に入れて－」夏の合宿研究会、日本教育工学会、2017年7月29日、13時15分から15時00分、長崎大学文教地区キャンパス。

⑶　熊野善介（2017）エネルギー環境教育とSTEM教育、1M202, 日本理科教育学会全国大会発表論文集第15号、福岡教育大学、平成29年8月5日、p.252

⑷　熊野善介（2017）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－、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅰ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.53-56.

⑸ 伊藤陽菜・高木浩一（2017）電気エネルギーを教材として活用した高等学校数学の授業構築、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅰ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.57-60.

⑹ 畑中敏伸（2017）科学教育研究におけるSTEM教育に関連する研究領域の解明、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅰ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.61-62.

⑺ G.H. Roehrig, E.Ring, & J. Wieselmann（2017）Evaluating the Quality of Integrated STEM Curriculum、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅰ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.63-66.

⑻ 齊藤智樹（2017）STEM が統合された学習環境における創造性の構成概念、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅰ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.67-70.

⑼ 山下修一・野村恵伍（2017）STEM の枠組みを生かした人工心臓弁についての理科授業開発、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅱ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.85-88.

⑽ 郡司賀透（2017）日本の中学校理科教育における技術的内容の選択－教材等調査研究会議事録の分析を中心に－、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅱ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.89-90.

⑾　坂田尚子・熊野善介（2017）アメリカ合衆国における低学年での STEM 教育の現状と日本での実践可能性についての検討、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅱ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.91-92.

⑿ 萱野貴広（2017）STEM における“Argument”、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅱ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.93-96.

⒀ 佐藤真久（2017）米国ミネソタ州オワトナ市における環境 STEM（E-STEM）教育の取組、課題研究、日本型STEM教育構築のための理論的・実践的研究に向けて：Part Ⅱ、日本科学教育学会年会論文集41、2017年8月29日、pp.97-58.

⒁　熊野善介（2017）地球・宇宙科学教育の要請に関する日米比較－21世紀型資質・能力を育成するダジック・アースやSOSの使用方略の比較を通して－、日本地学教育学会第71回全国大会兵庫大会講演予稿集、平成9月17日、pp.85-86.

⒂　坂田尚子・熊野善介（2017）生涯学習センターにおける「砂」をテーマとしたSTEM教育の試み、日本地学教育学会第71回全国大会兵庫大会講演予稿集、平成9月17日、pp.129-130.

⒃　Pramudya Dwi Aristya Putra & Yoshisuke Kumano(2017). Assessing Pedagogical Content Knowledge in STEM Education Literature Review, 3rd International Seminar on Science Education, Proceedings of 3rd Internatonal Seminar on Science Education, Yogyakarta State University, October 28th, 2017, p.xii.

⒄ Lely Mutakinati & Yoshisuke Kumano（2017). Development of STEM Learning Materials and Lessons Through Project Based Learning Model for Middle School; NGSS Framework, International Seminar on Science Education, Proceedings of 3rd Internatonal Seminar on Science Education, Yogyakarta State University, October 28th, 2017, p.xv.

⒅ Kosaka and Yoshisuke Kumano(2017) Establishment of the STEM experimental materials in Japan-using Vargula hilgendorfii－The 3rd International Seminar on Science Education (ISSE) 2017, Indonesia

⒆ Tomohiro Takebayashi & Yoshisuke Kumano(2017). Importance of Development of STEM Education for Petrology and Mineralogy, International Seminar on Science Education, Proceedings of 3rd Internatonal Seminar on Science Education, Yogyakarta State University, October 28th, 2017, p.xvii.

⒇ Yoshisuke Kumano(2017), Keynote Speaker; “Analysis and Discussion on STEM Education for Innovation in Science Education in the US and Possible Implication to the Japan and Asian Contexts”, The 3rd International Seminar on Science Education(ISSE) 2017, theme; Enhancing Interdisciplinary Practice of Science Education in the Realization of NGSS, October 28th, 2018

(21) Naoko Kosaka & Yoshisuke Kumano(2018). Establishment of the STEM experimental materials in Japan -using Vargula hilgendorfii. Poster Session A, ASTE 2018 International Conference, Baltimore, Mryland January 3-6.

(22) Lely Mutakinati & Yoshisuke Kumano (2018). STEM Education through Project Based Learning Lesson in Wastewater Issue, ASTE 2018 International Conference, Baltimore, Mryland January 3-6.

(23) Pramudya Dwi Aryistya Putra & Yoshisuke Kumano (2018). Pedagogical Content Knowledge in STEM Education for Pre-Service Teachers: Meta Analysis Data, ASTE 2018 International Conference, Baltimore, Mryland January 3-6.

(24) Pramudya Dwi Aryistya Putra & Yoshisuke Kumano (2018). Indonesian Pre-Service Science Teachers' STEM Conceptualization related Self-efficacy and Energy Content Knowledge, The 4th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University 2018, March 6th, 2018, p.36.

(25) Tomohiro Takebayashi & Yoshisuke Kumano(2018) Importance of Development of Earth Science STEM Education, The 4th International Symposium toward the Future of Advanced Researches in Shizuoka University 2018, March 6th, 2018, p.37.

（２）論文

(1) 佐藤真久・熊野善介（2017）米国における環境STEM(E-STEM)教育の環境教育学的意義ー米国におけるE-STEM教育の取組動向の把握とミネソタ州におけるE-STEM教育実践校の事例研究を通してー、エネルギー環境教育研究、日本エネルギー学会、Vol.11, No.2, 平成29年7月12日, 3-14..

(2) 奥村仁一・熊野善介（2017）高等学校でのソーラーオーブンを利用したエネルギー教育における実践的研究ー領域横断的なPBLの文脈での深い学びの発見ー、エネルギー環境教育研究、日本エネルギー学会、Vol.11, No.2, 平成29年7月12日．55-62.

(3) 奥村仁一・熊野善介(2017)高等学校生物での女子によるＰＢＬの特徴とその有効性についての実践的研究、科学教育研究、Vol.41, No.3, pp.303-315.

(4) 奥村仁一・熊野善介（2018）高等学校生物におけるBio-STEM教育を取り入れたPBLによる領域横断的な科学的思考の変容に関する実践的研究、静岡大学教育実践総合センター紀要、28巻, 2018-02-28. 125-133.

（３）出版

(1) 熊野善介(2018).「エネルギー環境教育の新しい考え方と実践ー米国の比較を通してー」、第一章、1.2、改訂版静岡県における防災・減災と原子力、pp13-25.

中間報告書　目次

はじめに

研究組織

研究成果報告

第１章　進捗状況・・・・・・・・・・・・・・・・・　熊野善介　1

第２章　STEM教育の理論と実践編

NGSSが推進するSTEM教育改革と科学的探究論・・・・　熊野善介　11

教職大学院の授業におけるプログラミング教育の導入－小学校理科の授業でどのようにSTEM教育を普及するか－・・・・・　田代直幸　16

米国における環境STEM（E-STEM）教育の取組－E-STEM教育関連文献の計量書誌学的分析と文献レビューを通して－・・・・　佐藤真久　24

日本型STEM教育としての理科授業の構築－小学校理科でのものづくりと関連させて－　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　畑中敏伸　30

STEMにおけるArgument　II　・・・・・・・・・・・・・・　萱野貴広　38

Eはいかに強調されたか。－米国STEM教育改革におけるE（エンジニアリング）の扱いについて－・・・・・・・・・・・・・　齊藤智樹　45

インフォーマルな教育施設における「砂」をテーマとしたSTEM教育の試み・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　坂田尚子・熊野善介　69

アシスト制御を取り入れた技術教育教材について・・・・・　紅林秀治　77

3Dプリンタ製作「羽ばたき飛行機」を使用したBio-STEM教材の開発と実践に関する研究－附属静岡中学校での実践を通して－・・・・・・・・・佐々木博登・海野雅爾・井出裕介・熊野善介　80

中学生の岩石・鉱物の二次的活用の有用性の認識ついて－静岡附属中学校3年生154人の調査結果－・・・・・・・・・・・・・・・　竹林知大　90

STEM Education in Japan;　A Comparison of Students' STEM Attitudes Across Learning Sites・・・・・・・・　Jeanna R. Wieselmann　94

第３章　2017年度のアメリカの調査報告とそれらに基づいた分析・解釈

平成29年度米国STEM教育調査旅行報告書・・・・・・・・・　坂田尚子　106

数学教育の視点からみた科学を中心としたSTEM教育－アメリカ視察の報告－・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　柗元新一郎　115

ASTE2018におけるSTEM教育に関する情報の報告・・・・小坂那緒子　123

STEM EDUCATION IN MIDDLE SCHOOL・・・・・・ Lely Mutakinati　128

ASSESSMENT OF STEM CONCEPTUALIZATION PRE-SERVICE STEM TEACHERS ・・・・・・・・・・・・・・・Pramudya Dwi Aristy Putra　138

資料・平成29年度発表要旨等

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF SCIENCE CLASSES　USING A PLANT FACTORY AND LEVERAGING THE STEM MODEL・山下修一　151

日本科学教育学会年会課題研究；熊野グループ発表Part 1 /Part 2・・・　159

（日本科学教育学会年会論文集についてはJ－Stageを参照してください。）

本基盤研究へのまとめとあとがき　・・・・・・・・・・・・・・・・　興　直孝　193

第１章　進捗状況

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）（進捗状況を赤で示した。）

1. 研究目的

STEM 教育改革の全貌を把握するため、これまでにも 2012 年以降、数回、少なからずの研究者が、米国訪問を実施してきたが、日本における教育改革との大きな違いとして、”教育をすることは連邦政府ではなく、地方自治、自由意思に基づくべき”という共通認識がある(長洲ら, 2001)ため、一口に STEM 教育といっても、各州・各学区・各学校で、それぞれ独自の STEM 教育が展開され、それを支援する形での教育改革が進んでいると捉えるのが妥当であろう。そこで、本研究では、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、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目的である。

2. 本研究の学術的背景

世界の科学教育改革がかなり速いスピードで展開されていることは，本研究代表者が 2012 年度9月から 12 月にアイオワ大学での客員研究員として行った研究により明らかとなった。OECD/PISA の科学ディレクターでもあった Bybee(2013)が述べるように，米国では NSTA(全米科学教育連合学会)と NAS(全米科学アカデミー)等が主になり，2012 年に STEM 教育の一環としての K-12 科学教育スタンダード（A Framework for K-12 Science Education Standards）の構築とそれと関連させた全米レベルでの教育実践の試行等により，スプートニクショックに対応した国家的な広義の科学教育改革以来の大改革となっている。すなわち，国家的規模での STEM 教育を中心とした教育改革が展開されている。様々な全米レベルので動きがある中で、長洲南海男（2013）の報告書にあるとおり，2007 年に米国競争力法（America Competes Act, P.L. 110-69）が成立したことが大きな要因となっている。すなわち，アメリカが科学技術工学数学分野で国際的競争力を維持し発展するため，そして国家的な危機を打開するための教科横断的な新たなパラダイムとしての STEM 教育改革の推進が具体的に示されたのである。これらの米国の科学教育改革については，日本学術振興会の「海外における高等教育に関する動向」（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－」堀田のぞみ（2011）,「アメリカースタンダード以後の新しい科学教育改革の動向－」熊野善介(2011), 「中学校理科の教育課程が目指す学力」熊野善介（2012）等の論文の中で解明を試みているが，全貌の解明に至っていない。一方，数学教育分野では NCTM(全米数学教師協議会)が主体となり STEM 教育を展開し，それに対し大統領諮問委員会が数学の“Common Core”としての州スタンダード作成を支援した。さらに，技術科教育分野では ITEEA(国際技術工学教育学会)が中心となって技術・工学リテラシー実現を指示し STEM 教育を展開している。このように主に米国，英国等においてそれぞれの文脈で高等教育における人材育成のみならず，初等中等教

育が極めて重要であることが認識された。その後，イギリス・ドイツ・韓国・タイ国等、多くの国において国家的規模での教科横断的な科学教育改革運動として展開されている。米国における「K-12 科学教育の新フレームワーク」は，さらに検討がなされ，2013 年に次世代科学スタンダード（NGSS）として世に出された。ここまで国家レベルで基本指針をまとめ具体的な研究と実践に取り組んだのはこれまでの 60 年代のスプートニクショック後の教育改革以来の巨大な改革であり、ほぼ26州において戦略的に領域横断的な STEM 教育改革が展開中である。そして NGSS には，「科学技術ガバナンス」の観点や，「STS や環境教育」の観点等も色濃く含まれており，まさに次世代型の領域・教科横断的な教育改革モデルであるといえる。我々日本の関連分野の研究者としては，特に米国において現在進行中のこの STEM 教育の理論と実践両面を解明し，どのような研究活動と実践が展開され，国家戦略として具体的にどのような効果が出ているかに関する成果を見出すことが求められている。日本としては東日本大震災ならびに原子力発電所の甚大な事故という国難を乗り切るためにも，また，大きく科学技術の信頼が失墜した現在，領域・教科横断的な新たなパラダイムとも言える STEM 教育の解明と展開には，同研究代表者が研究を終了した科学研究費基盤研究(B)「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」の成果も踏まえる（研究代表者：熊野善介、最終報告書、2014）。さらに2015 年に至りアメリカでは、ついに「STEM 教育法」（H.R.1020）が上院並びに下院に提案され合意形成された（Public Law 114-59, Oct. 7.2015）。日本においても理論と実践の両面において、次世代の科学教育の改善・改革を真剣に研究し、PBL や「アクティブラーニング」等が示している本質を見極め、科学教育の改革を具体的に検討をしていく必要がある。本研究はそのための基礎資料となり得る。

3. 研究期間内に明らかにすること

(1)理論面・実践面での先進性の解明

本研究において重要なポイントは、科学教育者にとって先験的な知見を得るだけでなく、STEM のその他、技術・工学・数学の分野から見ても先験的な、理論に基づいた実践の取り組みを詳しく調査することである。そのために、以下のような項目に着目して、これらについて具体的な取り組みを見せている大学・研究機関・学校に絞って訪問し、その実態を解明する。

1) 科学を中心とした領域・教科横断的な教材・カリキュラムの解明。（ほぼ完了）

2) 工学(技術)を中心とした分野包括的な実践の解明。（あまり進んでいません）

3) STEM School の運営と、州内各ブロックおよび州全体でのProfessional Development.（ほぼ理解ができた）

4) 全州規模での科学教育改革としてのSTEM 教育の解明と日本モデルへの示唆。（難しかったがある程度見えてきた。日本のモデルとしては、いくつかのケーススタディができた）

これらの点について、実際にどこを訪問し、どのような方法で解明するかは、方法の欄に記述。**(2)日本型STEM の理論と実践の構築**

9)　複数領域・教科横断した教員協働によるカリキュラムの構築とその問題点の明確化と対策。

複数領域・教科横断した教員協働によるカリキュラムの構築は　STEM　教育と完全に示してはいないが、エネルギー環境教育ということで、御前崎市の教育委員会との連動での授業研究を展開することができた。こちらも事例を踏まえながら、次年度に中心的な内容の一つなっていくと考えられる。浜松子ども館、牧之原市、御前崎市、藤枝市、焼津市、静岡市、三島市を中心にした地域の理数系先生へのSTEM 教育研修を展開する予定である。

10) 分野統合型の問題解決の分析的な枠組みの再構築とその問題点の明確化と対策。

これも次年度の目標となる。上記の各地域から集まった先生方への研修会を3 回ほど展開する予定である。この先生方への取り組みと、各地域におけるインフォーマルなSTEM　実践を通して、また、先生方の各学校での実践研究から、分野統合型の問題解決・課題解決の再構築と問題点が明らかとなってくる。

4. 本研究の学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義

本研究は STEM４分野の教育研究者、現場教員が関わるという点において特色があり、現象学的・実証的な研究を展開する。我が国においては、各教科・各領域において世界的に見ても質の高い教育・研究を構築してきた半面、生徒中心のアプローチ、現実世界の文脈に適用させていくことが求められる場面では、問題を見出し課題を解決する段階的な学習環境・教授手法の構築に更なる努力を要することは明白であり、各分野の研究者・教員がそれぞれの分野でのメリット・デメリットを見据えながら、STEM 教育として取り組むことの意義を同定していく研究が不可欠である。こうした研究を通じ、①米国における STEM 教育が「すべての人々のための学習」の基礎となる理論とその実践の関係性の実態把握、我が国における教育理論・実践への示唆の抽出。②類型化された STEM 実践により、教科実践に変更を加えた場合、教員同士の協働が行われた場合、カリキュラムとして統合された文脈を提供した場合の現状との比較検討。そして教員研修によって、それらを実際に現場教員が取り組む場合の、成果・問題点・今後の課題等、今後の教育研究及び改革への示唆の抽出が結果として得られる予定である。（①、② のこれらの点は次年度明らかになる内容である。）

5. 研究計画・方法（概要）

本研究では前述の目的達成のため、各項目に合った研究方法を取り入れる。基本的には記述的なアプローチをとり、各文脈において正確な記録をするとともに、各項目から得られた知見を有機的に理論化し、実践に応用することを可能にするためデザイン研究(Collins,1991; Brown, 1992 ら)を理論的な枠組みとして採用する。（Design Based Research とも呼ばれており特殊ではない。）

(1) の米国訪問では、インタビュー・ケーススタディ等の質的な方法、(2)の実践部分では、量的なデータ・質的なデータのそれぞれに重きを置いた Mixed Method、(3)の研修部分では参加型アクションリサーチを基に、8)ケーススタディ、9)インタビュー、10)Mixed

Method 等の方法を用い、各文脈に応じた理論を検証可能な形で適用しながら、知見をまとめていく形をとる。

ここでは、前述の②における本研究で明らかにすることである 1)〜11)に基づいて、それぞれの計画と研究方法をまとめる。

(1)理論面・実践面での先進性の解明について

1 年目は以下に示す大学・研究所・研究機関等を訪問する。米国訪問とそれに伴う共同研究は、初年度を中心に展開し、2 年目以降は下記に示す中心人物を日本に招き、教員研修に講師として参画していただく。（2017 年度 5 月に、先方の予算で静岡市にミネソタ大学 STEM 教育センターの教員・院生ならびに州教育委員会の STEM 教育担当の専門官を招聘できた。さらに日本科学教育学会での年会に STEM の課題研究を立ち上げ、ミネソタ大学の STEM 教育センターの副センター長である、ジリアン教授を本基盤研究費で招聘した。ジリアン教授は、同僚の准教授と博士課程の学生、元教え子のミシガン大学の教員を、アメリカの予算で参加していただいた。大変インパクトのある発表会となった。）

1)　科学を中心とした領域横断的な教材・カリキュラムの開発

訪問機関：ミシガン大学・ミシガン州立大学

訪問先：Dr. James Gallagher, Dr. Joseph Krajcik

研究対象：Project Based Learning, Learning Progressions, Educative Curriculum Materials

研究方法：インタビュー、実践を見せていただくことが可能であれば、日本の各領域の研究者との事前打ち合わせにより、できるだけ具体的な実践やその評価についての知見を得る。

（この両先生にはまだお会いできておりません。先生方がお忙しく日程が取れなかった。次年度トライすることを考えたい。）

2)　工学(技術)を中心とした分野包括的な実践の開発

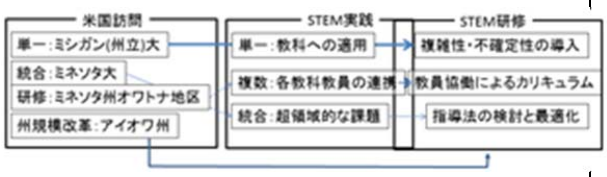
訪問機関：ミネソタ大学STEM 教育センター、Minnesota Department of Education

訪問先：Dr. Gillian Roehring(ミネソタ大)、Dr. Tamara Moore(パデュー大)、Doug Paulson(ミネソタ教育省)

研究対象：同機関のNSF プロジェクトである EngrTEAMS プロジェクト E:工学的な活動をすることで、STM の３つの学習がより生徒中心の現実社会の文脈において提供可能であるという視点を持った活動。ミネソタ州の教員免許試験である edTPA に向けた講義。

研究方法：インタビュー

研究組織		
米国調査チーム と実践評価	実践・教育研修チーム	指導・助言 チーム
熊野善介　清 原 洋 一 田代直幸　片平 克弘 紅林秀治　畑 中俊伸松元新一郎 二宮裕之　今村哲 史高木浩一　佐藤 真久山下修一　郡 司賀透	熊野善介　清原洋一 田代直幸　紅林秀治 郡司賀透　松元新一 郎萱野貴広 （研究協力） 鈴木宏昭 室伏春樹	長洲南海男 興直孝



(今年度、昨年度の両方の調査研究は、本基盤研究（B）と博士課程の予算の支援を得た)

2016 年度に参加された先生方は、田代先生、二宮先生、山下先生、畑中先生、佐藤先生、郡司先生、萱野先生、博士課程では、斎藤さん、奥村さん、坂田さん、そして、熊野でした。

2017 年度は2018 年の1 月2 日から11 日間ほど行った。参加された先生がたは、松元先生、佐藤先生、熊野と博士課程の院生から、Pramudya さん、Lely さん、坂田さん、小坂さん、ポストドクの斎藤さん（個人参加）であった。

3)　STEM School の運営と、Ph.D.によるDistrict 全体の Professional Development

訪問機関：ミネソタ州 Owatonna District における STEM School を中心とした STEM 改革に取り組んでいる学校。(McKinley Elementary, Middle School 等)

訪問先： Dr. Thomas Meagher(ミネソタ大STEM 教育センターより Ph.D.取得)

研 究 対 象 ： Dr. Meagher による Professional Development。ある先進的な学区におけるSTEM 教育改革の実際の事例にはどのような各教科への示唆があるか。

研 究 方 法 ： Dr. Meagher との共同研究。各学校の取り組みを類型化・把握するため各領域の研究者によるケーススタディ。

（2 年間で上述のすべての学校を訪問できた）

4)　全州規模での科学教育改革としてのSTEM （2015 年 10 月現在で 14 州が取り入れた。（NGSSを2017 年度で 20 州が取り入れた。STEM 教育センターが全米で 200 か所を超えた。）

研究機関：アイオワ州立大学（状況に応じてアーカンソー州立大学、カリフォルニア州立大）

訪問先：Dr. Jeffery Weld　（ William McComas, Alan Colburn）

研究対象：アイオワ州における全州規模での STEM 教育の実践とその状況調査・評価。州内の小・中学校の教員の STEM 教育実践に対する考えの抽出。STEM の実践がどう彼らの教員生活に影響しているか、またその問題点。体系的な教員研修機会。（分担研究者の畑中先生が在外研究でWilliam McComas先生の研究室に1年間滞在ができた。2016-2017.）

研究方法：州内の状況についてのインタビュー、小・中学校教員に対する聞き取り(またはアンケート)調査、研修機会の方略についてのケーススタディによる類型化。

Jeffery Weld 教授には 1 年目に訪問することができた。2 年目は、博士課程 D２の坂田さんが幼児教育のためのSTEM　教育ということで、アイオワ子ども科学館でのインタビューを行うことができた。

(2)日本型 STEM の理論と実践の構築

実践面については、米国訪問にやや遅れる形ではあるが、並行して初年度から取り組む。以下、各点に合わせて各年度の計画・方法を示す。

5)　単一のディシプリンに関わる知識・技能に基づいた実践において、より複雑な知識の関わりを学習できる教材・授業モデルの構築

研究対象：教材・授業モデルと同時に評価のモデルの構築

研究背景：評価については前述のミシガン大のチームとともに、DeBoer ら(2008)が、獲得された知識の複雑性を評価する７段階の規準を、齊藤・熊野(2015)が、Yager (1993)の科学教育の６つの領域と、現行の学習指導要領に対応した「目標に準拠した評価」を踏まえた評価というように少なくとも３例が既に提案されている。

研究目的：日本の学習指導要領上これら複雑性や不確定性に関する評価は含みこむことが可能であるのか、難しいとしたらどのような点であるかについて、実践を伴った実証的な研究によって明らかにする必要がある。

研究方法：上記2008・2015 の研究を枠組みとして、ここでは記述的な事例研究法(Yin, 2014)を採用する。この研究は3 年間継続し、多様な学習分野の課題・教材を用いて検討する。

2・3 年目；上記方法により再検討した、2016 年度版の枠組みが構築されたところで、現行カリキュラムの中で、年間を通じた実践的研究に移る。ここでは各学校のおかれた状況に依存した参加型アクション研究(Whyte, 1989)として、研究参加者の学校教員との連携により、実践上の課題の把握と、その解決を進めていく。

6)　複数のディシプリンの知識・技能を用いることで問題が解決できるようなカリキュラムの構築(教科横断的な PBL カリキュラム)

研究対象：STM の複数教科の教員が協働してカリキュラムを構築していくための研修環境

研究背景・目的：科学と工学・数学のような領域横断的な学習については、既存の研究が多く存在する。そのため初年度では、関係する諸文献整理と共に、STM の複数教科の教員が協働してカリキュラムを構築していくための、研修環境の整備を行う。

研究方法：文献研究、アクション研究(附属中学校・教育委員会との協働による)

2・3 年目

体制が構築できたところで(3)と絡め、年間数回の研修の都度、参加教員からのアンケート形式の調査により、カリキュラム構築のための研修環境の最適解を探る。

上記の実践研究（アクション研究）については、初年度の中間報告書にすでに示しているとおりである。今年度のアクション研究については、「静岡 STEM アカデミー」と題して、学長裁量経費も得て、ポストドクターの斎藤智樹さんを中心に、年 10 数回のアクション研究が展開できた。特に、卒論研究として、ユニークな実践が 2 件できた。1 つはSTEM リテラシーの向上に関する全 4 回合計 8 時間の実践研究、もう一つはSTEM 教育における自己効力感をどのように影響を及ぼすかに関する研究となった。さらに、ミネソタ大学 STEM 教育センターから JSPS からの研究費もいただきながら、Jeanna R. Wieselmannさんと連携共同研究を展開できたことは、大変価値があった。特に静岡大学附属静岡小学校での研究発表会での STEM の教師教育、また、小学校3 年生と小学校 5 年生の理科の先生と、アメリカで展開している、STEMモデル授業を展開することができたことは、日本における初めての STEM モデル授業となった。これを受けて、附属静岡中学校においても、STEM モデル授業を 1 年生の理科の授業として 3 時間×4 クラス、合計12 時間展開することができたことは、大変意義深い。

7. 7) STEM４分野の学習が包括的に統合されるようなモデルの再構築と、長期的な取り組みによる学習効果を調査する。

研究対象：STEM における 4 分野の統合した学習環境における学習効果

研究背景：静岡大学では、2013 年度より STEM キャンプ、また自由研究を通した学習次世代科学者育成プログラム(JST)統合された学習環境について研究を行ってきた。

研究目的：そこで、初年度では米国での実践事例等も参考にしながら、日本の学校でも指導可能な段階的な学習のモデルを示しながら、教員研修をスタートする。

研究方法：その際、創造性・批判的思考・メタ認知などの能力(21st century skills)が、STEM の文脈の中でどう育成されていくのかについて、 (3)の教員研修プログラムと併せた形で実践レベルに理論を提供しながら、量的・質的に解明していくことになる。初期には博士課程学生による実践、後半では現場教員による実践が成される形となる。

２・３年目

初年度で提供された理論面を踏まえたガイドラインから、２年目以降は、ここでも最小限の介入(自然主義的アプローチ)に基づいた各教員の研修活動により、モデルの再構築、実践上の課題を抽出する。

上記 STEM 教育にもとづく教員研修プログラムの開発は、1 年目、2 年目、ともにアメリカの事例に関して聞き取り調査を行った。2 年目の 2017 は、静岡県の教育委員会の校長会の内、工業系の先生方との研修会が実現し、その 6 か月後、先生方のSTEM 教育の研究発表会が2018 年 2 月におこなわれた。小学校・中学校の教師への展開は 2018 年度となる 予定である。

8) 既存の教科の中での STEM 教育の実践例の蓄積とその問題点

研究対象：日本の各教科における STEM 教育の推進

研究目的：学習指導要領の目標・内容の範囲内で、どう現実社会の文脈を組み込んでいくのかについて、具体的なイメージを各教員が持つこと。

研修課題：工学デザインの考えを取り入れた、ものづくり教材の開発・科学や技術の本質と科学概念とのかかわりについて・数学的な概念(統計や確率)と数学的な思考(証拠に基づいた推論)を、積極的に科学の授業の中に取り入れていくための方略について

2018 年度に多くが展開される予定である。

9) 複数教科の教員同士の協働によるカリキュラムの構築とその問題点

研究対象：複数教科の協働による STEM カリキュラム

研究目的：STM 教科の教員の協働における問題点の抽出とその解決

これについても2018 年度に多くが展開される予定である。

10) 分野統合型の問題に取り組む際の分析的な枠組みの再構築・評価とその問題点

研究対象：分野統合型の授業開発モデル

研究背景：前述のミネソタ大Dr. Moore 及びSaito, Gunji, & Kumano, (2015)は、授業構築のための分析的な枠組みを開発してきた。問題を児童・生徒にも解決可能な課題として提示するためのガイドであるが、これまでの日本国内では学校外教育の場でのみ試されてきた。

研究目的：実際に、学校でのカリキュラム特に、総合的な学習の時間等、超領域的な課題に取り組む学習における指導法の検討とその最適化

研究方法：以上(3)の教員研修に関わる研究では、静岡・浜松の教育研修会及び協力を得られた附属学校・公立学校において、教員の参加型アクション研究により、質的・量的なデータをもとに実証的な研究を行う。

（これらについては、2 年目にすでに展開された。3 年目も努力していきたい）

2・3 年目

上記の課題の解決段階から抽出された問題点を、2 年度目以降実証的に解決していく。アクション研究としての研修であるので、各教員の興味・関心・実践によって、見出される知見は異なるが、全体として理科の中で STEM を実施する場合の課題とその解決が主となる。2 年目以降も、柔軟に課題を設定しながら、研究期間終了後も各教員が主体的に STEM 教育の開発・実践・評価を行うような文化として、定着しうる研究を進める。

3 年目は多くの先生に研修会に参加していただき、STEM教育研究をさらに広げていきたいと願っている。本科学研究費と連動して、JST のジュニアドクター育成塾に応募し合格することができた。このプロジェクトを「静岡STEM アカデミー」と位置づけ、2017 年度に学長裁量経費を受けて、小規模に展開してきたものを、6 か所に拡大し、インフォーマルなSTEM 教育を展開するだけでなく、関係した先生方を通して、学校教育への導入もお願いする。研究が当初研究通りに進まないときの対応；海外の訪問先は、具体的なやり取りに変する可能性がある。

以上、JSPS に提出した、研究計画に対応した現在までの進捗状況をまとめた。共同研究の先生がたにおかれましては、これらの進捗状況を踏まえた、なお一層の共同研究、連携研究を展開していただきたく願います。

平成30年3月31日

研究代表者　熊野善介

第 2 章　STEM教育の理論と実践編

NGSS が推進するSTEM教育改革と科学的探究論

Theories on Scientific Inquiry and Those Relation to NGSS for the STEM Education Innovation

○熊野　善介
KUMANO Yoshisuke

静岡大学創造科学技術大学院・大学院教育学研究科
Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University & Graduate School of Education

［要約］ 全米科学教育連合学会（NSTA）から、2018 年 2 月に新たに「科学的探究（inquiry）から 3 次元の教授と学習（3D Learning）への移行」という表明文（Position Statement）が出された。本小論ではこの声明文の内容を明らかにするとともに、参考論文や引用論文を紐解くことで、1996 年に作成された全米科学スタンダードの中で、なぜアメリカにおいて inquiries（探究）を practices（プラクティス）と示す必要があったかをより詳しく明らかにできた。そして、1996 年に提示された全米教育スタンダードの問題点・改善点への理解を深めることができた。これらを受けて、日本の文脈として、STEM 教育改革のもとに、どのように科学教育・理科教育の改善・改革が必要となるのかについて議論を展開した。

［キーワード］ 科学的探究論、 STEM 教育改革, 21 世紀型スキル、NGSS, NSES

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，2018 年 1 月にバルティモアで開催された ASTE の国際大会にて発表し、尚且つ STEM 教育の研究の動向を分析し、さらにミネソタ州，アイオワ州における STEM 教育のさらなる実態調査を行うことができた。

本小論では，アメリカがこれほどやっきになっている STEM 教育改革が目指している領域横断的な科学教育改革の核心に触れた内容が、2018 年の 2 月の「科学的探究から 3 次元の教授と学習への移行」という表明文（Position Statement）が出されたことにより、その骨子となる考え方がさらに明らかになった。

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（全米次世代科学スタンダード）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，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．特に、本報告では、とくに inquiry(探究)から practices(プラクティス)へと学習論的展開を行う必要性がなぜ起こったかを理解し、日本の文脈ではこれらの展開をどのように行っていく可能性があるかにについて考察を進めることが課題である。

3.　研究方法

現地調査によるインタビューとビデオ分析，資料分析を行い，その後の文献研究をもとに分析，考察を重ねた．さらに，今年度，2018 年1月にミネソタ大学STEM教育センター・小学校・中学校・高等学校を訪問し，研究交流を展開し，様々な内容の確認作業を行いまとめることができた．

4.「科学的探究から 3 次元の教授と学習への移行」の概要

4.1「はじめに」に示されていること

1996 年に世に出た、全米科学教育スタンダードが科学的探究（scientific inquiry）をさらに進歩させた定義をしているとし、その定義として、「科学的探究には知識とスキルの両面を包含している」と示されている。そして、科学的探究そのものが確固とした内容領域の一つとなっていることがいえる。その後、NSES にしっかり定義が示されたにもかかわらず、科学的な探究に関しては、多様

な解釈と使用がなされているのがこれまでの流れであった。

4.2. 科学の教授と学習においての新しい観点で示されていること、そして、科学とエンジニアリングのプラクティスが科学教育に活発に埋め込まれること。

2012 年に作成された「K-12 科学教育フレームワーク」(NRC, 2012)では科学教育の目的が精錬され、科学的探究とは何かがより明確に特定されたと述べられている。

新しい観点として、これまでの NSES から受け継いだ科学的探究学習として、科学的探究であると同時にエンジニアリングプラクティス(発明に指向した課題解決型の学習活動、筆者追加)の両方を含む学習活動が行われる必要性が示された。さらに、これらの学習活動には、領域横断的な科学と工学のコア概念と、すべての領域に共通する大切な概念が埋め込まれ、3 次元の学習の実現が必須とされている。

そして、このところでとても大切な考え方が次にしめされていた。すなわち、NSES の考えの中で問題であったとられる考え方が示されている。「知識と科学的かつエンジニアリングプラクティスが絡み合うように授業デザインが構築されなければならない。」と示され、さらに、「様々な自然現象が理解されるために科学的・エンジニアリングプラクティスが独立して存在することはありえないのである。」と明確に示されたのである。

4.3. 自然現象こそが 3 次元の科学教授の中で、子どもたちがかかわるべき対象として使用される

従って、科学の授業を作り上げるとき、科学とエンジニアリングが絡み合って構成されるだけではなく、領域横断的な学習への移行が必須となったのである。

「科学における知識構築の目的は、科学的な証拠に基づいて、自然界またはデザインされた世界の中での出来事(事物・現象)を説明したり、予想したりするようになるための考えを作り上げることである。」(Achieve, 2016)ここでは、科学学習において、子どもが自然現象に常にかかわることが強調されている。

NSTA は NGSS で提言している、3 次元の科学学習(STEM 教育)を強く推奨するとある。このところにさらに以下のことが示されている。

「ここでの移行とは、科学的探究の否定ではないということを示すことがとても大切である。しかし、子どもの学習を推進するために、科学的探究を科学的かつエンジニアリングプラクティスへと移行することがむしろ進化であることを意味している。」(NSTA, p2)

ここまでの記述で、大切なことは NGSS では、アメリカの科学教育の中で、長らく推進してきた科学的探究(inquiry)の考え方を大きく移行させようとしていることが、読み取れるが、ミネソタ州などの州スタンダードに科学的探究学習が長い間位置づけられていることが、NGSS を州のスタンダードに取り入れるときに課題となってきたことが明らかになったのである。

4.4 提言(筆者簡訳)

NSTA は、あらゆる地域、学区、州の科学教育に関係のある人々が、フレームワークで説明されている 3 次元の教授と学習を共有し推進するために以下の内容を提言する。

○ 現象(事物現象)を説明することと課題の解決をデザインすることが科学を指導するものの中心的な活動であること。

○学習目的やカリキュラムに対応した科学的現象を選ぶこと。また、教室の中と外の両方において、科学的な現象を観察すること。

○小学校低学年から高等学校、その後の教育まで、科学とエンジニアリングプラクティス、領域横断的な共通概念、各領域のコアとなる概念の 3 つの関係が一体化して学ぶこと。

○経済的状況、認知的物理的能力、技能、年齢、文化、人種、性別、言語等のいかなる違いに関わらず、子どもたちのための 3 次元の教授と学習を進展させること。

○フレームワークで示されている学習の進展で述べられているように、時間をかけて構築される、領域横断的な概念、各領域の核となる概念、8 つのプラクティスによって得られる子どもの学びを担保すること。

○現象の説明を行うとき、または課題の解決を行うときに、子どもたちが科学的証拠を使うことを担保すること。

○子どもたちが他の生徒と意義ある、価値ある対話が生成するように支援すること。このとき科学者が現象を理解したり、工学者が課題に対する解決のためのデザインを行うように、科学者や工学者の営みに類似していることが望まれる。

○3 次元学習によって科学的現象を理解したり、子ども自身の説明や議論を構築したり、また、科学的証拠に基づいて、議論や説明の質の評価を行う機会を創ること。

○子どもたちが保有する科学的な知識や科学の本質に関する理解を個人的、社会的、地球規模の課題に対して意思決定をすることに活用するよう鼓舞すること。

○3 次元の科学教育教授においての教授モデルは様々あることを理解し、1つの書き綴られたモデルや教授方略だけを受け入れるという考えを否定すること。
○3次元学習の経験にもとづいた子どもの学びのリフレクションに基づいたアセスメントを担保すること。
(2018年2月にNSTA理事会によって合意形成がなされた。)

2013 年に NGSS が作成されてから、すでに 5 年が経ち、2018 年 2 月に、NSTA の表明文として、「科学的探究から 3 次元の教授と学習への移行」という表明文が出されたことには大きな意味があるといえる。それは、NGSS を各州の科学スタンダードとして採用するために、越えなければならない内容が明確になってきたということである。すなわちアメリカの科学教授における「科学的探究（inquiry）」という確固たる教授概念の転換を NGSS は提案しているのである。参考文献の中にも有意義な議論が見られるので、以下にいくつかの注目すべき考えの文脈を記述することとする。

4.4　科学教育において科学探究の概念規定を進化させる必要は何か。

NSTA による「科学的探究から 3 次元の教授と学習への移行」という表明文が NGSS の発表から 5 年を経て出される必要性がどうしてあるのであろうか。どのような文脈が内在するか大変興味深い内容である。声明文にある参考文献を当たり、*“What Ever Happened to Scientific Inquiry? A Look at Evolving Notions of Inquiry Within the Science Education Community and National Standards.”*（AIR & WDPI, 2016）を入手することができた。以下に重要な点をまとめる

4.4.1 手を動かし、思考を働かせる学習アプローチとしての「inquiry（探究）」

1996 年に作成された、全米科学教育スタンダード（NSES）の下で記載されている inquiry(探究)について引用した。

「*スタンダードでは科学の過程よりもより深い学習を求めているのである。すなわちここでは、観察、予想または推論、実験で培われる能力を身に付けるのである。inquiry(探究)は科学学習の中心に位置づけられる。inquiry(探究)を行うということは、児童生徒は事物・現象について記述し、質問を述べ、説明を構築し、今日的な科学の知識に照らして、自分たちの解釈をテストし、自分たちの考えを仲間と相互に話し合うことである。児童生徒は自分たちの**推論**を確認し、判断（批判）的な思考や論理的な思考を使い、代替案を考え出すのである。このようにして児童生徒は理由づけることと考えを構築する方略を用いて科学的な知識を繋ぎ合わせることによって、科学に対する理解を開発していくのである。」(NSES, p2)*

さらに、より具体的に以下の NSES の引用をしている。

「*科学的 inquiry(探究)は、科学者の仕事から導かれる科学的証拠に基づいて、科学者は自然界を研究し、解釈を提言する中で使用される様々な研究方略を参照する。と同時に inquiry(探究)は、児童生徒が科学的な知識を構築したり科学的な考えを理解したり、さらには、以下に科学者が事前会を研究しているのかを理解するための児童・生徒の学習活動を参照するのである。」(1996, NSES, p23)*

そして、前文と重なるが、NSES では 8 つの能力が示された。それらは、*○質問を明確化すること、○科学的な調査を計画し遂行すること、○データを分析・解釈するための適切な道具や技能を使用すること、○証拠に基づいて記述し、説明し、推察し、モデルを構築すること、○科学的な証拠と解釈の間の関係づけて判断的にかつ論理的にかんがえること、○代替案や予測を認識し、分析すること、○科学的な過程と解釈を相互に関係図蹴ること、○科学的 inquiry(探究)のどの段階においても数学を用いること*である（NSTA, p145-－148.）。

さらに 5 年後、「Inquiry and the National Science Education Standards」(NRC, 2000)が出版され、学校での探究における 5 つの原理が示された。

「○科学的に指向された疑問によって各州活動を行うこと、○学習者は科学的な証拠を優先すること、この証拠により、科学的に指向された疑問によって導かれる解釈をつくりあげ、それを評価することができるようになる。○科学的に指向した疑問によって導かれた証拠から、学習者は解釈を作り上げること、○取り分け、科学的な理解という振り返りを繰り返しながら、代替の解釈という点において、学習者たちの解釈を評価すること、○学習者同士の相互の意思疎通を通して、提案した解釈を正当化すること。」(NRC, p25)

4.4.2 教育現場への inquiry(探究)からの新しい言い回しプラクティス（practices）への移行

Barrows(2006)によれば、inquiry(探究)がとても多義的なとらえ方で示されたので、現場の教育者

が混乱したと述べられた(p274)。Asay & Orgill (2010)によれば、**この時点で、多くの科学の教師は、inquiry(探究)を科学の内容を学ぶための車のようなものという捉え方ではなく、科学の過程としての inquiry(探究)として捉えられたとした(p57)。**

「科学的探究から 3 次元の教授と学習への移行」(2016)のプロジェクトのメンバーは、K-12 科学教育フレームワーク(NRC, 2012)をまとめた委員会の主要メンバーらにインタビューをしている。まず、スタンフォード大学名誉教授であり、NRC の前理事長の Helen Quinn 博士は、「*学校では inquiry(探究)は、体験型の学習と同義語となっており、活動には分析したり、考えたりすることが常にあるとは限らない。*」と述べた。さらに、Quinn 博士は、「*仮説(Hypothesis)」を間違って理解していることがあり、子どもたちに推測をさせたり、正しい仮説を作らないようにしているなどが挙げられる。当時(恐らく 1996 年当時の)学校では、inquiry(探究)はとても薄っぺらなものであった。*」と述べた。

ウィスコンシン州立大マディソン校の講師である、Melissa Braaten 博士は、次のように述べた。「*学校では、inquiry(探究)は実験から導かれる公式づくりのような、狭いイメージがある。科学の先生がたは、inquiry(探究)を科学の手法として参照しがちである。しかも、inquiry(探究)が科学者の知的な営みであるなどと考えていない。*」

NGSS の主要著者のミシガン州立大学の科学教育学の教授 Joseph Krajcik 博士は、「*NSES 世に出た頃、inquiry(探究)は科学の学習において、独立した内容の 1 つと見なされた*」と述べた。

inquiry(探究)において、1996 年代から長い間、「*inquiry(探究)は、探究を基盤とした教授(inquiry-based teaching)と誤解され続けた。しかも、他の科学教育者は子どもが、構造性のない、オープンエンドの探索に出会った場合、inquiry(探究)学習であると誤解してきた。*」

これらの識者へのインタビューのまとめとしていえることは、1996 年の NSES から、inquiry(探究)は、いくつかの誤解を生み出しながら、NGSS に至ったと述べられている。

4.4.3 今日的 inquiry(探究)とは

Quinn 博士は、「*科学者は inquiry(探究)という言い回しは使用しておらず、できれば使用したくないと述べた*」と記載されている。このことは、inquiry(探究)という言葉を使用すると、1996 年以後の NSES の間違った捉え方も含めて、多義的な意味を形成するからだとした。Krajcik 博士も「*inquiry(探究)は、30 年以上も使用され続けているので、別な言い方をすべきである*」とした。Braaten 博士は、「*NGSS から inquiry(探究)という語彙がなくなって良かった。inquiry(探究)の時代は終わった*」とした。

以上かなり急進的な考えも見られたが、今日的な inquiry(探究)とは以下の 4 つの要素があることが示された。

○学習内容の 1 つとしてではなく、科学的な理解を構成するための手段としての inquiry(探究)。

○inquiry(探究)は、科学者が行っているような流動的で、融合的で、相互に影響を及ぼし合っているプラクティス practices)の集合体である。

○inquiry(探究)は 3 次元の学習そのものである。

○inquiry(探究)は科学の教授学から独立している。

5. NGSS を州スタンダードに導入する際の inquiry(探究)や工学(Engineering)等、STEM 分野の領域横断的な学習への移行の課題

これまで述べてきたように、NGSS を採用できていない州で NSES 時代の学習内容の1つとしての inquiry(探究)であるという考え方がまだ、多数の州の科学スタンダードに内在している。このことが NSES 導入や採用に影響を及ぼしているといえる。

日本においても同様のことがいえる。日本においても、オープンイノベーションが展開されるために、既存の理科の中に、科学とエンジニアの 8 つのプラクティスが必要であるという授業づくりの理解までには、まだまだ距離がある。そもそも 1996 年の「全米科学教育スタンダード」における科学的探究(inquiry)が大切にされており、科学的な課題研究の過程(プロセス)が強調されている。ここで、アメリカの歴史的な変遷から学ぶべきことは複数存在する。

今回の STEM 教育改革を日本に取り入れる過程で大切なことをいくつか挙げてみる。

(1) 科学の方法とか科学の過程には、唯一の段階があるのではなく、順序をあまり意識しすぎて、科学的探究の過程を科学的な内容とは別個に、暗記することなどは決して行わないこと。大切なことは、自然の事物・現象に対する、主体的な疑問づくりや課題の認識から始まり、順不同の子どもの思考に寄り添った様々な課題研究を展開すること。

(2) 科学的探究(課題研究)とエンジニアリングプラクティス(工学的な活動)を絡めた学習により、より日常の生活に近づけた、主体的な課題解決が可能となることを理解すること。
(3) 理科教師教育においても、可能な限り様々なSTEM教育の教材開発と課題研究の経験を重ねる努力をおしまないこと。
(4) 工学者や科学者の様々な研究活動に触れながら、子どもたちの自由研究・課題研究に寄り添いながら、科学的発見や工学的な発明を促すコーチングの手法を身につけること。

幸い、日本においての新しい学習指導要領においては、「主体的な学び、対話的な学び、深い学び」という、分野を超えた、学びの転換がなされたが、理科においての具体的な実践モデルは、各県・市の教育委員会が中心にこれから、本格的な実践が始まるところである。2016 年 12 月の答申に、STEM 教育という文言は、理科においては 2 か所程度出され、具体的な議論はなされたが、NGSS に示されているような議論は展開されなかった。ここに至って、STEM 教育の本質が次第に明らかにされ、多くの諸外国に広がりつつある現在において、OECD の PISA や TIMSS のフレームに大きな影響を及ぼす可能性は極めて高く、諸外国が求める21世紀型の資質・能力が科学教育では何なのかの議論を深める必要性が高まっており、来るべき 22 世紀の世界に向かう「科学的リテラシー」の転換期に差し掛かっているという解釈が必要である。ただし、日本においては、これらの動きに対して、オリジナルなもう一つを追加する能力があり得ることを付加し、我々はまだ、世界がみていない、なくてはならない資質・能力を付加する努力が必要である。つまり、「改善」は等しく世界に開かれているということである。

［参考文献］

Asay, L. D., & Orgill, M.(2010). Analysis of essential features of inquiry found in articles published in The Science Teacher, 1998-2007. Journal of Science Teacher Education, 21, 57-79.

Barrow, L.H. (2006). A brief history of inquiry: From Dewey to Standards, Journal of Science Teacher Education, 17, 265-278.

熊野善介(2017). 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、基盤研究(B)研究成果中間報告書(研究代表者：熊野善介）、課題番号 16H03058, 平成28・29・30年度、平成29年3月31日、1-136. http://ir.lib.shizuoka.ac.jp/handle/10297/10066

Midwest Comprehensive Center at the American Institutes for Research (AIR) 6 the Wisconsin Department of Public Instruction(WDPI) (2016), What ever happened to scientific inquiry? A look at evolving notions of inquiry within the science education community and national standards.

NSTA(2018.2), Transitioning from Scientific Inquiry to Three-Dimensional Teaching and Learning, NSTA Position Statement, www.neta.org/jabout/positions

Yoshisuke KUMANO, Masakata GOTO(2016), Issues Concerning Scientific Processes in Science Lessons Involving Outdoor and Indoor Activities: A Comparative Study of Scientific Processes in Japanese Science Classes and the Chronological Development of Scientific Processes in the US through NGSS, 静岡大学教育学部研究報告 教科教育篇, 静岡大学学術院教育学領域、第 47 号, 2016 年 3 月, 93-104

［謝辞］
本考察は，基盤研究（B）研究課題番号15H03493（研究代表者　長洲南海男），基盤研究(B)課題番号16H03058（研究代表者　熊野善介）の研究の支援を受けました．ここに厚く感謝申し上げる．

教職大学院の授業におけるプログラミング教育の導入
―小学校理科の授業でどのようにSETM教育を普及するか―

Itroducing of Programing Education at the Graduate School for Teacher Education - How to Imprement STEM Education at the Elementary School Science

田　代　直　幸

常葉大学大学院

【要約】

理科教育とSTEM教育の違いは何か．STEM教育そのものに多様性があるので，回答に窮する部分もあるが，STEM教育に含まれるＳがScienceいわゆる理科に関する教育とすれば，ＳにＴのTechnology，ＥのEngineering，ＭのMathematicsとを関連付けることを求めているのがSTEM教育ということができるだろう．このようなことを前提に教職大学院の授業において，学生に平成29年版学習指導要領で導入されたプログラミング教育を実施した．プログラミング教育は，自らの実現した課題について試行錯誤しながら追求していくという点で，エンジニアリング的な追求プロセスを経験することができる．その意味において，小学校の理科の授業に関連付けてプログラミング教育を取り入れることで，米国STEM教育の趣旨を反映した日本型のSTEM教育を普及することに繋がる．

［キーワード］STEM教育，プログラミング学習，小学校，理科教育

Ⅰ．はじめに

常葉大学大学院初等教育高度実践研究科の教育実践コースの選択科目に「実践的教材開発研究Ⅳ(理科)」という科目がある．この科目のねらいは，「小学校理科教育における『科学的な見方や考え方』の育成を重点にした授業を創造する知識と技能を身につける」というものである．教職大学院の授業となるので，受講の対象者は，学部卒院生と現職教員院生となる．この科目の15回の授業の中で，「新しい理科教育への対応」ということで，プログラミング教育の内容を２回ほど取り上げて実施している．プログラミング教育には，米国STEM教育でいうところのEngineering(以下エンジニアリングと表記）的な追求プロセスが含まれている．このため，プログラミング教育を工夫して，小学校の理科の授業に関連付けることで，米国のSTEM教育の理念として優れた部分を日本の理科教育に取り入れ，普及していくことができると考えた．

Ⅱ．STEM教育とプログラミング教育

１．STEM教育とpractices

STEM（Science Technology Engineering and Mathematics）教育といっても，かなり幅広い定義や現状がみられるので，この論文においてはJo Anne Vasquezらによる『Stem Lesson Essentials』(2013)に記された内容に基づいたものとする．

米国では，米国科学アカデミー、米国科学振興協会、科学教育者協会などの協力や，アチーブ（教育関連の非営利団体）の監督調整のもと，NGSS（Next Generation Science Standards）が作成された．ここに示されている理科教育においてもSTEM教育が重視されている．NGSSには，３つの側面があり，それは①コア概念，②科学的・エンジニアリング的プラク

ティス，③領域横断概念である．これらは従前の理科の教育ではバラバラに示され，学習評価についても別々に評価されてきた面があるが，NGSS ではそれらを統合して行うことの重要性が示されている．

ここでは，３つの側面の一つ，科学的・エンジニアリング的プラクティスについてもう少し取り上げる．NGSS では, practices と呼ばれる科学的な体験活動やエンジニアリング的な体験活動をすることが重視されている．実際に科学者や工学の研究者が行っているプロセスを体験する活動が重視されている背景には,「初心者が熟達者に近づくための方法として，優れているのは熟練者が普段やっていることを実際に体験することだ」ということが学習科学などの知見によって明らかになってきているからであろう. practices の流れは、**表１**のようである（筆者訳）。 STEM 教育では、科学における探究の過程だけでなくエンジニアリングにおける課題解決の流れも並行して示しているのが特徴である．科学的な探究は自然の中の真理の追究となり，エンジニアリング的な探究は課題に対する実現の追求となる．このように，両者の practices は，追い求めるものが異なるなど差異点もあるが，過程としての共通点も多い. 両者の practices を比較しながら, 体験することでそれぞれの practices の特徴や本質がわかるということが重視されていると考えることができる．また，practices は，体験型の科学教育を志向したものととらえられることから，学びの流れである学習サイクルを意識しているということも読み取れる．この科学的・エンジニアリング的体験ともいえる practices をコア概念や領域横断概念などと関連させながら生徒に学習をさせていくことが大切なのである．

1

科学的プラクティス＜科学的な探究＞	エンジニアリング的プラクティス＜エンジニアリング的な探究＞
1. 問いをつくる	1. 問題（課題）を定義する
2. モデルをつくって使う	2. モデルをつくって使う
3. 研究を計画して実行する	3. 研究を計画して実行する
4. データを分析して解釈する	4. データを分析して解釈する
5. 数学を用い，数的な思考をする	5. 数学を用い，数的な思考をする
6. 説明を構築する	6. 解決方法をデザインする
7. 証拠に基づいて議論する	7. 証拠に基づいて議論する
8. 情報を得て，評価して，伝える	8. 情報を得て，評価して，伝える

表１．科学でのプラクティスとエンジニアリングでのプラクティスの違い

※アンダーラインは筆者による。＜科学的な探究＞と＜エンジニアリング的な探究＞とで異なる部分を強調。

２．プログラミング教育と STEM 教育

日本のプログラミング教育については，「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」などの議論によって，その骨格が示されてきた．2016 年６月にまとめた「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論の取りまとめ）」には，プログラミング的思考とは,「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」とまとめられている．

プログラミング教育のねらいとしては，複雑に見えるアウトプットでも，人がプログラムをつくっているということや，論理的系統的にプログラムがつくられていけば意図することを実行させることができるということを知り，実際に体験し，実感するということが求められているのである．ただし，これは初等教育段階だけで実現するものではなく，児童生徒の実態やそれぞれの校種等に応じて変わってくるものである．

プログラミング教育は, 先の STEM 教育の practices, エンジニアリング的プラクティスととても相性がよい. というのは，プログラミングをするときには，何かさせたい動きや活動がある．これがエンジニアリング的

なプラクティスでいうところの問題(課題)にあたる．この課題を実現するために，プログラムを工夫しながら作成する．思ったようにいくこともあれば，なかなか思ったように動きを制御できないこともある．比較的すぐに結果が示されるので，何度も繰り返して試行錯誤をすることができる．こうして苦労の末，自ら実現させたかった動きや活動を達成させる．エンジニアリング的なプラクティスでいう解決方法をデザインして，実際にプログラムを動かしてみて，評価する．このようにプログラミング教育を行うことで，理科のものづくりと同じようにエンジニアリング的なプラクティスを体験的に学ぶことが可能となる．

Ⅲ．授業の具体的な内容

「実践的教材開発研究Ⅳ」（２単位）においては，理科の教材開発について，実践的に学ぶ．15 回分の授業の概要は，以下のようである．

表２．実践的教材開発研究Ⅳの授業の概要

授　業	内　容　の　概　要
第１回	小学校理科教育に対する興味関心と小学校理科教育の問題点
第２回	小学校理科授業論－Ａ区分・Ｂ区分について
第３回	小学校理科教育に対する興味関心と理科教育の問題点　Ⅰ－Ｂ区分の内容から
第４回	研究課題解決へのアプローチ－Ｂ区分の内容から　Ⅰ
第５回	研究課題解決へのアプローチ－Ｂ区分の内容から　Ⅱ
第６回	研究課題解決へのアプローチ－Ｂ区分の内容から　Ⅲ
第７回	地域教材の開発（１）(科学館・博物館等との連携)
第８回	地域教材の開発（２）(科学館・博物館等との連携)
第９回	地域教材の開発（３）(科学館・博物館等との連携)
第 10 回	小学校理科教育に対する興味関心と理科教育の問題点Ⅱ－Ａ区分の内容から
第 11 回	研究課題解決へのアプローチ－Ａ区分の内容から　Ⅰ
第 12 回	研究課題解決へのアプローチ－Ａ区分の内容から　Ⅱ
第 13 回	研究課題解決へのアプローチ－Ａ区分の内容から　Ⅲ
第 14 回	新しい理科教育への対応（１）
第 15 回	新しい理科教育への対応（２）

第 14 回，第 15 回の授業では，新しい理科教育への対応ということで, 2016 年度からプログラミング教育に関連した内容を取り上げてきている．プログラミング教育を支援する教材・教具も少しずつ充実してきている．SONY の MESH（メッシュ），エレキットの PIECE（ピース），株式会社 jig.jp による IchigoJam（イチゴジャム），TAMIYA によるカムプログラムロボット，Makeblock 社の mBot，LEGO 社のマインドストームなどが代表的なものだろう. これらの中から，選択の視点として，目でみてわかる動きがあること，学校現場で購入できる程度に安価なこと，本格的なパソコンがなくても動くことなどから，本授業の教材としては mBot（**図１**）を使うこととした．

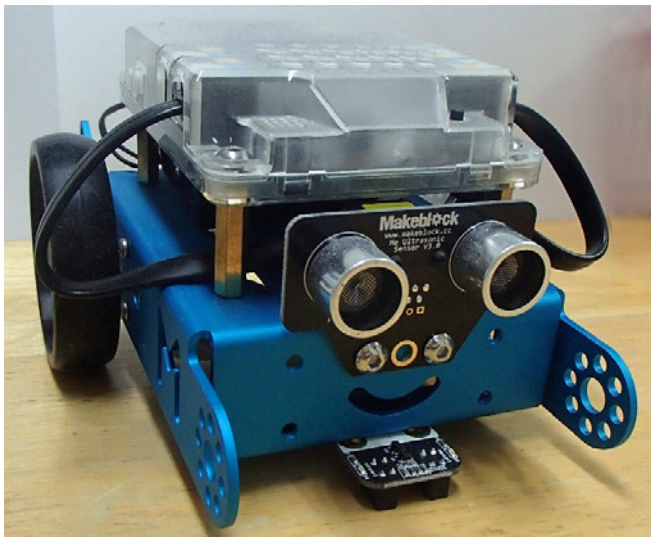


図１．mBot の外見

＜2016 年度の取組＞

2016 年度は受講生が 18 名いたので，３人を１グループとして６班編成で授業を実施していた．

２回分の授業の１回目は，プログラミング教育についての理解を深めた．具体的には，教育課程部会の答申（第 197 号）に記されたプログラミング教育のこと

や「小学校段階における論理的思考力や創造性，問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」での論議などを参考にしながら，プログラミング教育やプログラミング的思考などについて資料を読んだり，学生同士で話し合ったりした．また，次の時間に使用する mBot のことや，Scratch2.0 由来の mBlock プログラミングツールなどについての説明も実施した．

２回目の授業では，2016 年度には，mBot が大学にはなかったため，ケニス株式会社に協力を依頼して，mBot 6 台を貸与してもらった．また，mBot の使い方についても，教員研修プログラムで実施しているような形態の短縮版で，ワークショップを実施してもらって，mBot が正確に四角をたどる，正方形の軌道をたどるプログラムを作成するところまでを実際に学生に体験してもらった．授業後，学校現場ではどのような時間にプログラミング教育を取り入れていけそうか，理科でプラグラミングを実施するとすればどのように導入するのがよいと思うかをレポート課題として課して，この２回分の授業を振り返ってもらった．

＜2017 年度の取組＞

2016 年度の取組で，学生の反応もよく，プログラミング教育についての理解が深まることから，基盤研究(B)（課題番号 16H03058）の予算で mBot を５台購入させてもらった．これに個人研究費で購入した 2 台を加えて，合計７台とした．

２回分の１回目の授業は，2016 年度と同じようにプログラミング教育の概要について資料を配付した．昨年度に比べて，プログラミング教育については学生の認知度も上がってきていたこともあり，説明は少なくし，その代わりに 2017 年度については mBot の製作から取り組んでもらった．製作には 30 分程度要したが，つくることでロボット自体の構造がわかってよかった面も感じられた．この後，ケニス株式会社の mBot 用のワークシートを使用して，mBot を正方形に動かせることを到達目標として取り組ませた．なお，2017 年度は受講生が 8 名となったので，2016 年度と異なって原則個人で取り組む授業形態をとった．また，2016 年度はこちらで iPad を用意したが，2017 年度は受講者の各自のスマートフォンに「Makeblock」というアプリをそれぞれダウンロードしてもらった．そのアプリを利用して，mBot を動かすという方法をとらせてもらった．

１回目の授業が年末で，２回目の授業が新年だったので，学生には必要に応じて mBot の貸出も行った．年末に mBot を四角の軌跡で動かすことがおよそできていたことから，最初の約 60 分は各自練習時間や mBot の調整時間をとって，最後の 30 分は mBot での動作の発表会を実施した．学生なので，動きだけでなく，色や音に工夫を加えたり，四角形の４辺の１辺の移動する時間を辺ごとに変えたり，途中にスラロームの動きを入れたりと大学院生なりの工夫が随所に入っていた．

授業後，レポート課題として

①「プログラミング的思考」を育てるとしたら、どんな単元で、どのようなことを行いますか。

②mBot を使った実習の良かった点、改善点を述べてください。

の２点に答えてもらうことで，この２回分の授業の振り返りをしてもらった．

Ⅳ．プログラミング教育を扱った授業の成果と課題

１．成果

学生の記述をもとに判断すると，プログラミング教育の本質的な部分が具体的に mBot に関わることで，実感できたことが大きい．また，実際に動きのプレゼンテーションをしてもらうことやその際のプログラムを互いに見せ合うことによる学びが深まったことが読み取れる．また，mBot でいえば，mBot 用のワークシートがあったことやタブレットやスマートフォンでもアプリをダウンロードしてしまえば，自分一人でも学習を進めることができるのが高評価につながっている．

・実際に mBot を活用してみて，意図した活動に向かってあれこれと動作の組み合わせを考えるという経験ができたことは大変良かった．一つ一つプログラムと実際の動きを確かめながら，試行錯誤をしていくことで少しずつ意図した動きに近づいていくということも身をもって実感することができた．これを子どもたちの学習に置き換えても「プログラミング的思考」を育むよいきっかけとなっただろう．また，プログラムの内容についても，音や光，動きなど様々であったため，自由度も高く，楽しんで行うことができた．そして，電池(電気エネルギー)が，音や光，動きに変換されているため，小学校第 6 学年の「電気の利用」の学習とつなげやすかった．

・ワークシートがあったことは大変効果的であったと思う．直進や曲りなどといった基本的なことをワークシートで確認をし，しっかりと基礎を押さえた上で，より複雑な動きにチャレンジすることができた．そして，最後に発表の時間があったことで，自分がどのようにプログラムしたかを再認識することができたことと共に，他の学生のプログラミングを学ぶことができた．
・一番に楽しみながら学習できた点がよかった．
・初心者用の動きの説明書があったのでそれを見てそれぞれが練習できたところがよかった．
・自分がプログラミングしたものをその場ですぐに見ることができる点がいい．
・mBot を学習することによって，自分の身近にあるプログラミングされたものに気づくことができた点がよかった．
・授業の中でもあったが，自分でプログラミングしたものをみんなに説明した点．プログラミング的思考を育てる上で，友達がプログラミングしたものを理解することもとても大切なことだと考えた．
・プログラミング学習とはどのようなものかを考えるのに適した教材だったと思います．もちろん，ただ学生が遊んでいるだけでは学びにはなりませんが，今回は初めに「四角に動かす」という指定があったので，プログラミングの基本から学ぶことができました．実際に体験してみないとプログラミングがどういうものか，また，プログラミング的思考がなんなのかという考えに至らなかったと思います．そして， mBot はスマホを使ってできるので手軽にできたのがよかったと思います．音や光に関してあまり性能は良くありませんでしたが，値段のことや本来のプログラミングのことを考えたら自分は特に気になりませんでした．それらも踏まえ，動きをプログラミングしていくもの一つのプログラミング的思考かと思いました．
・履修生同士で，お互いのプログラミングを見合って自分のプログラミングに生かすことができたこと．
・プログラミングを見せ合うことでコミュニケーションをとることができたこと．
・他者のプログラミングや，ワークシートを元に自分のプログラミングを見直すことができ，自分の目指す動きに近づけるための方法を試行錯誤することができたこと．
・アプリを使ってプログラミングができるため，ロボットやパソコンが手元になくても，手軽にプログラミングを楽しむことができたこと．
・mBot の組み立ては説明書を見ながらひとりで作ることができた．製作にはそんなに時間がかからない．ただし，小学生には難しいと考えられる．
・自分で考えた動きをスマートフォンを使ってプログラムすることができる．
・配布でもらった練習プリントは，mBot の動きや機能ごとに分けられている．教師が児童の能力に応じて課題を与えることができる．また，プログラムの解説もあり丁寧である．
・自分の考えたプログラムが自分の思い通りにならなかったり，微調整したりすることが難しいが，それができたときには達成感がある．
・発表会では，それぞれが工夫したプログラムを考え，様々な動きを見ることができた．プログラムの可能性は無限大．
・人数が少なかったため，全員のプログラミングや試行錯誤したことを共有できたこと．
・最初の実習では全員が正方形を描くという共通の活動に取り組み，２回目の実習ではそれぞれが自由に動きをプログラミングしたこと．（同じ動きをするにもさまざまなプログラミングがあったため，非常に参考になった．そこで学んだことを，次の実習で試すことができた．）

２．課題

実際にプログラミング教育を体験して，プログラミング教育を行う時間の捻出に苦労することを感じたり，できる児童・できない児童の格差が広がるのではないかという不安が生じたりしている．なお，小学生に mBot を作製させるのは難しいというコメントがあるが，これは本授業が大学院生対象だから作製も含めて行ったのであって，小学生には時間的にいっても難しいという意見には筆者も同意する．ただし，学級内の係に理科係を設定して，理科係の児童にmBot を製作させたり，理科の好きな児童たちに声をかけて前もってmBot の製作に関わらせたりすることは十分可能だと思う．

・mBot を小学校で活用する際には，プログラムの内容がやや難しいのではないかと考えた．そのため， mBot を小学校で活用するのなら，活用の仕方の工夫を考えなければならないだろう．その例としては，基本的なことをこの授業のようにワークシートで押さえるといった手だてが考えられる．また，このようなプログラミングの活動に苦手意識を持っている児童への対応も考えなければならない．そのために，プログラミングが普段どのようなところで活用されているのかというところをしっかりと扱ったうえで，mBot を活用していくことが考えられる．また，mBot の組み立ては，子どもにとっては難しい作業なので，予め組み立てておく必要があると思う．

・大学院の授業の中でも１人１つ用意することができなかったため，小学校で活用する場合はさらに，一人一つ用意することは困難であると考えられる．何人かで一つ用意することで，活動自体はできると考えられるか，どのようなプログラムにするか考え試行する時間が一人当たり少なくなってしまうことが考えられる．

・今回授業の中で mBot を作製し，大学院生は 30 分くらいの時間で作製することができたが，小学生が作製する場合さらに多くの時間が使用することになる．小学校段階で使用する場合は，あらかじめ完成品を用意して，プログラミングを試行する時間を多くとることがよいと考える．

・授業者が様々な工夫点（光りながら，複雑な動きをする，音を流しながら複雑な動きをする）を考え，試行したが，単一のプログラムのときにうまくいくことが二つのプログラムを同時に試行するとうまくいかないことがほとんどであった．これは mBot 自体の機能がまだ対応してないと考えられる．その点がうまくいくことができれば，さらに授業者や使用する子供たちが楽しくプログラミングを学習することができると感じる．

・初回に休んでしまった児童がいると差が開いてしまう．どの授業でも同様のことであるが，身をもってその辛さを体験することができた．今後，そういった児童がいた時に，どういった支援ができるかについて考えていきたい．追いつきたいという気持ちを先行させるのではなく，着実に力をつけるための支援を考えていきたい．一つとしては，ミッションの形式にして少しずつみんなとの差を縮めていくことを提案する．（※この学生は，実習校から研修会の準備の手伝いを要請されて，プログラミング教育の第１回目の授業を欠席している）

・一人一台使うことが難しかった点．自分のやりたい時にやれないというのは子どもの「やりたい」という気持ちを削ぐことになるからである．一人一台使えない場合は，使える機会を増やすことと，もう一つやりたいと思うような別の活動を入れて時間調整していきたい．

・プログラミング的思考を育てていくためにも，まず，どういった動きを目指すかということを決め，またそれを班で共有し，実践していった方が良いと感じました．目指す動きを決め，公表することにより，たまたまできたからこれで良いという考えが減り，また，共有することにより，それぞれの目指している動きをみんなで考えることができると考える．

・今回は２回，プログラミングを行いましたが，正直にいうと３回は実習の時間があるといいと思いました．まったくの個人的意見ですが，若い学生は吸収力も早く，スマホの扱い方も慣れているのでいいかと思います．スマホ初心者のわたしとしてはいろいろな機能を試す時間がほしかったのが事実です．特に現職という立場でこの授業の最後の時期は論文やレポートをやりつつ，いろいろと試すことができなかったのが現状でした．家までが遠いので mBot を借りていくというのもためらってしまいました．なので，この授業を後期の初めのほうに持ってくるもの一つの改善方法かもしれません．（※現職教員学生のコメントである）

・機械の問題なのか，環境の問題なのか，プログラミングの問題なのかは不明だが，プログラミング通りに動かなかったり，毎回違う動きをしたりしてしまったこと．

・mBot のワークシートの使い方，学校現場での授業での取り扱い方をもう少し学びたかった．

・プログラムする前に，自分がどのような動きをさせたいのか明確にし，それを達成するためにはどのようなプログラムが必要か考えたかった．まずは，紙に書いてからプログラムしてみるなど．

・子どもと一緒に mBot を使ってみて，子どもが抱える課題や，困難な点を具体的に知りたい．
・mBot がもう少し小さく，持ち運びに便利だったら家庭にも持ち帰りやすいのに．

Ⅴ．まとめ

文献等を用いて，プログラミング教育がなぜ重視されるようになってきたのか，プログラミング的思考とプログラミング教育とはどういう関係にあるのかなどを学ぶことは重要である．しかしながら大学院生にとっても，実際に mBot などプログラミング教育を実際に体験することで，プログラミング教育のよさや現場に導入する際の課題点などを具体的に考えるようになったことがみてとれた．

授業の感想として次のようなコメントをくれた学生に感謝したい．

私自身,「プログラミング」に対して，苦手意識を持っていたため，楽しくないだろうと考えていた．しかし，実際にやってみるとプログラミングの楽しさに気付くことができた．また，この活動を行ったことによって，プログラミングが生活に密着しているということにも再認識することができた．しかし，文部科学省は「アナログ的な見方」の大切さについても，言及していたため，現場に入ったら，その点についても考慮をしていきたいと思う．

この学生が最後に述べているように，プログラミング的思考を育てるのに, 自らプログラムをつくる”コーディング”のようなことはせず, ボードゲームなどを用いて育てる方法もある．実際，コンピュータとつながないで，プログラミング的な思考を伸ばす「アンプラグド教材」なども開発されてきている．プログラミング的思考を伸ばす方法として，小学校の場合ではコーディングのような体験をさせる場合には十分な配慮が必要となるだろう．

Ⅵ．議論

日本の理科教育に米国の STEM 教育を生かし，普及するとすればどのような工夫ができるかを検討してきた．米国 STEM 教育の特徴にはいくつかあるが，その大きな特徴の一つには processes として，「科学的な探究」と「エンジニアリング的な追求」とを並列に学ばせようとしているところだと筆者は捉えている．その意義は，両者のプロセスを比較することで，それぞれ科学の探究のプロセスについても，エンジニアリング的な追求のプロセスについてもより明確になるというメリットが考えられる．日本の理科教育の中にも，すでにエンジニアリング的な追求のプロセスは,「ものづくり」の中に埋め込まれている. しかし,「ものづくり」自体は,「エンジニアリング的な追求のプロセス」を明確に意識している教師が多いとはいえない状況にある．

従って,「ものづくり」のねらいを明確にした上で，平成 29 年版学習指導要領において導入されるプログラミング教育を理科の時間で工夫して取り込んでいけば，日本型 STEM 教育として普及していける可能性が高いと考える．

Ⅶ．おわりに

プログラミング教育を「エンジニアリング的な追求プロセス」と捉えて，日本の理科教育に取り入れるための授業実践を報告した．このように小学校の理科の授業においてプログラミング教育を有効に取り入れれば, エンジニアリング的な追求を体験することができ，米国 STEM 教育の趣旨を日本型 STEM 教育として普及することができる可能性を示すことができた．しかしながら，プログラミング教育も，プログラミング的思考を伸ばすのがねらいなら，理科だけでなく様々な教科で連携して，育てていくのが望ましい．そのようにするためには，平成 29 年版学習指導要領が求めている，学校全体のカリキュラムマネージメントの力が問われることになるだろう．

参考文献

・Jo Anne Vasquez, Cary Sneider , Michael Comer, (2013)　Stem Lesson Essentials, Grades 3-8: Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics．Heinemann
・中央教育審議会(2016)「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及び必要な方策等について（答申）」
・文部科学省 (2017)「小学校学習指導要領解説　理科編」東洋館出版社

引用文献

・小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議(2016)「小学校段階におけるプログラミン

グ教育の在り方について（議論の取りまとめ）」
（http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm　2018 年 3 月 25 日確認）

米国における環境 STEM（E-STEM）教育の取組

ーE-STEM 教育関連文献の計量書誌学的分析と文献レビューを通してー

Imprementation of Environmental STEM (E-STEM) in the US -Through the Research Review with Bibliometric Analysis of E-STEM Education Related Papers -

佐藤真久
東京都市大学

（1）はじめに

本研究は、E-STEM 教育関連文献の二次文献研究を報告するものである。「E-STEM 教育関連文献の二次文献研究」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[1]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、研究対象文献：48 文献[2]、2017 年 2 月 26 日現在）を対象とし、その計量書誌学的分析による文献特性の把握（収録年、ディスクリプタの頻度、対象とする教育レベル）と文献レビューを行った。なお、本報告（(2)（3)）は、2017 年度に筆者らが査読論文として発表した［佐藤真久・熊野善介（2017)「米国における環境 STEM（E-STEM）教育の環境教育学的意義ー米国における E-STEM 教育の取組動向の把握とミネソタ州における E-STEM 教育実践校の事例研究を通してー」,『*エネルギー環境教育研究*』, 日本エネルギー環境教育学会, 11（2）: 3-14.］の一部を抜粋し、明記するものである。

（2）E-STEM 教育関連文献の計量書誌学的分析

E-STEM 教育関連文献の計量書誌学的分析として、研究対象文献（表 1）の収録年を見てみると、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（表 2)。さらに、研究対象文献に見られる上位に頻出するディスクリプタをみると（表 3)、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 3)、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」に関する視点が研究対象文献にはあることが読み取れる。さらに、研究対象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）の文献が多いことが読み取れる（表 4)。これらの傾向は、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（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いることによるものだと考えられる。

表 1:E-STEM 教育関連文献(48 文献)

1：Sümen, Özlem Özçakir; Çalisici, Hamza, 2016, Pre-Service Teachers' Mind Maps and Opinions on STEM Education Implemented in an Environmental Literacy Course, Educational Sciences: Theory and Practice, v16 n2 p459-476 Apr 2016

2：Xu, Na; Porter-Morgan, Holly; Doran, Nathan; Keller, Charles, 2016, Water Pollution and Leukemia: A Model for Interdisciplinary Research in the Classroom Experiences Incorporating Effective Pedagogical Approaches for Community College General Biology I Lab Students, International Journal of Higher Education, v5 n4 p122-133 2016

3：Oyana, Tonny J.; Garcia, Sonia J.; Haegele, Jennifer A.; Hawthorne, Timothy L.; Morgan, Joe; Young, Nekya Jenise, 2015, Nurturing Diversity in STEM Fields through Geography: The Past, the Present, and the Future, Journal of STEM Education: Innovations and Research, v16 n2 p20-29 May-Jul 2015

4：Schroth, Stephen T.; Helfer, Jason A., 2017, Gifted & Green: Sustainability/Environmental Science Investigations That Promote Gifted Children's Learning, Gifted Child Today, v40 n1 p14-28 Jan 2017

5：Sallee, Jeff; Peek, Gina G., 2014, Fitting the Framework: The STEM Institute and the 4-H Essential Elements, Journal of Extension, v52 n2 Article 2FEA8 Apr 2014

6：Ernst, Jeremy V.; Glennie, Elizabeth; Li, Songze, 2017, Performance-Based Task Assessment of Higher-Order Proficiencies in Redesigned STEM High Schools, Contemporary Issues in Education Research, v10 n1 p13-32 2017

7：Wheland, Ethel R.; Donovan, William J.; Dukes, J. Thomas; Qammar, Helen K.; Smith, Gregory A.; Williams, Bonnie L., 2013, Green Action through Education: A Model for Fostering Positive Attitudes about STEM, Journal of College Science Teaching, v42 n3 p46-51 Jan 2013

8：Trueman, Rebecca J., 2014, Productive Failure in STEM Education, Journal of Educational Technology Systems, v42 n3 p199-214 Mar 2014

9：Daily, Shaundra Bryant; Eugene, Wanda, 2013, Preparing the Future STEM Workforce for Diverse Environments, Urban Education, v48 n5 p682-704 Sep 2013

10：Urban, Michael J., Ed.; Falvo, David A., Ed., 2016, Improving K-12 STEM Education Outcomes through Technological Integration, IGI Global

11：Griswold, Wendy, 2013, Community Education and Green Jobs: Acknowledging Existing Connection, Adult Learning, v24 n1 p30-36 Feb 2013

12：Monk, Melissa H.; Baustian, Melissa M.; Saari, Courtney R.; Welsh, Susan; D'Elia, Christopher F.; Powers, Joseph E.; Gaston, Suzan; Francis, Pamela, 2014, EnvironMentors: Mentoring At-Risk High School Students through University Partnerships, International Journal of Environmental and Science Education, v9 n4 p385-397 2014

13：McCright, Aaron M., 2012, Enhancing Students' Scientific and Quantitative Literacies through an Inquiry-Based Learning Project on Climate Change, Journal of the Scholarship of Teaching and Learning, v12 n4 p86-101 Dec 2012

14：Hogan, Theodore J.; Kelter, Paul, 2015, Discerning the Difference between "Feel Good" and "Real Good": Teaching the Complexity of Sustainable Development, Science Educator, v24 n1 p62-69 Sum 2015

15：MaKinster, James; Trautmann, Nancy; Burch, Carol; Watkins, Michelle, 2015, Where the Birds Live, Science Teacher, v82 n9 p42-49 Dec 2015

16：Lant, Christopher; Pérez-Lapeña, Blanca; Xiong, Weidong; Kraft, Steven; Kowalchuk, Rhonda; Blair, Michael, 2016, Environmental Systems Simulations for Carbon, Energy, Nitrogen, Water, and Watersheds: Design Principles and Pilot Testing, Journal of Geoscience Education, v64 n2 p115-124 May 2016

17：Fakayode, Sayo O.; Pollard, David A.; Snipes, Vincent T.; Atkinson, Alvin, 2014, Offering a Geoscience Professional Development Program to Promote Science Education and Provide Hands-on Experiences for K-12 Science Educators, Journal of Chemical Education, v91 n11 p1882-1886 Nov 2014

18：Clark, Barbara; Button, Charles, 2011, Sustainability Transdisciplinary Education Model: Interface of Arts, Science, and Community （STEM）, International Journal of Sustainability in Higher Education, v12 n1 p41-54 2011

19：Clark, Lynn; Majumdar, Saswati; Bhattacharjee, Joydeep; Hanks, Anne Case, 2015, Creating an Atmosphere for STEM Literacy in the Rural South through Student-Collected Weather Data, Journal of Geoscience Education, v63 n2 p105-115 May 2015

20：Jeong, Sophia; Kim, Hyoungbum, 2015, The Effect of a Climate Change Monitoring Program on Students' Knowledge and Perceptions of STEAM Education in Korea, EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education, v11 n6 p1321-1338 Dec 2015

21：Colakoglu, Mustafa Hilmi, 2016, STEM Applications in Turkish Science High Schools, Journal of Education in Science, Environment and Health, v2 n2 p176-187 2016

22：Farrington, John W., Ed.; Feder, Michael A., Ed., 2016, NOAA's Education Program: Review and Critique, National Academies Press

23：Thurmond, Brandi, 2011, Promoting Students' Problem Solving Skills and Knowledge of STEM Concepts in a Data-Rich Learning Environment: Using Online Data as a Tool for Teaching about Renewable Energy

Technologies, ProQuest LLC, Ph.D. Dissertation, North Carolina State University
24：Asunda, Paul A., 2010, Manual Arts to Technology Education: Are We Ripe for Infusing Aspects of a Green Technology into Career and Technical Education Constituent Subjects?, Career and Technical Education Research, v35 n3 p175-187 2010
25：Deck, Anita; Grubbs, Michael E., 2016, Landfills: Engineering Design for Waste Control, Technology and Engineering Teacher, v75 n5 p12-16 Feb 2016
26：Forbes, Leighann S., 2010, Greening the Teacher Preparation Curriculum, Metropolitan Universities, v20 n4 p87-104 Jul 2010
27：Hotaling, Liesl; Lowes, Susan; Stolkin, Rustam; Lin, Peiyi; Bonner, James; Kirkey, William; Ojo, Temitope, 2012, SENSE IT: Teaching STEM Principles to Middle and High School Students through the Design, Construction and Deployment of Water Quality Sensors, Advances in Engineering Education, v3 n2 Sum 2012
28：Hamilton, Jason; Pfaff, Thomas J., 2014, Sustainability Education: The What and How for Mathematics, PRIMUS, v24 n1 p61-80 2014
29：Rogers, Michael; Pfaff, Thomas; Hamilton, Jason; Erkan, Ali., 2015, Using Sustainability Themes and Multidisciplinary Approaches to Enhance STEM Education, International Journal of Sustainability in Higher Education, v16 n4 p523-536 2015
30：Steele, Astrid, 2014, The Seventh Current: A Case for the Environment in STSE Education, Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, v14 n3 p238-251 2014
31：Ramsey, Susan Brady, 2012, The Effect of the Advanced Placement Training and Incentive Program on Increasing Enrollment and Performance on Advanced Placement Science Exams, ProQuest LLC, Ph.D. Dissertation, Virginia Commonwealth University
32：Burns, David Patrick; Norris, Stephen P., 2012, Activist Environmental Education and Moral Philosophy, Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, v12 n4 p380-393 2012
33：Leahy, Keelin; Phelan, Pat., 2014, A Review of Technology Education in Ireland; a Changing Technological Environment Promoting Design Activity, International Journal of Technology and Design Education, v24 n4 p375-389 Nov 2014
34：McGrew, Cheryl., 2012, Engineering at the Elementary Level, Technology and Engineering Teacher, v71 n6 p19-22 Mar 2012
35：Berlin, Donna F., Ed.; White, Arthur L., Ed., 2011, Science and Mathematics Education: International Innovations, Research, and Practices, International Consortium for Research in Science and Mathematics Education （NJ3）
36：Gaydos, Matthew J.; Squire, Kurt D., 2012, Role Playing Games for Scientific Citizenship, Cultural Studies of Science Education, v7 n4 p821-844 Dec 2012
37：Zoller, Uri., 2011, Science and Technology Education in the STES Context in Primary Schools: What Should It Take?, Journal of Science Education and Technology, v20 n5 p444-453 Oct 2011
38：Sorensen, Barbara Ellen, 2011, Leading the Way: Tribal Colleges Prepare Students to Address Climate Change, Tribal College Journal of American Indian Higher Education, v23 n2 Win 2011
39：Carlson, Stephan P.; Heimlich, Joe E.; Storksdieck, Martin, 2011, Validating an Environmental Education Field Day Observation Tool, International Electronic Journal of Environmental Education, v1 n3 p151-166 May 2011
40：Schmitt-Harsh, Mikaela; Harsh, Joseph A., 2013, The Development and Implementation of an Inquiry-Based Poster Project on Sustainability in a Large Non-Majors Environmental Science Course, Journal of Environmental Studies and Sciences, v3 n1 p56-64 Mar 2013
41：Muir, Lucie; Tabram, Rae., 2013, Going Wild!, Primary Science, v129 p21-23 Sep 2013
42：Eilks, Ingo, 2015, Science Education and Education for Sustainable Development--Justifications, Models, Practices and Perspectives, EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education, v11 n1 p149-158 Feb 2015
43：Zoller, Uri., 2011, From Teaching-to-Know-to-Learning-to-Think for Sustainability: What Should it Take? And How to Do it?, Online Submission, Journal of Modern Education Review v1 n1 p34-40 Oct 2011
44：Pedretti, Erminia; Bellomo, Katherine., 2013, A Time for Change: Advocating for STSE Education through Professional Learning Communities, Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education, v13 n4 p415-437 2013
45：Grayson, Jennifer, 2011,Charting a Green Course, T.H.E. Journal, v38 n4 p26-28, 30-31 Apr 2011
46：Kim, Hanna, 2011, Inquiry-Based Science and Technology Enrichment Program: Green Earth Enhanced with Inquiry and Technology, Journal of Science Education and Technology, v20 n6 p803-814 Dec 2011
47：National Oceanic and Atmospheric Administration, 2008, Report on the Educational Partnership Program, 2001-2007
48：Simonson, Michael, Ed., 2013, Annual Proceedings of Selected Research and Development Papers Presented at the Annual Convention of the Association for Educational Communications and Technology （36th, Anaheim, California, 2013）. Volume 2, Association for Educational Communications and Technology

表 2：E-STEM 教育関連文献（48 文献）の収録年

収録年	2008	2009	2010	2011	2012
頻度	1	0	3	9	6

収録年	2013	2014	2015	2016	2017
頻度	7	7	7	6	2

表 3：E-STEM 教育関連文献に見られるディスクリプタの頻度（上位 10 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

表 4：E-STEM 教育関連文献の教育レベル（上位 5 位）

	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

（３）E-STEM 教育関連文献の文献レビュー

研究対象文献（表1）の文献レビューによると、対象とする教育レベルにおいては、中等教育段階、ポスト中等教育段階、高等教育段階、教師前教育、現職教育に関するものが多数を占めていることが読み取れる（表4）。教育内容については、水汚染対策や水保全（表1：2；7；8；27；39）、地理（表1：3）、環境アセスメント（表1：8）、持続可能性とESD（表1：10；14；18；26；28；29；37；40；42；43；45）、気候変動（表1：13；16；20；22；38）、エネルギー問題（表1：16；23）、気象（表1：19；22；47）、健康（表1：2；21）、廃棄物問題（表1：25）、環境倫理（表1：32）、環境スキル（表1：34）、湖沼環境（表1：36）、生物多様性保全（表1：15；41）に関するものなどが見られる。具体的には、環境リテラシーコースにおける教師前教育としてのマインドマップづくりに関する実践報告（表1：1）、水汚染と健康被害に関する分野横断的アプローチによるコミュニティカレッジにおけるE-STEM教育の実践報告（表1：2）、「地理」分野におけるサマー科学プログラムにおけるE-STEM教育の実践報告（表1：3）、環境調査を通した課題発見、研究課題の発見、データの回収と分析、可能な課題解決策の策定、情報発信といったプロセスによる環境学習の深化に関する実践報告（表1：4）、オクラホマ州におけるユースと成人のチームワークを通し

たE-STEM教育の実践報告（表1：5）、E-STEM高校における個人の資質能力の向上と学校改善に関する実践報告（表1：6）、「教育を通した環境行動（Green Action Through Education、GATE）」にむけたSTEM教育の実践報告（表1：7）、地域の河川管理にむけた環境調査と課題解決策の検討に関する実践報告（表1：8）、多様な環境下でのマイノリティによるSTEMスキルの構築にむけた実践報告（表1：9）、気候変動に関する学際的な探究学習プロセスを通した科学的リテラシー向上に向けた実践報告（表1：13）、ICTを活用した分野横断的な鳥類の保全生態学的研究、生態マップ作りとアーギュメンテーションに関する実践報告（表1：15）、環境問題（エネルギー、生化学、炭素・窒素循環、水循環等）のシミュレーションに基づく探究学習の実践報告（表1：16）、K-12レベルの科学教育とハンズオン経験の推進にむけた地球科学の能力開発プログラムの実施に関する実践報告（表1：17）、気象データの収集・分析に基づく生命科学・地球科学の理解の深化に関する実践報告（表1：19）、トルコの高等学校における科学教育へのSTEM教育の普及に関する実践報告（表1：21）、STS教育と環境（STSE）における理論的・実践的研究（表1：30；44）、Advanced Placement Training and Incentive Program （ARTIP）のSTEM教育としての意義に関する研究（表1：31）、アイルランドの技術教育におけるデザイン教育の充実に向けた実践報告（表1：33）、科学的・数学的リテラシーの獲得による学際的教育としてのSTEM教育の可能性についての研究（表1：35）、Tribal College（ネイティブ・アメリカンの高等教育機関）における気候変動に関する科学教育の取組に関する実践報告（表1：38）、中等教育段階の女子生徒対象の科学・技術教育を軸とした探究的環境学習に関する研究（表1：46）、指導スキルに関する研究（表1：48）などが見られる。その他、従来の科学、工学、技術、数学分野のみならず、国語、社会、芸術などでの有効性を指摘している研究（表1：4；18）や、環境活動とキャリア形成との連関にむけた実践報告（表1：7；9；11；24）、科学者、教育者、高校生の連携による環境科学研究に関する共同プロジェクトの実施報告（表1：12）、60名に渡る教員の参画による環境保全活動をとおしたE-STEM教育の実践報告（表1：15）、韓国における気候変動モニタリングに関するSTEAM教育の実践報告（表1：20）、数学における持続可能性に関する教育研究（表1：28）、ロールプレイゲームの活用による湖沼生態保全にむけた市民科学醸成に関する実践報告（表1：36）なども見られる。概して、統合領域や教科横断型の取組を展開しており、フィールド調査や、環境行動などを通して、地域の課題発見と課題解決に向けた多様な実践報告が多いことが読み取れる。

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。

[1] 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。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。

[2] 検索語「E-STEM」「ESTEM」、「eSTEM」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。

日本型STEM教育としての理科授業の構築
−小学校理科でのものづくりと関連させて−

畑中敏伸
東邦大学理学部

Development of science lessons as Japanese STEM education: Relating to making learning materials in elementary science

Toshinobu Hatanaka
Faculty of Science, Toho University

Based on reviewing the articles related to STEM education in the U.S., observation of science lessons in 14 schools in the U.S., and analysis on STEM subject in elementary teacher preparation program in the university of Arkansas, this paper clarified how engineering and technology are involved in science lessons. Considering these aspects of STEM education and Japanese curriculum, outline of science lessons in elementary school, including goals of lessons, are developed.

Key words：STEM education, U.S., engineering, technology, elementary science

Ⅰ．はじめに

STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics)教育の捉え方や実践は多様である．STEM 教育の蓄積ある米国の Bybee(2013)は，STEM を構成する科学[1]，テクノロジー，エンジニアリング，数学のそれぞれの領域の関係性を STEM の展望（STEM Perspectives）として複数示している．その中には，４領域を別々に扱う，相互に関連づける，統合する，１領域の中に他領域を含む，など４領域の関係性が様々であることを示している．各領域間の関連づけが様々であることは，STEM 教育の実践の多様性にもつながる．米国では，科学とテクノロジーに関する科目が別々に扱われる場合や，科学の授業の中に含む形で STEM 教育が実践されている場合，教科を統合した STEM 教育などがある．なお米国の STEM 教育を含む科学教育研究も，内容も対象も多様である（畑中, 2017）．

このように米国の STEM 教育の実践は多様であり，統一的な STEM 教育の指導方法があるわけではないため，本研究では米国の科学の授業に限定し，科学以外の領域がどのように扱われているかを探ることで STEM 教育の特徴を明らかにしていく．このような STEM 教育の捉え方は, Bybee(2013)が示す STEM 教育の考え方の中では，科学の中にテクノロジー，エンジニアリング，数学が含まれる STEM 教育の考え方に対応する STEM 教育の実践である．

STEM 教育の特徴は，次の方法で明らかにする．まず，STEM 教育の実践の蓄積がある米国の STEM 教育の目的に関連する文献を調査した．また筆者が 2017 年 8 月までの 1 年間米国のアーカンソー大学で在外研究の機会を得たため，その期間に訪問した米国の学校 14 校の科学の授業の観察の結果を踏まえた．また，アーカンソー大学での小学校教員養成課程の STEM 関連の科目のうち最初に履修する「STEM 教育序説(Introduction to STEM education)」

で紹介された科学の授業と関連のあるエンジニアリングに関する授業，近隣の小学生対象に学内で行われた授業も分析した．これらの STEM 教育の特徴と日本の学習指導要領を踏まえて，学校で実践可能と考えられる授業として構築し，STEM 教育の要素に対応した授業の目標を示す.

Ⅱ．米国の STEM 教育の目標と実践

1. 米国の STEM 教育の目標

Bybee(2013)は，現代社会の諸課題を踏まえて，STEM 教育に必要とされている方向性を示している．具体的に３つの視点に分けて，それぞれ STEM 教育が必要とされる社会的課題，その課題に対応した教育のテーマ, STEM 教育の目標について示している．表１は，これらの視点を筆者が表にまとめたものである．

１つめに挙げられているのは，健康や病気，エネルギー, 環境, 災害などの社会的課題を考慮し STEM 領域の知識が適用されることが必要であるという課題である．この課題に対し，社会の構成員が STEM を理解して使えることが教育テーマとなり， STEM 教育では, 学習者は知識とスキルを活用できること，科学的探究，エンジニアリングデザイン，数学的問題解決を実践することが目標となる．

２つめに挙げられているのは，現代は成功のためには知識とスキルを身につけていることが必須である知識基盤社会という社会的課題である．この課題に対し, 21 世紀型の資質と能力を兼ね備えた労働力の必要性が教育テーマとなり，そのための STEM 教育では, 21 世紀型のスキルと能力を身につけさせることが目標となる．

３つめに挙げられているのは，社会を牽引するためのイノベーションが必要であるという課題である．この課題に対し，高度な研究開発のための労働力を確保するのが教育のテーマとなり, STEM 教育では, STEM キャリア教育が目標となる．

これらの３つの社会的課題も，それに対応した STEM 教育の目標も幅広い．それぞれの目標は，理科授業に取り入れることが可能ではあるが，先の２つの目標である，STEM の知識とスキルの活用，21 世紀型スキルと能力を養うことを扱うことに比べて, STEM キャリア教育は基礎的な学習内容を扱う学校段階では高度な研究開発を念頭に置くため実現は難しいと考えられる．

２．米国の科学の授業の中の STEM 教育の要素

本項では，米国の科学の授業の中での STEM 教育について科学以外の領域であるテクノロジー，エンジニアリング，数学がどのように扱われているかを検討するための分析を行った．しかし米国の学校での筆者の科学の授業の観察の際は, 数学については, 数学と科学の結びつきは，実験で得られたデータを計算したりグラフ化するなど，科学の実験における数学的な処理や, 法則を数式を用いて表現するなど, 科学の中に見られる数学的な要素以外の形では，数学の要素を観察することができなかった．このため以下には，STEM 教育のエンジニアリングとテクノロジーに限りどのように科学の授業の中で扱われていたのかについて示す.

(1)エンジニアリングの要素

観察した科学の授業では，米国の科学スタンダード NGSS (Next Generation Science Standard)との関連する形でエンジニアリングの授業が見られた．NGSS では，科学とエンジニアリングの実践(SEP: Science and Engineering Practices)，領域横断的概念

表 1　STEM 教育の目標（Bybee, 2013）

課題	教育テーマ	STEM 教育の目標
日常生活に STEM 領域の知識を適用すること	社会の構成員が STEM を理解して使えること	STEM の知識とスキルと活用する 科学的探究，エンジニアリングデザイン，数学的問題解決を実践する
知識基盤社会	21 世紀型資質と能力を兼ね備えた労働力	生徒の 21 世紀型スキルと能力を養う
イノベーション	高度な研究開発ができる労働力	STEM キャリア教育

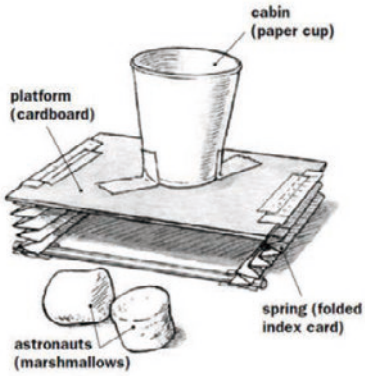
（CC: Crosscutting Concept），学的構成の中心的な考え方(DCI: Disciplinary Core Idea)の３側面を重視した学習が強調されている(NRC, 2013)．この中の付録 F の実践（Practice）での説明で，次のように科学とエンジニアリングの過程を８つにまとめ示している(NRC, 2013, p.42)．

1) 問いを立てる（科学），問題を定義する（エンジニアリング）
2) モデルを作り使う
3) 調査を計画し実行する
4) データを分析し解釈する
5) 数学と計算を用いた思考を使う
6) 説明を構成し（科学），解決策をデザインする（エンジニアリング）
7) 証拠に基づくアーギュメントに取り組む
8) 情報を手に入れ，評価し，コミュニケーションする

ここで科学とエンジニアリングの違いの１つは，1)の科学は調べることによって答えを見出すことができる問いを立てるのに対し,エンジニアリングは,デザインすることを通して解決することができる問題を定義することから始まるところにある．問いや問題のタイプが異なることは，ゴールも異なる．6)では，科学は科学的現象や関係性を科学的に説明することがゴールであるのに対し，エンジニアリングは問題を解決するためにデザインし製作物を作成することがゴールとなる．

米国の科学の授業の観察では，エンジニアリングデザインプロセスを含む多くの製作活動は，日本の小学生高学年までを主な対象としている実践であった．例えば，アーカンソー大学では，近隣の４学年の子供を呼び，帆かけ車(Wind-powered sail car)を作るエンジニアリングデザインを含む授業を行っていた．その授業では，最初にゾンビによる攻撃から逃げるために，車を作って風を受けて逃げなければならないというストーリーが紹介され，子供達はグループで，車のデザインを相談し，１つ１つの値段が決まっているパーツを予算内に収まる形で集め，組み立て，扇風機の前に置き，風の力でどのぐらい進むことができるかを時間内に競った．制限時間内にグループで作った車を試し，一番遠くまで進んだ車を作ったグループが表彰されていた．

図１　帆かけ車の進む距離を測る様子



出展：NASA　Web サイト

図２　着陸に関するアクティビティー

他にはアーカンソー大学の教員養成の授業で，NASA の Web サイトにあるタッチダウンという着陸に関するアクティビティーが紹介されていた．NASA の Web サイト[2]宇宙開発と関連する様々な STEM チャレンジの資料が掲載されている中の１つである．このチャレンジは，重力，運動，力などについて学び，宇宙船をデザインし，２人の宇宙飛行士を着陸時に守る衝撃を吸収するシステムを作る STEM チャレンジである．図２は，作成例の１例である．学習者は，紙，ストロー，ミニマシュマロを使って工夫して，台にした厚紙に衝撃を吸収するものを取り付け，ある高さから落として，宇宙飛行士に見立てたマシュマロが飛びださないように制作する活動を行う．また，宇宙船の着陸の STEM チャレンジを行う上での背景情報として，月に時速 29000km で飛行する宇宙船を着陸させるには，減速

が必要であること，宇宙飛行士が乗船していたら安全に着陸させなくてはならないこと，火星へは時速21000km で宇宙船が飛行していくが，火星に安全に着陸させるには減速させなければならないこと，将来の計画では，火星へ宇宙飛行士を地表に安全に着陸させなくてはならないことの説明がある．

このように問題解決のために，材料などの制約がある中で，制作物をデザインし，作成し，試し，制作物を改良するという過程を含む活動が行われていた．子供達が熱心に取り組くむことが出来る学習活動であり，課題を解決するために工夫し試すことで「～に変えると，～になる．」という結果を調べることが出来るようになる利点もある．また，問題解決に取り組むことで，日常生活や社会との繋がりが感じられること，製作の過程で技能を身につけることができるという利点もある．さらに，材料や器具も高価な材料や道具を必要とせず，製作活動は短時間で済むなど，これらの学習活動を取り入れることは難しくないと感じた．

(2) テクノロジーの要素

テクノロジーの定義については，テクノロジー教育を推進する学会である International Technology Education Association(ITEA)は，テクノロジカルリテラシースタンダード(ITEA, 2007)の中で, テクノロジーは，様々なプロセスと知識の集合体であり，人間が人間の能力以上のことがするため，人間の必要性と要望を満たすためテクノロジーを使うとしている．その上で，テクノロジーカルリテラシーを，テクノロジーの性質，テクノロジーと社会，デザイン，テクノロジーのある世界で必要な能力，デザインされた世界，の５つの要素に分けて示している．他方，科学のスタンダード NGSS では，学的構成の中心的な考え方(DCI)の１つに「エンジニアリング，テクノロジー，科学の応用」があり，テクノロジーの内容も科学スタンダードに含まれる．このように，テクノロジーの定義，NGSS でのテクノロジーの記載があるが，筆者が学校を訪問し科学の授業を観察した限りにおいては，テクノロジーとは何かについて教える授業は見られなかった．

一方，科学の授業では，テクノロジーの要素としてコンピュータなど情報機器を活用が含まれる授業が観察できた．情報機器と同義語でテクノロジーを捉えることは，多くの人が持つミスコンセプション（NRC, 2013 ; Daugherty,2009）と指摘されるが，コンピュータ，データ測定機器，などの情報機器の授業での活用がテクノロジーの要素として観察できた．

学校では，コンピュータが普及しており授業で多く活用されていた．コンピュータは，移動式のパソコンラックに入れておき，必要な時にパソコンラックから取り出して使っていた．学校に子供全員分のコンピュータが整備されているかどうかには，学校ごとの差があるようではあるが，訪問したどの学校でも，少なくとも他のクラスと共有という形であれば教室での学習活動で使えるようであった．また全ての学校で，各教室の教員用のパソコンとプロジェクターが設置されており，授業での映像の使用，インターネットサイトの使用，各種アプリケーションの使用が出来るようになっていた．アプリケーションは，クラウド上にある授業毎のスペースにより，掲示板，資料の配布，成績管理などができる学習管理システム(Learning Management System)であるグーグルクラスルーム，文章作成のためのグーグルドキュメント，プレゼンテーションのスライドの作成のためのグーグルスライド，２択から４択の早押しクイズを全員でできる Kahoot[3]，オンラインのアプリケーションで科学の実験のシミュレーションができる Gizmos[4]など，様々に使われていた．さらにコンピュータの他には，高等学校の実験でセンサをデータ収集に使うデータロガー[5]という形での情報機器が使用されていることが観察できた．

３．米国の STEM 教育の中で日本の理科授業で実践可能な要素

Bybee（2013）の示す STEM 教育の目標のうち，知識とスキルの活用，科学的探究とエンジニアリングデザインの実践, 学習を通して 21 世紀型のスキルと能力を養うことは，日本の小学校や中学校の理科授業でも実践可能な目標である．一方で，高度な研究開発ができる労働力を目的とする，STEM のキャリア教育は，小学校や中学校段階での通常の理科の授業では含めることが難しい．

米国の科学の授業での STEM 教育の実践を踏まえると，小学校段階でのエンジニアリングデザインの過程をとりいれることでエンジニアリングの要素を含めることと，情報機器を活用することでテクノロ

ジーの要素を含めて日本の理科授業を行う可能性がある．次項で， STEM 教育の目標，エンジニアリングデザイン，情報機器を活用した授業の具体策を検討する．

Ⅲ．STEM 教育を考慮した理科授業の構築

STEM 教育の目標には，STEM の知識とスキルを適用すること，科学的探究やエンジニアリングデザインを含む実践に取り組むことが含まれることと，米国の科学の授業でエンジニアリングデザインに関連する活動がエンジニアリングの要素として見られたことを考慮し，エンジニアリングデザインを含む理科授業を構築する．その際に，STEM 教育の目標である 21 世紀型スキルも考慮するために, 本項では 21 世紀型スキルとされる具体的な項目を示す．また, エンジニアリングデザインと関連する日本の理科の内容を学習指導要領を踏まえて検討し，テクノロジーの要素としての情報機器の活用方法を示す．加えて，理科授業として実施を考えた際には，理科の観点別評価との対応の考慮が必要であることから, STEM 教育に関連する目標がどのように評価の観点に位置付けられるのかを整理する．

１．21 世紀型スキルの要素

2002 年にビジネス界，教育界のリーダー，政策決定者が，21 世紀の学びのためのパートナーシップ (P21：The Partnership for 21st Century Learning) を設立し, 全ての生徒にとって 21 世紀の世界で生きていけるようになるために，身につけるべきものを示している．

P21 が作成した 21 世紀の学びのための P21 フレームワークでは，キーとなる教科と身につけるべきリテラシーの種類と，身につけることが必要となるスキルが提示されている．表２が， P21 フレームワークの中で身につけることが必要となるスキルを翻訳したものである．なお，左側の括弧番号は，次項の授業の目標に対応させるべく筆者が振った．

２．エンジニアリングデザインの考慮

エンジニアリングデザインは，問題を提示する，課題を把握する, 制約がある中でデザインし, 試し, 改良し，結果を発表するという過程を含む活動である．米国での事例は，小学校に対応する学習内容が観察されたため，日本の小学校理科の学習指導要領の記載内容を踏まえて具体的な活動を選ぶ.

日本の学習指導要領の中で，小学校でのエンジニアリングデザインの内容と近い内容は，「ものづくり」の内容である．日本の小学校理科の学習指導要領解説では「ものづくり」を「児童が明確な目的を設定し，その目的を達成するためにものづくりを行い，設定した目的を達成できているかを振り返り，修正するといったものづくりの活動の充実を図る」(文部科学省, 2017, p. 98)と説明している．この中の「設定した目的が達成できているかを振り返り修正」という表現の中には，エンジニアリングデザインプロセスの，デザインしたものを試し，改良することと類似した意味内容が含まれているとみなせる．

表３は，学習指導要領解説の中から，単元の内容とものづくりの内容の記載の部分を一部抜粋したものである．なお抜粋は，小学校の３・４年生の単元の中から，教科書会社の指導計画[6]を参照し， ７月

表 2　P21 フレームワークに示されるスキル

(1)学習とイノベーションのスキル	創造性とイノベーション，創造的に考える，他の人と創造的に働く，イノベーションを実行する
(2)批判的判断的思考(Critical thinking)と問題解決	有効な論拠を示す，システムという考えを使う，判断し決定をする，問題を解決する
(3)コミュニケーションと協同	明快なコミュニケーション，他の人と協同する
(4)情報，メディア，テクノロジーのスキル	情報リテラシー，メディアリテラシー，ICT リテラシー
(5)生活とキャリアのスキル	柔軟性と順応性，率先して取り組むことと自律性，社会的スキルと異文化スキル，生産的であることと説明責任を持つこと，リーダーシップと責任を持つこと

表 3　学習指導要領での単元の内容とものづくりの例

単元	内容	ものづくりの要素
第４学年 A 物質・エネルギー 1)空気と水の性質	(ア)閉じ込めた空気を圧すと，体積は小さくなるが，押し返す力は大きくなること． (イ)閉じ込めた空気は圧し縮められるが，水は押し縮められないこと．(p.46)	例えば，物を遠くへ飛ばすことを目的とした空気でっぽうや水を離れた所へ飛ばすことを目的とした水でっぽうなどが考えられる．（p.50）
第４学年 A 物質・エネルギー 2）電流の働き	(ア)乾電池の数やつなぎ方を変えると，電流の大きさや向きが変わり，豆電球の明るさやモーターの回り方が変わること．（p.49）	例えば，物の動きを制御することを目的とした，乾電池などを用いた自動車や回転ブランコ，クレーンなどが考えられる．（p.50）
第３学年 A 物質・エネルギー 1)風とゴムの力の働き	(ア)風の力は，物を動かすことができること．また，風の力の大きさを変えると，物が動く様子も変わること． (イ)ゴムの力は，物を動かすことができること．また，ゴムの力の大きさを変えると，物が動く様子も変わること．(p.32)	例えば，物を動かすことを目的とした，風やゴムの力で動く自動車や風車などが考えられる．(p.38)

までの学習内容に限定した．学習指導要領では，空気と水の単元で「空気と水の性質を踏まえ，それらを利用したおもちゃや道具などの仕組みについて，学んだことを適用し，表現することが考えられる．」(文部科学省, 2017, p. 47)と記載されているように，単元での内容を学んだ後に「ものづくり」の活動が行われるように位置付けられている．また，小学校理科教科書においても，おもちゃや道具などを作るものづくりは単元の学習の最後に掲載されている．このため，学習指導要領と教科書の記載に則った場合には，単元の後にエンジニアリングデザインを含む学習が位置づけられる．なお，米国ではエンジニアリングデザインは，必ず単元の学習の後に位置付けられるというわけではない．例えば，PBL(Project/Problem Based Learning)に則って学習活動が行われる場合には，最初に問題が提示され，問題を解決するエンジニアリングデザインの過程の中で，科学的概念を学ぶ場合があるためである．

３．テクノロジーの利用

２１世紀型スキルとエンジニアリングデザインの学習活動に関連して情報機器を考えると，他者との協同，デザインを説明したりどう改良したかを説明するコミュニケーションに情報機器を活用することが考えられる．これらの機能を備え扱いやすい機器にタブレット型の情報機器がある．iPad を用いることで，情報収集と学習の記録と発表ができる．iPad でのインターネット上の情報を検索し，エンジニアリングデザインを行う際の課題や問題に関する情報収集と，作成例に関する情報収集ができる．また，iPad は写真撮影ができ，画面上に写真を映し出し文字を記入することで，製作物に関して写真に文字が入った形で記録することができる．iPad アプリケーションであるロイロノートスクール[7]を用いることで，児童の間で共有したり，教師に提出したり，プレゼンテーションの画面としてプロジェクターやテレビモニターに映し出し発表に用いることなど協同作業に活用できる．このように，iPad のブラウザによる検索，カメラを用いた記録，アプリケーションのロイロノートスクールを使った資料の共有と発表の形で，テクノロジーを理科の授業で活用する方法が考えられる．

４．授業の目標

理科でSTEM教育の要素を含む授業の実践の際には，理科授業の評価の観点との関係で，STEM 教育の要素を含む目標を整理しておく必要がある．構築した授業の 21 世紀型スキル，エンジニアリング，テクノロジーの要素について，小学校児童指導要録の様式に対応する評価の観点で分類したものが，表４

表 4　構築した授業の理科の目標との対応

小学校児童指導要録の様式に対応する評価の観点	構築した STEM 教育の要素を含む目標
自然事象への関心・意欲・態度	自律的に取り組んだか(5) グループ内のコミュニケーション(3) 協同できたか(1,3)
科学的な思考・表現	試してみることを踏まえて改良ができた(エ) 結果の違いを論拠を示して説明できる(2)
観察・実験の技能	問題に関する情報収集ができる(4) 創造的な工夫が見られる(1) 動くように作ることができる(エ) 実験で調べたことを iPad に記録できる(エ，テ) iPad で発表資料を作ることができる(テ)
自然事象についての知識・理解	関連する既習の科学的知識を述べることができる(学)

である．右列の各目標には，表 2 にある 21 世紀型のスキルの番号に対応する括弧内の数字を記載し，(エ)はエンジニアリングのデザインに，(テ)はテクノロジー利用に関係する目標であることを示した．また，(学)は小学校学習指導要領解説で示されている要素である．

Ⅳ．おわりに

本稿は，米国の STEM 教育の特徴を検討し，その特徴を日本での理科授業に取り入れる授業を検討した．具体的には，小学校における STEM 教育の要素を取り入れた理科授業として，STEM 教育の目標とされる 21 世紀型スキルの要素を考慮し，エンジニアリングの要素としてエンジニアリングデザインプロセス，テクノロジーの要素として iPad を利用する授業として構築した．学習指導要領の中でエンジニアリングデザインの実践と対応する部分として，単元の最後の学習であるものづくりが適切であることを示し，理科の評価の観点との関連で STEM 教育の要素に関連する目標を示した．

今後は，具体的にエンジニアリングデザインとして作成する製作物を決定し，授業で目標の達成を段階別に分けて評価するためのルーブリックを作成し，授業実践し授業評価したい．なお授業では，児童が工作と iPad の使用に慣れていないことで，スムーズに授業が進まないことも予想される．このため円滑に授業が進むよう，筆者の勤務する大学の近隣の小学校で，教員志望の大学生のグループに授業の補助と児童の支援をさせることも考えたい．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16H03058 の助成を受けた．

註

1) 自然科学と米国での自然科学を扱う教科を科学とする．日本の自然科学を扱う科目には理科を用いる．
2) タッチダウンのアクティビティーは，https://www.jpl.nasa.gov/edu/teach/activity/touchdown/を参照．
3) 教師が Kahoot の問題を作ったり，クイズを始める場合は https://kahoot.com/からアクセスする．子供が，クイズに参加する場合には，https://kahoot.it/から参加する．
4) 1999 年に設立された Explore Learning 社(https://www.explorelearning.com/)が提供する科学と数学のオンラインのアプリケーションであり，現在は 50 カ国以上で使われている．アプリケーションの数は，400 を超え，Windows， Mac， クロームブック，iPad， アンドロイドデバイスで動く．
5) インターフェースが不要で，Bluetooth 通信でタブレットや PC に直接センサを接続できるワイヤレスセンサが発売されている．インターフェースが不要となることは，費用が安くなり，機器操作もコンピュータやタブレットの操作となるため簡単である．例えば，Vernier 社（https://www.vernier.com/），PASCO 社（https://www.pasco.com/）がある．
6) 大日本図書の小学校理科教科書指導計画 https://www.dainippon-tosho.co.jp/contents/ebook/js_textbook27/を参照した．
7) ロイロノートスクールについては https://n.loilo.tv/ja/を参照のこと．2018 年より教職課程での使用は，申請により無料で使うことができる．

引用文献

Bybee, R.(2013)：The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities. NSTA Press

畑中敏伸（2017）：科学教育研究におけるSTEM教育に関連する研究領域の解明．日本科学教育学会年会論文集41，61-62.

Daugherty, M.(2009)：The “T” and “E” in STEM. In The overlookes STEM imperatives: technology and engineering K-12 education (pp. 18-25). International Technology Education Association.

ITEA.（2007）：Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology. Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology.

文部科学省.（2017）：小学校学習指導要領解説理科編．文部科学省.

National Research Council.（2013）：Next Generation Science Standards: For States, By States. Washington, DC: The National Academies Press.

〔問い合わせ先〕

〒274-8510　千葉県船橋市三山２－２－１
東邦大学理学部
畑中敏伸
e-mail:hatanaka@c.sci.toho-u.ac.jp

STEM における“Argument” Ⅱ
“Argument” in the STEM, Ⅱ

萱野 貴広
KAYANO Takahiro
静岡大学教育学部
Faculty of Education, Shizuoka University

［要 約］ この数年，STEM 教育に関する調査研究や実践が積極的に行われているが，STEM；Science, Technology, Engineering and Mathematics（科学，工学，技術，数学） 各分野での象徴的な 8 つの活動の 1 つに“Argument”についての記載がある．本報告はこの“Argument”に焦点を当てて，2018 年 1 月に大学 2～4 年生を対象として実践した学際科目「静岡県における防災・減災と原子力」での調査結果をまとめたものである．

科学や技術が関わる社会的問題として「高レベル放射性廃棄物地層処分問題」をテーマに，Argument を組み込んだ体験的プログラムを実践した．受講者の大学 2 年生は，タブレットを活用して積極的な活動を展開し，彼らから議論の難しさと大切さを学んだとの評価を得た．

［キーワード］ STEM 教育，Argument，合意形成，社会的問題，大学生

Ⅰ．はじめに

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 他が 8practices としてまとめ，紹介している（Technology のみ 4 practices）（Vasquiz 他 2013）．表 1 に示した STEM 各分野における 8 practices 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[註1]．

昨年，これらのうち科学と工学と数学の 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まとめた（熊野 2017）．そこでは，STEM の特徴である「様々な考えを共有し，各領域の知見を関連付けて何らかの結論を導く」活動は，次の学習指導要領総則にある「知識を相互に関連つけてより深く理解する」に通じる所が大きいこと，また，「科学的根拠をもとに説明する」「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」活動であるアーギュメントは，次の学習指導要領の柱である「対話的な深い学び」に直結していて，これからの教育目標の達成に向けて大きな示唆が得られた．

また，静岡県内公立中学校 2 年生とミネソタ州オワトナ公立中学校 8 年生（以降，日本と米国と略記する）を対象とした「思考・判断・主張に関す

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 sence and problemes 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.	Lear how to use technologies as they become available.	Use appropriatetools strategically.
4	Analyze and interpret data.	Analyze and interpret data.		Attend to precision.
5	Use mathematics and computational thinking.	Use mathematics and computational thinking.	Recognaize the role that technology plays in the advancement of science and engineering.	Reason abstractly and quantitatively.
6	Construct explanations.	Design solutions.		Look for and maku use of structure.
7	Engage in argument from evidence.	Engage in argument from evidence.	Make informed decisions about technology, given its relationship to society and the envioronment.	Construct viable arguments and critique the reasoning of others.
8	Obtain, evaluate and communicate information.	Obtain, evaluate and communicate information.		Look for and express regularity repeated reasoning.

る調査」のうち「結論を出すきっかけ」について，日本の中学生が「先生の言ったこと」「友達の意見」が多かったのに対して，米国の中学生は「自分の知識」「ネットで得た情報」や「教科書に書いてあること」を多く選んでいた．この違いについて興氏は（元　静岡大学長），日本の優秀な教師の下で生徒は，知識や情報の獲得が消極的受容的になり，自立自主性の高い米国では生徒自身の興味や関心に沿った積極的なインプットになるからであろうと言う．他の調査で日米に差が見られた質問項目を挙げると，

日本の方が，「自分の意見を言うときはあらかじめメモを取る」生徒が多く，「理科の授業でも，話し合わなければならない問題が多い」と答えていた．日米の授業スタイルの違いの一端が示された．

また，米国の生徒は日本の生徒に比べ「一人で考える時の方が結論を出しやすい」の回答が多く，「人の意見に影響を受けやすい」の回答が少なかった．明らかな差とは言えないものの学習場面における個のあり方の違いが示された．

以下に示した選択質問については，日米の生徒に大きな違いは見られなかった．

・みんなと話し合うことは必要だ．
・自分の意見に賛成してもらうとうれしい．
・みんなで考えることが好き．
・自分は，人の意見をよく聞く．
・実験のデータを使って説明するのが好きだ．
・自分の意見に他の人が納得したか気になる．
・ふと思いついた考えを大切にする．
・2 つ以上の根拠から結論を出す．

調査対象とした米国（オワトナの公立中学校 8 年）の生徒のほとんどが，本調査を実施した 2017 年 4 月の時点には 3 年以上 STEM プログラムで学習している．一方，日本（磐田市立中学校 3 年）の生徒は， 2 年時の 2016 年 3 月に「高レベル放射性廃棄物地層処分問題」をテーマとして，Argument を取り入れた学習を 2 時間のみ経験している（中澤ほか 2016）[註2]．

これらの結果を踏まえて，今年度は大学生を対象に同様の調査を行った．この調査は，合意形成プロセスを体験するために Argument を組み込んだ学習プログラムの実践にあたり，事前に行ったものである[註3]．本稿では，この調査結果と講義後に課したレポートの記述内容の結果について報告する．学習プログラムの内容，ワークシートと学生の活動実態については別に報告する．

なお本報告では，Argument 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」と定義し，論ずる．

Ⅱ．調査内容と時期

1. 調査対象

学際科目「静岡県における防災・減災と原子力」受講者
静岡大学工学部・情報学部 2 年生 53 名
（同学部 3 年生 2 名，4 年生 3 名を含む）

2. 調査資料

・「思考・判断・主張」に関する調査
・事後調査

3. 講義日

2018 年 1 月 26 日（講義時間 90 分）

Ⅲ．事前調査内容と事後調査内容

事前調査は講義開始前 10 分で行い，直ちに回収した．事後調査はレポートとして 1 週間後の提出を求めた．

1. 事前調査内容

以下に示した①～⑱は，「4．当てはまる，3．まあまあ当てはまる，2．当てはまらないことが多い，1．当てはまらない」の 4 選択肢から 1 つを選ばせ，⑲は 12 個の選択肢から 3 つを選ばせた．⑳は自由記述である．

①みんなと話し合うことは必要だ．
②自分の意見を言うときは，あらかじめメモをとる．
③自分の意見に賛成してもらうとうれしい．
④みんなで考えることが好き．
⑤理科の授業では，話し合わなければならない問題は少ない．
⑥一人で考えるときの方が，結論を出しやすい．
⑦自分は，人の意見に影響を受けやすい．
⑧自分の意見が正しいかを一度確認してから，発表する．
⑨自分は，人によく質問する．
⑩発表すれば良かったと，後で思う．
⑪自分は，人の意見をよく聞く．
⑫実験などのデータを使って説明するのが好きだ．
⑬話し合いをするのが楽しみだ．
⑭自分の意見に他の人が納得したかどうかが気になる．
⑮ふと思いついた考えを大切にする．
⑯一人で考えることが好き．
⑰2 つ以上の根拠から結論を出す．
⑱理科は好きな教科の 1 つだ．
⑲自分が結論を出すきっかけになることが多いものを，3つ選んで〇をつけて下さい（12 の選択肢は後述する）．
⑳今，考えてみたいことは？－学校や授業以外のこと，何でも構いません．

2. 事後に課したレポート課題の内容

それぞれの問に対して，選択肢と自由記述を併用した．

①高レベル放射性廃棄物の処分方法として地下深部に埋設する方法を，あなたは，

1. 支持する ～ 4. 支持しない

②高レベル放射性廃棄物の処分方法として，地下埋設以外にどんな方法が考えられますか．

また，あなたはその方法を支持しますか？

1. 支持する ～ 4. 支持しない

③高レベル放射性廃棄物の処分に対して，全体を 100 として誰に，どこに，どれくらい責任があると考えますか？

A.政 府，B.電力会社，C.原子力発電所がある地域の人々，D.全国民，E.その他

④小学生（⑤中学生，⑥高校生）は，高レベル放射性廃棄物地層処分問題について学ぶ必要が，

1. ある ～ 4. ない

⑦ このゲームに加えた方が良いと思う情報はありますか？

⑧日本を考えた場合，日本特有の問題はどんなところにあると思いますか？

⑨ 高レベル放射性廃棄物地層処分について，興味深かったことは？

⑩ 高レベル放射性廃棄物地層処分について，もっと知りたいことは？

⑪自分の考えを発表するときに，相手に納得してもらえるように工夫したことは？

⑫他の人の発表で，あなたが良いなと思ったり，上手だなと思ったりしたことは何ですか？

⑬自分の考えや意見を発表するときに，何が大切だと思いますか？

⑭説明するときに言えば良かった，と思っていることがあったら書いて下さい．

⑮高レベル放射性廃棄物処分問題とその話し合いに関して合意形成を目指した授業について，あなたが思ったこと，考えたこと意見，そのほか何でも自由に書いて下さい．

以上．

3. 講義の内容

参考として，講義の概要を以下に記した．

科学や技術に問うことができるが科学や技術からだけでは解決できない社会的問題として，「高レベル放射性廃棄物地層処分問題」をテーマに，合意形成プロセスを導入した講義を実践した．その流れは，

①高レベル放射性廃棄物とその処分についての概要説明．

②仮想の島を舞台にゲーム化した高レベル放射性廃棄物地層処分問題をインストールしたタブレット(iPad-mini)で個々が取り組み，自身の判断で処分地を選定する（図 1 参考）

③ワークシートを用いて，選定した処分地の住民が納得し，受け入れてもらうための戦略を立てる．

④4 名程度構成のグループで議論．

⑤議論とその技法，Argument を構成する要素と，社会合意形成のためのプロセスデザインについての講義．

⑥課題レポート（次週提出）

Ⅳ. 結果と考察

1. 思考・判断・主張に関する大学生の実態

1）「自分が結論を出すきっかけになることが多いもの」について（事前調査）

上記質問については，12 の選択肢のうち3つを選ばせた．選択肢は，

1. 自分の知識
2. ネットで得た情報
3. 新聞で得た情報
4. 教科書や書籍に書いてあること
5. 先生が言ったこと
6. 友だちの意見
7. 親の意見
8. 話し合いのようす
9. 多数意見
10. 消去法
11. なんとなく
12. その他， である．

学生 52 人が選んだ結果を図 1 に示した．

対象学生が結論を出すきっかけとしては，「自分の知識」「ネットで得た情報」「教科書や書籍に書いてあること」が多く，「多数決」がきっかけになると答えた学生が全体の 37%（19 人）いた．前述の「日本の中学生の知識や情報の消極的インプット」に比べると，大学生はさすがに情報収集等に積極性が見られる．ここで，学生がほとんど新聞を読んでいない状況が浮き彫りになったが，スマートフォン等の普及が拡がった今，彼らは Web を通してニュースや情報に接していると予想されるので，以前ほど社会疎開といった問題にならないと考える．

しかし，ネットで得た情報と自分の知識をどの程度分けて回答しているかは不明である．また図 3 に示したように，「一人で考えるときの方が結論を出しやすい（71%）」，「一人で考えることが好き（75%）」と答えた学生が多く，73%の学生が「自分は人の意見に影響を受けやすい」と答えてい

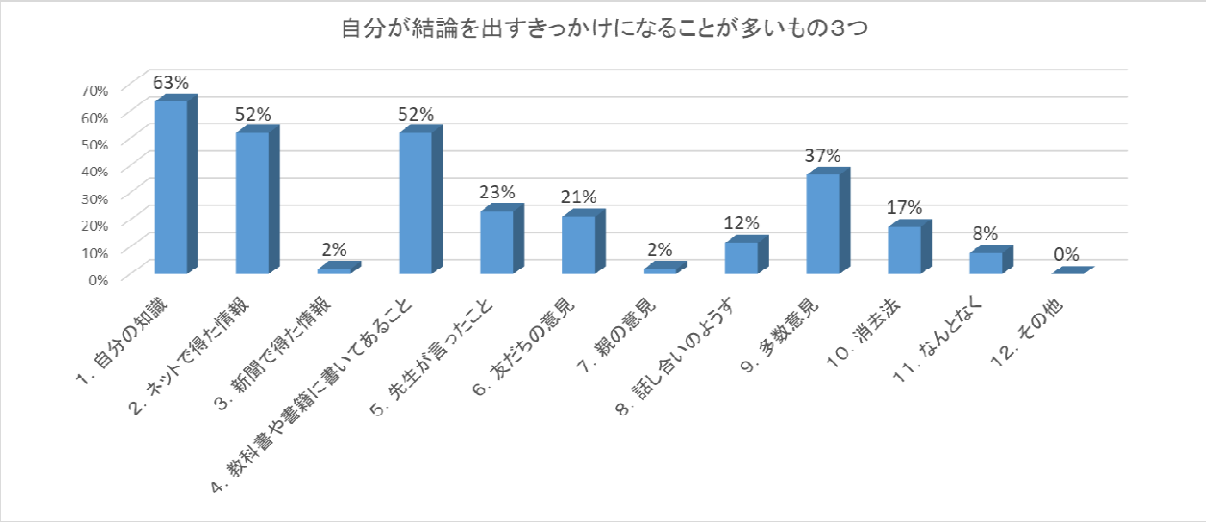


図 1　学生が選んだ「結論を出すきっかけ」の割合（n = 52 人）

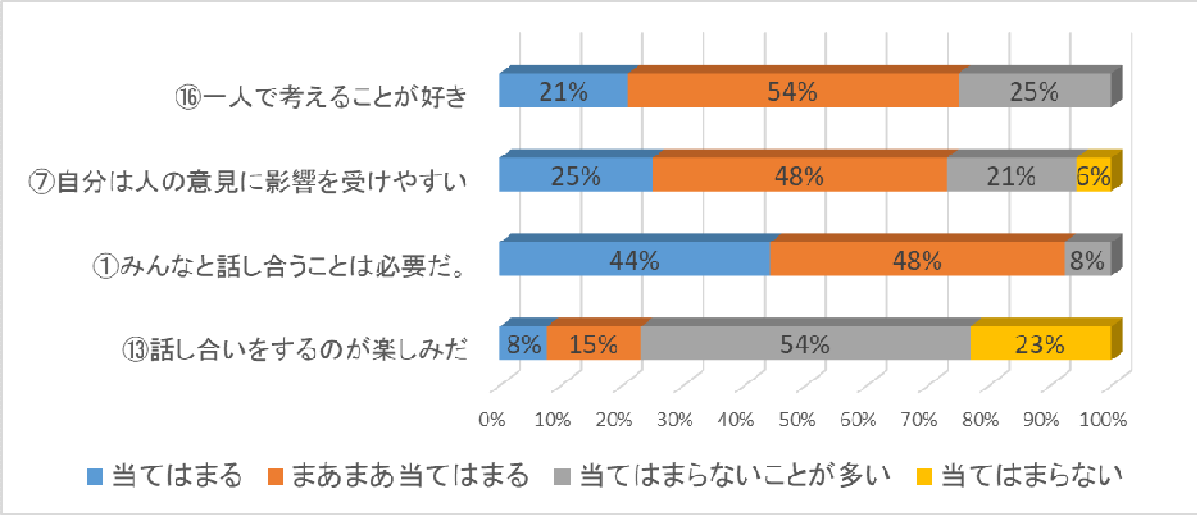


図 2　各質問に対する学生の回答の割合（n = 52 人）

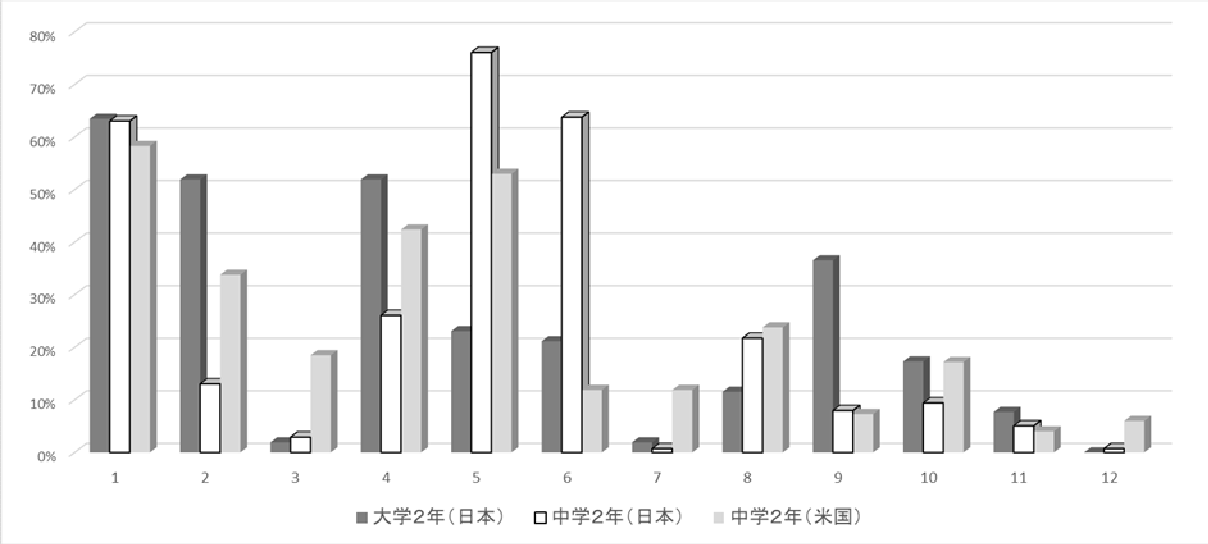
た．ほとんどの学生が「みんなと話し合うことは必要だ（92%）」と答えていた一方，「話し合いをするのが楽しみだ」と答えた生徒は 23%のみであった．

話し合いをすることの必要性を認めてはいるが，苦手意識を持っている様子がうかがえる．

この 10 数年，様々な学習場面で話し合い活動が展開され，学生もその体験をしてきたはずだが，議論を含めた話し合い活動の意義や技法についての系統的な学習は行われていなかったのではないだろうか．さらに教師の丁寧な授業のおかげで，比較的容易に結論を得たり判断できたりすることできて，他と話し合いをする必然性を感じてこなかった可能性もある．新しい学習指導要領の柱である「主体的，対話的な深い学び」の実現に向けた課題が明らかになったのではないかと考える．

大学生 52 人と日本の中学生 138 人と米国の中学生 125 人（以降，3 者と併記する）が，「結論を出すきっかけ」として選んだ割合の比較結果を図 3 に示した．横軸の数字は，Ⅴ．1で記した 12 の選択肢である．

「2．ネットで得た情報」「4．教科書（や書籍）に書いてあること」「5．先生が言ったこと」「6．友だちの意見」に関する割合を見ると，結論出すきっかけに関して，米国の中学生は日本の同年代よりも大学生に近いと言える．「3．新聞で得た情報」に関しては米国の中学生が多く，「9．多数決」に関しては日本の大学生の多くが回答していた．「③自分の意見に賛成してもらうとうれしい」について



質問⑨ 選択肢→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
大学2年（日本）	63%	52%	2%	52%	23%	21%	2%	12%	37%	17%	8%	0%
中学2年（日本）	63%	13%	3%	26%	76%	64%	1%	22%	8%	9%	5%	1%
中学2年（米国）	58%	34%	19%	42%	53%	12%	12%	24%	7%	17%	4%	6%

図 3　大学生と日米の中学生が選んだ「結論を出すきっかけ」の割合比較

は 3 者とも 90％以上が支持していて差がなかった．「⑨自分はよく質問する」の項目に関しては，大学生 57％と日本の中学生が 63％で，米国の中学生に 41％に比べると多かった．有意差については統計処理をしていない．

2. レポートの記述内容について

講義後に課したレポートでは，高レベル放射性廃棄物地層処分問題やコミュニケーション（話し合いや議論）に対する認識について調べた．コミュニケーションに関して述べる前に，講義のテーマ「高レベル放射性廃棄物の処分問題」に対する学生の認識について紹介する．

高レベル放射性廃棄物の処分方法として地下深部に埋設する方法についての考えを尋ねたところ，89％の生徒が地層処分方法を支持したが（図 4），「他に方法がないから」「今ある中では最も良いから」「地上に置くのは認めたくないから」のように，積極的な支持には遠かった．支持しないと

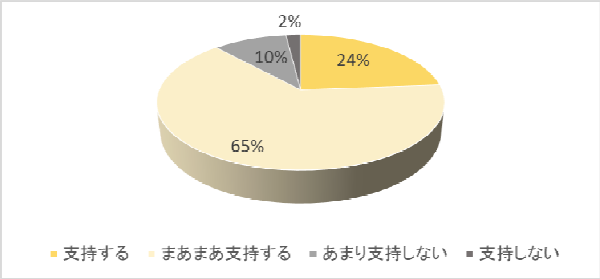


図 4　地層処分に対する生徒の意識

答えた学生は，「地震や地殻変動の可能性」のように将来の不安を理由にしていて，「まだ決めてはいけない」と記述した学生もいた．

また高レベル放射性廃棄物地層処分に対して，誰に，どこに，どれくらい責任があるかと問うた所，

政府 39％
電力会社 34％
原子力発電所がある地域の人々9％
全国民 17％

と答えていた（平均値）．全国民に 100％責任があると応えた学生も一人いたが，多くの学生は「政府」と「電力会社」に大きな責任を求めていた．

1）Argument について；事後調査結果から

講義の 1 週間後に提出を求めたレポートでは，Ⅲ．2．で示したように自由記述を中心に 15 の質問を設けた．このうち，「⑪自分の考えを発表するときに，相手に納得してもらえるように工夫したことは」と，「⑬自分の考えや意見を発表するときに，何が大切だと思いますか」について述べる．

まず「⑪発表時の工夫」について，学生の記述内容をカテゴリー化し分類した結果を図 5 に示した．彼らは講義での実践を振り返りながら，「A．根拠」について多く記述していて，具体的には「信頼性の高い根拠を示した」「根拠を明確にした」「理由を数値で示した」「客観的な情報を示した」等の内容だった．次に「B．相手の立場や考え」を尊重して等の内容が多かった．次に「C．方法」に関し

てで，論理的に説明するや簡潔にわかりやすく説明する，中には情熱をもって説得するといった記述もあった．「D．メリットやデメリット」については，「メリットやデメリットの点をきちんと示す」と表現した場合は，「A.根拠」に分類されるが，「デメリットよりメリットを少し多めに言う」場合は「C．方法」に分類される．曖昧な表現が見られたので，ここでは「メリットとデメリット」にまとめた．

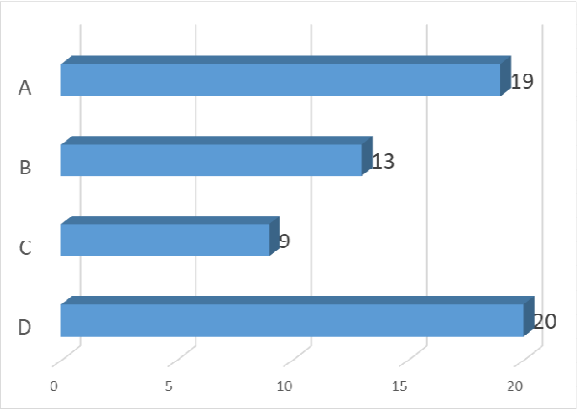


図 5　学生が記述した「発表時に工夫したこと」
A．根拠
B．相手の立場や考え
C．方法
D．メリットやデメリット　　（数値は件数）

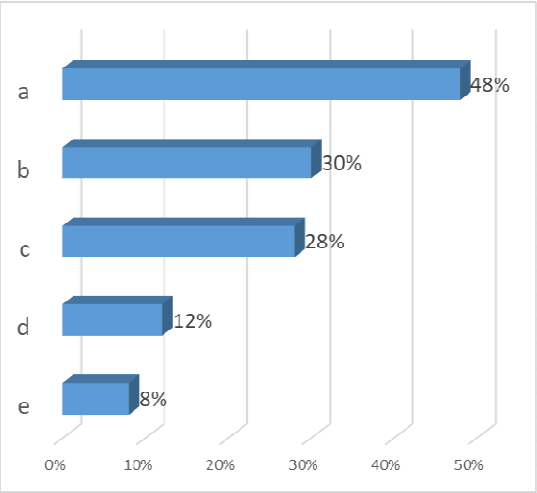


図 6　学生が記述した「発表するときに大切なこと」
a．要点をまとめわかりやすく説明すること
b．（具体的な，明確な）根拠を示すこと
c．相手の立場や考えを尊重し，強調すること
d．論証と反証
e．感情的にならないこと
（有効数 50 名）

「⑬自分の考えや意見を発表するときに，何が大切だと思いますか」についても同様に分類した．図 6 に示したように，「a．要点をまとめわかりやすく説明すること」が大切だとする学生がほぼ半数と最も多く，「c．相手の立場や考えを尊重し，強調すること（28％）」のように，双方向性のコミュニケーションの必要性を挙げていた．また同時に，「b．根拠を示すこと」や「d．論証と反証」のように，講義で説明した内容についても記述していた．

講義で複数の（科学的）根拠および論証や反証の必要性について述べたこともあって，「根拠」を元にして説明していたが，彼らは 1 週間後には，「説明の仕方や相手の立場や考え」に重点を置いていた．日本人の特徴と言えばそれまでだが，議論に対する課題の一端が示された．

Ⅴ．おわりに

STEM 教育においても主要な活動としている“Argument”については，対話や議論に習熟していない日本の状況を鑑み，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る方法が有効ではないだろうか．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．中学校においても大学においても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確保を望みたい．また指導者は，学習者が議論の必然性を持てるような課題を設定し，その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最適になるようデザインするのが肝要なのである[註4]．

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，一人ひとりが思考，判断，主張の流れを作り上げ身につけることが必要である．議論することや情報リテラシーに関する概念理解ももちろん大切だが，そこに止まらず，スキル獲得を目指して，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る．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．課題に応じた議論の場を設定し，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．

次世代型 STEM 教育の構築を目指した実践的研究として，通常の授業に STEM-Method を組み込む際には Argument 活動は不可欠で，その理論や手法は中学生にも大学生にも抵抗なく受け入れられると考える．

最後に，講義終了後に学生が記述した主な感想を紹介する．

・何を優先するかによって結論が違ってくることが分かった．
・他の意見をきちんと聞くことが大切だ．
・相手を尊重し相手の立場に立って主張することが大切だと思った．
・結論を出すための議論には根拠やプロセスが大切だ．
・反証の大事さがよく分かった．
・多くの視点から結論を出すべきだ．
・合意することの難しさを実感した．
・説得することの難しさ
・結論出すことの難しさ．
・これからは，多くの視点から自分の考えを見直すようにする．
・議論することが苦手だったが，今回のことを意識して議論するようにする．

（以上）

［註］

1. 表 1 については本事業 2017 年度中間報告でも記載したが，STEM 各分野の活動の説明に必要なため再度掲載した．
2. 平成 25～26 年度挑戦的萌芽研究（課題番号 15K12376）「シティズンシップ育成のためのアーギュメントを主体とした理科授業デザイン（研究代表：萱野貴広）」での、実践協力校として実践した．
2. Argument を組み込んだ学習プログラムの詳細と実践結果については，別に報告する．
3. ここで述べた結論の一部は，本事業 2017 年度報告書の「STEM における Argument」でも述べた．

［文 献］

Crusius ＆ Channell（杉野ほか訳），「大学で学ぶ議論の方法」，慶応義塾大学出版会，2004.9.

萱野貴広，平成 25～26 年度挑戦的萌芽研究（課題番号）15K12376）「シティズンシップ育成のためのアーギュメントを主体とした理科授業デザイン」での、実践協力校として実践．

熊野善介，平成 28～30 年度基盤研究 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」，2017 年 3 月，pp.69-79.

中澤祐介，鈴木眞介，萱野貴広（2016），「思考の可視化と操作化とアーギュメントと理科授業実践」，日本理科教育学会第 66 回全国大会論文集

Vasquiz, Sneider, and Comer (2013), “STEM Lesson Essentials2”, Heinemann, 2013, pp.29-40.

［謝 辞］

本研究の一部は科研基盤(B)16H030580「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（代表者：熊野善介）」の助成を受けて行った．またその一部は，中部電力連携研究「原子力防災に係るコミュニケーション等の手法に関する研究（代表者：大矢恭久）」の助成を受けて行った．

Eはいかに強調されたか

ー米国STEM教育改革におけるE（エンジニアリング）の扱いについてー

齊藤智樹
静岡大学

How Has Engineering been Emphasized?
-Engineering Involvement in the STEM Education Reform in the United States

Tomoki SAITO
Shizuoka University

［要約］
本研究は, 米国におけるSTEM教育改革におけるEすなわちエンジニアリングの扱いについてまとめている. その端緒となる1980年代初頭における議論と, 2007年以降のSTEM教育改革における議論, そしてその間をつなぐ時代の3部構成で, なぜEは強調されたのか, どう強調され, 扱われているのかを検討した. また, 結果的に新しい科学のスタンダードの中で, どのように位置づけられることになったのかについて, その経緯をまとめたものである. それぞれの年代において, 教育改革の引き金となったデータ・議論, 比較対象とされた相手国, 具体的に勧告されているEの概念, そしてカリキュラムの中でそれをどう扱うのかといった点についてまとめ, 我が国の教育改革への示唆を得た.
［キーワード］STEM education reform, engineering, infusion

I. はじめに

本研究は, 主に米国を中心に進められている科学教育改革であるSTEM（Science, Technology, Engineering, and Mathematics）教育の歴史的背景に焦点を当てている. 2007年の*America COMPETES*法から連邦レベルで始まったとされる（長洲, 2013; 齊藤・熊野, 2016）STEM教育改革の全貌は, 10年以上を経た現在でも*理論面・実践面において十分に解明され, 我が国にとっての重要な示唆が抽出されえたとは言い難い*（内之倉, 2014）.

そのような中で, 長洲（2016）は法的, 行財政的観点からSTEM教育改革の実態に迫っている. 特に予算建ての面について, どの連邦政府機関がどれだけの予算を執行するのかについて法的根拠を示し, その連邦予算における規模を明らかにしている. また, 齊藤・熊野（2016）は関連した連邦文書の中でも*A National Action Plan for Addressing the Critical Needs of the U.S. Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education System*（National Science Board, 2007; 以下アクションプラン, NSB）に注目し, STEM教育改革につながる具体的な法制として, STEM教育憲章やCoSTEMの存在を指摘する等, 改革の流れの一部を明らかにし, 今日のSTEM教育改革におけるEngineering（以下, エンジニアリング）の台頭について, 1980年代に立ち戻って改めて調査する必要を論じた（本稿におけるアクションプランの記述はこの研究に依っている）. このアクションプランでは, STEM教育の根本的な

課題意識として, STEM 学習の一貫性と, よく仕込まれた非常に能力の高い STEM 教師の確保の2点を示している.

これら先行研究の中で, 未だ十分に指摘されていない点として, 新しい科学教育スタンダードである *Next Generation Science Standards*（NGSS Lead State, 2013: 以下 *NGSS*）に科学と同等に強調されているエンジニアリングについて, どのようにここまで強調されるに至ったのかについての背景がある. 熊野（2012）によれば, *NGSS* では物理化学, 生命科学[1], 地球宇宙科学, Technology（以下, テクノロジー）・エンジニアリング・応用科学がそれぞれ 25%ずつ扱われている. このことは, テクノロジー・エンジニアリング・応用科学が他の科学と同等に強調されていることを意味する.

もう一点は, K-12 においてほとんど行われていなかったエンジニアリング教育のスタンダードは作成されるのかどうかという点である. 前述のアクションプランでは, STEM 教育の一貫性のために内容スタンダード（Contents Standards）を *Standards to Provide Educational Achievement for Kids Act*（H.R. 325; S. 224[2], 2007; 以下 *Speak 法*）に基づいて構築すること, またその責任は National Assessment Governing Board（NAGB）が負うことが示されている（齊藤・熊野, 2016）. しかしながら, 次なるスタンダード作成に向けた参考資料として, エンジニアリングのスタンダードについては, 連邦レベルの先行するスタンダードではなく, 一論文（Gorham et al. 2003）が示されているに留まる. ところが, *NGSS* にはっきりとエンジニアリングが扱われていることから, エンジニアリングを独立した教科やコースではなく, 既存の科学のスタンダードの中で扱う, 少なくとも連邦レベルでは何らかの意思決定, あるいは勧告があったものと考えられる.

これら先行研究の知見からの推論をもとにすることで考えられる研究課題として, 1）STEM 教育改革の中でエンジニアリングが強調された理由や, 2）その扱い方として *NGSS* に見られるように既存の教科のスタンダードに統合される形で取り入れられるに至った背景は何であるかということが挙げられる.

こうした課題に応えることで, 我が国にとって STEM 教育を取り入れる上での課題や, 現行のカリキュラムにどのように取り入れていくことが望ましいのか, 米国での事前の議論を踏まえながら議論を進めることが可能となる. そこで, 本研究では先行研究と同様, 米国の教育改革に関連する文献を紐解きながら, これら研究課題に応えるため, 以下のような着眼点をもとに進められた.

II. 目的

米国の科学教育改革の歴史の中で,

イ. なぜエンジニアリングは強調されたのか,
ロ. 新たに作られるカリキュラムの中で,エンジニアリングはどのように扱われるべきか,
ハ. その場合, カリキュラムに含まれるべきエンジニアリングの概念は何か,
ニ. それらを学ぶために有用なシステム（教材）の例は何か,
ホ. その結果得られるスキルは何であるか,
ヘ. テクノロジーはどう定義されてきたか,

といった点が, どのように示されてきたかを明らかにし, 日本の教育に対する示唆を抽出するとともに, 更なる研究課題を明らかにすることが本研究の目的である.

III. 方法

本研究は, 歴史的アプローチをとり, 具体的な文献における記述を参照しながら, 互いの記述の連なりを証拠とし, それぞれから生まれる推論を確かめながら, 歴史的一貫性と不整合を発見し, 日本への示唆となる知見と今後のさらなる研究課題を見出すこととした. そこで, 先行研究でも示しているアクションプラン（2007）における記述からスタートし, 同プランの示唆する 1980 年代とともに, 2007 年前後以降, STEM 教育改革の時代の文書を主に参考にした. また, 文献上に示される証拠に基づいて調査し, それぞれの文書をまたいだ記述あるいは同プロジェクトのなかで関連する文献にあたる方法をとったため, 上記2つの時代をつなぐ文書も参照している. したがって, 本稿は大きく3部構成となり, 全体としてレビューした文献は, 以下の表1のようになる.

表１　本研究において主に扱った文献

1980 年代初頭	・ The Nation at Risk（1981/1984） ・ Educating Americans for the 21st Century（NSB, 1982） ・ Educating Americans for the 21st Century（NSB, 1982）の Source Materials
つなぐ時代	・ Science for All Americans（1989） ・ Project 2061 Panel Reports（1988/1989） ・ Benchmarks for Science Literacy（1993） ・ National Science Education Standards（1996） ・ Standards for Technology Literacy（2000）
2000 年代 STEM の時代	・ Rising Above the Gathering Storm（NRC, 2007） ・ Taking Science to School（2007） ・ Speak 法（2007） ・ The National Action Plan（NSB, 2007） ・ Standards for K-12 Engineering Education?（2009） ・ K-12 Engineering Education（2010）

なお, 本研究が参照しているのは, 主に連邦レベルの文献であり, 米国の教育体制においては, 州レベルの教育に対する法的拘束力はない（Elementary and Secondary Education Act, 1965; 熊野, 2005）. また, 各学校・各教師がどのようなカリキュラムを組むのかは, それぞれに権利があり, 必ずしも実施されるとは限らない. とはいえ, 日本に対する示唆として捉えた場合, Bybee（2013）の示す STEM 教育改革の４つの段階 Purpose・Policy・Program・Practices のように政策レベルから, 実践レベルまで, 米国 STEM 教育改革のイノベーションは見つけ得るであろう. そうしたなかでも, 本研究は特に Purpose・Policy のレベルから STEM 教育改革のエッセンスを抽出したものと位置付けることができる.

Ⅳ. 結果

図１（次頁）は, 文書ごとの記述の関係性から見いだされた改革の道筋を表したものである. 以下では, この図にまとめられている矢印の主要部分を, 目的イ.～ヘ. の順にできる限り合わせながら, ３つの時代を表す項（1. 2. 3.）ごとに詳しく説明していくこととする.

1. 80 年代初頭, いかにＥは強調されたか

前述の NSB（2007）によるアクションプランには, A: STEM 学習の一貫性と, B: よく仕込まれた非常に能力の高い STEM 教師の確保の２点が STEM 教育の根本的な課題意識として示されていた. アクションプランによれば, これら２点の課題意識に対応する方略として, STEM 内容ガイドラインの開発（優先すべき勧告 A）と, 国の STEM 教師実力証明書を創る（優先すべき勧告 B）については, 既に 1980 年代初頭にも勧告されている（NSB, 2007: p.29, 30, 31, 77, 78）としている.

a. なぜエンジニアリングは強調されたか

では, 実際に 1980 年代初頭のスタンダード改革の準備段階とも言える時期の記述はどうなっていただろうか.

STEM の教員養成とその維持（Retention）について既に勧告していた（NSB, 2007）とされる *The Nation at Risk*（1984）関しては, 橋爪（1984）による全訳（邦訳: *危機に立つ国家*- 日本教育への挑戦）をはじめ, 丹沢（2005）, 長洲（2016）らが論じているけれども, 科学教育に対するエンジニアリングの寄与に関するまとめはまだみられない. そこで, 前述のアクションプランにおける記述をもとに, 改めて調べていくこととした. 同文書の中には, 組織名を除けばエンジニアリングの語が登場するのは３度のみである.

- *今日の生徒はビジネス, エンジニアリング, そしてコンピューターサイエンスにより興味を持ち, 教育, 社会科学, ファインアート, パフォーマンスアート, そして人文学に対する興味は低い.*
- *これまでの世代と比較して, 今日の女子生徒はビジネス, 医学, 法学, そしてエンジニアリングに関する職業を目指すようになり, 教育や看護などを目指す生徒は有意に減少しつつある*（p.29）.
- *近年の研究は, アメリカが科学者・エンジニアの育成において, 日本, 西ドイツ, 東欧, そしてロシアに対して遅れていることを示してきた*（pp.53-54）.

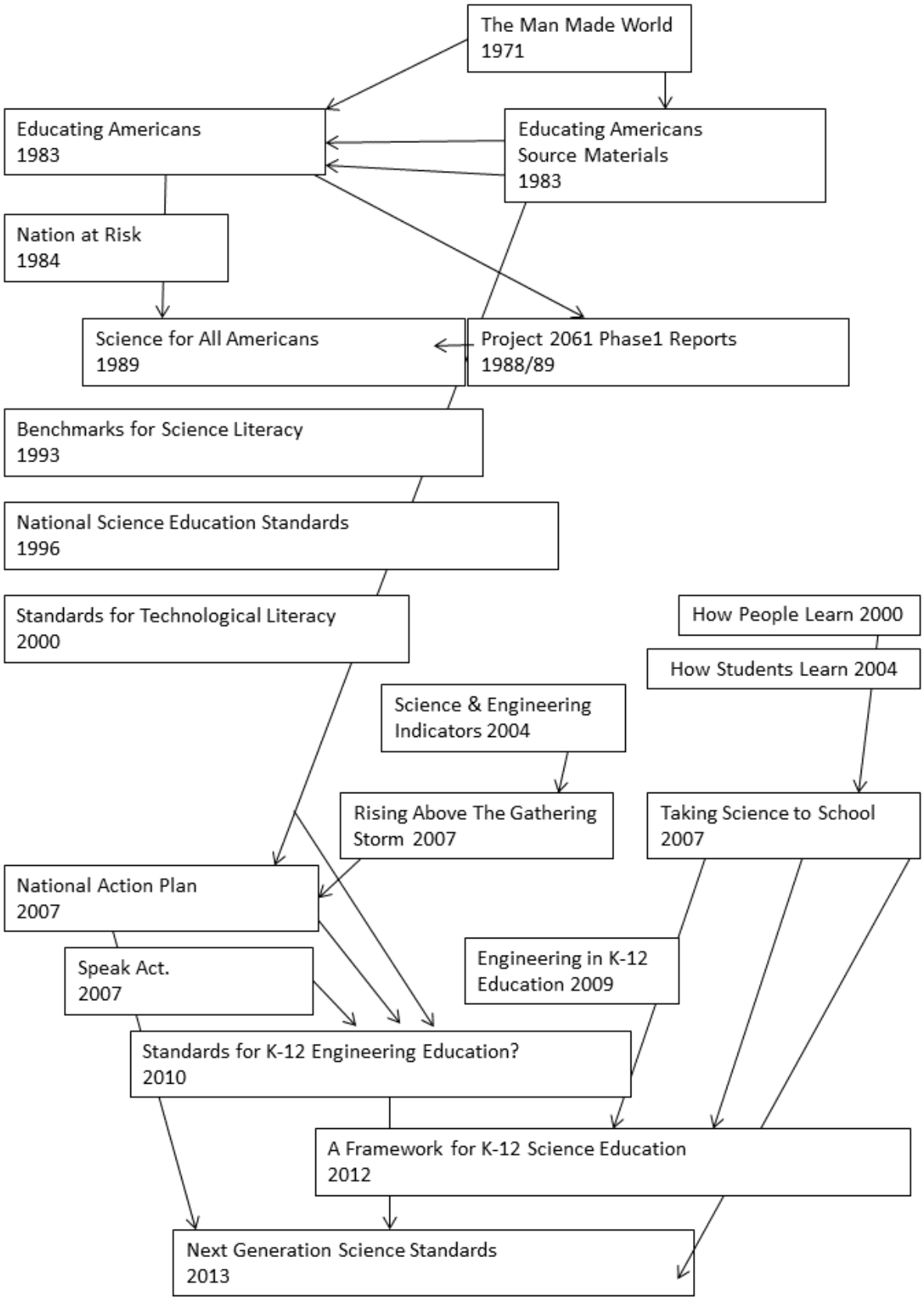


図１　米国における科学教育改革同士の連関

少ないながらも, これらは後にエンジニアリングが扱われる根拠となる事実を示している. すなわち, 学生がよりエンジニアリングに興味を示すようになったという点と, 対外政策として科学者・エンジニアを育成することが重要になってきたという点である. これらの点は, また, 積極的な教員養成が必要な理由を示す役割をも果たしていたことが分かる事実である. とはいえ, こうした記述が *the Nation at Risk* に現れるには関連して, 何らかの議論があったのではないかと考えられる.

b. なぜ *the Nation at Risk* にこうした記述が表れたのか

そこで, もう一つアクションプランが 1980 年代の文献として引用している *Educating Americans for the 21st Century: A plan of action for improving mathematics, science, and technology education for all American elementary and secondary students so that their achievement is the best in the world by 1995*（National Science Board Commission on Precollege Education in Mathematics, Science and Technology, 1983; 以下: *Educating Americans*；委員会）に目を向けてみることとする.

Educating Americans における記述的特徴は以下のような点があった.

- Engineering の語ではなく, 徹底して Technology の語が利用されていること[3].
- Technology の項目の中では, 特にコンピューターサイエンスが強調されていること.
- 質の高い教師の不足を問題点として指摘していること.

これによって,アクションプランにおける優先すべき勧告 B でもある質の高い教師の確保と, 近年 STEM 教育改革においてテクノロジーの中でもコンピューターが強調されている点（Every Student Succeeds Act, 2015）については, この時点から記述が見られたことが確認できた. 一方で, 内容スタンダードについて,この文書で書かれていることは科学・数学・テクノロジーについてであり（pp.92-103; Exhibit B *Suggestions for Course Topics and Criteria for Selection*；以下 Exhibit B）, 特にこのなかでテクノロジーに関連する課程の題材（Course Topic）については, 以下のような記述がある.

今日の初等・中等教育（Precollege education）, そして未来の教育において, 児童・生徒が…

- テクノロジーにもとづいた個人的・専門的な意思決定の質を高めるためにテクノロジーを利用できるようにすること
- 工業化社会からポスト工業サービス, そして情報化時代へと移行する中で, 知識を持った市民として賢く参加することができるようにすること
- そしてしばしば洗練されたテクノロジーの利用を含んだ, 公共政策の形成に, より能動的になること

…が早急に求められている（p.101）.

c. エンジニアリングの教育を通して学ばれることは何か

また, 同 Exhibit B には, そうしたテクノロジーについての学習を通して, 児童・生徒が得るスキルとして, 以下の表２のようなものを挙げている. なお, これらのうちいくつかは, エンジニアリング教育において学ばれうる概念（表中; 問題の形成・解決, モデルの作成, 社会的選択（Trade-off）, デザイン, フィードバックと安定性等）とも関連付けられており, 今日の *NGSS* にまで連綿と連なっていることがわかる（AAAS, 1993; NRC, 1996; NGSS Achieve, 2013; 後述）.

表２　テクノロジーの学習を通して得られるスキル

問題の形成と解決と, 問題に対する代替案の識別（Formulating and solving problems and identifying alternative solutions to problems）.
理論と実践のつながりをつくるとともに, モデルをつくり試行する（Making connections between theory and practice, building and testing models）.
社会的選択と危機分析, 統合とデザインを試す（Examining trade-off and risk analysis, synthesizing and designing）.
フィードバックと安定性の概念を利用する（Using the concepts of feedback and stability）

また, テクノロジー教育の導入のために,この Exhibit B には二つのアプローチが提案されている. ひとつは, １年間の特別コースを作りテクノロジーの概念を教えること. もう一つは, K-12 の他の教育トピックにテクノロジーを統合していくことである. この時点では, 大学入学前（Precollege）の学年段階にはこうしたコースや, テクノロジーの概念を他の学問分野に統合するアプローチは少なかったため, 大規模な開発の取り組みが必要であるとされた（p. 101）. さらに, 児童・生徒はテクノロジーに関する概念を調査する機会を持つべきであるとし, 以下表３のようなシステムが例として挙げられている.

表３　テクノロジーの概念を学ぶためのシステム

通信・輸送（Communications, transportation）
エネルギーの生産と保全及び資源管理（Energy production and conservation resource management）
シェルター,居住目的での空間の利用（Shelter, residential use of space）
食糧生産,健康福祉の派遣,安全（Food production, health care delivery, safety）
バイオテクノロジー,核問題（Biotechnology, nuclear issues）
コンピューターとその適用（Computers and their applications）

この時点ではテクノロジーの授業をどのようにカリキュラムに取り入れていくかについては,新しいコースをつくる General （一般的）なやり方と, 既存のコースを変更する Infusion （導入的） なやり方等が混在しており, 結論は得られていなかったと見られる(4).

実際, 委員会はここに示したアイデアが, 進行中の議論を豊かなものとし, 更なる研究とカリキュラム開発を奨励することを期待しており, 文末に示した参考文献を参照すべきことを読者に訴えていた. その, 参考文献リストを見てみると, 特にエンジニアリングに言及している可能性のあるものとして, 委員会への報告書である *Integrating Concepts of Engineering and Science into Instruction in Grade Levels K-12*（Mulligan, Jr. 1983） があることが見いだされた. また, この文献は *Educating Americans* の別冊である *Source Materials* に掲載されていることが分かったため, こちらも参照した.

d.　NSF の特別小委員会による主張

Educating Americans の別冊である *Source Materials*は, 報告書本体よりも多くのページ数が割かれた資料である. その中でも, Mulligan Jr.（1983; pp.59-68） は, NSF のエンジニアリング諮問委員会 （以下, Committee）の特別小委員会（以下, 小委員会）によって作成されたものである.

元々, Committee は, 委員会が作成したレポート（初めは *Today's Problems, Tomorrow's Crises* と題された）をもとに, 委員会の仕事について議論する会議を 1982 年 12 月に実施している. この会議は, 委員会の Co-chair （共同議長）の一人である Ceculy C. Selby とそのスタッフメンバーである Mary Kohlerman の参加を得ながら, 以下２つの勧告を示している.

(1)　K-12 の学年段階における科学と数学の教授は, 実践的課題に対する適用（Application）についての強調を含めるべきであり,

(2)　これらの学年における教授は, それぞれの学年段階に適切に選ばれた統合（synthesis）や, 適用（applications）等のエンジニアリングの概念を含めるべきである.

これを受けて Selby は, Committee に, この勧告に関連して委員会に対するコメントを要望し, Mulligan Jr. （1983）はそれに対する応答として出されたものである.

Committee は小委員会を作成し, K-12 の学年段階における, 数学・科学・そしてテクノロジーの教育の改変を勧告しながら, 以下のように結論付けている.

- *小委員会は, 実践的な適用を含め, 教育課程全体を通じた, 多くの教科のコースにおいて, エンジニアリングの概念と, それらが科学や数学の教材に統合されることを重視すべきである.*
- *このアクションは, 大学に進むまでの間に, 数学・科学・エンジニアリングのキャリアに進むことを望む生徒が増えることだけでなく, 全ての卒業生が 12 学年までの間に一般的な技術リテラシーに到達する教授が完了されていることを確認する.*
- *推奨された教材を示すために, 分離されたコースを利用すべきではなく, 代わりに概念やその適用は, 既存のコースを変更することで導入されるべきである.*

ここでの小委員会の結論は, 今回本研究が参照した文書の中で, 最も強い表現で, エンジニアリングの概念と, その各教科への統合を勧告している. エンジニアリング教育の導入方法ついては, こちらの方が, 前述の報告書（*Educating Americans*）中での説明よりも, はっきりと Infusion（導入的）アプローチを示唆しているが, 当時は報告書作成に当たって片方が採用されることはなかったことが考えられる. すなわち, この時点で分離したコースを提供するのか, 既存のコースを変更するのかは決定されなかったことを示すもう一つの証拠である. ただし実際は, 後にテクノロジーについて, 科学やエンジニアリングとは別にスタンダード作成が進んでいくことになる.

e.　テクノロジーはどう定義されてきたか

もう一点, *Educating Americans* 関係から示唆される STEM 教育改革における大きな変革の一

つにテクノロジーについての定義が挙げられる．これについても，*Educating Americans* に示されており，

テクノロジーは，科学やエンジニアリングから生まれたアイデアを実行するために創られたツール，デバイス，テクニックで構成されている．テクノロジーは，建設的な方法で，物理的・生物的世界を管理し，変更するために存在し，数学の基礎に依存している．テクノロジーのシステムは，エンジニアリングのデザインと開発の結果である（p.73）．

とされている．また，その教育システムへの導入に関して，

学問的な環境に物理的なもののデザインやプロジェクトワークの概念を導入するのは難しい．欠けている最重要な点として，テクノロジー教育における教師の経験がある．したがって，私たちはより良く教員を仕込まなければならない

…中略…

テクノロジー教育における教員養成は，一部でも，彼らの児童・生徒を経験的な方法で教えられるよう，経験的でなければならない．

と述べられている（p.73）．また，直下ではテクノロジーとテクノロジカルリテラシーの定義として，以下のような文が見られる．

テクノロジカルリテラシーは，一般的なリテラシーや「算数」（Numeracy）の一部であるべきだ．私たちが教育において「基礎」と呼ぶ意味合いにおいて，テクノロジーについての知識や理解は基礎であると我々は考えている．技術的リテラシーは，科学的リテラシーや数学的リテラシーとは大きく異なる．科学や数学の概念についてのある理解は，自動的にテクノロジーについての理解につながるわけではない（p.74）．

これらの定義では，今日の *NGSS* につながる *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*（NRC, 2012: 以下，*Framework*）におけるテクノロジーの定義とも，一貫しており，我が国における技術や工学の定義とは異なる（熊野，2012）ことを確認しなければならない[5]．

以上の 80 年代初頭の記述を見ると，この時代に既にエンジニアリングやデザインを一般的な教育課程の基礎として導入する意見があったことは明らかである．またエンジニアリングという語を通じてではなく，テクノロジーの語の中に並行して語られていたことが分かる．日本とは異なり，テクノロジー（技術）が教科として存在してこなかったがために，教員養成の必要性がここで問われることになった．また，導入の仕方について，分離したコースを利用するか，既存のコースに埋め込まれるかという２つのアイデアが，この時点で示されていたことも確認された．

これらのことから考えられる推論として，より以前の時代にも *Educating Americans* が示したようなアイデアが示されていることと[6]，STEM の時代に至るまでのどこかで，これらの議論が整理されたであろうということが考えられ，以下更に調査を続けた．

2. 改革はいかに STEM の時代までつなげられたか

以降の時代の流れを見ていくと，1980 年代には，AAAS が Project 2061 を開始（1985）し，その第一段階のまとめとして *Science for All Americans*（AAAS, 1989; 以下 *SfAA* / 訳: 長崎ら，2005）を作成した．また，それをもとに 90 年代には *Benchmarks for Science Literacy*（1993; 以下 *Benchmark*）が世に出され，更に 1996 年には *National Science Education Standards*（NRC, 1996; 以下 *NSES* / 訳:長洲・熊野・丹沢，2000）が作成されている．これら３つの文献には，エンジニアリングやテクノロジーに関連する勧告やスタンダードが含まれており，NAE（2010）や Bybee（2010）は既にそれをまとめている．以下では，これら文書にまつわる文献も含めながら，記述の連なりをまとめていく．

a. AAAS による Project 2061 への継続

1). *SfAA* ではどのように扱われているか

まず，はじめの *SfAA* では，第３章に「*技術の本質*」があり，そのなかで，*エンジニアリングは，科学的探究と現実的価値を結びつけ，…中略…エンジニアリングの本質は障害の下でのデザインである*（AAAS, 1989, pp. 40-41）としている．これらは，STEM の時代にもエンジニアリングの概念として強調されているデザインや障害（Constraints）がこの時点でも扱われていたことを示している．

また，*多くの科学者は科学であると同時にエンジニアリングとも見られるような活動を行っている*（日本語版: p.30）との記述があり，*Framework* における Practices の考え方（Bybee, 2011）の基礎が既にここに見られる．また，「*すべてのテクノロジーは制御を伴う*」の項には制御（Control）の本質として，*実際の現象と期待す*

る現象との情報を比較し, 適正な調整を行うことにある（日本語版: p.32）. とされており, こうした記述は *NGSS* における最適化（Optimize）の概念が, 違う言葉で説明されたものと捉えることができよう.

また, *SfAA* には教師教育の必要性についても, *資格のある教師*の項に, 以下のような記述がある.

科学的リテラシーという本報告書の目標は, 小中学校の生徒たちが, 指導する上で十分資格のある教師を得てはじめて達成できるものである. 悲しいことに, 現状はしばしばそうなっておらず, 本文書で求めているような科学, 数学, 技術に関する広く深みのある理解という観点に照らして見れば, さらに惨憺たる状況である. したがって, プロジェクト 2061 は以下を提言するものである

として, 全米規模の教師資格プログラムやその基準の確立, アメリカ大統領賞受賞者の選定基準, 予算面での支援, 教員養成課程を編成する際の指針, 現職教育の講習会や施設を運営するための資金調達, 教育学部が将来の教師を育成する方法を改革することなどを提案している（長崎ら, 2005）.

こうしたことは, AAAS によって主導された Project2061 に限らず, NSTA やその他現在でも科学教育の改革を担う組織によっても, 同時期に提言がなされていたことである（梅埜, 1991）.

2). Project2061 パネルではどのような議論が見られたか

AAAS は, 同 Project2061 の第一段階として, この *SfAA* とともに５つのパネルの報告書を同時に作成している. それは, 以下表４のようなものである.

これらのうち, エンジニアリングの扱いに関係すると思われる「物理学・情報科学・エンジニアリング」（Bugliarello ら, 1988）と「テクノロジー」（Johnson, 1989）のパネル報告書をそれぞれ参照すると, 以下のようなことがわかってきた.

表４　AAAS による Project2061 第一段階パネル報告書

・生物学・健康科学パネル報告書
・数学パネル報告書
・物理学・情報科学・エンジニアリングパネル報告書
・社会科学・行動科学パネル報告書
・テクノロジーパネル報告書

これらは長崎ら（2005）訳に依っているが, 工学・技術は, エンジニアリング・テクノロジーの語に変更してある.

まず, 報告書のタイトルを見ても分かるように, *物理科学・情報科学・エンジニアリング*が一つにまとめられたパネルによって書かれた報告と*テクノロジー*のパネルによって書かれた報告書とが分けられており, テクノロジーを一つの分野としてみる意見がある一方で, エンジニアリングを別途, 物理・情報科学と共に語る動きがあり, この時点でもまだ十分な共通理解のための議論が成されなかったと考えられる. 具体的にそれぞれの報告書の記述を見ていくと, 物理・情報科学・エンジニアリングが共にまとめられたパネル報告書において, 今日の議論につながる最も重要な点が議論されていることが見いだされた. まず, エンジニアリングを強調する理由として,

…エンジニアリングによってもたらされるいかに（How）, そしてなぜ（Why）自然を改変し, 人工物を創造するのかについての理解は, 未来の教育を受けた市民にとって, 彼らがより技術的で, 人間によって作られた環境を生き抜いていくためには重要である. 彼らの雇用, 健康, レジャー, 価値, そして政治的な決断は全て, エンジニアの仕事によって深く影響を受ける. それだけでなく, 自然を改変し, 人工物を創造するために, これまでになく有効な道具によってエンジニアリングが我々に提供する測定においては, 我々はより智慧と, 自然に介入する範囲と方向性を問い, 我々の生活や人間性を引き出す, 我々が作り出す人工物の影響を振り返る. したがって, 学校の教育課程は, エンジニアリングの本質, 方法, そして影響についての理解を, 科学とは分離されてはいるものの, 密接に関係づけた活動として, 提供する必要がある（p.7）.

としており, 80 年代初頭には対外政策として示された内容からむしろ, より本質的な部分を強調する表現となっている.

また, 同報告書において扱われているエンジニアリングの概念については,

"doing science"あるいは簡単なエンジニアリングの概念を学校に持ち込むにあたっては, "観察"と"測定の仕方"について学ぶこと, 現象の抽象化すなわちモデルについて学ぶことは, 重要な２つの部分である（観察と測定の仕方の" "は, 英語の表現に合わせて便宜的に著者が付した）.

といった表現がある. これらのうち, モデルについては, 後に詳しくまとめられており, モデルには多様な形態があること, 言語-口頭での現象の説明, 原則・デザイン・グラフィック・物理的（スケールアップまたはダウンされた表現）, 類推的, あるいは数学的表現などを例として挙げ, モデルとは思考のための一連のツールであると定義づけている.

また,今日のSTEMを統合していくというアイデアにつながる記述も本報告書には見られた.

物理科学や情報科学そしてエンジニアリングのデザインは, あるいは初めは言語やグラフィックによって形づくられていたとしても, しばしば数学的な形式で便利に表現される. 数学はエネルギーの保存, 電磁放射, あるいは情報の伝達を表すために使われ, そして物理的な現実のモデルや工学的な人工物を構築するために使われる言語である. したがって, 応用数学は科学とエンジニアリングの接続詞として（あるいはその反対の形で）学校においては学ばれるべきである.

こうした統合的なアプローチ（Integrative Approach）についての議論が高まった一つの帰結として, このパネルでは, *Common Themes and General Concepts* と題された章があり, ここで議論された概念は, *SfAA* の *Common Themes* の章につながるとともに, 後の領域横断的概念（Cross-cutting Concepts ）につながるものが多くみられるとともに, 後に吟味される前に提案されていた概念もいくつか見ることができる. それは例えば表５のようなものである.

表５　物理科学・情報科学・エンジニアリングのパネルで議論された共通する主題と一般的な概念

共通する主題
物質 Materials・エネルギーEnergy・情報 Information システム Systems
一般的な概念
平衡 equilibrium・時間率 Time rate・保全 Conservation・効率 Efficacy・不確実性 Uncertainty・危険 Risk 費用対効果 Cost-effectiveness

これについて同パネルは,

物理科学・情報科学・エンジニアリングをエレメンタリー, セカンダリーの学校で教えるというタスクは, これらの教科の全ての側面に共通する概念やテーマに焦点を当てることによって促進され得る. しばしば, 物理・情報科学, そしてエンジニアリングが他の領域に提供する基礎的な視点として, こうした共通点は生命科学や社会科学にまで拡大する. 事実, 伝統的な学問分野に依存したアプローチへの代替として, エンジニアリングだけでなく全ての科学を学際的な方法で, 共通のテーマや一般的な概念とそれらの伝統的な学問分野における意味に焦点を当てることで教えることを目論むことができる（p.12）.

とまとめている.

また, 同パネル報告書には, これら領域横断的な概念の下段に, 物理科学（物理・化学, 地球・惑星・天文科学）・情報科学・エンジニアリングの教育を通じて, 教えることのできる核となる概念（Key Concepts）が示されており, このうちエンジニアリングについては, 以下表６にあるような８つが挙げられ, それぞれパネルからのコメントが付されている. なお, この報告書で言う核となる概念は単語で表されておらず, 表中のように, 文から成っている.

表６　エンジニアリングの核となる概念

１．エンジニアリングの重要な要素は, プロジェクトを計画し, 管理する能力である.
２．モデリングは解かれることになる問題と, 解決策そのものを概念化し, できる限りそれらを数値によって形成する.
３．全てのデザインあるいはシステムは障害を持ち, それらは識別され, 考慮に入れられるべきである.
４．最適化は, 障害のもとで, 問題に対するあり得る“最善”の解決策を同定しようとする取り組みである.
５．デザインは, エンジニアリングの核となる過程である.
６．それぞれのデザインは副作用を持っている.
７．デザインによって創りだされた人工物は, 人間による支援なしには働くことができない. それらは, 操作する上での監督, メンテナンス, 修理を必要とする.
８．私たちは, 継続的に, エンジニアリングの間違いに気を付けなければならない. 多くの失敗は, システム同士の境界で起こる. それは, 良くメンテナンスされ, 監督されているものであっても, 全てのシステムで起こり得る.

これらは,

高校卒業時に生徒が全ての面でこれらの分野の知識を得ることはできないと予想されるが, 少なくとも, ある程度は探索し, 理解する機会を持つべき, 各分野における核となる概念である

とされている. これらの*全てがカリキュラムに含まれるリストとして意図されている訳ではない*とされ, 具体的な核となる概念を明確にしたり, 広めたりするものとして捉えることができる（p.20）. これらは, *NGSS*における 8Practices や Engineering Design（Appendix I）とも符合する.

更に, エンジニアリング扱いについては, 前述のように,

学校の教育課程は, エンジニアリングの本質, 方法, そして影響についての理解を, 科学とは分離されてはいるものの, 密接に関係づけた活動として, 提供する必要がある（p.7）.

というように, 科学と密接に関連付けた活動として, ただし科学とは別に提供する必要があるという認識とともに, 以下のような記述がある.

人工システム（man-made system）を創りだす際に, エンジニアリングは物理・生物科学と同じ主要なテーマや概念を扱う. テーマとは例えば, 物質・エネルギー・情報・システムであり, 一般的な概念として, 平衡・時間率・保全・危険・そして不確実性などである. 数学には同等に依存しているけれども. その根本的な違いは, エンジニアが自然をいかに改変しようとしているかにある.

これらは, 前述の共通する主題や一般的な概念をもって, エンジニアリングの学習を定義しようとしており, 今日の *NGSS* における３D 学習モデル（DCIs・CCCs・SEPs）の原型と捉えることもできよう.

最後に, エンジニアリングやテクノロジーの定義についても, 今日の *Framework* や *NGSS* における定義につながる定義を見ることができる.

（ルネッサンス期）…テクノロジーのための人工物の, 体系的で科学に基づいたデザインとして, 現代的な意味でのエンジニアリングの活動を人間は始めた（p.50）.

この 20 年で, 現代的な意味でのエンジニアリングは, 論理, 経験, そして科学の強力な組み合わせにより特徴づけられる学問分野として発生した. それは, 複雑な社会的な活動としての学問分野であり, また人工物を作り出し操作する, あるいは私たちがテクノロジーと呼んでいるサービスを提供する過程である. エンジニアリングは, 薬品の医療へのそれと同じく, テクノロジーとの関係を持っているとみることができる（p.5-6）.

ここでは, テクノロジーを単に物理的な製品としてだけでなく, 医療のようなサービスとしても捉え, エンジニアリングの成果物として定義しており, その理解を進めている.

こうした記述から, *SfAA* に関連する Project2061 の第一段階におけるパネルの議論でもエンジニアリングは既に十分扱われており, 80 年代初頭の議論にあった概念やその扱い方は, 継続するとともに今日の文献に見られるような統合に関わる表現が明確に表れてきたことが分かる.

一方, テクノロジーのパネル報告書では, 特にテクノロジーとは何か, すなわち技術の本質に当たる議論とともに, エンジニアリングについての記述も見られる. このパネルに与えられた問いは, 科学的リテラシーの中で何がテクノロジーの構成要素であるか. というものであり, 同報告書の中では, STEM の時代におけるテクノロジーとエンジニアリングの解釈が混在している. 例えば, 以下のような記述である.

テクノロジーは実践的な課題を解き, 人間の能力を拡大するための知識, ツール, そしてスキルの適用である. テクノロジーはその過程によって最もよく表されるが, それは普通その製品やその社会への影響によって知られている. それは, 科学的な発見によって強化され, エンジニアリングのデザインによって形作られる. それは, 発明家と企画者によって考案され, 起業家の仕事によって成就し, 社会によって実装され, 使用される. しかし, 時にはそれは社会システムに気づかないうちに入り込み, しばしば予期されない方法で多くの変化をもたらしている.

過程としてのエンジニアリングと, 帰結としてのテクノロジーという STEM の時代の解釈（*Framework*, 2012）は, こうした記述と一貫しながらも, 明確にこの２つを区別している. 一方, 前述のパネルがより物理科学の要素を色濃く見せているのに対し, こちらのパネルは, 将来のカリキュラムの内容を考慮することが第一の責任であったが, その記述はより E をもって STM（当時は T をもって SM）を統合していくという今日のアイデアに近い記述が見られた. 例えば, Section 2 の *Technology and Education* に示された以下のようなものである.

テクノロジーの教育は, 科学や数学と違い, 今日の初等・中等のカリキュラムの中にほとんど見られないか全く見られない. したがって, いかにテクノロジーを未来の初等・中等の学校プログラムの中に統合するべきかを提案するところから始めるべきだと考えている.

…中略…

テクノロジーの教育は社会的な影響とテクニックを含み, これら２つを新たに形成されるカリキュラムへと統合する機会を提供するとともに, チームティーチングの利用を増やすかもしれない. 科学と数学は, テクノロジーの過程とその意味を理解するために重要である.

こうした記述を見ると, テクノロジーを科学や数学を学ぶ文脈として捉えるとともに, エンジニアリングを過程として捉える今日の定義に通じる用法をとっているところがあり, *NGSS* の定義からすると T と E が, このテクノロジーのパネルでは混用されている.

このように Project2061 の第一段階における２つのパネルの記述を見ていくと, この時点で *Framework* や *NGSS* につながる記述が見られるものの, なお合意を得る段階には至らなかった状況が見て取れる.

なお, *SfAA* の作成に当たって,

全米科学技術教育評議会は,「あらゆる可能性の中で, アメリカ人は学校を卒業するまでにどのような科学, 数学, テクノロジーに関係した知識, 技能, 思考の習慣を身に付けるべきか」という問いに対する回答を求められ,（日本語版, p.10）

この問いについては,

何もないところから検討を行い，いかに長期間にわたってカリキュラム，教科書，試験に組み入れられているものであっても，提言にはそれを一切自動的に組み込んではならない.（日本語版, p.10）

という条件付きで検討されたことを考えると, 各パネルは独自の議論によって上記のような報告書を書くに至ったということになるが, その内容は 80 年代前半の議論とかなり似通っている.

また,

科学, 数学, テクノロジー全体における可能性を考慮しなければならないが, そのそれぞれについて, あたかも当然であるかのように同程度の分量を確保しようとしてはならない.（日本語版, p.10）

といった点も同様に *SfAA* 作成上の条件として位置づけられており, 各分野の分量を規定しない姿勢は示しながらも, 実際にはこの時点から科学の中に等しく強調されてきたと見ることができよう.

なお, 今回特に, 物理・情報科学, 及びエンジニアリングのパネル報告書において, 後の *NGSS* における Cross-cutting Concepts につながる「あらゆる科学に共通する概念」（*SfAA* では共通の主題: Common Themes）が扱われており（日本語版 p.123）, エンジニアリングの概念と共に語られていたことが, 今日の STEM 教育改革の構造を知るうえで参考になる知見として見いだされた. 更には, その中でも *NGSS* における 3 D 学習モデルの一つのルーツはこのパネルにあったとみることができ, STEM 教育改革における AAAS やその Project2061 の動きを確認する必要があるだろう[6].

3). Benchmarks for Science Literacy の記述

SfAA に続いて AAAS が発行したベンチマークである *Benchmarks for Science Literacy*（1993; 以下: *Benchmarks*）は, *SfAA* に対応させて作成されたものだが, Project2061 における科学の定義を行っている.

Project2061 においては,「科学」の語が意味するところは, 自然科学, 社会科学における基礎科学・応用科学, 基礎数学・応用数学そしてエンジニアリングとテクノロジー, そしてその相互関係である. すなわち, 全体としての科学という営みをさしている. その基礎となる点として, 科学, 数学, そしてテクノロジーの概念（Ideas）と活動（Practices）は, 密接に関連付けられているということである. 我々は, それぞれの教育がいかに他と分離されてうまく行われているかとは見ていないのである（AAAS, 1993, pp. 321–322）.

このような *Benchmarks* の記述を見ると, AAAS においてはテクノロジーとエンジニアリングが「科学」の一部として共に並べられながらも, その基礎：すなわち教育の対象としてはテクノロジーの語で表記されていたことがここでも見て取れる.

また以上のこうした AAAS にまつわる記述を見ると, このころには STEM の各分野が統合的に教育を成すというアイデアは確立されていたものと改めて見て取ることができよう. 実際, STEM と同様に過去に使われていた語である SMET を利用した報告書は, 1990 年代前半には既に存在していた（D'Ambrosio ら, 1992）.

b. National Science Education Standards

続いて, *NSES* における記述を見ていくと, 科学とテクノロジーの相互依存を強調し, 児童・生徒がテクノロジーのデザインの取り組みへの理解と能力を得るべきであるとされており, 事実, エンジニアリングは, *NSES* の多くの事例において示されている（NRC, 1996: p.107, 135, 161, 166, 190）. これらの中には, 障害（constraints）を持った解決策のデザイン（*Designing a Solution*; Grades K-4, NSES: p.135）等, *SfAA* から NGSS（Appendix I）を通じて示されているアイデアも同様に含まれている.

NAE（2010）によれば, これらは, 科学的な活動におけるエンジニアリングの役割の包括的な描写を付け足してはいないが, エンジニアリングの重要性を認めることを示唆している. 例えば *NSES* には以下のような表現で, *科学と技術のスタンダード*（*Science & Technology Standards*）の重要性が示されている.

このスタンダードは二つの等しく重要な部分を含んでいる. それは, 児童・生徒の技術的デザインの能力を開発することと, 児童・生徒の科学と技術に対する理解を開発することである. これらは科学教育のスタンダードであるが, 科学と技術の関係性は, 技術についての理解を抜きにしたいかなる科学の表現も不適切な科学の描写となるだろうほどに非常に密接なものである（p.190）.

こうした記述を見ると, *NSES* の記述はかなり STS の影響を受けながらも, デザインをその重要な一部として定義していたことが分かる. この科学と技術のスタンダードは, *探究としての科学のスタンダード*（*Science as Inquiry Standards*; 物理科学, 生命科学, 地球・宇宙科学スタンダード）と並列に配置され, 以下のような説明がなされている.

表6.5における科学とテクノロジーのスタンダードは,自然とデザインされた世界とのつながりを確立し,意思決定の能力を開発する機会とともに児童・生徒に提供される.これらは,テクノロジー教育のためのスタンダードではない.むしろ,これらはデザインの過程に沿った能力と,科学の営みとそのテクノロジーへの多様なつながりについての根本的な理解を強調する.

探究としての科学のスタンダードにおいて開発される能力の補助として,これらのスタンダードは,問題を同定し述べる能力,(コスト,リスクと利益の分析を含んだ)解決策をデザインする能力,解決策を実施し,評価する能力等を開発することを児童・生徒に求めている.

探究としての科学は,デザインとしてのテクノロジーと併行である.どちらのスタンダードも,児童・生徒の能力の開発を強調している.数学等の分野へのつながりは,第7章のプログラムスタンダードに述べられている(pp.106-107).

こうした記述を見ると,*NSES*でも,既に他の科学と並列に並べられ,同等に強調されているように見える.だとすれば,*NGSS* の記述は*Benchmarks*や*NSES*における学年ごとの記述をどれくらい反映しているのかという問いが生まれる.今後,研究課題として追究されるべき内容である.また,改めてなぜ STEM 教育改革において明確に E が強調されることになったのか,単にスタンダードに記載される以上の理由があったものと考えられ,以下３．でこの点については検討する.

c. Technology for All Project と Engineering

以上のように,80-90 年代における各ベンチマークやスタンダードは,エンジニアリングの概念を既に含んでいたことがわかる.一方で,The International Technology Educators Association (ITEA/現在は ITEEA に改称[7]) は,過去に*Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology*(2000/2005/2007)を出版している.これらのスタンダードの重要な点の一つとして,エンジニアリングデザインの概念に大きな注目を置いており,National Academy of Engineering からの指摘とともに,NRC の徹底的なレビューとその結果としての改善を経験しているという歴史がある(Bybee, 2011).前述の*SfAA* に向けたパネル構成と同様,エンジニアリングとは別個にテクノロジーは一つの世界を構築しており,そこにはエンジニアリングのコミュニティも継続して関わってきたようだ.この２つの流れは,2000 年以降になり,一つに集まることになったと推測できる(ITEEA の成立は 2010 年).

しかしながら,エンジニアリング同様,テクノロジーの授業が行われていた学校は非常に少数であり,テクノロジーのコースを取ることを高校の卒業要件としているのは,12 州のみであり(Dugger, 2007),「他の州ではテクノロジーが得意であったり,興味のある教師が授業をしている事例が見られる程度であった」(Smith 教授, 2015: インタビュー).結果として,*科学や数学に比べると数少ない教師しか存在せず,その授業を受けることのできる生徒も少数であったり.当然,政策立案者からの注目も限られていた*(NAE, 2010)ことが,こうした記述や証言から確認できる.

3. いかにＥは科学教育改革に組み込まれたか

ここからは,以上の歴史的な背景を受けて,いかにエンジニアリングは STEM 教育改革において強調されたかを確認していく.ここでは,アクションプランの記述に倣い,再び STEM 教員養成(勧告 B)と,STEM 教育の一貫性(勧告 A)という２つの視点から,目的 イ.～ハ. に応える形で論を進める.

a. なぜ STEM 教師養成か

まず参照した文献の一つは,*Rising Above The Gathering Storm: Energizing and Employing America for a Brighter Economic Future* (Committee on Prospering in the Global Economy of the 21st Century: An Agenda for American Science and Technology, National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, 2007; 以下 *Rising Above*)である.この文書においも,アクションプラン同様,STEM 教師の質と,子どもたちへの教育の向上が勧告されていること,また STEM 教師の育成について,科学分野を専攻した後,教員になる学生に対し,学費あるいは奨学金を支援するプログラムを National Council for STEM Education が奨励すること,そしてこうした学生は Dual Enrolment Program を修了することになるという National Academies (National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, そして National Institute of Medicine)

の合意があったとのアクションプランの記述がある（NSB, 2007: p.21, 31）. Roehrig ら（2017）は, むしろ, こちらの文書を STEM 教育の端緒として示している.

そこで, 本研究でもこの文書から STEM 教育改革におけるエンジニアリングの扱いについて検討していくこととした.

アクションプランによれば, 教師に対する補償の柔軟性が書けていることで, 地域の教育行政機関が質の高い教員のために競争し, それを維持することを制限している（NSB, 2007: p.5）といったことが勧告 B の理由として示されいるが, 同様に *Rising Above* では PISA2003 の批判的思考のテスト結果を参照しながら,

アメリカは他の先進国の後ろにいる（アクションプラン, p.4）したがって, アメリカ人は, 科学, 技術, そして数学について十分に知らなかったり, 既に私たちを取り巻く知識を基盤とした経済において十分に利益を得られない危険がある.（Rising Above, p.94）.

といったことを STEM 教育改革の根拠として挙げている. 具体的には, アイルランド, フィンランド, 中国, インド等であり, こうした対外政策としての側面も, 80 年代以前から一貫している. 50 年代や 60 年代は, スプートニク・ショックの影響もあり, ソビエト連邦がその対象であり, 80 年代当時の想定される相手国は日本, 西ドイツ, 東欧, およびロシアとなった（Mulligan Jr. 1983: p.60; NSB, 1984: p.53）, この記述は DeBoer （2006）にも見ることができる. 同様に, STEM の時代においては, 韓国が GNP ベースで米国を追い抜いたこと, インドや中国等から米国に来て学位を取った外国籍の学生が, 自国に帰ってその国を富ませているという現実を訴える報告書（Before It's Too Late, 2000; Science & Engineering Indicator, 2004）は, 改革の大きな引き金となった （*Rising Above*, 2007）[8]. *Rising Above* は, 既存の文書や過去の委員会の勧告をレビューしながら, "*何が米国の優位性において重要であるか*"を検討し, その"*最も喫緊*"の課題として, K-12 の科学と数学の教育を広く向上させ, アメリカの才能プールを増やすために, 毎年 1 万人の教師を採用することで, 1 千万の頭脳を育てることを挙げている. こうした *Rising Above* の記述には多くの文献が関与しているが, 本研究では追いきれていない. 文末注[7]にその一部として, *Rising Above* が直接言及しているものを示す. なお, STEM 教員養成の実態については, 別途 100Kin10 の実態等を含め, 更なる調査が必要である（齊藤, 2017）.

b. *Speak 法*は何のスタンダードの成立を規定しているか

一方, STEM 教育の一貫性（勧告 A）について, アクションプラン（2007）から読み取れる点であるが, STEM の内容スタンダード成立の根拠として, *Speak 法*（2007）が示されていることは, 先行研究においても示してきた（齊藤・熊野, 2016）. ここからは, これ関する記述をもとに, STEM 教育改革におけるもう一つの焦点である内容ガイドラインの開発について見ていくこととする.

結論から言って, *Speak 法* には, エンジニアリングスタンダードの根拠となりうる記述はなかった. この立法は,

Kindergarten から 12 学年まで（K-12）をカバーする厳格で自発的なアメリカ教育の数学と科学における内容スタンダードを創り, 採用し, 実施するため, またそうしたスタンダードに対して児童・生徒がどこまで習熟しているかを評価するため, あるいは他の目的のため

のものであった. その内容を要約すると以下のようになる.

- *科学と数学の内容スタンダードを対象としている.*
- *「知見」（Findings）という項があり, 現状 50 以上の州スタンダードがあることで, 数学や科学の学力到達度については, 大きな違いのある尺度, スタンダード, ベンチマークが存在している.*
- *これによって, 教師や保護者達は, 子どもたちが国際的に, あるいは国内において, その同級生と比較して, いかに数学や科学を学んでいるかについて, 有意味な測定をすることを難しくなっている.*
- *NAEP 授権法を改正し Reading と Mathematics に Science を追加*
- *NAEP 授権法を改正し, Secretary の定義を Secretary of Education（教育省長官）とする.*
- *Speak 法の発効から 3 年以内に評価委員会（Assessment Board）は, 数学・科学における米国教育の内容スタンダードを創り・採用しなければならない.*
- *評価委員会が内容スタンダードを採用してから, 12 か月以内に, 教育省長官は, American Standards Incentive Fund を用意し, 授与しなければならない*[9].

これらの記述から, 本法がアクションプランにおける*優先すべき勧告 A* を下支えすることは確認された. しかしながら, 連邦政府による STEM 教育改革が, 全州規模で, 少なくとも科学と数学

のスタンダード作成ひいては STEM 学習の一貫性に寄与することが意図されたことがうかがえる一方で, テクノロジー・エンジニアリングについての記述は, 同法には見られないため, 別途何らかの意思決定があったものとみて, 調査を進めた.

c. エンジニアリングを導入するアプローチについた一定の結論

そうした意思決定の一つの証拠を示す文献として, エンジニアリングの内容スタンダードの構築について議論した Standards for K-12 Engineering Education? (Committee on Standards for K-12 Engineering Education; National Academy of Engineering, 2010; 以下, 小委; NAE) と題された文書がある. そこには,

小委が担当したのは, 米国における K-12 レベルのエンジニアリング教育の内容スタンダードを開発し実施する潜在的な価値と実行可能性を評価することであった. 委員会は, エンジニアリングについて K-12 の児童・生徒が何を知り, 何ができるようになるべきであるかを定義する既存の取り組みについてレビューしている. また, 他の分野における K-12 の教育のための内容スタンダードの価値と影響についての証拠を評価し, 既存の K-12 の科学, 数学, テクノロジーのスタンダード文書からエンジニアリングに連結可能な要素を識別すること. 最後に, 様々な目的を持つ K-12 のエンジニアリング教育がいかにスタンダードの内容と実施に影響するのかを考慮すること 等を行った.

…中略…

歴史的には米国における STEM の E は実質的に沈黙状態であった. しかし, 少ないながらも増え続けているその取り組みがエンジニアリングの体験を K-12 の児童・生徒に紹介しつづけている. このような現象, この国の教育改革におけるスタンダードの重視, そして高度なテクノロジーを扱う 21 世紀における生活と労働のために児童・生徒をいかにうまく育成できるかという懸念を考慮すると, K-12 のエンジニアリング教育のためのスタンダードの必要性とその価値に注目することは合理的である.

今日までにエンジニアリングに関連する教材に触れている K-12 の児童・生徒は少ないながらも増え続けており, 限られてはいるが興味をそそる証拠によって, エンジニアリング教育がエンジニアリングやテクノロジーの理解を向上させるだけでなく, 興味を刺激し, 科学や数学の学習を向上させることが示唆されている（小委, 2010）.

等の記述が見られる. 小委委員の一人であった Bybee（2010）は, 本報告書への寄稿の中で, 70 年代の *Engineering Concepts Curriculum Project* や, National Academy of Engineering の K-12 Engineering Education 等を引き合いに出し, *広く受け入れられた国家的言明が必要だ* とスタンダード作成を指示する"for"の主張しているが, 実際にエンジニアリングを取り入れるに至った理由は, この時点では限られた実践的証拠からであること（後述）から E のスダンダード作成に反対する"against"の意見も示されるなど, 報告書全体として客観的に可能性を把握しようとしている. 結論として, 小委はこの時点でのエンジニアリングのスタンダードの作成を否決し, 以下のような理由を述べている.

K-12 の工学教育のためのスタンダードを開発することは, 理論的には可能であるが, その有用性と効果的な実施を確認することは, 格別難しいであろう. この結論は, 以下のような知見によって支持されている.（1）米国のエレメンタリー・セカンダリーの学校における K-12 のエンジニアリング教育においては, 比較的限られた事例しかないこと,（2）現時点ではエンジニアリング教育を実施するに十分な数の教師がいないこと,（3）科学や数学など, 他の教科におけるスタンダードベースの教育改革における証拠は, 決定的なものではないこと,（4）完全に新しい内容分野のための個別のスタンダードを, 既により確立されている領域の学習目標を負担しているカリキュラムに導入することには重大な障害があること.

…中略…

代わりに我々は現行の連邦や州のスタンダードを活用し, K-12 のエンジニアリング教育の質を向上させるための 2 つのアプローチを促す. 最初のアプローチ infusion は, ある学問領域における関連する学習目標（例えばエンジニアリング）を他のスタンダード（例えば数学の）に埋め込むための積極的な戦略である. これは, 州や連邦のスタンダードが改正される段階にある場合, 最も簡単にできるであろう. 第二のアプローチ Mapping は, 他の学問分野における現行のスタンダードに, エンジニアリングにおける「ビッグアイデア」の統合（あるいは配置）を含むだろう. mapping は, 現行のスタンダードの開発者によって, これまでに認識されていたり, されていなかったりする「連携」に遡及的に注意を向ける戦略である.

以上を受けて, 小委は以下表 7 のような勧告をしている. これらは我が国における STEM 教科及びその研究に導入したり, 教員研修を計画することを考えた場合でも, 参考になるだろう.

表 7 エンジニアリングのスタンダードに関する勧告

勧告 1 連邦政府機関, 財団, そして大学入学前のエンジニアリング教育を向上させようというエンジニアリングの専門組織は, K-12 の児童・生徒に適切なエンジニアリングの核となるアイデアを記載した文書の開発のための共通理解のプロセスを支援すべきだ.
勧告 2 米国教育省と NSF は, K-12 におけるエンジニアリング教材のためのガイドラインの開発を共に支援すべきだ.
勧告 3

以下の研究課題は, NSF によって支援されている K-12 のエンジニアリング教育の幅広い研究項目の一部となるべきだ

- 子どもたちはいかにエンジニアリングの核となる概念を理解（あるいは誤解）し, そのスキルを適用（あるいはうまく適用できなかったり）するか.
- 小学校, 中学校, 高等学校の各レベルにおいて, エンジニアリングの概念とスキルを導入し, 並べる最も効果的な方法は何か.
- エンジニアリングと数学, 科学, テクノロジー等他の教科の教授と学習との間の最も重要なシナジーは何か.
- 歴史的にエンジニアリングにおいては過小評価されてきたものを含め, 全ての学習者が取り組む, 教材, プログラム, 評価, そして教育者の教育の計画において最も重要な考慮すべき点は何か.
- 学校, インフォーマルな教育, そして放課後のプログラムにおいて, 若者にエンジニアリングを理解させるために最善の設定や戦略は何か.

勧告４

STEM 教育を向上させようという興味を持っている連邦政府機関は, 国や州レベルの K-12 のエンジニアリング教育の全体像を確立するための大規模な調査をサポートすべきである.

なお, この時点でいくつかの州が, Infusion のやり方で採用していることも指摘されており, ミネソタ州等がその例として示されている[11]（小委, 2010; Minnesota Department of Education, 2009）.

小委は, どの概念やスキル, 傾性[12]がエンジニアリングの核となるものかについての公式な共通理解は成立していないことを確認しながらも, ８つの論文をレビューしながら, こうした概念を既存の K-12 の教育に統合する方法として, ”infusion”と”mapping”のそれぞれのアプローチについて議論している.

ここでいう Infusion とはある学問分野（ここではエンジニアリング）の目的を他の分野のスタンダードに含めることを言う. Infusion は, そのスタンダードとエンジニアリングにおける概念のつながりを強化したり, 明確にするためにスタンダードの改正時をうまく活用することができる. うまくいっている infusion とはおそらく以下のようなことを意味する：（1）エンジニアリングの内容が科学, テクノロジー, 数学のスタンダードにおいてより際立つようになるだろう;（2）エンジニアリングと他の STEM の学問分野との間の関係性がより明確になるだろう; そして（3）エンジニアリングはスタンダードに基づいた児童・生徒の評価に含められることになるだろう.

この記述を見ると, *NGSS* において科学と同等に強調されるようになったこともうなずける. 一方で,

この報告書においては, mapping とは, いかにそして”どこで”ある学問分野における核となる概念が既存の他の分野のスタンダードの内容と関係するかに注意を明示的に示すことと理解できる. ある学問分野における関係する学習目標を他のスタンダードに埋め込もうとする積極的な取り組みである Infusion とは異なり, Mapping は,（1）スタンダードの開発者によっておそらく理解されているかもしれないし, されていないかもしれないつながりに注意を向け,（2）教育者がエンジニアリングの文脈を, 科学のような他の教科をより取り組まれるものにする乗り物として利用する可能性を増やし,（3）エンジニアリングの教材がカリキュラムの開発や教師教育プログラムのための基礎として利用され得るだろうことを提案する遡及的な活動である. Mapping の一つの障害は, いくつかの重要なエンジニアリングの概念やスキルは, 既存のスタンダードに配置されないかもしれないということである.

こうした記述を見ると, *NGSS* での扱いは, Mapping にあたる部分も見られる. *NGSS* において 3D 学習モデルや *Common Core* との関係などがより意識化された背景とみることができる.

同報告書の結論にもあるように, Mapping のアプローチを取った例は少ないが, それらは成功しているので, この方法はエンジニアリングのように新たな要素を既存のカリキュラムに導入する際に有効な戦術であろう. なお Mapping のアプローチの成功例としては, 表８のような事例が挙げられている.

表８ Mapping のアプローチに成功した事例

- 2007 年海洋科学のコミュニティは, ７つの重要な原則と, 44 の基礎的な概念を NESE に mapping した. また, これ以降, 海洋リテラシーの非公式なネットワークが, このアプローチを精緻化し, K-12 の４つの大きな学年段階毎の学習目標と対応させた”概念の流れ図”を作成しており, これは AAAS による Atlas of Science Literacy と似たものである. こうした活動は, NSF や NOAA の予算を受けた K-12 だけでなく, ポストセカンダリーの教材の開発プログラムに影響を及ぼしている.
- The U.S. Global Change Research Program (USGCRP, 2009)は, 24 以上の組織とのパートナーシップにより, 気候リテラシーを NSES と Benchmarks for Science Literacy の両方に mapping した. こうした取り組みは, 連邦機関の予算決定に影響を及ぼし, いくつかの州はその科学スタンダードの改定に当たって, この配置を利用することを考えている(Frank Niepold, NOAA, personal communication, February 2, 2010).
- 同様の Mapping は, 神経科学(SFN, 2008), 地球科学(www.earthscienceliteracy.org), 大気科学(http://eo.ucar.edu/asl/pdfs/ASLbrochureFINAL.pdf) 等でも行われている.

・ また, 環境科学をカリキュラムに加える代わりに, Resources for Environmental Literacy series (NSTA, 2007)は, 環境の"重要な問い"を具体的な学習目標をNSESやBenchmarksから育てるために利用している. これは, Environmental Literacy CouncilとNSTAによって開発されたものであった.	

米国の科学教育の歴史の中では, 地球科学も比較的後発でカリキュラムができあがってきた（DeBoer, 1991; Finley, 2011）が, 表８に示されるような海洋・気候・神経科学等の事例は, エンジニアリングに限らず, 今後新しい教育内容をいかに取り扱っていくことができるかについて, 可能性を示していると言えよう.

d. デザインがエンジニアリングの核となる概念として選ばれたわけ

同報告書（小委, 2010）では, 前述のようにエンジニアリングのスタンダードを作成せず, 他の教科のスタンダードを活用するという前提で, どの概念を取り入れるべきかとの議論も勧められている.

小委は, エンジニアリングの核となる概念やスキル・傾性について議論した, 既存の８つの論文のレビューから 34 の概念を見出し, それぞれの文献にこれらの概念が見られるかについてまとめている. これらのうち, ８つ全ての論文に見られたのは「デザイン」であった. 以下, 表９に小委のレビューをもとに, どの概念がいくつの論文に見られたかを示す. なお, 同数の概念はカンマで区切って同じ行に表示してある.

表９ 核となるＥの概念・スキル・傾性

概念等	論文数
デザイン: Design	8
STEMの文脈: Contexts to STM	6
エンジニアリングと社会: Engineering & Society, 障害: Constraints, コミュニケーション: Communication	5
モデリング: Modeling, 最適化: Optimization, 分析: Analysis	4
共同/チームワーク: Collaboration / teamwork, 創造性: Creativity, 具体的なテクノロジーに関する知識: Knowledge of Specific Technologies	3
システム: Systems, システム思考: Systems Thinking, エンジニアリングの本質: Nature of Engineering, プロトタイプ: prototyping, 実験: Experimentation, 視覚化: Visualization, テクノロジーの利用・管理・評価: Use・manage・assess tech, 社会的選択: Trade-offs, 倫理: Ethics	2
物質: Materials, 資源: Resources, 機能性: Functionality, 仕様: Specifications, 持続可能性: Sustainability, イノベーション: Innovation, 効率: Efficiency, エンジニアリングを職業選択として理解すること: Understands engineering as carrier option, 現代的問題についての知識: Knowledge of contemporary issues, 計画と管理のスキル: Planning & management skills, 意思決定: Decision making, リーダーシップ: Leadership, 楽観: Optimism	1

小委は, これらについて具体的にどの概念を採用すべきか等の議論は行っていない. むしろ, 前述のように, いかにこれらを科学のスタンダードに取り入れるのかといったことが議論されている.

しかしながら, こうした目で, 改めて *Framework* 及び *NGSS* に示された 8 Practices や Cross-cutting Concepts 等を見ていくと, 80 年代の「*テクノロジーの概念を学ぶためのシステム*」（表３）からの事例と同じく, そのなかにこれらの概念のいくつかが含みこまれていることが確認できる. 例えば, コミュニケーション・モデリング・分析などは 8Practices に見られ, システム等は Cross-cutting Concepts, また, デザイン・最適化等は NGSS の *Appendix I* にエンジニアリングデザインプロセスとしてまとめられるとともに, DCIs（領域の核となる概念）が示されている.

なお小委は, *Common Core State Standards*（以下, *Common Core*）との兼ね合いも些少ながら検討しており（Box3-2：p.26）, *Common Core* に 15%分を州が選択的に上乗せできることを利用して, エンジニアリングを導入することが可能なこと, また科学が次なる *Common Core* として取り上げられた場合は特にそうであろうとしている. 一方で, *Common Core* の一つの目的が内容を絞ることにあることを指摘し, これによりエンジニアリングの内容が追加される程度は制限されるだろうとしている. 一方で, *Common Core* の科学のスタンダードができなくても, NRC が作成している新しい世代の科学教育のスタンダードがエンジニアリングの内容を含むことが期待されるとし, この時点（2010 年）でそこまでの見通しがあったことも確認された.

この報告書は NAE によるものであるが, *SfAA* を導いた AAAS の James Rutherford が委員とし

て参加していたり, *NGSS* の生物領域を担当した Rodger Bybee らも報告書をレビューし, 提案をするための寄稿しており, 科学教育の前年代からのキーパーソンがこの意思決定に引き続き関わっていたことも今回見いだされてきた. 同時に, Lawrence Hall of Science（SCIS, GEMS, FOSS 等）, Project Lead the Way, ボストン科学博物館（Engineering is Elementary）等, 既存の科学教育教材を開発してきた機関, そしてエンジニアリングの教材を早期から開発してきた組織等の代表も参加していたことは, 特筆せねばならない. このため, 文中の記述を見ても, E を強調することは, この報告書の作成前の段階で既に決められていた方向性であり, *Rising Above* と本報告書の間にどのような議論があったかを確認していく必要もあるだろう.

e. なぜEは強調されたか：示されたいくつかの証拠

そこで, 関連する文献からより直接的にエンジニアリングの必要性を述べている部分に迫ることとした.

こうした記述の一つは, NAE の他の報告書である *Engineering in K-12 Education*（2009）の中に見られ, 以下のような記述がある.

学習科学における質的な研究は, エンジニアリングの活動の中でも, 特にデザイン活動に取り組むことが, なぜ, そしていかに科学や数学の学習に影響を与えるのかについての洞察を提供している. Fortus ら（2004）は, "デザインベースの科学"に取り組んだ 9 年生の科学の知識が顕著に向上したことを記録している. 研究者らは, この効果は, 子どもたちの科学の概念に対するオーナーシップが, 他の形態の探究活動における共通理解の駆動されるものと比べて, 個人的なものであることによって部分的には説明できると示唆している. このカリキュラムを利用した子どもたちは, 概念についての理解を元の文脈から他の文脈へと転移させることができた（Fortus ら, 2005）

こうした記述を見ると, NAE がデザインを核となる概念として選んできたことがうなずける.

また, Sneider & Rosen が小委（2010）に寄稿した中で参照している *Taking Science to School*（2007）も STEM の時代を牽引した文献としてよく引用される. この中では, 生徒はいかに科学を学ぶか（How students learn science）のなかで, エンジニアリングを強調する意味について, 以下のような研究成果を紹介している.

個人が調査の目的をいかに知覚するかは, 彼らが生成する仮説とその実験に大きな影響を与えている. 個人は, 彼らがいかに全体としての探究の目的を見るかにおいて, 大きく異なる傾向がある. すなわち, どの要因が違いを生み出しているか（科学的）を同定しようとするか, 望ましい効果を生み出そうとするか（エンジニアリング）である.（これらが個人を特徴づけているのか, あるいは課題の要求によるものか, それとも暗示的な仮定があったのかについては, 更なる研究が必要であるが）Schauble ら（1991）は, この点に直接答えるため, "科学の文脈"と"エンジニアリングの文脈"を 5・6 年生に提供している. 科学の文脈において子どもたちが学ぶとき, 彼らの目的はどの因子が違いを作り, どの因子がそうでなかったかであるが, エンジニアリングの文脈においては, 彼らの目的は望ましい影響を作り出す最適化にあった（例えば運河における最も速いボートを作る課題等）. 科学の文脈においては, 子どもたちは, 変数の影響を個別あるいは, 総合しながら確立することで, より体系的に学んだ. そこでは, 包含推論や排他推論を作る取り組みが行われた. エンジニアリングの文脈では, 子どもたちは高度に対比的な組み合わせを選択し, 非因果的であると信じられている, あるいは実証されている要因を見落としながら, 因果関係であると考えられる要因に焦点を当てた. 通常, 子どもたちはエンジニアとして学んでいる間の実験おいて"試してみる"アプローチをとったが, 科学者として学んでいるときには, 理論駆動型のアプローチを取った. Schauble ら（1991）は, 最初にエンジニアリングの文脈で指導を受けた子どもたちが, 続いて科学者としての指導を受けることで, 最も大きな向上を見せることを見出した. 同様に, Sneider ら（1984）は, 実験を計画し批判する児童・生徒の能力が, ロケットを設計するエンジニアリングの課題に初めて参加したときに, 向上したことを発見した.

こうした実証的知見が, エンジニアリングを科学教育の一部分として強調した理由の一つとして, *Taking Science to School*（2007）には明確に述べられている. それ以上に, この文書には, こうした実証的な知見を基に, 科学教育改革を進めていくという重要な意味がある.

こうした, 小委における議論を受けた 14 の結論を基に, 同文書では以下表 10 のような次世代科学教育改革に向けた勧告が成されている.

表 10　次世代科学教育に向けた勧告

勧告: 何を, いつ, どうやって教えるか
勧告 1：スタンダード, カリキュラム, そして評価の開発者は, 子どもたちの思考の新しいモデルを反映し, 子どもたちの能力をより活かすことができるように, その枠組みを改訂すべきだ.
勧告 2：新たな世代のスタンダードとカリキュラムは, 連邦レベルにおいても, 州レベルにおいてもある学問分野における数少ない核となる概念を識別し, いかにこれらの概念が K-8 の学年を通して, 累積的に発展していくかを綿密化するために, 構築されるべきである.
勧告 3：カリキュラムとスタンダードの開発者は, 科学を証拠として用いた理論とモデルを構築し, それを内部的な

安定性, 一貫性のために精査し, それを経験的にテストするプロセスとして示すべきである. 科学的な方法についての議論は, テンプレートや不変のレシピとしてではなく, むしろ具体的な問いや問題を追究する文脈において紹介されるべき である.

勧告４：科学の教授は科学の技能の４つの鎖に取り組む機会を児童・生徒に提供するべきである.

勧告５：州や地域の科学教育のリーダーは, 教室において児童・生徒が調査を実施し, 彼らの現象の観察や, 科学的な概念についての理解, そしてそれを調査する方法について話したり, 記録したりするなど, やり取りの機会を提供する教授モデルを教師に提供するべきである.

勧告:教員研修

勧告６：州や地域の学校システムは, 就業前の（就業中であっても）全ての K-8 学年の教師が, 継続的な科学に特化した教員研修を受けていることを確認すべきである. 教員研修は, 教師が教える科学に基づくべきであるし, 科学についてや, いかに子どもたちが科学を学ぶかの現代的な研究について, そして科学をいかに教えるかについてを学ぶ機会を含むべきである.

勧告７：将来の教師や現職教師のための大学において科学を学ぶ機会は, 彼らがその児童・生徒に提供する必要のある機会を反映するべきである. それは, 科学についての熟練を構成する４つの鎖における実践を含みこんでおり, その学問分野における核となる概念への継続的な注意を与えている. 学習のトピックは, K-8 学年のカリキュラムの中心となるトピックと一貫しているべきである.

勧告８：教員養成を支援する連邦機関は, 彼らが出資するプログラムが, 科学の熟練の４つの鎖を混合し, 科学における核となる概念に焦点を当て, 教師の科学の内容知識, 子どもたちはいかに科学を学ぶかについての知識, そして科学をいかに教えるかについての知識を強化する教授モデルを含んでいることを求めるべきである.

これらの勧告の中で着目すべき点として,

まずは, フレームワークを改善すべきとの勧告があり, 実際に *Framework* が後に成立していることが挙げられる. このために, 実際 *Framework* には AAAS の Project2061 と NSTA の Anchors Project がそれぞれ寄与していたことが示されている（p. *x*）.

次に, K-8 の学習の進展（Learning Progressions）についての理解が, 連邦レベル・州レベルのスタンダード及びカリキュラムの作成に推奨されている. こちらも, 後に *NGSS* は確かに学習の進展をもとに作られたことが示されている（*Framework*：p. 26, 33, 315-317, 325; *NGSS*：p. xvii）. なお, SEPs については, この学習の進展はまだ識別されていないことも確認したい.

また, もう一つ *Framework*・*NGSS* における 8Practices が示唆している重要な点として, ”科学の方法”についての解釈がある. *テンプレートや不変のレシピ*ではなく, Cascade of Practices（活動の流れ）として, より複雑足りうるといった解釈も, E を取り入れる意味として理解することができよう（Pratt, 2011 や *NGSS* Appendix I を参照）.

更に, 本報告書の示す”科学の熟練を示す４つの鎖”（4 Strands for ）とは, 以下表 11 のようなものである.

表 11　科学の熟練を示す４つの鎖

1. 自然界について科学的な説明を知り, 利用し, 解釈する.
2. 科学的な証拠と説明を作り, 評価する.
3. 科学的な知識の本質と発展を理解する.
4. 科学的な活動と談話に生産的に参加する.

p.2 より

こうしたアイデアは, 後に *NGSS* にしっかりと組み込まれていない（McComas, 2016）と批判された科学の本質や, それをいかに学校で扱うべきかについて勧告という形で同報告書に含まれていたことになる.

加えて勧告５は, 日本でいうアクティブ・ラーニングの表現に近く, 子どもたちの主体的・対話的な学びを想定した教授モデルを提案している. これを受けて, 教員研修のための勧告にも子どもたちがいかに科学を学ぶのかについての知識を強化する教授モデルを利用することが提案されている.

NGSS の物理科学分野のリーダーである Krajcik は, Davis（2005）や Schneider（2002）らと Educative Curriculum Materials としてこうした教授モデルを学ぶ教師のための教材を開発しており, これについては別途詳しく調べていく必要があるだろう.

f.　STEM を実行する枠組み

さて, こうした準備段階の記述を受けて, *Framework* ではエンジニアリングを強調する理由として, 以下のような記述が見られる. 一つは,

> *これは必ずしも科学がテクノロジーに先行するという意味ではない. すなわち, 歴史を通じて, 科学的な理解の進歩はしばしば新しく, 向上した機械やシステムをデザインしようとするエンジニア（技術者）の問いによって駆動されてきた*（*Framework*, 2012, p.12）.

という点である. 実際の順番としてテクノロジーや発明が科学より先にあった時代（例えばエジソンの発明）もあり, 逆に応用科学が先にあって,

テクノロジーや発明が来るという時代もあった（Adler, 1984）. 現代はまた E が S を導出する（Derive）する場合もあるという認識ができている（Finley 教授: インタビュー）といったことが, この *Framework* の記述からも考えられる. また, *Framework* には,

科学とエンジニアリングにおける児童・生徒の意味ある学習を支えるために, 3 つ全ての次元がスタンダード, カリキュラム, 教授, そして評価に統合される必要がある. エンジニアリングとテクノロジーは, 自然科学（物理科学, 生命科学, そして地球・宇宙科学）に沿って, 強調される 2 つの重要な理由がある. (1) 人間によって作られた世界を理解する重要性を反映することと, (2) 科学とエンジニアリング, テクノロジーの学習と教授をより良く統合する価値を認識すること（NRC, 2012: p.2）.

また,

問題をはっきりさせることとそれを解くことは, 何が必要とされているかを明確にし, それに対する解決策をデザインすることであり, 私たちがここの Framework で焦点を当てているエンジニアリングの一部である. その理由としては, これらは児童生徒が彼らの科学についての理解を適用する場を提供するとともに, デザインの過程は K-12 の児童・生徒が一つの学問分野として, 一つの可能性のあるキャリアパスとして, エンジニアリングについての理解を発展させる一つの重要な方法であるからである. エンジニアの仕事は, 科学者の仕事と同じように個人的な取り組みと, 共同的な取り組みの両方を含んでおり, それは専門的な知識を必要とする. したがって, 私たちはエンジニアリングの活動と核となる概念をこの Framework に含めている.

といった記述も見られた.

この段階まで来ると, エンジニアリングを強調する意味は, その本質と STEM の統合自体に収束し, そこに価値を見出していることがわかる. それと同時に, ここまでに歴史的に議論されてきた内容が, その文言も含めて連綿と受け継がれてきたことが見て取れよう.

このうち STEM の統合については, *NGSS* を前後して作成された STEM 学習の統合自体を強調する 報告書を含め, 数多くの研究が現在進行形で展開されている. そのため, ここでは割愛し別途扱うこととする（昨年度報告書等参照）.

V. 考察

以上, 1980 年代と, 2007 年以降の STEM の時代を中心として, お互いをつなぐ議論を参照してきたが, これによって見いだされた知見として, 1) 対外政策としての STEM 教育改革の想定している相手国の変遷, 2) テクノロジーの定義, 3) E の要素の統合の仕方, 4) その場合に含められるべきエンジニアリングの概念, 5) それらを学ぶために有用なシステム（教材）の例, 6) エンジニアリングの学習を通して得られるスキルの 6 点にまとめてきた.

1) 1980 年代以来, 米国の科学技術教育は, 対外政策としての側面を持っていた. 1980 年代初頭において, その相手国は日本, 西ドイツ, 東欧, および ロシアであり, この記述は DeBoer （2006）にも見ることができる. 一方で, STEM の時代においては, アイルランド, フィンランド, 中国, インド等が国名として挙げられており, 米国に来て学位を取った外国籍の学生が, 自国に帰ってその国を富ませているという現実（S&E Indicator, 2004）を訴える報告書は, 改革の大きな引き金となった（*Rising Above*, 2007）.

2) エンジニアリングを強調する上で重要な点として, テクノロジーの定義の問題も時代を経て解消されてきた. *Framework* に見られるような「*人間の必要性と欲求を満たすために天然物から作られた生成物等のこと*」（NRC, 2012; 熊野: 訳, 2012）といった定義は, 1980 年代初頭から変わらず示されているものの, *必要性と欲求を満たすため*の部分は, 特に *SfAA*（AAAS, 1989）以降強調されたデザイン思考との兼ね合いから, 重要視されてきている. 逆に, 80 年代当時の文献では, STEM の時代におけるエンジニアリングの意味で, テクノロジーの語が使われている部分もあった. ただ,「（1980 年代） 当時はテクノロジーと言えばコンピューターのことを指していた」（Yager 教授, 2015: インタビュー）との証言もあり, 各教科の教授の中に, Educational Technology としてコンピューターテクノロジーが強調されていた時代であったために, 当時の報告書ではむしろ T の導入が強調されていたとも考えられる. この点, STEM の時代においては, PC やタブレットの利用を T として強調する法制・グループがあるなかで, 80 年代におけるテクノロジーの議論の一部はエンジニアリングに姿を変え, 一方で技術の本質（AAAS, 1989）と呼ばれていた部分等は消えてしまったようにさえ見える.

3) これらを受けて, エンジニアリングを新しい教科として設定するのではなく, それぞれの教

科のスタンダードの内容を他に持ち込んだり（infusion）, あるいはそれぞれのスタンダードにエンジニアリングの "big idea" を配置すること（mapping） などは, *興味関心を刺激し, 科学や数学における学習を向上させるだけでなく, テクノロジーや工学に対する理解を向上させる*ために考えられる一つの方略であろう.

この議論も1980年代から既に語られていたが, 当時は一年間の特別なコースをつくるアプローチと, 分離したコースを提供するのではなく, 既存のコースを変更するアプローチの両面から語られており, *SfAA* 以降では, 既存のコースの改変を中心とする議論が進み, 例えば *NSES* ではその内容スタンダードのうち地球・宇宙科学の内容にエンジニアリングデザインが導入された（NRC, 1996 ; 熊野, 1996） り, 科学と技術のスタンダードの半分は技術的なデザインについての能力と理解となっている. 更にSTEMの時代においては新たなコースは設けず, 既存のスタンダードの中に導入する議論が一歩進み, 実際の *NGSS* の成立につながった形である.

4）また, そこに含まれるべきエンジニアリングの概念としては, 歴史を総合すると以下の表12のようにまとめられる.

表 12　エンジニアリングを通して教えられる概念

適用・統合・システム・物質・エネルギー・社会的選択・危機分析・モデリング・障害・デザイン・制御・最適化・コミュニケーション・フィードバック・安定性・共同/チームワーク・創造性・物質・エネルギー・情報・平衡・時間率・保全・効率・不確実性・費用対効果

これらは, 現行や新しく公布された学習指導要領の分野を貫く概念, 理科的な見方・考え方とも通じるところがあり, エンジニアリングとともに「理科的な見方・考え方を働かせて問題を見出す」（文部科学省, 2015）ことをイメージすることができよう.

5）これらを学ぶために有用なシステムの例として, 80 年代から通信, エネルギーの生産と保全及び, 資源管理, シェルター・居住目的での空間の利用, 食糧生産, 健康福祉, 安全, バイオテクノロジー, 核問題, コンピューターとその適用などが挙げられていたが, 特にAAASによるProject2061の第一段階における複数のパネル報告書も, 観察と測定, そしてモデル化等をエンジニアリングの概念を学校に持ち込むにあたって重要な部分として挙げていた. 90 年代にかけては STS が盛んになった時代でもあり（梅埜, 1991; SfAA; パネル報告書他）, 科学的社会問題（issues）が取り上げられるとともに, STEMの時代でも地域・国・地球規模の問題, 安全保障等は, 引き続き取り上げられている.

6）最後に, エンジニアリングの学習を通して得られるスキルとして, 80 年代からは, 「問題の形成と解決と, 問題に対する代替案の識別」, 「 理論と実践のつながりをつくるとともに,モデルをつくり試行する」, 「社会的選択と危機分析, 統合とデザインを試す」, 「フィードバックと安定性の概念を利用する」等, 上記エンジニアリングを通して教えられる概念とも重なる項目が得られた. これらは, 一部AAASによるProject2061における記述と重なるところがあり, 共通する科学の概念（Common Themes）となっている. これらの概念も, *SfAA* と共に出された物理・情報科学, エンジニアリングパネルの報告書における記述が基になっており, 今日の *NGSS*（8 Practices や Cross-cutting Concepts）にまで現れていることが今回確認されたことと, またエンジニアリングの概念として確認されたその一部は21st Century Skills（NRC, 2011 他）とも重複していることは重要な事実として確認したい.

VI.　結論

以上, STEMのEはなぜ強調されたかを過去の文献を紐解きながら, その記述をもとに解釈してきた. EはSTEMの時代になって急に強調されたわけではなく, 80年代から連綿と主張され続けてきた「科学」の一部であった. 結果として, 今日の STEM 教育改革が目指す教育の姿や, 日本型STEM教育を構築する場合の, Eのあり得る統合の方略について示唆を得ることができた.

第一に, エンジニアリングの概念の導入についてである. 米国は *NGSS* に向けて, エンジニアリングデザインの概念を科学に「導入」「配置」する形で取り入れるアプローチを採用したことが分かったが, このことは日本の教育課程において STEM をいかに扱っていくべきかの示唆につながるだろう. NAE（小委）がアプローチとして Infusion や mapping を採用した理由としている

のは, 新しいエンジニアリングのスタンダードを構築する上での予算上の問題[13]や実現可能性についてであるが, 前述のように, エンジニアリングの概念を理科的な見方・考え方の一部として扱うことも可能であろう. この場合, 既存の理科の単元のどこにどの概念が適切であるか等, *NGSS*における領域横断的な概念（Cross-cutting Concepts） がそうであったように, 配置を考えていく方法（Mapping）と, 米国ミネソタ州の科学スタンダード （2009） がそうであるように, エンジニアリングの本質 （Nature of Engineering） を科学の本質とともに科学のスタンダードに並べはするものの, 実際の理科の学びに没入（Immersion）[4]することで, エンジニアリングの考え方を学べるようにする方法とが考えられるだろう. ただし, 現時点では米国同様, 日本の教員もエンジニアリングの概念に触れた機会がほとんどない場合が多いであろうから, 没入の方略を取った場合, 丁寧な教員養成機会を持たなければ, 各教科の授業の中で十分に導入されないという現象も予想しうる. この点, 日本においては総合的な学習の時間が既に設置されていることから, General なアプローチとして, STEM の考え方や E のためのシステム等を参考に特別に扱う時間とすることも可能であろう. その場合, 各教科の教員同士の議論や内容同士の統合の可能性について考える機会（テクノロジーパネル報告書, 1989）ともなり, 制度・教員・子ども・保護者といった関係者が十分にその価値を感じ, 受け入れる準備ができたところで, 後に没入アプローチに移行していくなどの方略も考えられる.

この新しい内容の教育課程への導入法については, 21st Century Skills 同様, 転移の問題との兼ね合いが絡んでおり, Fortus ら（2005）の結果のように, エンジニアリングの概念や関連するスキルの転移が想定できるのであれば, General なアプローチの可能性がより強調されるが, 転移が想定できないのであれば, 道徳と同じようにあらゆる教科のあらゆる場面において扱っていくことが推奨される（Bear, 1993; Koening, 2011; Saito, 2017）. その場合, やはり理科だけではなく, 数学やテクノロジー, あるいは社会科との連携が必要となってくる. この転移可能性及び領域固有性（タスク固有性）は, Fortus ら（2004, 2005）や Schauble ら（1991）の研究を追試するなどし, 十分な実践研究を踏まえて, 実証的に検討されるべきことであり, 現時点で結論を出すことはできない. ２世代・３世代先の学習指導要領の在り方を検討する基礎となる研究が進められる必要がある. また, これらは学問的な側面であって, NAE の報告書が論じているように, *新しいスタンダードあるいは教育課程を編成する上での課題は, その国（日本）ならではのものがあるはず*で, それについては, 別途議論が必要であろう（括弧は筆者が付した）.

以上を受けて, 今後考え得る研究課題を列挙しておく.

- National Assessment Governing Board によるエンジニアリングスタンダードの見込みはどうなっているか（既に評価のための *Framework* は NAEP と共に作成済）.
- Bybee（2013）がいうところの, Program, Practices レベルでの改革はどうなっているか. 特に, 教師教育と, 州スタンダードの作成について.
- *ESSA 法*によって, スタンダード採用のインセンティブファンドは取り消しとなった（Paulson 氏, 2016: インタビュー）とされているので, 確認する必要がある.
- カリキュラム改革時代のエンジニアリングの扱い（the Man Made World）はどうなっていたか.
- E や Common Themes, General Concepts 等の概念のうち, どれくらいが日本の学習指導要領上に見られるか. そして, その学年対応はどうなっているか.
- *NGSS* にはこれらエンジニアリングの概念はマッピングされているか. また, それは小学校段階により集中しているか.
- *NGSS* における Cross-cutting Concepts の概念のマッピングの仕方はどう決まったか.
- *NGSS* においては, なぜ各分野が 25%ずつとなったか.
- Schauble ら（1991）のいうように, エンジニアリングの学習をしてから, 後に科学の学習をすることの効果は, 日本ではどうであるか. →既に行われていると見ることもできる.

- STEM 教員養成の具体的な実態はどうなっているか.
- Common Core の科学スタンダードは作成されるか.
- AAAS の Project2061 の現在はどうなっているか.
- *NGSS* における３D ラーニングモデルに対する AAAS の寄与.
- エンジニアリングが Infusion や Mapping された科学をどのように評価するか.
- 技術の本質の部分をいかに STEM として導入するか.

[謝辞]
この研究は,科学研究費補助金（B）課題番号 23300283 及び 16H03058 による補助を受けるとともに, ミネソタ州教育省 Doug Paulson 氏, ミネソタ大学 STEM 教育センターの Co-Director であり, その後退官された Karl A. Smith 教授, Gillian Roehrig 教授, Fred Finley 教授,アイオワ大学の Rovert E. Yager 名誉教授に主な協力を得て，インタビューするなどした結果も含まれている. また, ミネソタ滞在中の諸費用については, Roehrig 教授によった部分もある. ここに感謝の意を表します.
また, 私の拙さ故, 論理・解釈に至らない点が多々あるかと思いますが, 諸先生方には多くのご指摘をいただき, ご指導頂ければ, 幸いです.

[参考文献]

Bear J. （1993）：Creativity and Divergent Thinking: Task-Specific Approach, Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Inc

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, VA: National Science Teachers Association.

Common Core State Standards Initiative (2009): Common Core State Standards, http://www.corestandards.org/

D'Ambrosio, Black, El-Tom, Matthews, Nebres, & Nemetz （1992）：Summer symposium on educating for citizenship in the 21st century. In Science , Mathematics , Engineering , and Technology Education for the 21st century, Washington D.C.: National Science Foundation Directorate for Education and Human Resources Division of Research, Evaluation and Dissemination.

DeBoer G. E. (1991): A History of Ideas in Science Education: Implications for Practice, Teachers College Press, 1234 Amsterdam Avenue, New York, NY 10027.

DeBoer G. E. （2006）：History of the Science Standards Movement in the United States. Impact of State and National Standards on K-12 Science Teaching, 7-49.

Ennis R. H.（1989）：Critical thinking and subject specificity: Clarification and needed research, Educational researcher, 18(3), 4-10.

Finley, Nam, & Oughton（2011）：Earth Systems Science: An Analytic Framework, Science Education, volume95(6), 1066-1085.

Fortus, Dershimer, Krajcik, Marx, & Mamlok-Naaman （2004）：Design-based science and student learning, Journal of Research in Science Teaching 41(10), 1081-1110.

Fortus, Krajcik, Dershimer, Marx & Mamlok-Naaman（2005）：Design-based science and real-world problem-solving. International Journal of Science Education, 27(7): 855–879.

Gorham, Newberry, & Bickart （2003）：Engineering accreditation and standards for technological literacy, Journal of Engineering Education, 92, Ashburn, VA: American Society for Engineering Education.

ITEA (2007): Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology, Phi Delta Kappan.

Koenig J. A.（2011）：Assessing 21st Century Skills: Summary of a Workshop, Washington D.C., National Academies Press.

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.

Minnesota Department of Education (2009): Minnesota Academic Standards Science K-12, Saint Paul.

長洲南海男（2016）：米国における STEM 教育改革運動-その１ 法的, 行財政的観点からの解明, 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, 27-42

National Science Board. 2004. Science and Engineering Indicators 2004. Two volumes. Arlington, VA: National Science Foundation （volume 1, NSB 04-1; volume 2, NSB 04-1A）.

NGS (National Geographic Society). 2007. Ocean Literacy. The Essential Principles of Ocean Sciences. K–12. An Ocean-Oriented Approach to Teaching Science Standards.

NSTA (National Science Teachers Association) Press. 2007. Resources for Environmental Literacy Series: Five Teaching Modules for Middle and High School Teachers. Arlington, VA: NSTA Press.

Saito T. (2016): A Research on Creativity in STEM Integrated Learning Environment Based on Task Specific Approach (Doctoral dissertation, 静岡大学).

齊藤智樹, 熊野善介 (2016): 米国連邦政府による STEM 教育改革, 科学教育学会年会論文集, 40, 15-18.

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.

SFN (Society for Neuroscience). 2008. Neuroscience Core Concepts. The Essential Principles of Neuroscience.

梅埜圀夫（1991）：STS（科学―技術―社会）教育の基本理念と中等生物教育での開発事例, 科学―技術―社会の相互作用を重視した中等生物教育及び教師教育用モジュ

ールの開発, 科学研究費補助金総合研究（A）課題番号 02301107 中間報告書, 平成３年５月
USGCRP (U.S. Global Change Research Program). 2009. Climate Literacy. The Essential Principles of Climate Science. A Guide for Individuals and Citizens.

[引用文献]

AAAS (1993): Benchmarks for Science Literacy, Oxford University Press
AAAS (1989): Science for All Americans, Oxford University Press, 訳: 長崎ら, 邦題: 全てのアメリカ人のための科学（2005）.
Bugliarello G.（1988）: The Physical Sciences, Information Sciences and Engineering Report of an Ad Hoc Panel, The American Association for the Advancement of Science Project 2061: Education for A Changing Future, January 15, 1988.
Bybee R. W. (2011): K-12 Engineering Education Standards: Opportunities and Barriers, 21-29.
Committee on Conceptual Framework for the New K-12 Science Education Standards, National Research Council（2012）: A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas, National Academies of Sciences, National Academies Press, Washington D.C.
Committee on Prospering in the Global Economy of the 21st Century : an agenda for American science and technology ; Committee on Science, Engineering, and Public Policy（2007）: *Rising above the gathering storm: Energizing and employing America for a brighter economic future, National Academies Press*, Washington D.C.
Committee on Standards for K-12 Engineering Education; National Academy of Engineering. (2010): Standards for K-12 Engineering Education? National Academies Press, Washington D.C.
Dugger W. E. Jr.（2007）: The status of technology education in the United States: A triennial report of the findings from the states. The Technology Teacher 67(1):14
Every Student Succeeds Act (2015): Pub. L. 114-95, S1177, 20 U.S.C.: Education
Johnson J. R.（1989）: Technology: Report of the Project 2061 Phase I Technology Panel, American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C.
Karl A. Smith（2015）: July 29, 2015 at University of Minnesota STEM Education Center.
熊野善介（1996）: 全米科学教育基準（National Science Education Standards）の概要と最終報告書の比較とアセスメント基準, 高度情報化社会における科学・技術・社会（STS）教育開発に関する実践研究, 科学研究費補助金 一般研究（C）, 課題番号 06680174 研究成果報告書, 平成８年３月, 15-31
McComas W. F. & Nouri N. (2016): The nature of science and the next generation science standards: Analysis and critique, Journal of Science Teacher Education, 27(5), 555-576.
Mulligan, Jr.（1983）: *Integrating Concepts of Engineering and Science into Instruction in Grade Levels K-12* in Educating Americans for The 21st Century, A plan of action for improving mathematics, science and technology education for all American elementary and secondary students so that their achievement is the best in the world by 1995 "Source Materials", The National Science Board Commission on Precollege Education in Mathematics, Science and Technology, National Science Foundation, Washington, D.C. 20550
National Academy of Engineering（2009）: Engineering in K-12 Education : Understanding the Status and Improving the Prospects, National Academies Press, Washington D.C.
National Committee on Science Education Standards and Assessment, National Research Council（1996）, National Science Education Standards, National Academies of Sciences.
National Science Board （2007）: A National Action Plan for Addressing the Critical Needs of the U.S. Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education System
The National Science Board Commission on Precollege Education in Mathematics, Science and Technology（1983）: *Educating Americans for The 21st Century, A plan of action for improving mathematics, science and technology education for all American elementary and secondary students so that their achievement is the best in the world by 1995 "Source Materials"*, National Science Foundation Washington, D.C. 20550
NGSS Achieve（2013）: Next Generation Science Standards, for state, by state
齊藤智樹（2017）: STEM が統合された学習環境における創造性の構成概念: 21st Century Skills のタスク固有性の検討と超領域的な学習への適用 (科学的に考える資質・能力を育成するアクティブ・ラーニング), 日本科学教育学会年会論文集 日本科学教育学会年会企画委員会・年会実行委員会 編, 41, 67-70.
Standards to Provide Educational Achievement for Kids Act (2007): 20 U.S.C. 1400, 6311, 6312, 6332, 7801, 9621, 9622, 9623 and 9624.
The National Commission on Excellence in Education（1984）: A Nation at Risk. 訳: 橋本貞雄, 邦題: 危機に立つ国家-日本教育への挑戦（1984）, 黎明書房
内ノ倉真吾, 石崎友規, 齊藤智樹, 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報告, Vol. 29, No. 1, 87-92.

---

(1)ここで言う生命科学とは, *生物関係の学問を大まかにまとめた*（平凡社: 世界大百科事典第２版）言葉であり, 今日使われるような*生命に関する諸現象を遺伝子操作, 細胞融合その他生命操作技術を用いて, 広範な分野にわたり研究する*（ブリタニカ国際大百科事典: 小項目事典）狭義の生命科学ではないと考えられる.

(2)H.R. は House of Representatives（米国議会下院）, S. は Senate（米国議会上院）の略.

(3)報告書を通じて, Mathematics, Science and Technology Education という表現で, Engineering は入っていない. また, 推奨されるカリキュラムにも同３教科が示されるのみである. 当時から, エンジニアリングは大学レベルに学部を持っていたが, スタンダードにまつわる用語としては,後のテクノロジースタンダード（2000）に至るまで, 連綿と Technology の語が使われており, ITEEA が名前を変える 2010 年（以前は ITEA）までは Technology 表記が主流であったと考えられる（菅原, 横尾, 上里, 2015）. 現代アメリカにおける普通教育としてのテクノロジー教育については, 同菅原ら（2015）に詳しい.

(4)カリキュラムに対する批判的思考の統合の仕方について, Ennis（1989）は General（一般的）, Infusion（導入）, Immersion（没入）, Mixed（混合）の各方法を提案しており, ここで明示的に提案されていると言えるのは一般的あるいは導入の２つであろう. なお, 以下の文章でもこれらの語を利用し議論を進めている.

(5)日本では Engineering を技術と訳したり, Engineer を技術者と呼ぶ習慣もあるため, 注意が必要である（齊藤・佐藤・熊野, in press）.

(6)これ以前に, カリキュラム改革の時代（1950～1970 年代）には Engineering Concepts Curriculum Project があったことも示されており（NSB, 1983; Yager, 2014）その報告書（"Man Made World": Polytechnic Institute of Brooklyn, 1971）も確認済みであるが, 本研究では深入りしていない. 加えて, AAAS は 1981 年の時点で Science and Engineering Education の声明（January 7, 1981）を発表していることが今回見いだされた. また, *Science and Engineering Indicators* は, 改正版の the National Science Foundation Act（1950）の See. 4（j）1 に基づき, National Science Board により 2 年ごとに作成されている. この他にも, *Rising Above* は他に以下のような文献に対するレビューを行っていることを示している.

R. B. Freeman. Does Globalization of the Scientific/Engineering Workforce Threaten US Economic Leadership? NBER Working Paper 11457. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2005.

Before It's Too Late: A Report to the Nation from the National Commission on Mathematics and Science Teaching for the 21st Century. Glenn Commission Report. Washington, DC: US Department of Education, 2000.

Council on Competitiveness. Innovate America. Washington, DC: Council on Competitiveness, 2004.

Center for Strategic and International Studies. Global Innovation/National Competitiveness. Washington, DC: Center for Strategic and International Studies, 1996.

Business Roundtable. Tapping America's Potential. Washington, DC: Business Roundtable, 2005.

Task Force on the Future of American Innovation. The Knowledge Economy: Is America Losing Its Competitive Edge? Washington, DC: Task Force on the Future of American Innovation, 2005.

The President's Council of Advisors on Science and Technology. Sustaining the Nation's Innovation Ecosystems. Report on Information Technology Manufacturing and Competitiveness, January 2004.

National Research Council. A Patent System for the 21st Century. Washington, DC: The National Academies Press, 2004.

The National Academies. Policy Implications of International Graduate Students and Post-Doctoral Scholars in the United States. Washington, DC: The National Academies Press, 2005.

これらも STEM 教育改革を導いた根拠として, 参照されるべきである.

(8)ITEEA は 2010 年 2 月に ITEA から改称となり, 国際技術・工学教育者協会（菅原ら訳による）となった.

(9)なお, このインセンティブファンドについては, 現行の法制化では取り消されている（Poulson 氏, 2017: インタビュー）.

(10)STEM 教育の一つの主題として, コンピューターやプログラミング教育が強調されるあまり, STEM の T はコンピューターの利用やタブレット端末の使用をすれば満たされると考えられ, SfAA にあったような技術の本質等についての扱いは少なくなっているきらいがある.

(11)ミネソタ州の科学のスタンダードでは, その初めの章に Nature of Science とともに Nature of Engineering を入れる形で統合を試みている. 教師は, エンジニアリングの内容を直接教えはしないが, 科学の授業の中にエンジニアリング考え方を取り入れることができる（Paulson, 2017）.

(12)傾性 Disposition は心理学における構成概念を表す語である. 構成概念は, それによって性質を評価したり, 予測したりすることができ, これを操作することで, 評価の基礎となる.

(14)小委は, *過去の経験から初めから K-12 の単一教科（STM 等）のためのスタンダードを作成することは数百万ドル, 3-5 年の年月を必要とすると見越していた（例えば NSES は 5 年・700 万ドルの予算を要した）*としている.

[問い合わせ先]
〒422-8529 静岡市駿河区大谷 836
静岡大学教育学部
齊藤智樹：tomsent0@gmail.com

インフォーマルな教育施設における「砂」をテーマとしたSTEM教育の試み

Attempt of STEM Education with the Theme of "sand" in Informal Educational Facilities

○坂田 尚子[1], 熊野 善介[2]
Shoko SAKATA[1], Yoshisuke KUMANO[2]
静岡大学 創造科学技術大学院 自然科学系教育部[1], 静岡大学[2]
Shizuoka University, Graduate School of Science and Technology[1], Shizuoka University[2]

概要：静岡市内の科学館や生涯学習センターでは，多くの小学生向けの講座が開催されている．それらは，科学的な体験型プログラムを提供し，子どもたちの自然や科学への興味・関心を涵養する講座になっている．そこで，これまで行われてきた体験型プログラムの一つに着目し，筆者らがかかわることで，これからの科学教育の流れを踏まえたSTEM教育プログラムとする方策を探った．子どもたちにとって身近な「砂」をテーマとし，意識的に科学，技術，工学，数学的な活動を多層的かつ融合的に織り込むことで，プログラムのSTEM化の可能性が見えてきた．

キーワード：インフォーマル科学教育，地球科学，STEM教育，生涯学習センター，科学館

１． はじめに

筆者らは 2016 年 9 月，2018 年 1 月と STEM 教育の先進地域であるアメリカ合衆国ワシントン州，ミネソタ州，アイオワ州を訪問し，実際に STEM 教育に取り組んでいる研究機関，教育省，学校などでその実際を見学し，携わる人々と話をすることができた．そこでは，科学教育全体が，大きく STEM 教育へと変化し始めており，地学的な教材もすでに STEM 学習として子どもたちに提供されていた(熊野 2017，奥村・坂田 2017)．日本においても，これからいろいろな地学的内容をテーマに，STEM 教育の研究や実践が盛んになってくると想像できる．

静岡市内の生涯学習センターおよび科学館では，多くの小学生・中学生向けの講座が開催されている．それらの中には，体験型科学教育プログラムとして，子どもの自然や科学への興味・関心を涵養する講座も行われている．筆者らはこれまで，それらの場において何度か体験型の科学教育プログラムを提供してきた．今年度もまた，生涯学習センターおよび科学館で教育プログラムの実践をする機会を得たので，昨今新たな科学教育の取り組みとして，日本においても STEM 教育，STEM 学習が注目されていることを踏まえて，インフォーマルな場での科学教育プログラムの STEM 化を試みた．

一方，「砂」を教材化するということでは，龍・渡邉(2014)，酒井(2012)，柿崎(2012)，福田・神田(2009)などが，それぞれ小学生や中学生の授業の発展的学習をイメージして「砂」のもつ教材性とそれを用いた授業の提案をしている．「砂」は身近なものであるという特性が，地域教材として，また環境教育の素材として有効であることが示されている．それは，STEM 学習においても，問題(学びのテーマ)を自分たちのものとしてとらえる際に有効ではないかと思われた．

２． 研究の方法

2.1 研究の目的

Cameron & Craig(2017)が STEM プログラムの特徴として下記のものを挙げている．

-Stimulates the curiosity and interest of both girls and boys
-Emphasizes Hand-on, inquiry-based learning
-Addressing both math and science standards

-Encourages the use of and/or creation of technology
-Involves the engineering design process
-Stresses collaborative teamwork

この中の初めの 2 項目「好奇心と関心を刺激する」「体験型，探究ベースの学びを強調する」については，筆者らはこれまで体験型プログラムの開発と実践において考慮してきたものと同様であった．そこで，本研究において日本におけるプログラムの STEM 化に挑戦するとするならば，S,T,E,M のそれぞれの領域の活動を多層的に取り入れるだけでなく、まず取り組むべき点として，残りの 4 項目から「工学のプロセスを取り入れる」,「数学と技術の活動を取り入れる」,「コミュニケーション／コラボレーション活動を意識する」が考えられる．そこで，次のことがらについて調査することとした．

・工学の活動を取り入れるために,「調査方法のデザイン」を組み込むことで，子どもたちの活動がどのように推移するのか
・活動のなかに技術の使用，数学の活動を多層的かつ融合的に取り入れることができるのか
・このプログラムを通して子どもたちはコミュニケーション／コラボレーションを活発に行うことができるのか

2.2　プログラムの枠組みと内容

2.2.1　生涯学習センターでの実践

生涯学習センターで事業としての枠組みは以下のとおりである．また，プログラム内容は筆者らが提案し(表１),①から順に実施した．表中の S,T,E,M は Science(科学), Technology(技術), Engineering(工学), Mathematics(数学)の頭文字でそれぞれを表し,Art は美術(芸術)を表している．

場　所：静岡市東部生涯学習センター
講座名：とうぶこどもプロジェクト
日　時：2017 年 6 月 17 日(土)
　　10：00～11：30
対　象：小学生 20 名
　　(小学校 1 年生～6 年生)
内　容：表 1

2.2.2　静岡科学館での実践

静岡科学館る・く・るでは 2 回実践した．その時の実施の枠組みは以下のとおりである．また，1 回目のプログラム内容は生涯学習センターでの実践を受けて，修正したもので（表 2)，①から順番に実施した．特に③の活動に時間を多く割いた．2 回目は生涯学習センターでの実践プログラムと同じもので行った．

＜1＞ 場　所：静岡科学館る･く･る
講座名：理数大好き教室「ふじのくに学の学校」
日　時：2017 年 9 月 23 日(土)
　　10：15～12：00
対　象：小学生 10 名，中学生 9 名
　　(小学校 4 年生～中学校 3 年生)
内　容：表 2

＜2＞ 場　所：静岡科学館る･く･る
講座名：しずおかサイエンスアドベンチャー
日　時：2017 年 12 月 10 日(土)
　　10：00～11：45
対　象：小学生 50 名
　　(小学校 3 年生～6 年生)
内　容：表 1

表１　生涯学習センター(Jun.17)・科学館(Dec.10)の実践プログラム

	Activities	STEM
①	「砂」って何からできてるの？	S　T
②	調べてみよう(調べる方法は？)	S
③	この「砂」のふるさとを見つけよう ⅰ)見つけ方を考えよう　(調査方法のデザイン)	E
	ⅱ)ルーペ，双眼実体顕微鏡などの観察の道具をつかう	T　S
	ⅲ)粒の大きさ，形で比べる．何が多いか，少ないかで比べる	M　S

④	根拠をもとに結果を発表する	S
⑤	自分の好きな「砂」を使って，絵を描こう	E　Art

表 2　科学館(Sep. 23)の実践プログラム

	Activities	STEM
①	「砂」って何からできてるの？	S　T
②	調べてみよう(調べる方法は？)	S
③	この「砂」のふるさとを見つけよう ⅰ)見つけ方を考えよう　(調査方法のデザイン)	E
	ⅱ)ルーペ，双眼実体顕微鏡などの観察の道具をつかう	T　S
	ⅲ)粒の大きさ，形で比べる　何が多いか，少ないかで比べる	M　S
④	根拠をもとに結果を発表する	S

2.3　データについて

2.3.1　ワークシート

子どもたちにワークシートを記入してもらった．その際生涯学習センターでの実践において，低学年で書くことが苦手な子どもは，保護者にサポートをお願いした．また，終了後に，記入内容について何人かにインタビューをして，意図を確かめることもあった．

2.3.2　アンケート

3 回目（静岡科学館 Dec.10）の実践では，活動に入る前と活動後にアンケートを行った．質問内容は表 3 のとおりである．これによって，この活動で子どもたちの気持ちがどのように変わったかを明らかにしたいと考えた．質問の内容については，21 世紀型スキルズ育成の観点から，NEA(2012)によって，基本的で重要であるとされ，また，実際に活動をデザインするときに使われている（Lindeman & Anderson, 2015）四つの C :Creativity, Critical Thinking, Communication , Collaboration と，この STEM 化をめざした活動が子どもたちを刺激し，夢中になって取り組むことを期待して，前向きな内なる意欲の高まり：Intrinsic Motivation(Ryan & Deci,2000）について調査項目として取り上げた．

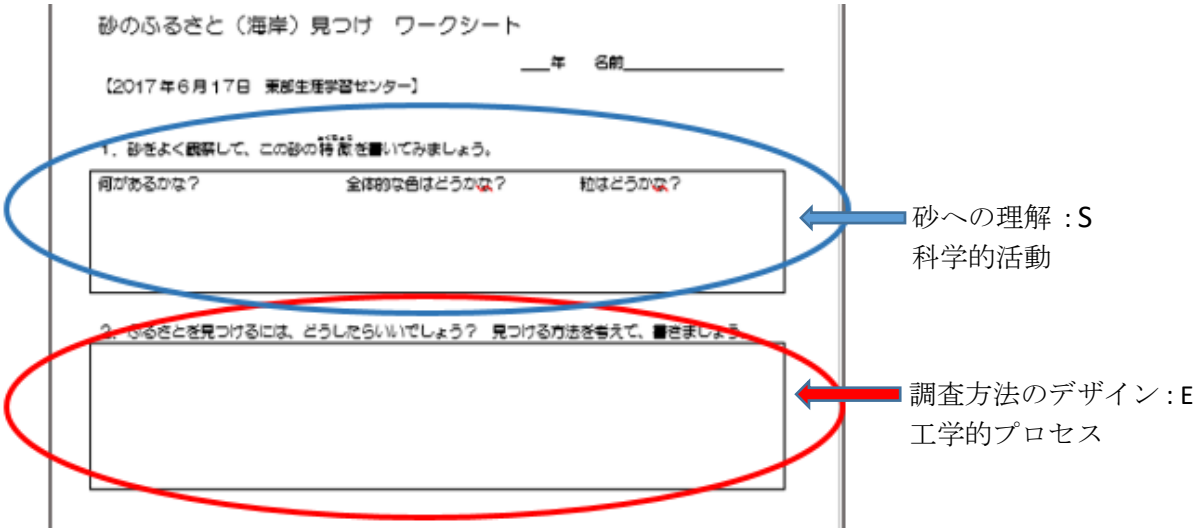


図 1　3 回の実践で使用したワークシート

表 3　アンケートの内容

	活動前アンケート （学校での活動や勉強について）	活動後アンケート （今回の活動について）
Intrinsic Motivation	いつも夢中になって取り組みますか	今日の活動は夢中になって取り組めましたか
Creativity	いつもいろいろなアイデアを思いつきますか	今日の活動ではよいアイデアを思いつきましたか
Critical Thinking	いつもより良い答えや方法が見つかるようにいろいろ考えたり，試したりしますか	より良い答えや方法が見つかるようにいろいろ考えたり，試したりしましたか
Communication	いつも自分から発言したり，人の話を聞いたりすることができますか	自分から発言したり，人の意見を聞いたりすることができましたか
Collaboration	いつもお友達と協力したり，分担したりしながら活動できますか	グループの人と協力したり，分担したりしながら活動できましたか

回答は 5 者選択で，　1:まったくあてはまらない　2：あてはまらない　3：ふつう　4：あてはまる　5：とてもあてはまるとした．

３．結果

3.1　生涯学習センターでの実践

参加者は 1 年生～3 年生までの低学年が多かった．ほとんどの子どもは保護者同伴であった．

プログラムについて，テーマの「砂」は身近ではあるけれど，詳しく知らないという子どもたちだったので，まず観察を通して「砂」というものを理解することに挑戦した．そして，採取場所のわからない海岸の「砂」のふるさとを，候補地の中から見つけるという課題に取り組んだ．子どもたちは，保護者と自分というペアごとに方法や手順を話し合い，方針を決めてから探究活動を始めた．自分の調査結果をペア内で確認した後，全体で結果を分かち合った．その後，自分の好きな砂を使って，砂絵作りをした．

ワークシートを提出してくれた子どもは 18 人で，「砂（構成物）への理解」の欄を記述していたのは 17 名であった．「調査方法のデザイン」の欄を記述できていた子どもは，15 人であった．方法については 7 名，調査項目については 13 名，手順については 2 名であった．この中で複数回答していたのは 7 名だった．

ルーペや双眼実体験顕微鏡の使用については，保護者の手助けもあって，調査の道具として使用することができた．砂を構成する鉱物などの種類と粒の大きさや形については，それを手掛かりに 5 種類の砂を比較し，自分なりの調査結果へと導けていたが，量に注目した記述はなかった．

親子でペアを組んでの活動であったので，親子間のコミュニケーション／コラボレーションは大変活発に行えた．最後の砂絵作りでは，ペアを超えて，材料を分け合ったり作品を鑑賞しあったり，テーブルを片づけたりする場面で協力し合う様子が見て取れた．

表 4　参加者の学年と人数（生涯学習センターでの実践）

学年	1 年	2 年	3 年	4 年	5 年	6 年	合計
人数	5	7	4	1	0	1	23
%	(28)	(38)	(22)	(6)	(0)	(6)	(100)

3.2　静岡科学館での実践

3.2.1　「理数大好き」(Sep. 23)

参加者は，小学校高学年が多かった．生涯学習センターでの実践同様，まず砂を観察し「砂」について理解を深めた．その後，採取場所のわからない海岸の「砂」のふるさとを，候補地の中から見つけるという課題に取り組んだ．2 人ずつのグループを作って探究活動をした．まずは，調査方法を考えて方針を決め，6 つのサンプルについて，「砂の構成物調査シート」を使用しながら詳細に観察を続けた．調査結果をもとに，グループ内での話し合いをしながら「砂」のふるさとの海岸を特定する作業に取り組み，全体で結果を報告し合い結論付けた．

ワークシートは全員が提出した.「砂への理解」の欄を記入していたのは 9 名,「調査方法のデザイン」の欄を記述できていた子どもは, 10 名であった. 方法については 4 名, 調査項目については 8 名, 手順については 3 名であった. この中で複数回答していたのは 4 名だった.

ルーペや双眼実体験顕微鏡の使用については, 調査の道具として使用することができた. また,「砂の構成物調査シート」は 8 名が調査の道具として使用できた. 砂を構成する鉱物などの種類と粒の大きさや形, 量を手掛かりに 5 種類の砂を比較し, 自分なりの調査結果へと導くことができていた.

二人でペアを組んで活動に携わったので, お互い意見を伝え合ったり協力し合ったりたりなどしてペア内のコミュニケーション／コラボレーションは大変活発に行えた. また, 最後の結果発表でも, 協力して発表することができたし, 他のペアの発表も聞くことができた.

表 5　参加者の学年と人数　（静岡科学館　Sep. 23）

学年	4 年	5 年	6 年	中 1	中 2	合計
人数	1	4	2	3	0	10
%	(10)	(40)	(20)	(30)	(0)	(100)

3.2.2　「しずおかサイエンスアドベンチャー」(Dec. 10)

前述の二つの実践と同様, 砂の観察をして, 採取場所がわからない「砂」のふるさと探しをするという課題に取り組んだ. この回のプログラムは, 最初の生涯学習センターでの実践と同じで, 最後に砂で絵を描くという作業を取り入れた(表 1).

ワークシートの記述では,「砂への理解」の欄に記入があったのは 34 名,「調査方法のデザイン」の欄に記述できていた子どもは 35 名で全員だった. 方法について記述していたのは 28 名, 調査項目については 19 名, 手順については 6 名で, 複数回答していたのは 16 名であった.

この回は, 参加者が多かったので, 少人数の 3 人～4 人の 9 グループで行った. 複数人だったがこれまで何回かアドベンチャーの科学教室に参加していて顔見知りだったので, グループ内で協力しながら役割分担して, 調査したり検証やまとめをしたり, 発表を行うなどコミュニケーション／コラボレーションをすることができた.

表 6　参加者の学年と人数　（静岡科学館　Dec. 10）

学年	3 年	4 年	5 年	6 年	合計
人数	8	9	15	3	35
%	(23)	(26)	(43)	(8)	100

4．考察

4.1　ワークシートの結果から

本研究ではプログラム実践に当たって, 意図的に「調査方法のデザイン」を取り入れ, 子どもたちがそれについて, 考えたことを記録する時間を確保した. はじめは戸惑う様子が見られたが, ほとんどの子どもが講師側の誘導がなくてもワークシートに調査項目を記述することができた. その後の,「ⅱ）ルーペ, 双眼実体顕微鏡などの観察の道具を使う」「ⅲ)の粒の大きさや形で比べる」活動が, 自然な流れの中で移行し, 活発に行えたことから,「調査方法のデザイン」の組み込みは可能であったし, また有効であったことが分かった. 科学館での実践では, 生涯学習センターでの実践と比べて年齢が高い子どもの割合が多かった（表 5, 表 6）が,「項目」に関しては, 発現率はむしろ低かった（表 7）. ところが,「方法」に関しての記述が多く出現し,「手順」に関しても多く発現したことから, このグループの方がより探究活動が具体的かつ系列だって行えた可能性が高いということができるだろう. このことは子どもの年齢や,「砂の構成物調査シート」の使用と関係があるかどうか今後さらなる調査と検討が必要で

ある．

サンプルの砂のふるさとの海岸を決める際，子どもたちは判断の根拠となる事柄に，「ⅲ）粒の大きさ，形で比べる　何が多いか，少ないかで比べる」活動の結果を挙げていたが，生涯学習センターの実践では，大きさや形についてだけ言及し，何が多いか少ないかという量について言及していなかった．そこで科学館の実践では「砂の構成物調査シート」を調査の道具として取り入れ，構成物のそれぞれの量に注目するかどうか検証した．「砂」のふるさとを特定する判断の根拠として，砂の構成物の何が多いか少ないかという量について記述している子どもが 9 月の実践では 4 名，12 月の実践では 3 名いたので，その効果が少なからず望めることが分かった．また，「④根拠をもとに結果を発表する」活動では，構成物の量の比較を根拠の一つとするグループがいくつか見られた．数や形，量に注意を向けることで数学的な活動を促進したいと考えて導入したシートであるが，導入したことで，活動を促すことができたと言える．しかし，今回の実践ではその効果が限定的で，全員が注目したわけではないのでまだまだ改善の余地はあるだろう．

表 7　調査方法の発現率

	記述あり	複数記述	方法	調査項目	手順
生涯学習センター	15（100）	7（46）	7（46）	13（86）	2（13）
静岡科学館	45（100）	20（44）	32（71）	27（60）	9（20）

表中の数字表記は、人数（%）となっている

4.2　アンケートの結果から

普段の学校での生活などと比較して，子どもたちは，自分のことをどう感じたのか（自己への評価）について聞いたところ，夢中になって取り組んだかどうか（Intrinsic Motivation）ということと，創造的にいろいろなアイデアを思い付いたか（Creativity）どうかという問いでは，明らかに数値が増え(表 8，図 2)，活動に対する前向きな内なる意欲が高まり，創造性が高まったことが分かった．これは，このプログラムが子どもたちにとって興味がもて，楽しみながら行えるものであることを表していると考えられる．また，グループの人と協力したり，分担しながら活動すること（Collaboration)に関しては，若干の高まりがみられた．これは実践する際「協力するように」と声かけはしたが，役割分担をして作業を進めることを意識させるところまではできなかったからだと思われる．

一方，よりよい方法をや答えを見つけるためにいろいろ考えたり試したりする（Critical Thinking）ことや，自分から発言したり人の意見を聞いたりすること(Communication)はわずかながら数値が減った．「いろいろと考えたり試したりする」ことは，プルグラムの内容や時間配分などにより，異なる結果が出ることも考えられるので，今後も継続して調査したい．しかしコミュニケーションに関しては，「話すこと」と「聞くこと」だけ問うたので，このような結果となったと思われる．ワークシートへの書き込み，発表，アイデアの表現としての作品作りを踏まえると，コミュニケーションとしては非常に盛んにおこなわれていたことは明らかである．

また今回，三つの実践で「③の「砂」のふるさとを見つけよう」という活動に入る際，課題を講師側が与えた形をとった．「砂」が身近な素材であること，地域教材としての特性があることだけでなく，プログラムの STEM 化を意識するなら，子どもたちにとって調べてみたくなるような必然性のあるストーリーを設定した方が良かったと考えられる．

表 8　アンケート結果

	Intrinsic Motivation	Creativity	Critical thinking	Communication	Collaboration
pre	3.859459	3.7	3.889189	3.764865	3.854054
post	4.131429	3.862857	3.802857	3.714286	3.925714

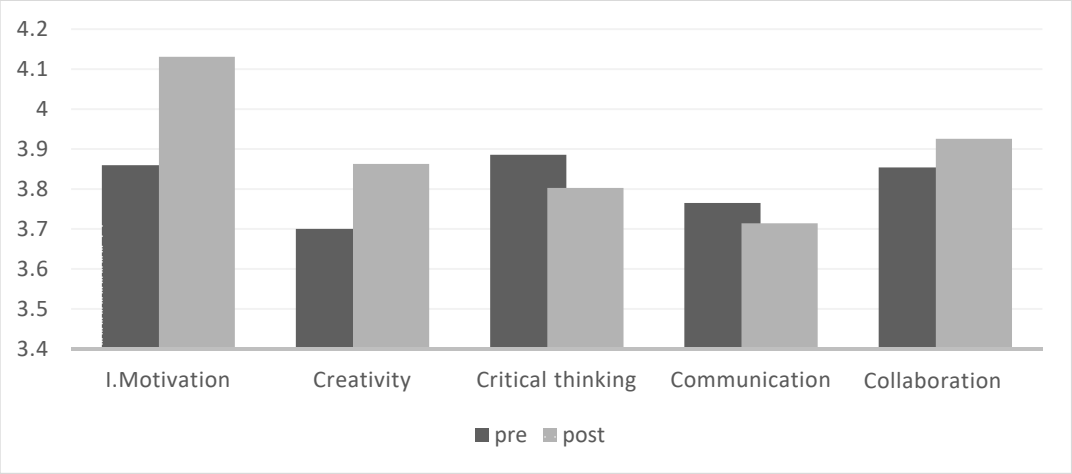


図 2　Intrinsic Motivation と 4C の変化

５．終わりに

今回は，小学生から中学生を対象とした二つの科学教室での試みについてまとめた．プログラムの STEM 化を考えるとき，S,T,E,M の活動を多層的かつ融合的に取り入れることばかりでなく「調査方法のデザイン」を組み込むことは，必要であることが分かった．また，そうすることで，後に続く調査・探究活動が活発に行われ，結果として活動の中で技術（双眼実態顕微鏡，ルーペ）の使用が多く認められ，「砂の構成物調査シート」の使用から数学の活動を多層的に取り入れることができた．このプログラムはいずれもペアや 3～4 人の少人数グループで行ったので，活動への取り組みを通してチーム内でのコミュニケーションが盛んに行われ，コラボレーションも部分的に促進された．そればかりでなく，砂絵をつくったり発表したりする活動を入れたことで，チームを超えてコミュニケーション／コラボレーション活動が活発に行われることが分かった．STEM 化する場合考慮すべき事柄として，これらは以下のようにまとめられる．

- 活動の中に「調査方法のデザイン」を組み込む
- 「砂の構成物調査シート」のような数，量，長さなどに意識が向く仕組みを取り入れる
- チーム内やチームを超えて，発表したり表現したりするような場面を設定する
- 子どもたちにとって，取り組んでみたくなるようなストーリー（必然性）を設定する

今後の実践では，これらの項目をプログラムに取り入れながら STEM 化を図りたい．そして日本の文脈におけるインフォーマルな場（科学館など）での STEM 教育の実践研究に取り組んでいきたい．

引用文献

熊野善介(2017)21 世紀型スキル(資質・能力)STEM 教育改―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―, 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 【基盤研究(B)】研究成果中間報告書(課題番号 16H03058), p29 - 38

坂田尚子・奥村仁一(2017)アメリカでの STEM 教育視察調査の概要, 熊野善介編 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 【基盤研究(B)】研究成果中間報告書(課題番号16H03058), 第 1 章 p1 - 27

龍智将・渡邉重義（2014）小学校理科教材としての海岸・河口の砂ー「色」に注目した理科教材の研究ー，日本科学教育学会研究会報告 Vol.29 No.1 p13 - 18

酒井智子（2012）海岸の砂の地学教材としての可能性と授業への提案ー見通しをもって学習に取り組ませる指導法の工夫ー，上越教育大学教育実践研究第 22 集 p153-158

柿崎榮（2012）砂の教材化についてー地域の砂と南西諸島の砂，地域の砂と鳴き砂ー，学校図書 教科研究理科 No.194 p4-7

福田修武・神田光史（2009）生物遺骸を豊富に含む海砂の教材化とその指導例ー和歌山県東牟婁郡串本町における海砂を中心としてー，和歌山県教育センター学びの丘研究紀要 6 p1-8

Cameron, S. and Craig, C. (2017). STEM Labs for Earth & Space Science grades 6-8. Mark Twain Media, Inc., Publishers

National Education Association. (2012). An Educator's Guide to the "Four Cs", Preparing 21st Century Students for a Global Society.

Lindeman, K. W. and Anderson, E. M. (2015). Using Blocks to Develop 21st Century Skills. NAEYC, www.neayc.org/yc

Ryan, R. M. and Deci, E. L. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. American Psychologist Vol. 55, No.1, 68-78

参考文献

Bybee, R. W. (2014). NGSS and the Next Generation of Science Teachers. Journal of Science Teacher Education 25(2), 211-221

Kumano, Y. (2017). STEM Education Innovation and 21st Century Skills – From the Analysis of the Discussion at Federal Government Level, and From the Case Studies of Washington State, Minnesota State, and Iowa State -, Proceedings of the 41st Annual Meeting, Japan Society for Science
Education, 53-56

National Research Council. (2015). Guide to Implementing the Next Generation Science Standards.

Vasques, J. A., Snider, C. C., and Comer, M. (2013). STEM Lesson Essentials – Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics. Heinemann

Yager, R.E., and Brunkhorst, H. (Eds.). (2014). Exemplary STEM Programs: Designs for Success. Arlington, VA: NSTA Press

アシスト制御を取り入れた技術教育教材について

Development of Technology Education Learning Material with Assisted Control for STEM

静岡大学　紅林秀治

１．はじめに

中学校技術・家庭（技術分野）においてロボット教材が広く用いられている。特に計測・制御の学習では,ライントレースカーや自律制御ロボットなど,自動制御の学習を主に想定している。しかし実生活では自動制御だけでなく車の自動ブレーキやパワーアシストスーツなど「アシスト制御」を利用した装置がよく用いられている。そこで本研究では,アシスト制御を題材として学ぶ教材を開発しようと考えた。

本研究では,最初に缶を運ぶロボットを題材に,アシスト制御の有無をスイッチにより切り替えることができる教材を製作し,アシスト制御の有無の比較から,操作性の向上に関して調査した。さらに安全性をアシスト制御する教材として,ブレーキアシストモデルも製作した。

開発した教材は，機械，電気回路，コンピュータ，数学、物理など様々な分野からアプローチできる教材としてSTEM教育に有効であると考えた。本教材の開発は，静岡大学４年生柳田修那君の協力の元に作成したものである。

本報告では,製作したロボット,操作性の向上に関する調査結果,ブレーキアシストモデルの順に述べる。

２．缶を運ぶロボット

アシスト制御を導入する題材として缶を運ぶロボットを選定した（図 1)。中学生が操作することを想定したロボットだが,缶を積み上げる操作が難しいことがわかった。操作するにあたっての困難であると考えられる点は以下４点である。

(1)　缶をおろす位置を正確に特定できない
(2)　移動時に慣性による缶の落下が多い。
(3)　モータの回転数を制御できない。
(4)　モータに取り付けたクランクとリンク機構にすべりが生じる。

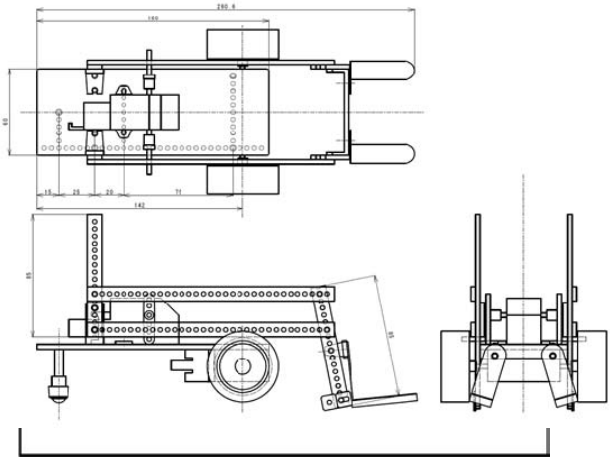


図１　缶を運ぶロボット

３．缶を運ぶロボットの効果実験

前節で示した(2)-(4)の困難点について,モータの回転を制御することで解決した(図 2)。実際に回転制御を導入したロボットと導入していないロボットとでの缶の持ち上げ成功率を６人の大学生に操作してもらい比較した。

モータの回転制御によるアシスト制御の導入によって成功率が上がり,操作性の向上が認められた(表１)。操作性が向上した理由は,缶を積み上げる操作に伴う操作者の判断の量が減ったことが原因と考えられる。

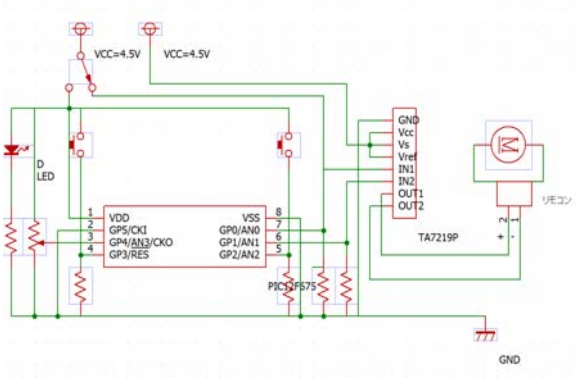


図２ モータの回転を制御する回路

４．ブレーキアシストロボット

製作したブレーキアシストモデルを図３に示す。

ブレーキアシストロボットはいわゆる衝突回避システムをモデル化したものである。具体的な動作

表１　回転制御の有無による比較実験

回転制御	成功回数/試行回数	成功率
あり	37 回/52 回	72%
なし	8 回/36 回	22%

としては,リモコンで 2 つのモータを操作し,乗客に見立てたピンポン玉をくぼみから落とさないように加速・減速しながら前進・後退したり,障害物を感知すると衝突しないように減速したりする。

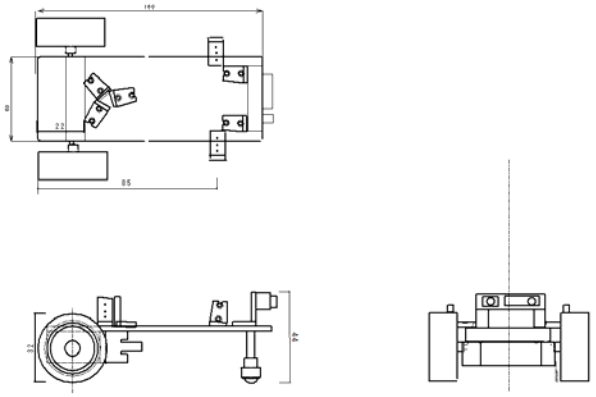


図３　ブレーキアシストロボット

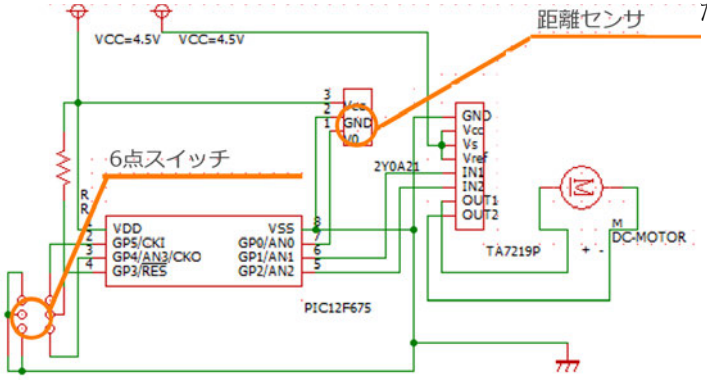


図４　ブレーキアシストロボットの
モータの回転を制御する回路図

５．ピンポン玉が落ちる速度とプログラム

このロボットは発進時に前方の距離センサにより障害物がないことを確認する。そしてピンポン玉を落とさないようにゆっくりと加速し,前方に障害物を検知すると衝突しないように減速する。図５にプログラムのフローチャートを示す。

最適な減速する速度を求めるために重さ 2.7g(m)のピンポン玉が落ちる加速度の大きさを計算した。

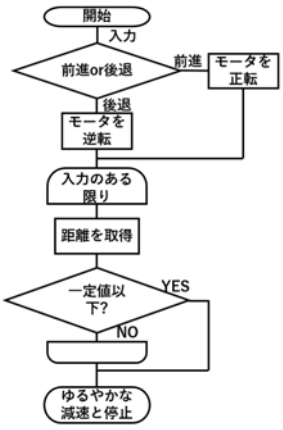
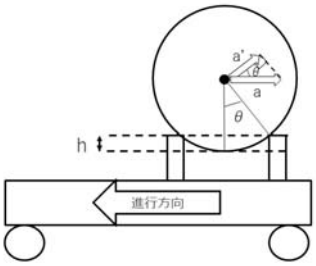


図５　ブレーキアシストロボット
制御プログラムのフローチャート

図６にピンポン玉の車体概念図を示す。横から見た図において高さ 0.3mm(h)の段差分の位置エネルギーを超えない運動エネルギーが相対的に加わればよいことが分かる。計算の結果玉が段差を超える加速度 a は約 1.9 m/s^2 となった。よって加速の際、およそ 1.9m/s^2 以下の加速度であればピンポン玉を落とさず発進や停止ができることが分かった。



$$mgh = T\theta$$
$$T = (I_1 + I_2)\dot{\omega}$$
$$mgh = \frac{3}{7}mr^2\frac{a}{r}\theta$$
$$\dot{a} = \frac{7gh}{3r\theta}$$
$$a' = a\cos\theta$$
$$a = \frac{a'}{\cos\theta}$$

m ピンポン玉の質量(kg)
g 重力加速度(m/s^2)
h ピンピン玉が乗り越える高さ(m)
T ピンポン玉の回転運動のトルク (N・m)
θ ピンポン玉と台の間の角度 (rad)
I 慣性モーメント (kg・m^2)
$\dot{\omega}$ 角加速度 (rad/s^2)
a 進行方向の加速度 (m/s^2)
r ピンポン玉の半径(m)

図６　車体概念図

６．まとめ

本研究では，従来のロボット教材には完全自律型制御と同様に活躍しながらも，教材としては研究されていなかった「アシスト制御」を導入したいという背景から，操作アシスト・安全性アシストのモデル化としての新たなロボット教材を２台提案した．操作者がロボットを操作する過程において実際に制御が操作判断の助けになることを体感でき，制御に関する考え方を広げることのできる教材であると考える。

参考文献

[1] 中尾真治 : おもしろい PIC マイコン 12F675 を使いこなす,オーム社 (2004)
[2] 加藤幸一他:新しい技術・家庭 技術分野,東京書籍 (2015)
[3] 文部科学省:中学校学習指導要領 (2008)
[4] 長谷川健介:標準自動制御,実教出版(1999)

3D プリンタ製作「羽ばたき飛行機」を使用した Bio－STEM 教材の開発と実践に関する研究
－附属静岡中学校での実践を通して－

The Development & Practices of Bio-STEM Learning Materials Developed by the 3D Printers　So-called Clapping Airplane – The Trials at the Shizuoka Attached Junior High School -

○佐々木博登 [a]，海野雅爾 [b]、井出祐介 [b]，熊野善介 [a]
Hiroto Sasaki, Masashi Unno, Yuhsuke Ide, Yoshisuke Kumano
静岡大学 [a]，静岡大学附属静岡中学校 [b]

［要約］ 近年、科学教育、技術教育、工学教育、数学教育を統合して学ぶプログラムである STEM 教育が欧米の科学教育で導入されている。日本においても人材育成を行う上で STEM 教育は注目されている。先行研究を概観すると、物理学、化学等の実践が中心である。今後、生物学や教科の枠を超えた研究が求められる。本研究では STEM 教育に盛んに用いられている 3D プリンタを使用した生物分野の STEM 教育（Bio-STEM）教材を開発し、中学校理科において実践を行いその有効性について考察した。

［キーワード］ STEM、3D プリンタ、バイオミメティクス、教材開発

1.　研究の目的

近年、STEM 教育が米国の科学教育で急激に導入されている。STEM 教育とは、Science, Technology, Engineering, and Mathematics の頭文字を取った教科横断型の教育である。米国においては、2013 年度に発表された「次世代科学スタンダード」（NGGS）で STEM 教育の重要性が示され、国家レベルのプロジェクトとして推進されている。STEM 教育は課題解決型の学習やプロジェクト型の学習が重視されており、新学習指導要領における「主体的・対話的で深い学び」の文脈に当てはまるものである。しかし、STEM 教育を日本の文脈に当てはめる際、日本とアメリカの教科・教育の違いからアメリカでの実践を日本で行うのは困難である。特に生物分野の STEM 教育の実践例は高価な実験器具等を使用するものが多く、日本において実践不可能である。そのため多様な実践研究が求められている。

STEM 教育に用いられる特徴的なツールとして 3D プリンタがある。特徴として①どんな形であろうと基本的に出力できる。②人間が生成したイメージをその場ですぐに形にできる。③学習キットを購入するよりも安価である。などが挙げられる。3D プリンタを使用することによって生徒のイメージを制限なく形にすることができる。

これらを踏まえ本実践では日本の義務教育段階の子供に STEM 教育の実践、中でも教育の道具として先端技術である 3D プリンタを導入することと、日本とアメリカの学習内容の違いから日本の学習内容におけるアメリカでの授業実践例の乏しい生物分野の STEM 実践（Bio-STEM）に焦点を当てた実践を行い、科学に対する態度を含む STEM 領域に関する態度にどのような変化がみられるのかについて調査を行うものとする。

2.　授業開発

2.1　調査方法と対象

静岡大学教育学部附属静岡中学校の 2 年生 160 名に対して「FabLabKitakagaya」のメンバーの morikoh 氏が一般公開している「竹ひご羽ばたき飛行機タケソプター」（以下羽ばたき飛行機）を使用した Bio-STEM を行い、アンケート結果、ワークシート記述、授業中の口述から調査を行う。

表 1　調査概要

調査対象	静岡大学教育学部附属静岡中学校中学 2 年生 160 名
授業時間	50 分×3 コマ
単元	動物の分類

静岡大学教育学部附属静岡中学校の教員の先生に主として授業を進めていただき、説明や紹介は筆者が行った。

2.2　教材

今回 Bio-STEM 教材の開発をするにあたって

注目したのは先端技術を生物学を通して感じることのできる教材である。生徒たちにとってより身近に感じられるような先端技術とのつながりを意識した。そこで今回の授業で生徒たちに紹介したのはバイオミメティクスである。バイオミメティクスとは生物のかたちを模倣して新しいものを作り出すことをいう。その例としてオナモミの服などにくっつく性質・形状からマジックテープが作られたことやカワセミのくちばしのかたちを模倣して新幹線の先頭車両を作り消費電力の削減を行ったというものがある。私たちが知らないだけで身の回りのあらゆるものがバイオミメティクスである。このことから生徒たちは先端の技術や工学と生物分野との関係性を意識することができると考えた。そのため生徒たちが生き物の模倣を授業で行いバイオミメティクスにつなげるという授業の方針を立てた。生き物を模倣したものでたどり着いたのが羽ばたき飛行機である。ダ・ヴィンチが設計した飛行機にもあるように人が空を飛ぼうと考えた時にまず考えたのは身近に空を飛んでいる鳥の模倣を行うことであったことから飛行機はもともと鳥のバイオミメティクスであったといえる。そして模倣を行う際に鳥といっても種類によって大きさ、形、翼の動かし方等が異なっており多様性に富んでいる。そのため同分類内である鳥類の中でも多様性があることに気づくことができると考える。中学 2 年生の生物分野の単元に「動物の分類」がある。この分野では動物の分類分けを行い動物の多様性について学ぶ。本実践ではその発展である同一分類内での多様性に注目して教材の開発を行った。授業内で行うことのできるより安価で手軽な羽ばたき飛行機について探したときに「FabLabKitakagaya」のメンバーの morikoh 氏が一般公開している「竹ひご羽ばたき飛行機タケソプター」を知った。羽ばたきの動きを作る機構を 3D プリンタで作成することができ cad データも公開されていた。この 3D プリンタを利用した羽ばたき飛行機は先端技術をツール（道具）として使用ができ、STEM として適切であるといえる。このような考えから 3D プリント羽ばたき飛行機を Bio-STEM 教材とした。

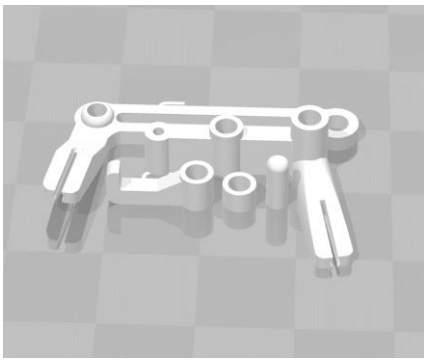


図 1　使用した cad データ

写真 1　羽ばたき飛行機

2.3 授業構成

授業は STEM 教育とするために NGSS の 8 つの科学教室の経験的・体験的活動（8 practice）に当てはめ作成した。

⑶　科学の質問と工学の質問の定義。

本授業では、最初に羽ばたき飛行機を生徒たちに見せ、実際に飛ばす活動を行い、あまり飛ばないことを確認したうえで「羽ばたき飛行機の飛距離を伸ばすにはどうしたらよいだろう」という課題を提案した。本来であれば生徒たちにこの羽ばたき飛行機の問題を考え課題を作るのが望ましいが授業時間の関係で教師側から提示して全体の疑問とした。

⑵　モデルを創造したりモデルを使う。

疑問を確認したうえで、疑問を解決するために何をすればよいかを考えた。生徒たちに羽ばたき飛行機と羽ばたいて飛ぶ生き物の羽ばたきの様子が似ているという考えを羽ばたき飛行機を最初に飛ばしたときに持たせ、羽ばたき飛行機の飛距離を伸ばすためには実際に存在している羽ばたいて飛ぶ生き物（鳥、昆虫、コウモリ）をモデルとして羽ばたき飛行機を作成すればよいのではないかという考えを共有した。ただ漠然と鳥とするのではなく鳥の中でも多様性があり、種類によって羽ばたき方、翼の形、大きさが異なることを説明し、**羽ばたき飛行機に最適であると考える羽ばたき方、翼の形、大きさをもった生き物をモデルとした。**（理科へのエンジニアリングの思考の導入）

⑶　探究活動の計画と遂行。

羽ばたいて飛ぶ生き物を模倣するためにどうすればよいかの計画を立てる場面であるが、時間の都合上教員側から生き物の写真や図鑑、動画を参考にするように伝え、資料を提供した。また、羽ばたき飛行機を作る際の材料についても選択肢を与えた。

⑷データの分析と解釈。
多様性のある羽ばたいて飛ぶ生き物の中でどれを最も羽ばたき飛行機にする際に模倣すべきかを資料に基づき考察を行った。さらに、その再現にどの材料を使うべきかについて、素材の重さ、強度の観点から考察をし、適切なものを選択した。

⑸数学を使用し数値的な思考をする。
新しい羽ばたき飛行機の設計図を作る際にただのデザインにならないようにするため、長さを決め設計図を書くように働きかけた。また、完成した羽ばたき飛行機を飛ばし、飛距離を計測した。

⑹説明を構成したり解決例をデザインする。
生き物の資料や材料の考察からより飛距離の伸びると思われる羽ばたき飛行機の設計図を作った。

⑺科学的証拠に基づいて議論を行う。
実際に作成して飛ばした飛距離のデータを基に形、材料、大きさについてどのようなものがよいか考察を行った。そして最も重視するものを考察した。これに関する議論は時間の都合上行えなかった。

⑻情報を得たりコミュニケーションしたりする。
授業は、班を作り行い班の中で話し合い協力して 1 つのものを作成することを目指した。

今回の授業において、本実践では羽ばたきの構造部分以外の翼の形を作成することにも生徒たちに自由なデザインをしてもらうために 3D プリンタを使用し、生徒のデザインを三次元的な形にすることを考えた。しかし、デザインをする際に必要な cad を簡単にかつ自由に作るソフトウェアが見つからなかったことと筆者の技術不足により困難であったため断念をした。代用としてあらゆる材料を提示することにより自由度は落ちるものの生徒たちに材料学的な観点を与え、技術的な要素が高くなることとなった。代わりに骨組みとして竹ひご、針金細、太 2 種、翼として、A4 用紙、半紙、ポリ袋 2 種、トレーシングペーパー、画用紙を用意し、生徒たちはこの中から材料を選択した
作成した授業の流れを表 2 に示す。

表 2 授業の流れ

時間	授業内容
10 分	1. バイオミメティクス紹介 ・クイズ形式でバイオミメティクスの紹介を行う。
10 分	2. 羽ばたいて飛ぶ生き物について ・羽ばたいて飛ぶ生き物の模倣を行うことを伝え、羽ばたいて飛ぶ生き物の翼、大きさなどの多様性に注目する。
10 分	3. モデルの提示 ・グループで実際に羽ばたき飛行機（デフォルト）を飛ばす。
30 分	4. 改良のデザイン（設計図）の作成 ・飛距離を伸ばすための設計図を生き物を参考に作成する。
70 分	5. 羽ばたき飛行機の改良 ・デザインを基に改良した羽ばたき飛行機を製作する。
10 分	6. 飛距離の計測 ・改良した羽ばたき飛行機の飛距離を計測する。
10 分	7. 羽ばたき飛行機の利用、まとめ ・羽ばたき飛行機が私たちの生活にどのように役に立つか考える。 ・授業のまとめを行う。

また、教材として、PowerPoint 教材とワークシート を作成した。一部を図 2、図 3、に示す。

図 2 PowerPoint 教材の一部

図 3 ワークシート教材

3.　考察

実践は授業案に沿って実施した。実践の結果をワークシートの記述、授業中の口述から定性的に、アンケートの結果から定量的に考察を行う。

3.1　定性的な視点からの実践の考察

最初にデフォルトの羽ばたき飛行機を生徒に提示した。デフォルトの羽ばたき飛行機は、うまく飛ばずすぐに落ちてしまうものであったが、ゴムの力で羽ばたく教材に興味を示した。同時に、一部のパーツが 3D プリンタによって出力されたものであることを伝えると興味はさらに高まり、その部分をじっくりと観察する様子が見られた。その後、生徒にどうだったかを尋ね、まったく飛ばなかったことを共有した。そこで全体の指針として「飛距離の長い羽ばたき飛行機を作る」という目標を立てた。この目標は STEM における T 領域である。

生徒たちに羽ばたき飛行機設計の参考として示された、羽ばたいて飛ぶ生き物の資料から設計図を作成した。この活動は STEM の具体的な手立てを示している NGSS の 8practice の⑷データの分析と解釈。⑸数学を使用し数値的な思考をする。⑹説明を構成したり解決例をデザインする。に当たる活動である。この活動は、STEM 領域の S、T、E、M すべての領域が関わる活動である。T の領域である羽ばたき飛行機作成のために S 領域では、設計図の参考となる生き物の選択し模倣すること、E 領域では、設計図を作成することや材料を選択すること、M 領域では、設計図を作成する際に使用する長さ等の単位を用いること、という能力を使う。この 4 つの領域を生徒たちが設計図の中でどのように達成しているのかをワークシートを通して分析する

写真 2　授業の様子

設計図について生徒のワークシートから生き物を参考にしたものが多く見られた。

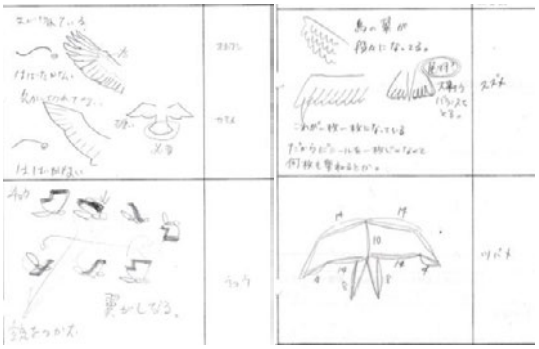


図 4　生徒の作成した設計図

参考にした生き物について、スズメなどの小型のものからタカやグンカンドリなどの大型のものまで幅広かった。その選択の基準は、生徒自身がデフォルトの羽ばたき飛行機を飛ばしたことにより見つけた問題点からその問題点を克服できると考えられる形や大きさをもった生き物を選択しているという傾向が見られた。実際の記述としては、「翼を曲げることで空気抵抗を減らし飛ぶようにする」、「バランスが悪く頭から落ちてしまうから尾翼をつけて水平飛行を保つ」、「大きいほうがバランスを保ちやすい」などの生徒自身がもともと持っている科学的知識（S 領域）を選択の基準としていた。

またあらゆる生き物を比較しその共通点を見つけ出し設計に生かしたりする姿が見られた。これは、理科における主体的対話的で深い学びを実現するための視点における主体的な学びに該当する観察の結果から分析し改善策を考える場面ということができる。また深い学びの生物の見方考え方にある「生命に関する自然の事象・現象を主として多様性と共通性の視点で捉える」という学びが生まれているといえる。

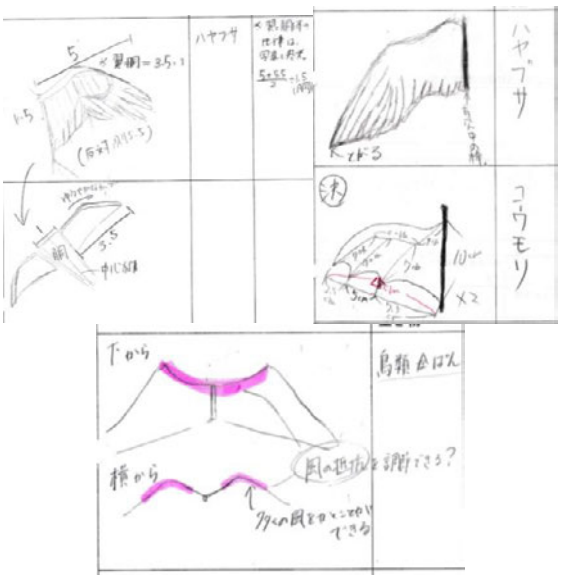


図 5　生徒の作成した設計図

また、あらゆる班において数字を用いた設計がされている。数字は主に大きさの決定をするために使われていた。大体の大きさのみを決めただけの班も見受けられたが半分以上の班で骨組みの一つ一つの大きさや翼の大きさまで決めた細かい設計図を書くことができていた。生き物の写真から翼、胴体、尾翼などの割合を計算し、設計図に応用する班や、翼の材料を選ぶ際に材料に記載されている重さの情報を読み取り単位面積当たりの重さを計算し材料の選択を行う班もあった。(M 領域)これらはNGSSのフレームワークの第2次元の「7つの共有する大きな概念」にある「スケール・比・量」の概念を使った学びが発生している。

材料についても、設計図と同様に生徒自身がもともと持っていた科学的な考えを基に選択していた。例えば、「飛ぶためには軽いほうがいいから軽いものをえらぶ」や、「かたちを作りやすい針金を使う」などといった、生徒が重視することに合わせて選択が行われていることが分かった。(T 領域)

これらの設計はグループ単位で行った。グループで1つの設計図を作り上げるために話し合いが行われていた。図4のようにそれぞれが個人で設計図を考えた後に話し合いで最も良いものを決めていた、最初から話し合って1つの設計図を作っていく2つのパターンが見られた。

写真3 授業の様子

設計図(デザイン)を作るということはあらゆる領域を横断して物事を考えなければならない。本実践では、羽ばたき飛行機の設計図を作るということで、やや技術に偏ったものになったが、生徒たちが意欲をもって主体的に活動する姿が見られた。デザインをするということは一から何かを生み出すという作業である。その作業をするためにはその対象になるものを観察・実験を行い知るということが必要になる。このことが深い学びに繋がり、手本を示されるのではなく自ら作り出すことによって生徒たちはより主体的に活動することができたと考える。

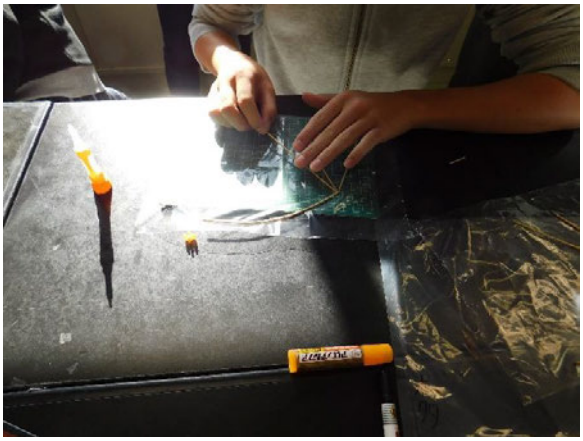


写真4 製作の様子

STEMの観点から見ると、科学的(S領域)、工学的(E 領域)、数学的(M 領域)などの発想により羽ばたき飛行機(T 領域)のデザインを行っていることがわかった。このことから日本の主体的・対話的で深い学びの観点とアメリカのSTEMの観点からもこのデザインをする活動はより良い学びにつながるといえる。

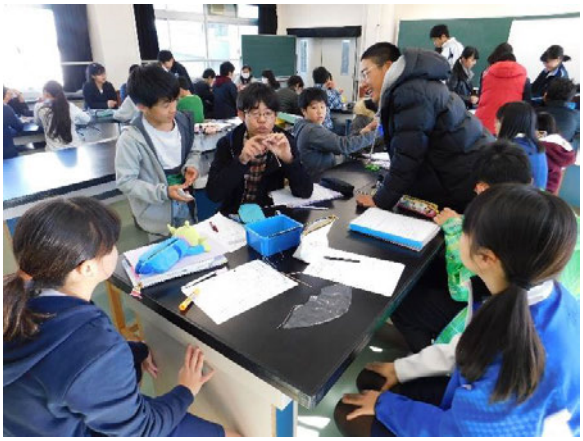


写真5 授業の様子

設計が終わり次第作成に入った。この作成はSTEMのE領域をメインとした活動である。生徒が設計図を基に羽ばたき飛行機(T 領域)を作成した。製作は、生徒が予想以上に瞬間接着剤等の道具になれておらず時間がかかった。

写真 6　完成した羽ばたき飛行機

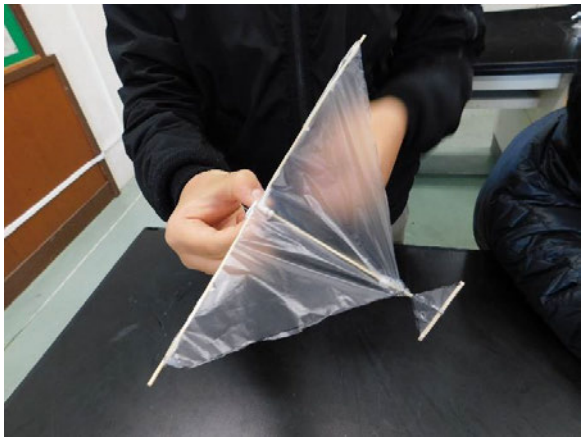


写真 7　完成した羽ばたき飛行機

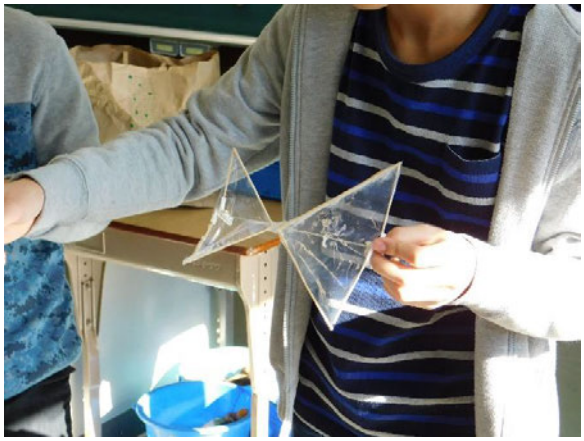


写真 8　完成した羽ばたき飛行機

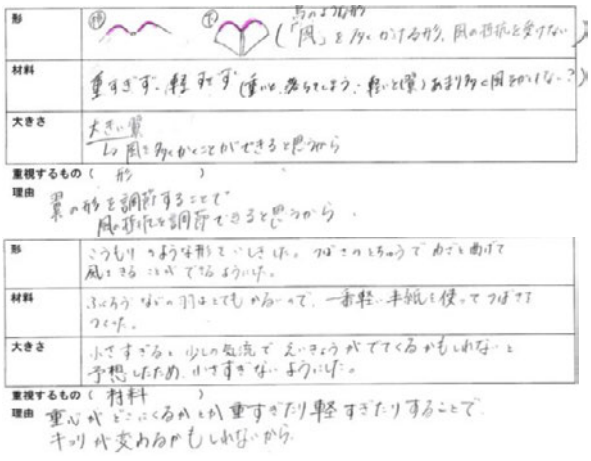
その後、羽ばたき飛行機の作成が終わると実際に飛ばし、飛距離の計測を行った。本実践では、ほとんどの班でうまく飛ばすことができずデフォルトのものと結果が変わらなかった。時間のある班はそこから問題を発見し改良の作業に入った。制作を行いうまくいかなかったことやこうするべきだという改善案が形、材料、大きさについてどのようなものがよいかの考察に現れた。

写真 9　飛距離計測の様子

ワークシートの「翼の形、材料、大きさはそれぞれどのようなものがよいですか。理由も書きましょう。また、あなたが最も重視するものはどれですか。」には生徒の今回の制作を通しての考察が表れている。

「鳥のような形（風を多くかける形、風の抵抗を受けない）」（風を水と同じようにとらえ「かく」という表現を用いている）、「こうもりのような形をいしきした。つばさの途中でわざと曲げて風をきることができるようにした。」、「カモメの翼のような、細長く、しなった翼が空気の抵抗をあまり受けずに、高く飛び上がることができる。」などの生物学的な考え（S 領域）から考察しているもの。

「重すぎず、軽すぎず（重いと落ちてしまう、軽いと（翼）あまり多く風をかけない）、「ふくろうなどの羽はとてもかるいので、一番軽い半紙を使ってつばさを作った」、「はりがね、画用紙を使って、はりがねで羽をつよくして画用紙で羽を丈夫にした。」などの考え（T 領域）から考察している。



形	㊀ ㊁ 鳥のような形（「風」を多くかける形、風の抵抗を受けない）
材料	重すぎず、軽すぎず（重いと、落ちてしまう。軽いと（翼）あまり多く風をかけない。）
大きさ	大きい翼 ∵ 風を多くかくことができると思うから

重視するもの（ 形 ）
理由 翼の形を調節することで 風の抵抗を調節できると思うから。

形	こうもりのような形をいしきした。つばさのとちゅうでわざと曲げて風をきることができるようにした。
材料	ふくろうなどの羽はとてもかるくて、一番軽い半紙を使ってつばさをつくった。
大きさ	小さすぎると、少しの気流でえいきょうがでてくるかもしれないと予想したため、小さすぎないようにした。

重視するもの（ 材料 ）
理由 重心がどこにくるかによって重すぎたり軽すぎたりすることでキョリが変わるかもしれないから。

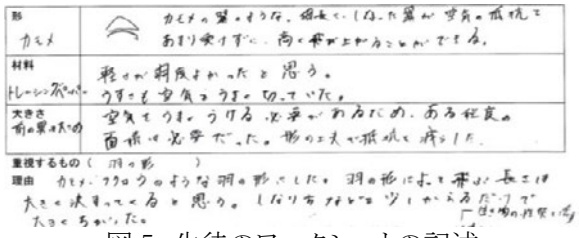


図 5　生徒のワークシートの記述

「輪ゴムをつかったこの飛行機は、羽を動かす回数が多いため大きな羽をもつ鳥より小さな羽をもつ鳥に近い飛び方をしているそのため小さな方がよいと思う。」「羽の大きさと尾のひれの大きさが比例になるようにした方が良い。→バラバラだと、バランスが悪くなるから」というゴムの回転数や、大きさを比例で考える（M 領域）の考察をしている。

そして、最も重視するものは、形、材料、重さ、材料、バランスなど生徒たち自身が実際に作成した経験から述べていた。これらのことから羽ばたき飛行機の制作により生じた問題を解決するために生徒たちは STEM 領域の思考を働かせて考察をすることができていたことが分かった。

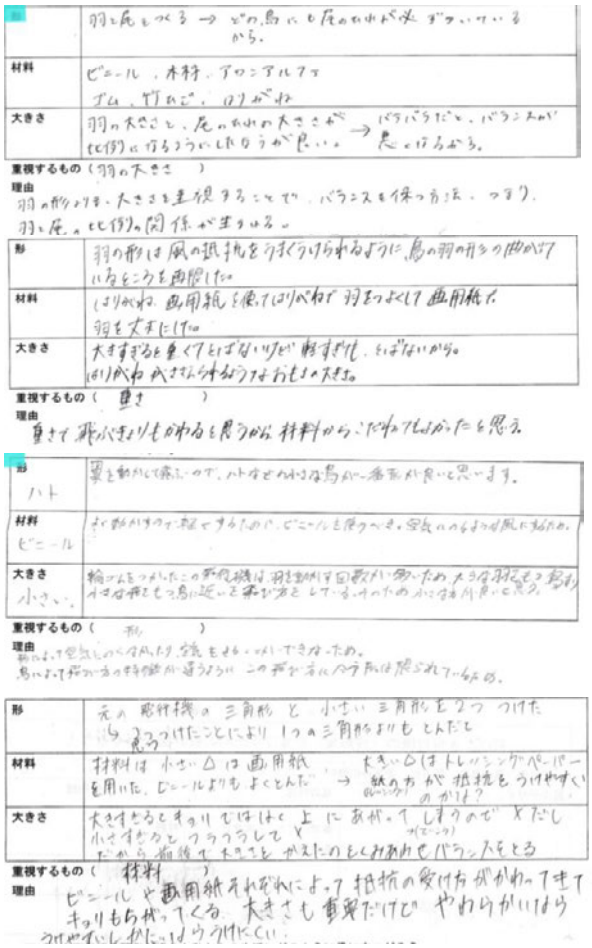


図 6　生徒のワークシートの記述

ワークシートの「羽ばたき飛行機の開発が進むと私たちの生活にどのように役に立つだろう。」では、羽ばたいて空を飛ぶという工学（E 領域）がどのような技術（T 領域）を生むのかについて考えた。「現在の飛行機が改善された飛行機の開発に大きく役立つと思う。また、人々の空の進出に、飛行機以外に貢献することができるようになると思う。」、「人の背中に羽ばたき飛行機をつけて飛べるようになる。」「飛行機がより早く、遠くに飛ぶことができるようになる。」などといった飛行機開発技術の発展に役立つ内容と人が自由に飛ぶ技術が生まれると考えていた。

授業の最後に感想を書いた。その内容の一部を図 7 に示す。

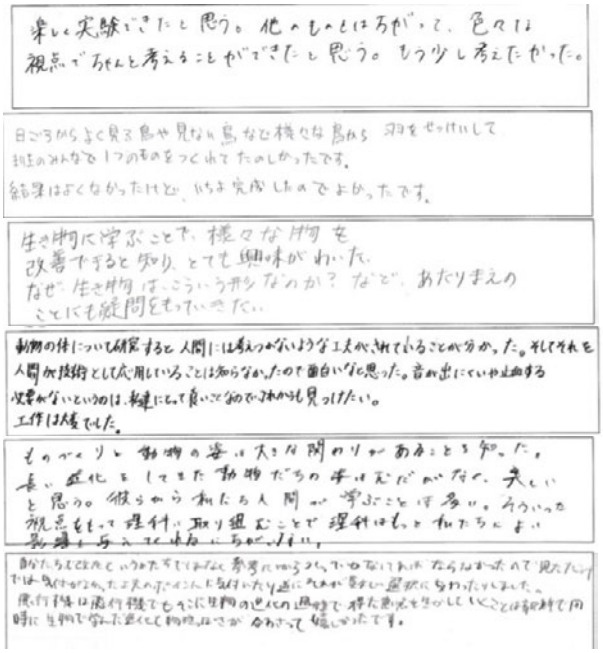


図 7　生徒の感想

感想には「生き物を学ぶことで様々な物を改善することができると知りとても興味がわいた。」「動物の体について研究すると人間には考えつかないような工夫がされていることが分かった。そしてそれを人間が技術として応用していることは知らなかったので面白いなと思った。」などのバイオミメティクスの考え方に触れて生物が身の回りのものに生かされていることに驚いて興味を持ったという感想が多くあった。また、羽ばたき飛行機の作成について作成に対して「時間がなかった」、「難しかった」、「うまくいかなかった」という感想が多くあったが、同時に「試行錯誤することが楽しかった」という感想も見られた。「もっと深く勉強したい」や「生き物の多様性について勉強したい」という感想も見られ生徒の興味関心が高まったといえる。こ

れらのことから NGSS の示す科学教育の到達点として示されている 5 項目のうち 2 項目を満たすことができたと考える。

⑴全ての生徒が科学の美しさと不思議さを賛美することが出来る

すべての生徒が感じたかは分からないが羽ばたいて飛ぶ生き物に対して同じ鳥であるのに多様性があることに対し興味を持っていた。

⑵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ことができる

今回の羽ばたき飛行機の飛距離を伸ばすという課題に対して生き物や生徒がもともと持っている科学知識を使って解決しようとする姿をワークシートから読み取れた。

3.2 定量的視点からの実践の考察

アンケートは表 3 の 6 項目について行った。

STEM 領域（科学、技術、工学、数学）の態度に関するアンケート6項目を調査した。項目1が数学領域。項目 2、3、4 が科学領域。項目 5，6 が技術・工学領域に関する問いである。

表 3 アンケート項目

1	私は数学の応用した学習でもうまくできたと確信できます。
2	科学と関係する学習をするとき、自信をもってできます。
3	私の将来の仕事には、科学が必要となるでしょう。
4	理科に関連したより難しい学習をうまくできます。
5	プロダクト（製品）あるいは建設物を設計することは私の未来の仕事のために重要です。
6	どのように数学と科学を使うべきか知ることにより、有用な発明を可能にするでしょう。

結果は表 4 より項目 1、2，3，4，5 において授業前よりも点数が下がり、項目 6 についてのみ点数が上がった。すべてにおいて有意差 5%が認められる。（$p<0.05$、自由度 302）項目 1 から 5 において事前アンケートよりも結果が下がってしまった原因として最も考えられることはとんどの生徒が授業の最初に示した「羽ばたき飛行機の飛距離を伸ばす」という目標を達成できなかったことが考えられる。中学 2 年生にとって羽ばたき飛行機を自分たちで設計し、作成し、さらにより良い結果を目指すことは非常で困難であり、かつ時間も 3 時間という時間では足りなかったと考えられる。そのため生徒は STEM 領域の知識を使い設計、製作を行ったが成功する体験を得ることができず無力感を感じた結果であると考えられる。つまりこの項目 1 から 5 の結果が事前のアンケート結果よりも下がっていることは生徒たちが STEM の考えを働かせて授業に取り組んだために現れたものだと考えられる。項目 6 についてのみ事前アンケートよりも点数が上がった。項目 6 は数学と科学が技術と関係していると考えるかどうかという質問である。これは今回の実践におけるバイオミメティクスが当てはまる。つまりこの結果から生徒たちはバイオミメティクスのように科学・数学を使うことによって技術が生まれるという考えをもったといえる。

表 4 事前と事後のアンケート結果

事前アンケートの結果

	1 点	2 点	3 点	4 点	5 点		
	強く反対する	反対する	どちらでもない	同意する	強く同意する	平均	合計
項目 1	4	13	46	61	36	3.7	160
項目 2	7	21	48	48	36	3.53	160
項目 3	8	12	37	57	46	3.76	160
項目 4	8	29	54	44	25	3.31	160
項目 5	5	14	39	55	47	3.78	160
項目 6	4	15	47	53	41	3.7	160

事後アンケートの結果

	1 点	2 点	3 点	4 点	5 点		
	強く反対する	反対する	どちらでもない	同意する	強く同意する	平均	合計
項目 1	5	25	60	45	9	3.19	144
項目 2	4	32	61	34	13	3.14	144

項目 3	8	17	46	52	21	3.42	144
項目 4	7	35	61	32	9	3.01	144
項目 5	5	26	51	41	21	3.33	144
項目 6	2	2	27	64	49	4.08	144

事前と事後における T 検定の結果

	項目 1	項目 2	項目 3	項目 4	項目 5	項目 6
P(T<=t) 両側	6.15E-06	0.00115	0.00777	0.012	0.000204	0.000426

これらのことから STEM 領域の学習は生物においても生徒に従来の理科ではすることのないより領域横断的な学習が行われることにより生徒たちの生物に対する姿勢や考えに変化が起こったといえる。本実践の羽ばたき飛行機は生徒たちにとって技術・工学と理科（生物）を結び付けることのできる教材であるといえる。しかし、生徒の感想にもあったように生徒の技能に左右される部分が大きく改良しても思ったように結果が出なかった。このことから、羽ばたき飛行機自体にもっと生徒たちが簡単に改良できるような工夫が必要である。
3D プリンタを使用したことによって安価にかつ大量に学習教材を製作することができた。現在学校では学習キット等を購入し学習する場面が多くあるそのような場面において 3D プリンタはより授業者や生徒の要望に合った学習教材を作り出すことができる。しかしながら取り扱いには 3D プリンタに関する知識や技能が不可欠であり、製作に少々時間がかかるという難点が明らかになった。しかしながらこのことを踏まえても 3D プリンタの普及はこれまでの学校で使用されてきた教材に革新的な変化を与えることが予想される。

4. 今後の課題

今後の課題を 4 点指摘する。

第 1 に本実践は中学 2 年生を対象に行った。しかしながら中学 2 年生にとって本実践の羽ばたき飛行機の設計、製作は難しく発達段階に合わないものであった可能性がある。特に材料を切り接着剤等で組み立てていく場面ではうまくできずバラバラになったり、設計図通りに作るあまり、飛ぶことを度外視した非常にもろい構造で作成したりしている姿が見られた。本実践では羽ばたき飛行機の作成に当たって手順を示した紙を渡しただけでもっと細かな支援が必要であったと考えられる。そのため今後はその支援を丁寧に行い、作成をサポートすること、もしくは高等学校等で実践を行うことが望ましいと考えられる。

第 2 に本実践の当初の目的である 3D プリンタを用いて生徒が 3 次元的にデザインを作り改良を行うことが達成できなかった。これから 3D プリンタを用いるためには 3D プリンタを使用できるだけの知識が必要である。また、生徒たちがより感覚的にデザインを作ることができるようなソフトも必要である。本実践ではこれらのことが障害となり生徒たちに実践させるところまで持っていくことができなかった。そのため代替案として竹ひごなどで改良を行った。今後は 3D プリンタを生徒たちが使った場合どのような思考が生まれるのか本実践と比較し教材を完成させることが望ましいと考えられる。

第 3 に、本実践の内容についてである。羽ばたき飛行機の制作を行ったがほとんどの班が飛距離を伸ばすという目標を達成できなかった。この生徒たちが目標を達成できなかったことが事後アンケートの結果に大きくかかわっていると考えられるため。1 つ目の課題でもあったように手立てや制作をより簡略化し、目標を達成させることが望ましい。

第 4 にアンケートの内容についてである。本実践のアンケートの項目は STEM 領域の態度に関するものであったが問い方が「〇〇できる」というものであったため、自分の本来の考えではなく直近の活動の内容に大きく影響されたと考えられる。質問の項目についてもこれからよりわかりやすく、適切なものを選んでいくことが望ましい。

本研究から実践による STEM 領域の態度の向上は見られなかったが、ワークシートの記述から生徒たちに STEM 領域に関する影響を与えたことは明らかである。本研究の授業開発は完全な状態で行われたとはいえない。今後、課題を解決した際に得られる結果は本実践のものと異なってくることが考えられる。そのために研究をさらに進めていくことが望まれる。

［参考文献］

熊野善介(2015)「静岡 STEM ジュニアプロジェクト Shizuoka STEM Junior Project」
奥村仁一(2016) 高等学校生物における生徒の主体的・能動的な学びを生成するための授業の在り方に関する実践的研究 －米国 STEM 教育研究を踏まえて－
熊野善介(2012)「今こそ理科の学力を問う 新しい学力を育成する視点」東洋館出版社,p103

ASSE(2013)Student Attitudes toward STEM: The Development of Upper Elementary School and Middle/High School Student Surveys https://eval.fi.ncsu.edu/wp-content/uploads/2013/03/Student-Attitudes-toward-STEM-ASEE13-ERM-Final.pdf

中央教育審議会答申(2016)「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及び必要な方策等について」 http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf

［謝辞］

本研究の一部は科研基盤(B)16H030580「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(代表者:熊野善介)」の助成を受けて行った.

中学生の岩石・鉱物の二次的活用の有用性の認識について
-静岡中学校3年生154人の調査結果-
The meaning which studies the rock and mineralogy which a junior high school student considers – The questionnaire of 154 third-year students in the Shizuoka junior high school-

○竹林 知大, 熊野 善介
TAKEBAYASHI Tomohiro and KUMANO Yoshisuke
静岡大学 創造科学技術大学院 情報科学専攻
Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University

［要約］ In an industry, a rock and a mineral are one of the important substances from our familiar life. A rock and a mineral are shown by interpretation of a "igneous rock", a "sedimentary rock", and a "rock forming mineral" in the science of the sixth grader in an elementary school, and the first-year student in a junior high school, in Japan. "If rocks and minerals are studied, is those knowledge useful for our life?", we made the questionnaire 154 junior high school students. Fifty-six percent of students "I'm not sure" or "it is not helpful to our life." The junior high school for investigation is the Shizuoka University department-of-education attached Shizuoka junior high school. This school has a high deviation value compared with public junior high schools in Japan Therefore, it is a very important survey content used as the index at the time of treating the big data of the results of an investigation of a future public junior high school. Therefore, this research is an important report which suggests the result of the public junior high school investigated hereafter.

［キーワード］ 岩石, 鉱物, 地学教育, 地球システム, STEM 教育, 中学生

1. はじめに:岩石と鉱物を学ぶ意義について

日本の理科教育は物理・化学・生物・地学の4つに分けられる。その中で地学は惑星を科学する学問であり、その最も基礎的な学問分野として、岩石学や鉱物学がある。岩石学や鉱物学は理学的、工学的に重要な分野の一つである。

その理由は極めて明確で、理学分野においては惑星の進化の解明に用いられたり、工学の分野においては、鉱物資源などの産業に活用されたりするからである。地球の鉱物種は、2017 年現在までに 5256 種類に上り, 現在も新鉱物が次々と発見されている(IMA 2017)。多様な鉱物の中で、ある特定の鉱物は資源を含んでいる。例えば、一般金属やレアアースは現代社会において不可欠な物質である。現代社会では、ハイテク機器が産業から一般家庭まで普及し、資源の需要が急増している。資源の安定供給は世界規模の最優先課題であり, 資源を得るために、鉱床の成因や鉱物・鉱石の成因を理解する必要がある。例えば、金や銀などの希少金属は、鉱物中でどのような挙動をし、どのような条件で産出するのかが議論されてきた(e.g. 円城寺 1976, 薬師・円城寺 2004)。最近では鉱物中のレアアースが注目されてきており、レアアースの含まれた鉱物の採取が進められている(Kato et al., 2011)。岩石や鉱物は、私たちにとって身近な物質の一つであり, それらが私たちの生活に貢献している事は間違いないと言える。これらのことから、岩石・鉱物を学ぶ事は、私たちの産業や生活を支える資源を学ぶ事に繋がり, それらが私たちの日常の基盤となる重要性を伝える必要がある。

1.2 問題の所在

本研究の調査目的は、地球科学(地学)において岩石・鉱物対する中学生の認識を把握するための調査である。日本における地学教育は中学校のカリキュラムで必須科目として行われる。中学校で行われる理科の内容において地質学を焦点とした内容は、火成岩と堆積岩の形成メカニズムであり、現行の指導要領によると、これらの内容は中学校 1 学年で履修される(指導要領 2017)。また中学校で扱う岩石と鉱物は、岩石が 14 種類(火成岩・堆積岩)、鉱物が 7 種類である(平成 28 年度版 大日本図書)。

一方、高等学校では選択科目として行われて

いる。高等学校への進学後の地学履修率は地学基礎で 34.60 %、地学で 1.20 %である(文部科学省 2016)。この結果、子どもたちの地学を学ぶ機会は中学校で留まり、その後の地学を学ぶ機会が減少している現実がある。

では中学校三学年までに、中学生が地球科学や岩石・鉱物に対してどのような関心を持っているのであろうか。

2. 調査方法

本調査は、静岡大学教育学部附属静岡中学校の中学 3 年生 154 人(男子生徒:83 人、女子生徒:71 人)に対してアンケート調査を行った。アンケート調査実施日は、2017 年 7 月 20 日である。対象者の理科における地学の履修状況としては、岩石と鉱物の単元(火成岩・堆積岩)が一年次に履修済みである。アンケートにおける質問項目は以下の通りである。

『岩石・鉱物は私たちの生活に役立っていると思いますか？』:「はい」、「いいえ」、「わからない」の選択と、理由を自由記述式で質問した。

『あなたが知っている鉱物の名前を示してください』: 自由記述式で回答制限を設けない。

3. 調査結果

3.1 岩石・鉱物は私たちの生活に役立つと思いますか？の回答結果

岩石・鉱物が私たちの生活に役に立つと思う生徒の数は 67 人(男子 47 人, 女子 20 人), 岩石・鉱物が私たちの生活に役立たないと思う生徒の数は 32 人(男子 18 人, 女子 14 人), 岩石・鉱物が私たちの生活に役立つか分からないと思う生徒の数は 55 人(男子 18 人, 女子 37 人)であった。この結果, 岩石・鉱物が私たちの生活に役立つと思う生徒の割合は, 全体の 43.50%, 役立たないと思う生徒は 20.78%, そして, 分からないと思う生徒は 35.71%であり, 岩石・鉱物が私たちの生活に役立つと思わない生徒と私たちの生活に役立つか分からない生徒の合計が 56.49 %で、過半数を超える結果となった(Fig. 3.1.1)。

岩石・鉱物が私たちの生活に役立つかどうかの質問に対する回答で, 役立つ・役立たない・分からないの選択肢の後, その選択に対する理由を自由形式に記載してもらった。その結果, 161 人中 154 人の回答を得る事が出来た。それらの回答結果は, 名詞, 動詞, 形容詞ごとに単語抽出を行った。役に立つと答えた生徒の理由は、「宝飾」「建材」「金属資源・エネルギー」「ハイテク機器」などの具体的な例(名詞)を挙げた回答が目立った。一方、役に立たない・分からないと答えた生徒は、具体的な例(名詞)が見られなかった

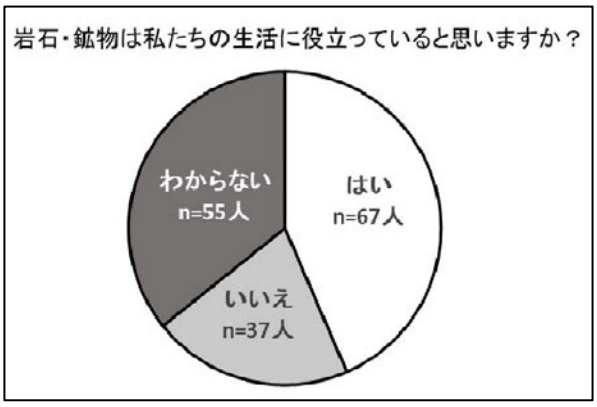


Fig.3.1. 「岩石・鉱物は私たちの生活に役立つと思いますか？」の回答結果。

3.2. あなたが知っている鉱物の名前を示してください。の回答結果

『知っている鉱物の名前を挙げてください』と質問をところ、152 人の回答を得る事が出来た。回答する鉱物における個数の上限は特に設けず、回答者が答えられる範囲内で回答を行ってもらった。全体回答のうち最も多く挙げられた鉱物名は黒雲母 79 人であった。中学校で出てくる鉱物 7 種別に回答数を見ると、石英 61 人(2 位)、輝石 54 人(3 位)、長石 53 人(4 位)、橄欖石 36 人(6 位)、角閃石 29 人(7 位)である。全体回答のうち 5 位に挙げられた鉱物はダイヤモンド 50 名であった。この他の回答では、鉱物以外に岩石の名前や宝石の名前を挙げている人が確認された。その内に宝石名を挙げた生徒数は 37 名で全体の 20.38 %を占め、岩石名を答えた生徒は 25 名で全体の 16.44 %を占めた。回答例を下記に載せる(Fig. 3.2)。

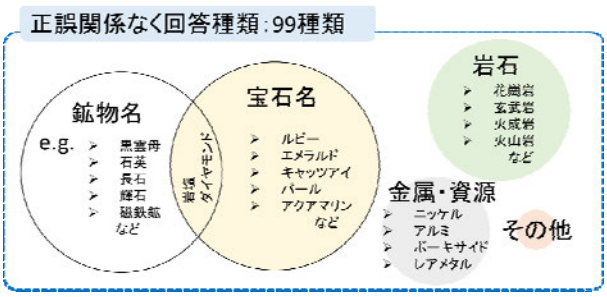


Fig. 3.2. 「あなたが知っている鉱物の名前を示してください。」の回答結果。

4. 議論

4.1 岩石・鉱物を学ぶ事の意義を知らない生徒が過半数

『岩石・鉱物が私たちの生活に対して役立っていない』、または『岩石・鉱物が私たちの生活に役立っているか分からない』と答えた生徒が過半数(56%(n=87))を超えたことは，中学生が岩石・鉱物を学ぶ意義を理解せず，単純に暗記項目として扱っている事を示す証拠の一つである。『岩石・鉱物が私たちの生活に役に立っている』と答えた生徒の自由記述式の理由回答によると、彼らは資源、電子機器、建材、装飾品などに使われているとの具体的な回答を得ることができた。彼らは、鉱物単体の利用価値ではなく、鉱物を応用すると利益が生じる事を理解している可能性が高いと考えられる。一方、『岩石・鉱物が役に立っていない・分からない』と答えた生徒の自由記述式の理由回答によると、具体的な名称が使われず、否定的な文章が目立った。

彼らに対して知っている鉱物名を挙げる内容を聞いたところ，岩石・鉱物・宝石名を95％(n=93人)生徒が答えており，これらの傾向から彼らは鉱物・岩石・宝石の名前を知っているが、それらが何に使われているかが分からないまま暗記している可能性が極めて高い。

4.2 岩石・鉱物を学ぶ事の意義を知らない生徒の将来

岩石・鉱物は現代社会において資源として不可欠である。例えば、私たちが普段の生活で使用している電化製品の全ては、金属鉱物を利用している。例えば、快適な生活を過ごすためのエネルギー資源は、鉱物から採取されている。建造物の石材や装飾品では多様な岩石が使用されている。近年では産業のみならず日常生活にもハイテク機器が普及し、レアアースや金の鉱物資源の需要が急増している。これらの例から、岩石・鉱物から生活への利用は、現代社会を支える重要な基盤である。現行の日本の理科の教科書には、岩石・鉱物は一年次の火成岩と堆積岩の分野で扱われる。それらの鉱物が工学的に利用されている事は、コラム欄で紹介されている。現行の中学校学習指導要領(理科)によると，岩石・鉱物学に関する内容は2年次以降に触れられる事がない(文部科学省 2017)。　全国高等学校での地学履修率が地学基礎で36％、地学で1.2％であり、彼らが地学を高等学校への進学した後に学ぶ機会は極めて少ない。つまり、子どもたちは、技術開発や資源開発に繋がる基礎的な事項を学ぶ機会が殆ど無い。そもそも、鉱物の存在意義を知らぬまま暗記するだけで，地球科学リテラシーは不十分であると言えないだろうか。

4．3 子どもたちの鉱物と宝石の混同認識

鉱物名と宝石名は定義が異なる。鉱物は国際鉱物学連合によって定義が定められており，その定義は「自然に産するほぼ一定の化学組成と結晶構造をもつもの」である。一方の宝石名は外見が美しい石を示す。その為、時に宝石名は外見が異なる為別々の名称がつけられているが、鉱物の定義から捉えると同種である場合もある。(e.g. サファイアとルビー，エメラルドとアクアマリンなど)岩石・鉱物の内、外見が美しいものは装飾品として加工される。最近の国内では比較的安価で購入できる岩石・鉱物の装飾品はパワーストーンとして市場に出回り、観光地での土産として取り扱われている。その為、鉱物名に比べて宝石名や装飾品名などの名前を見かける機会が多いと推測できる。このことから、子どもたちは鉱物名と宝石名が混同して覚えてしまう可能性が極めて高い。

5. 結論

(1)　静岡中学校の中学三年生 154 人中、56％(n=94)の生徒が、岩石・鉱物の産業や生活での有用性を理解していない。

(2)　中学三年生 95％(n=143)の生徒は、鉱物名や宝石名、岩石名は答えられ、それらの物質が産業や生活に役立っていることを認識していない。岩石や鉱物を暗記項目として扱っている可能性がある。

(3)　鉱物と宝石を混同して覚えていたり、鉱物の定義を曖昧に理解したりする生徒が多い可能性がある。

(4)　鉱物は産業や工業など二次的に利用されている。特にハイテク機器の開発が進む現在、その基盤を支える物質は鉱物資源である。理学的面からみても、鉱物は地球の進化を解き明かす重要な物質である。このことにより、子どもたちには鉱物を単に暗記科目として教えるのではなく、理学的価値と工学的・技術的価値の両面を認識させる必要がある。

6. 今後の展望

6.1 データの増強

本実験は静岡大学教育学部附属静岡中学校の一校のみで行った調査である。この中学校は一般の公立学校に比べて偏差値が高い学校である。また、文部科学省の学習指導要領に従った学習内容を履修しており、日本の教育水準を満たしている。故に、他の公立中学校にて同様な調査を行うと、同様の結果もしくは更に岩石・鉱物の二次的利用の認識がより低い結果が生じると予想ができる。本研究を基として、さらに別の学校を調査し、

データの増強をする必要がある。

6．1 教材開発：STEM 教育への応用

教材開発及び教育モデルの提案は、アメリカの STEM 教育を参考に議論展開を試みる。アメリカで行われている科学教育は、NGSS が提唱した STEM 教育を基盤として展開されている。この STEM の概念は、科学、テクノロジー、エンジニアリング、そして数学を駆使した学問分野である。STEM 教育は、単なる領域横断型の教育ではなく、科学技術の発展や応用性、科学の本質を理解し、自然の事象の課題に対し、幅広いスキルを利用して子どもたちと一緒に課題解決を目指した内容である。

現在日本ではアメリカでの STEM 科学教育の動向の調査が進み、STEM 教育の目標や有益性、さらには日本の文脈や理科教育への応用の可能性について、最終報告書としてまとめられている（熊野 2014）。

地球科学分野では STEM 教育が NASA や USGS などの研究機関の教育部門にも適用され、対象年齢ごとに教材開発が進められている。また、NASA や USGS は独自の STEM 教材開発を行い、それらの教材を使用して実践教育を行っている。例えば、NASA の場合は、カリキュラムを作成し、科学者や工学者が一般市民に向けて科学教育を行っている。また、近年は SNS が普及し、最新の科学データを市民に提供するサービスもされている。

地球科学分野の STEM 化は、アメリカで実践されているが、現在の日本ではまだまだ未開拓であり、日本の地質に特化した STEM 開発の可能性を吟味する必要がある。

6．2 岩石学・鉱物学への STEM 化の可能性

鉱物・岩石学の分野においても STEM の概念を適用できる可能性が極めて高い。サイエンスの分野は岩石・鉱物の成因論的研究や地球進化への探究に関わってくる。テクノロジー・エンジニアリングの分野では、岩石・鉱物の二次的利用や工業的利用、そして鉱物に対する機器分析で関わってくる。そして、数学の分野では、熱力学計算や物質の計算で関わってくる。故に，岩石・鉱物を教育素材として焦点を置いたとき，それらを利用した STEM 教材の開発が成功する期待は極めて高い。日本の中学校学習指導要領解説の理科編によると、科学技術の発展についての言及がある。具体的記述として「資源やエネルギー資源の有効」や「深海探査」などの工学的要素を理科に組み込む必要性があることが述べられている(文部科学省 2017)。つまり、科学分野と工学分野は、教育の分野において関係性が密接であり、両分野を横断して学習する事が現在求められている。よって、これからの岩石・鉱物学を用いた教育を考える場合、STEM 教育の概念を取り入れた教育モデルをより具体的に構築する必要がある。

［文献］

- 円城寺守．(1976)．鉱脈鉱床産流体包有物研究の現状と動向．鉱山地質特別号，(7), 85-100.
- Kato, Y., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., Kitamura, K., Ohta, J., … & Iwamori, H. (2011). Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. Nature geoscience, 4(8), 535.
- 熊野善介．(2014)．科学技術ガバナンスと STEM 教育．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.
- 薬師大五郎, & 円城寺守.(2004)．南部フォッサマグナ地域における鉱床の形成場と生成時期．資源地質, 54(2), 167-174.
- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2016)．平成 27 年度全国学力・学習状況調査の結果（概要）
- IMA report (2017). The New IMA List of Minerals - A Work in Progress - Updated: May 2017
- 文部科学省 (2017)．新学習指導要領
- 文部科学省 (2016). On the results of the survey on the formation and implementation of curriculum at public high schools. http: and and www.mext.go.jp and a_menu and shotou and new-cs and 1368209.htm
- 大日本図書 (平成 28 年度版)．新版 理科の世界

［謝辞］

本研究は静岡中学校の全面協力により進めることが出来ました。研究の議論にて指導教官の熊野善介教授から終始熱心な御指導を賜りました。静岡中学校の海野雅爾教諭から、調査の御協力と御助力を頂きました。皆様方の御協力によって調査を遂行することが出来、皆様方へ感謝の意を表します。誠にありがとうございました。

STEM Education in Japan: A Comparison of Students' STEM Attitudes Across Learning Sites

Jeanna R. Wieselmann

Statement of the Problem

In an increasingly technological world, science, technology, engineering, and mathematics (STEM) are of unprecedented importance for preparing skilled professionals to fill the large number of STEM-related jobs. Integrated STEM education is becoming increasingly common in the United States, but Japan is in the early stages of exploring the possibilities of integrated STEM at the elementary, middle, and high school grade levels. As Japanese educational policy related to STEM is shaped over the coming years, there is a need to understand the STEM education programs and pedagogies that are most effective for Japanese students.

Despite progress in gender equity in STEM, females continue to be underrepresented in STEM professions in both the United States (NSF, 2015) and Japan (Council for Science and Technology Policy, 2010). Women in the U.S. are greatly underrepresented in engineering, computer sciences, and physics (NSF, 2015). In 1960, less than 1% of engineers in the U.S. were female; in 2013 that number had only reached 12% (Corbett & Hill, 2015). In Japan, only 13.6 percent of undergraduate engineering majors are women (Gender Equality Bureau, 2016). Females in STEM fields in Japan are faced with the perception that femininity is incompatible with science, leading to identity struggles (Tanikawa, 2013). Issues of equity are prevalent in STEM fields around the world, and research must investigate and look to address these issues to provide individuals with the information, opportunities, and experiences needed to give everyone the chance to enter a STEM field.

Brief Literature Review

Science Education in Japan

In 1995, Japan adopted the Science and Technology Basic Law, with the goal of more systematic achievement in science and technology for both economic and personal welfare reasons (Council for Science and Technology Policy, 2010). Japan's 4th Science and Technology Basic Policy Report specifically pointed to the need to promote the activities of females in research and the sciences, setting target percentages of female participation and outlining expected systems of support for women in universities and public research institutions. However, policy in Japan has largely focused on higher education and workplace factors to make STEM careers more appealing to women (Council for Science and Technology Policy, 2010). Although this is certainly a positive step toward gender equity, research in the U.S. suggests that these efforts may come too late in females' development of career aspirations. In middle school, even though girls' grades remain high, they are less interested in science and engineering than boys are (Hill, Corbett, & St. Rose, 2010). In order to determine what contributes to the decline in STEM interest, researchers must look to the middle school grades.

The Japanese government released a new course of study for the country's schools in March of 2017. The new course of study focuses on three key areas of learning for students: agentic learning with intrinsic motivation, deep communication, and deep learning (Ministry of

Education, Culture, Sports, Science, and Technology - Japan [MEXT], 2017). Active learning is central within the new course of study, and a STEM education framework could be used to promote the type of active learning proposed by the Japanese government.

Integrated STEM Instruction

STEM disciplines are frequently taught as distinct subject areas, but many STEM careers involve a blend of content from different disciplines (Honey, Pearson, & Schweingruber, 2014). STEM integration seeks to merge the disciplines and is promoted as a way to engage students in topics that are of interest to them while teaching critical thinking and core content knowledge required for future success in STEM careers. With an increased focus on integrated STEM instruction in the United States and other countries around the world, it is important to note that there is not a clear definition of what it means for a curriculum to be integrated (Roehrig, Wang, Moore, & Park, 2012) or common approach to integrating STEM disciplines in practice (English, 2016).

Despite the varied approaches to integrated STEM, commonalities across approaches demonstrate that several components are necessary for quality STEM instruction. For example, integrated STEM units should use an engaging, real-world context (Moore et al., 2014; Breiner, Harkness, Johnson, & Koehler, 2012; Brown, Brown, Reardon, & Merrill, 2011); explicitly identify connections between STEM disciplines and model these connections in a manner authentic to STEM careers (English, 2016; Kelly & Knowles, 2016); and use student-centered pedagogies to develop students' problem-solving skills (Rinke, Gladstone-Brown, Kinlaw, & Cappiello, 2016; Breiner et al., 2012; Labov et al., 2010). These common features of integrated STEM instruction align with the active learning pedagogies emphasized in the Japanese course of study (MEXT, 2017). The focus on engaging contexts and connecting STEM disciplines aim to foster intrinsic motivation in students, as is desired by the Japanese government.

Research indicates that integrated STEM instruction may support increased STEM interest among students (Honey et al., 2014), making it an important area for continued study. For example, Guzey, Moore, Harwell, and Moreno (2016) found that students who were taught using an engineering design-based science curriculum showed more positive attitudes toward STEM following the unit of instruction than they had prior to instruction. A case study of 16 minority women in undergraduate science classes found that the decontextualized nature of traditional science lectures negatively impacted students' interest in science (Johnson, 2007). These findings are paralleled by research findings at the elementary school level. For example, despite enjoying science, 10-year-old girls in the United States fail to see the connections between their science activities at school and real-world work as a scientist, and they believe science is a difficult, potentially dangerous, and masculine field (Archer et al., 2010).

Because girls are negatively impacted by decontextualized science teaching with a focus on facts (Johnson, 2007), STEM integration may provide the needed context and authentic application of science content to strengthen girls' interest and involvement in STEM. As the Japanese government considers whether to implement integrated STEM instruction in the elementary and middle school grade levels, opportunities abound for learning about the types of experiences that girls find especially motivating in the Japanese context.

Research Design

This study employed an embedded mixed methods design to investigate three different educational experiences in Japan. According to Plano Clark and Creswell (2015), this type of research design is appropriate because the primary quantitative data could be supported by secondary qualitative data, and both types of data were gathered concurrently. This study aimed to answer the research questions:

1. What differences, if any, are present in male and female attitudes toward STEM in the Japanese context?
2. Which factors of a STEM experience are particularly important for fostering interest and motivation in STEM among girls?

The primary data source was a survey created in collaboration between American and Japanese researchers. The survey items were modified from the STEM Career Interest Survey (STEM-CIS), a 44-item survey that assesses students' interest in STEM fields (Kier, Blanchard, Osborne, & Albert, 2014). The items were translated to Japanese, and the technology and engineering items were rephrased in some cases to make them understandable to Japanese students. After adapting the survey instrument to the Japanese context, a total of 35 Likert scale items were included across three subscales: science, mathematics, and engineering and technology. Item responses ranged from 1 (strongly disagree) to 5 (strongly agree). The survey items aim to measure students' self-efficacy, outcome expectations, interest, contextual supports and barriers, and personal goals in science, mathematics, and engineering and technology. Four to six open-ended items were also included in the survey to gain more insight into students' attitudes toward STEM fields. These questions asked students to explain whether they felt like scientists or engineers, previous successes in STEM, STEM career interest, and their perceptions of their likelihood of success in a STEM career.

The survey instrument was initially piloted with a group of 16 students participating in an informal STEM experience. Areas of confusion were modified before the instrument was used with other groups of students, all of whom were the same age or older than the pilot group of students. Program observations at each site supplemented the survey data in this study.

Context and Participants

Three distinct science or STEM experiences for middle and high school students in Shizuoka City, Japan, were included in this study. The programs include Shizuoka Kita High School, Shizuoka STEM Academy, and Shizuoka Attached Junior High School. These settings were selected for study because each provides a unique application of STEM instruction, ranging from formal science instruction to out-of-school open inquiry. These varying perspectives provide the opportunity to compare outcomes across programs and identify components of each program that are integral to increasing female interest in STEM.

Shizuoka Kita High School. Shizuoka Kita High School is a member of the Shizuoka Institute of Science and Technology (SIST) group, which includes a university, two secondary schools, and six technical schools. A total of approximately 1,600 students in grades 7-12 are enrolled in Shizuoka Kita High School in three different courses of study: Science and Mathematics Course, International Communication Course, and General Course. This report focuses on the students enrolled in the Science and Mathematics Course, which aims at producing future scientists and technical experts. This course includes special coursework as well as research projects and is authorized as a Super Science High School.

Shizuoka Kita High Schools is engaged in an international joint project with Thailand, and this study focuses on students who were part of the international collaboration. Ten students and three teachers from Thailand visited Shizuoka Kita High School and participated in activities focused on energy use and innovation. The international exchange included visits to a university and power plant as well as workshops about energy use. One of the workshops, conducted by the researcher and others from Shizuoka University, focused on integrated STEM activities and include hands-on activities in physics, chemistry, and Earth science. Over the course of four hours, students investigated wind energy, wastewater treatment, and mineral uses, and surveys were collected from 26 Japanese students, all of whom were male and in grade 11.

Shizuoka STEM Academy. Shizuoka STEM Academy is an out-of-school STEM program with session meetings taking place on weekends. The program is in its second year of operation (originally called the Shizuoka STEM Junior Project) and is targeted toward students with an interest in STEM, although there are no prerequisite experiences. Shizuoka STEM Academy is open to students in grades 5-9, and participating students attend a total of 10 sessions between October 2017 and February 2018. Each session is approximately six hours long and includes a break for lunch.

The first four sessions of Shizuoka STEM Academy were taught primarily by two pre-service science teachers working on their teaching theses, with some whole group components taught by a Ph.D. in science education. During the small group components, students split into two sections based on whether they were new to the Shizuoka STEM Academy or had attended the previous year. Students who were attending for the first time designed water rockets and manipulated variables to determine how they affected the flight of the rocket. The pre-service science teacher who led this section focused on teamwork and metacognition. Students who were participating in the Shizuoka STEM Academy for the second year studied metals and how to confirm whether a substance is gold. The remaining six sessions of Shizuoka STEM Academy will be led by an instructor with a Ph.D. in science education. Each session will include an integrated STEM activity, such as designing a roller coaster, solar ovens, or pinhole cameras.

In addition to the guided activities planned by the instructors and already described, an open inquiry component called Stage 2 is included for students who would like to investigate a question of interest to them. This work was carried out individually in the first year of Shizuoka STEM Academy but will be conducted in small groups during the second year. Stage 2 students work together to generate a question, identify a method of investigation that is suitable for the question, collect relevant and replicable data while minimizing error, and analyze the data, including some discussion of basic statistics. At the time of this study, students identified an initial focus question: How can we experience shopping for clothing in the home and trying on clothing via virtual reality? This question will continue to shift and will be broken into manageable pieces as students consider how to investigate this question. Thirteen students participated in the Shizuoka STEM Academy (see Table 1 for participant characteristics).

Shizuoka Attached Junior High School. Shizuoka Attached Junior High School is formally attached to Shizuoka University, so there are a variety of opportunities for collaboration and joint learning between teachers, professors, and pre-service teachers. The school follows the Japanese course of study as required, but is also able to supplement the curriculum with innovation in teaching and learning, including STEM. Its status as an attached school means it is more likely to include experimental teaching strategies than schools that are not attached to a university. The school's focus this academic year is on developing students' 21st century skills, including adaptability, complex communication and social skills, non-routine problem-solving

skills, self-management, and systems thinking (National Research Council, 2012). Although integrated STEM instruction is not a formal part of the curriculum, science teachers from this school have been exposed to STEM on several occasions through their participation in faculty development experiences. All students of Shizuoka Attached Junior High School were surveyed (see Table 2 for participant characteristics).

Data Collection

Surveys were administered to students at each of the three sites. Students at Shizuoka Kita High School completed paper surveys following the STEM workshop. Students at Shizuoka Attached Junior High School completed paper surveys on a typical day of their science class. Students at Shizuoka STEM Academy completed online surveys with the same items as the paper versions. These students completed the survey prior to the first Shizuoka STEM Academy session, and eight of the thirteen students also completed the survey following the first four sessions. The survey will be administered on one additional occasion following the final session in February 2018.

Data Analysis

Survey data were input in a spreadsheet for initial analysis and data cleaning. Average scores were calculated for each student on the three subscales. The math and science subscales each consisted of 11 survey items, and the technology/engineering subscale consisted of 13 items. Averaging student responses to the subscale items allowed for comparisons across subscales. An overall average score that included responses to all 35 items was also calculated for each student.

Data analysis methods varied for each site because of the wide range in number of participants at each site. A two-way Analysis of Variance (ANOVA) was conducted for cross-site comparisons, a Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) was used for Shizuoka Attached Junior High School, correlation coefficients were used for Shizuoka Kita High School, and qualitative analysis of open-ended responses was used for Shizuoka STEM Academy.

Findings

Cross-Site Comparison

A two-way ANOVA was conducted to compare the main effects of program and gender and the interaction effect between program and gender on students' overall average STEM scores. Program included three levels ((Shizuoka Kita High School, Shizuoka STEM Academy, and Shizuoka Attached Junior High School), and gender consisted of two levels (male and female). See Table 3 for full results of the ANOVA. The main effect of program was not statistically significant [$F(1, 493) = 0.08$, $p = 0.78$]. The main effect of gender was marginally statistically significant [$F(1, 493) = 3.63$, $p = 0.06$]. The two-way interaction between program and gender was statistically significant [$F(1, 493) = 6.59$, $p = 0.01$].

These results show that there is a need for more investigation of gender effects on STEM attitude scores. The statistically significant two-way interaction between program and gender demonstrates that the effect of gender depends on the program. More detailed analyses of students in each program can be found in the following sections.

Shizuoka Kita High School

No female students were present in the grade 11 Science and Mathematics Course that participated in the exchange with students from Thailand. Because no data are available on female students, gender comparisons are not possible for Shizuoka Kita High School. However, analyses of male subscores from Shizuoka Kita High School revealed that the only statistically significant correlation of subscales was between the science and engineering/technology subscales ($r = 0.59$, $p < 0.01$). Qualitative data in the form of open-ended survey responses are being translated, and qualitative analysis will be conducted in the future.

Shizuoka STEM Academy

With a total of only 13 students enrolled in the Shizuoka STEM Academy and complete survey data on both survey occasions for only eight students resulting in limited statistical power, this section will focus on the qualitative analysis of students' open-ended survey responses. Students wrote answers to open-ended survey questions before the first Shizuoka STEM Academy session and following the fourth session on November 26, 2017. Of the students who responded to the second survey, six were female and two were male.

After the first four sessions of the Shizuoka STEM Academy, all eight survey respondents said they felt as though they were scientists or engineers while engaging in the activities of the STEM Academy. They referred to conducting experiments, thinking independently of their teachers and parents, and making discoveries as key factors in feeling like scientists and engineers. Importantly, these are intrinsic factors that the Japanese government is hoping to promote in students (MEXT, 2017).

In the pre-STEM Academy survey, six of the 13 students could not describe a time that they felt successful in STEM. A shift was seen after four sessions, with all of the students able to describe a STEM success they had experienced at Shizuoka STEM Academy. Many of the successes focused on successfully carrying out an experiment, including careful control of variables, data collection, and drawing conclusions. Six students reported feeling more more confident in STEM because of the Shizuoka STEM Academy. They referred to independent thinking, sharing their ideas with peers, designing investigations, and persevering in the face of challenges as key features of the STEM Academy that increased their confidence.

Finally, students in the Shizuoka STEM Academy expressed interest in pursuing STEM opportunities in the future. After the first four sessions, all eight survey respondents reported interest in a future STEM profession. They identified opportunities for independent thinking and contributing to a better future as appealing aspects of STEM careers. In addition, seven out of eight students expressed confidence in future success in STEM careers because of their experiences at the Shizuoka STEM Academy.

Shizuoka Attached Junior High School

A MANOVA was conducted to compare main effects of grade and gender and the interaction effect between grade and gender on students' STEM attitude scores in each of the subscales. MANOVA is appropriate in this case because multiple dependent variables (science subscale, mathematics subscale, and engineering/technology subscale) are being measured at the same time. The MANOVA revealed a statistically significant main effect of gender [$F(3, 450) = 11.9$, $p < 0.001$]. Neither the main effect of grade nor the interaction effect of grade and gender were statistically significant.

Univariate ANOVA analyses were conducted on each of the STEM attitude subscales to better understand the effect of gender on each individual subscale. See Table 4 for a summary of

results. The main effect of gender was statistically significant for the science subscale [$F(1, 452) = 14.20$, $p < 0.001$], the mathematics subscale [$F(1, 452) = 13.20$, $p < 0.001$], and the engineering and technology subscale [$F(1, 452) = 32.02$, $p < 0.001$]. All of the effect sizes are small to medium according to Cohen's (1988) conventions, with the greatest effect size ($d = 0.53$) for engineering and technology.

In all cases, males had higher survey scores than females (see Table 5), which indicates that males tend to have more positive attitudes toward STEM areas. Qualitative data in the form of open-ended survey responses are being translated, and qualitative analysis will be conducted in the future.

Discussion

This study explored students' STEM attitudes across three different learning sites. Each site had a unique focus and population of students. Although the study was limited by sample size for two of the sites and the lack of female representation for one site, several important findings emerged. As demonstrated by the statistical analysis of male and female survey scores at Shizuoka Attached Junior High School, middle school girls have less positive attitudes toward STEM fields than their male peers. This difference was statistically significant for all three subscales of the survey but had the largest effect size for the engineering and technology subscale. The presence of gender differences in STEM attitudes demonstrates a need for ongoing work to foster interest and motivation in STEM among girls. This need is perhaps best illustrated by the absence of girls in the Science and Mathematics Course at Shizuoka Kita High School. At the age of 10, students tend to have high levels of interest in science (Murphy & Beggs, 2005); however, from that age on, many research studies have found that interest in STEM tends to decrease (e.g. Wells, Sanchez, & Attridge, 2007; Capobianco, Yu, & French, 2015; Archer et al., 2010), especially among girls (Turner et al., 2008). This decrease in STEM interest coincides with decreases in self-efficacy in science among students in Taiwan (Hong & Lin, 2013). In middle school, even though girls' grades remain high, they are less interested in science and engineering than boys are (Hill et al., 2010). The present study demonstrates similar gaps in STEM interest and motivation between Japanese boys and girls at the junior high school level. In order to promote gender equity in STEM workplaces, as is desired by the Japanese government, girls must have the types of experiences that encourage them to enroll in STEM-related coursework in junior high school and beyond. This will require programming and interventions prior to the junior high school years.

Qualitative analysis of student responses at the Shizuoka STEM Academy reveal that integrated STEM instruction is a promising means of promoting student interest and confidence in STEM for all students, including elementary and middle school girls. Participants in the Shizuoka STEM Academy were able to engage in open-ended learning activities that were unique compared to the type they typically encounter in the formal school classroom, and these opportunities for independent thinking and problem-solving led to students reporting increased confidence and interest in STEM. Students began to recognize their successes in STEM and expressed interest in future STEM careers. Previous research (e.g. Johnson, 2007) has shown that girls struggle with decontextualized science instruction. The Shizuoka STEM Academy and other out-of-school learning environments may provide girls in Japan with key experiences that situate learning within meaningful contexts to demonstrate that STEM fields can be interesting and are compatible with female characteristics.

Conclusion

Gender equity in STEM continues to be an area where more research and interventions are needed in Japan, like many other countries around the world. Middle school girls in this study had less positive attitudes toward STEM than their male counterparts, so there is a need to consider how best to maintain student interest and foster student confidence in STEM in order to encourage pursuit of STEM coursework and careers. Additional research in Japan can help determine at what age the gender gap in STEM attitudes is first seen, which can then help to inform interventions to maintain girls' interest in STEM.

Out-of-school learning environments that utilize integrated STEM instruction have demonstrated promise in both the United States and Japan. More research of additional out-of-school STEM programs would help further pinpoint the key features of these experiences that contribute to positive attitudinal outcomes for girls. Additional data will be collected as the Shizuoka STEM Academy continues into the first few months of 2018, and further studies are needed as well.

References

Archer, L., Dewitt, J., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B., & Wong, B. (2010). 'Doing' science versus 'being' a scientist: Examining 10/11-year- old schoolchildren's constructions of science through the lens of identity. *Science Education, 94*(4), 617-639.

Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & Koehler, C. M. (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. *School Science and Mathematics, 112*(1), 3-11.

Brown, R., Brown, J., Reardon, K., & Merrill, C. (2011). Understanding STEM: Current perceptions. *Technology and Engineering Teacher, 20*(6), 5-9.

Capobianco, B. M., Yu, J. H., & French, B. F. (2015). Effects of engineering design-based science on elementary school science students' engineering identity development across gender and grade. *Research in Science Education, 45*(2), 275-292.

Cohen J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York, NY: Routledge Academic

Corbett, C., & Hill, C. (2015). *Solving the Equation: The Variables for Women's Success in Engineering and Computing*. Washington, DC: American Association of University Women.

Council for Science and Technology Policy. (2010). *Japan's 4th science and technology basic policy report*. Cabinet Office, Government of Japan.

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education, 3*(1), 3.

Gender Equality Bureau. (2016). *Women and men in Japan.* Cabinet Office, Government of Japan.

Guzey, S. S., Moore, T. J., Harwell, M., & Moreno, M. (2016). STEM integration in middle school life science: Student learning and attitudes. *Journal of Science Education and Technology, 25*(4), 550-560.

Hill, C., Corbett, C., & St. Rose, A. (2010). *Why so few? Women in science, technology, engineering & mathematics.* Washington, DC: American Association of University Women.

Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. A. (Eds.). (2014). *STEM integration in K-12*

education: status, prospectus, and an agenda for research. Washington, DC: National Academies Press.

Hong, Z., & Lin, H. (2013). Boys' and girls' involvement in science learning and their self-efficacy in Taiwan. *International Journal of Psychology, 48*(3), 272-284.

Johnson, A. C. (2007). Unintended consequences: How science professors discourage women of color. *Science Education, 91*(5), 805-821.

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education, 3*(11), 1-11.

Kier, M. W., Blanchard, M. R., Osborne, J. W., & Albert, J. L. (2014). The development of the STEM career interest survey (STEM-CIS). *Research in Science Education, 44*(3), 461-481.

Labov, J. B., Reid, A. H., & Yamamoto, K. R. (2010). Integrated biology and undergraduate science education: A new biology education for the twenty first century? *CBE Life Science Education, 9*, 10–16.

Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology - Japan. (2017). *Course of study guidance.* Retrieved from: http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm

Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., Smith, K. A., & Stohlmann, M. S. (2014). A framework for quality K-12 engineering education: Research and development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research, 4*(1), 1-13).

Murphy, C., & Beggs, J. (2005). *Primary science in the UK: A scoping study.* London: Wellcome Trust.

National Research Council. (2012). *Exploring the intersection of science education and 21st century skills: A workshop summary*. Washington, DC: The National Academies Press.

National Science Foundation. (2015). *Women, Minorities, and Persons with Disabilities in Science and Engineering: 2015.* (Special Report NSF 15-311). Arlington, VA: National Center for Science and Engineering Statistics.

Plano Clark, V. L., & Creswell, J. W. (2015). *Understanding research: A consumer's guide* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.

Rinke, C. R., Gladstone-Brown, W., Kinlaw, C. R., & Cappiello, J. (2016). Characterizing STEM teacher education: Affordances and constraints of explicit STEM preparation for elementary teachers. *School Science and Mathematics, 116*(6), 300-309.

Roehrig, G. H., Wang, H.-H., Moore, T. J., & Park, M. S. (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.

Tanikawa, M. (2013, June 16). Japan's 'science women' seek an identity. *The New York Times.*

Turner, S. L., Conkel, J. L., Starkey, M., Landgraf, R., Lapan, R. T., Siewert, J. J., … Huang, J. (2008). Gender differences in Holland vocational personality types: Implications for school counselors. *Professional School Counseling, 11*(5), 317-326.

Wells, B. H., Sanchez, A., & Attridge, J. M. (2007). Modeling student in science, technology, engineering and mathematics. *Meeting the Growing Demand for Engineers and Their Educators 2010-2020 International Summit, 2007 IEEE, 50*, 1-17. doi: 10.1109/MGDETE.2007.4760362

Table 1

Shizuoka STEM Academy Participant Characteristics

Grade	Male	Female
5	2	2
6	2	0
7	0	1
8	1	5
Totals (N=13)	5	8

Table 2

Shizuoka Attached Junior High School Participant Characteristics

Grade	Male	Female
7	77	73
8	83	70
9	82	73
Totals (N=458)	242	216

Table 3

ANOVA Results and Descriptive Statistics for STEM Attitude Score by Gender and Program

Variable	Mean	SD	n
Female			
Shizuoka Kita	-	-	0
STEM Academy	3.86	0.68	8
Attached JHS	3.05	0.62	216
Male			
Shizuoka Kita	3.22	0.46	26
STEM Academy	3.87	0.41	5
Attached JHS	3.38	0.62	242
Source	SS	df	F
Gender	1.38	1	3.63
Program	0.03	1	0.08
Gender x Program	2.51	1	6.59*
Error	187.59	1	

* $p < 0.05$

Table 4

ANOVA Results for Subscales by Grade and Gender at Shizuoka Attached Junior High School

Source	SS	df	F	d
Science Subscale				
Gender	9.1	1	14.20***	0.35
Grade	2.4	2	1.92	
Gender x Grade	1.8	2	1.38	
Mathematics Subscale				
Gender	8.3	1	13.20***	0.34
Grade	1.1	2	0.85	
Gender x Grade	0.3	2	0.26	
Engineering and Technology Subscale				
Gender	17.8	1	32.02***	0.53
Grade	0.5	2	0.48	
Gender x Grade	0.4	2	0.37	

*** $p < 0.001$

Table 5

Average Survey Subscale Scores by Gender at Shizuoka Attached Junior High School

	Female (n = 216)		Male (n = 242)	
	Mean	SD	Mean	SD
Science	3.096	0.788	3.378	0.814
Mathematics	3.179	0.796	3.449	0.789
Engineering/Technology	2.911	0.742	3.308	0.746

第３章　2017年度のアメリカの調査報告とそれらに基づいた分析・解釈

平成 29 年度米国 STEM 教育調査旅行報告書

静岡大学創造科学技術大学院　自然科学系教育部　　坂田尚子

2018 年 1 月 2 日より 1 月 12 日に STEM 教育の研究調査のためアメリカを訪問した。前半は二グループに分かれ、ASTE 学会への参加と情報収集、およびアイオワ州での子ども博物館での調査を行った。後半は全員が合流し、ミネソタ大学のチームとともにミネソタ州での現地調査を行った。この報告書では、アイオワ州とミネソタ州での調査に関して述べるものである。

1. アイオワ・チルドレンズ・ミュージアム訪問の報告

1.1　日程

アイオワ州には、1 月 3 日から 1 月 7 日まで滞在した。

2018 年 1 月 4 日(木)

10：30～ディレクターによる館内案内と館内各所へのあいさつ

12：00～新たな STEM　Exhibition への展示更新について担当者(Dr. J. Dankhase) からの説明と意見交換(13：00～ランチを取りながら)

13：30～展示場での子どもたちの活動の様子の観察①

14：30～Weather Camp の様子の観察

16：00～展示場での子どもたちの活動の様子の観察②

16：30　退館

2018 年 1 月 5 日(金)

9：30～Brain Art Camp の参与観察①

12：00～写真等データの確認作業（ランチを取りながら）

13：00～展示場での子どもたちの活動の様子の観察③

14：00～プログラム作成スタッフとの話し合い

15：00～Brain Art Camp の参与観察②

16：00～展示場での子どもたちの活動の様子の観察④

16：30　退館

図 1.　ミュージアムの外観

2018 年 1 月 6 日(土)

10：00～12：00　資料補充の活動

14：00～17:00 まとめの作業（ホテルにて）

この博物館は、大きなショッピングモールの一画にあり、アイススケートリンクや大規模なフードコートと隣り合っている。子ども連れが訪れやすい場所に立地している。

博物館訪問している間、大変丁寧に対応していただくことができた。自由に館内を動くことも、写真を撮ることも、スタッフ、ボランティア、来館者に質問をすることも許されて、大いに調査活動ができた。その結果、展示場での子どもの活動の様子の観察、2 つの Camp プログラムへの参与観察、新展示物のデザイン企画者やプログラム開発スタッフとの話し合いの機会を多くもつことができた。また、館内のとても楽しい雰囲気の中で、「Play-to-Learn」という言葉が子どもたちの活動の中に実現されている様子を具に観察することができた。また、子どもの活動へのファミリーの関与についても観察することができ、大変参考になった。

1.2　常設展示物について

常設展示は、９つありその中で、力学的エネルギーの法則等を扱った展示「Notion of motion」 は、展示更新のため本年１月末で終了となる。次の展示はスケートボードを使った、コンピューターシミュレーションとハンズ・オン活動を組み合わせた STEM アクティビティ「Modular Skate Park Ramps」という展示となる。アクティビティの構想を、担当する Dr. Dunkhase（アイオワ大学）からモデルを使って説明を受けた。スケートボードのコースを設計したり、コンピューターでシミュレーションしたりした後に、実際動かしてみることができるという、子どもたちの活動により工学のデザインを取り込むことのできる展示物となる予定である。

以下に常設展示を ABC 順に記す。

① ABC Courtyards of Curiosity

身の回りにあるものの名前を写真や実物等を展示することで、アルファベットに自然に親しむようになっており手話の指文字の写真もあった。2 階の吹き抜けをぐるりと一周すると Z までたどり着く。

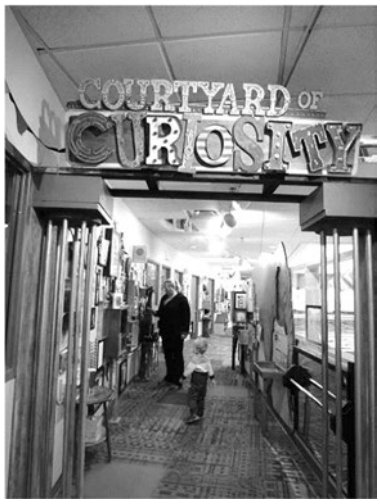


図 2. ABC Courtyards of Curiosity

② All Aboard

列車のジオラマ模型が展示してあり、木の列車やトラックを使って自分の鉄道システム、交通システムを作ることができ、並べて走らせることもできる。

③ Art Studio

いろいろなアート材料がそろえてある部屋で、思い思いに作品作りに取り組める。色彩が鮮やかで、わくわくするような空間となっている。

④ Block Party

数千ピースにも上るレゴブロックを使って、自分でデザインし、様々なものを作り出せるようになっている。

図 3. Block Party のレゴブロック

⑤ Blue Room

青い大きなウレタンのブロックを使って、小屋、椅子、テーブル、滑り台など子どもが生活に使えるようなサイズでのものづくりができる部屋。

図 4. Blue Room で遊ぶ親子の様子

⑥ CityWorks

子どもサイズの街を探検する展示物。スーパー、銀行、音楽スタジオ、病院、ピザ屋、郵便局、劇場があり、仕事や町での生活が体験でき、ロールプレイ遊びができる。各所とも、関連企業からの寄付で維持されている。

⑦ aginAcres

プレスクーラー（preschooler: 4 歳以下の子ども）対象に、農家の様子を再現した部屋である。野菜を植えたり、料理をしたり、納屋の中でかくれんぼしたりするようなロールプレイ遊びができるところとな

っている。入り口には保育園にあるような鍵のかかる仕切り戸がある。

⑧ Notion of Motion

上下にカーブした軌道で車をレースさせたり、ボールを転がしたりして、力学的エネルギーの保存則などが、遊ぶことで体験的に学べる部屋になっている。車も自分

で部品を組み合わせて自由に作れるようになっている。展示更新のため今年(2018 年)1 月で終了した。

図 5. Notion of Motion の部屋

⑨ Take flight

空気と飛行機に関するいろいろな展示物がある。セスナ機の実物（右翼と胴体）やフライトシミュレーターが人気である。大がかりな風洞装置をつかって、自分がその中に入って風の力を体験的に知ることができる展示物があったり、少しの風を起こして風車が回る様子を観察できる展示物もある。

図 6. Take flight の飛行機たち

常設展示は基本来館者が家族で楽しむところで、展示場のスタッフが何かの展示物を担当して常にその場に付いているということはない。子どもたちの活動を支えるプレイオロジスト（PLAYologist）と呼ばれるスタッフが時折、各展示物のそばでその展示物に関する小さなワークショップをしている。他にはボランティア（赤いエプロンを着用）が館内に数人いて、道具を片づけたり遊び方を説明したりしながら一緒に遊んでいる。危険回避や子どもたち同士のトラブル解決は家族の責任で行うことになっている。

展示物の近くには、この活動を子どもが体験することによって、どんな能力を身につける助けになるのか等、家族向けの説明が A1 サイズ程度のポスターで示されている。遊び方についてもルールは示しているが詳しい説明はなかった。家族のかかわりを促すようにできていて、子どもとの会話が多くなる仕掛けであろうと思われる。

1.3 ワークショップおよびキャンプについて

日本でよく開催される 1 時間半～2 時間程度の科学教室タイプのワークショップはあまり実施されず、展示場での小規模なワークショップが時々開催される。また、夏や冬の学校が休暇の時期に、一日を使ったキャンプが数多く開催される。

今回観察することができたのは、アイオワの冬の気象を理解するための「Weather Camp」と、頭の中で考えデザインすることに焦点をおいた「Brain Art Camp」の二つのセッションである。これらはすでにすべて STEM 教育プログラムとして提供されており、これらのキャンプで行われる教育プログラムは、プレイオロジストが企画し運営する。キャンプへの参加は有料で、 25 ドル程度かかるが、両方とも約 30 名の子どもが参加しており、何人かは二つともに参加していた。9：00～16：00 の間に実践される一日がかりのプログラムの中で、いくつかの多彩なアプローチからの活動が多層的に積み重なり、子どもたちの中にだんだんと「冬の天気と風」「雪」「色の見え方」などの概念が形成されていくというつくりになっている。途中昼食やおやつを食べたり、展示物で遊んだり、休憩をとったりしながらの長時間のセッションなので、子どもたちが飽きないようにまた、活動ごとに集中できるように活動の組み合わせや構成も工夫されていた。

図7. ワークショップの様子

1.4 STEM 展示物および STEM プログラムについて

2018 年 3 月より STEM 展示物「Modular Skate Park Ramps」が新設される。また、レゴブロックを使って遊ぶ部屋「Block Party（図3）」は、アイオワ大学のイエーガー教授の寄付とアイデアにより既に STEM 展示物として運営されている。常設展示物は、更新するためには多額の予算が必要で、今回も念入りな計画書を NSF に提出して得ることができたため、実行に移すことができたそうである。当初からある展示物のほとんどがハンズ＝オンになっており、子どもたちの人気がいまだ衰えていないこと、一部は STEM の展示物と考えても差し支えないこと、などからその他の展示物はこれから徐々に更新していくということになるのだろう。

STEM プログラムは STEM Free Night や STEM Camp を中心に 6 年前から取り組まれている。STEM Camp については上記の 1.3 ですでに報告した。STEM Free Night は、企業がスポンサーになって、昨年は 2 回（5 月 26 日、7 月 28 日）、「Family Free Night」として STEM Challenge プログラムを提供し実施されている。それぞれ、800 人程度の参加があり大盛況だったそうである。ふたつのプログラムでの STEM 領域に関する内容については、表 1 に記す。

表 1. ふたつの STEM Challenge プログラムの STEM 領域とその内容

	May 26,2017	July 28,2017
Science	Investigate electricity and test conductivity	Investigate Circuits
Technology	Use common materials, batteries and discover how a motor works	Bring your instrument to life with Makey Makey, an interactive touch pad
Engineering	Design a robot that creates art	Design a musical instrument out of everyday
Mathematics	Use distribution of weight and balance to make your robot move	Jam out by playing musical patterns on your instrument

1.5 スタッフへのインタビュー

ディレクターも含め、実際にプログラムを企画し運営するスタッフ、展示物などの計画をするスタッフにインタビューをすることができた。ここではその一部を紹介する。

1) 何種類くらいのプログラムを用意し、実践していますか？

－主なものは、8 つに分けられます。Art Adventure: Clay Play, Day Camps & Kinder Camps, Kinder Club, Night at The Children's Museum, Natural Play, Scout Enrichment, STEM Family Free Night, Sooper Hero Night です。

2) STEM プログラムは実践していますか？プログラムに STEM を取り入れて何年になりますか？

－実施しています。STEM Family Free Night などがそうです。取り入れ始めてから 6 年くらいになります。今では、多くの STEM プログラムがあります。

3)貴館の理念は「to inspire every child to imagine, create, discover and explore through the power of play(遊びの力を通して、すべての子どもが想像し、創造し、発見し、探索するように促す)」ですが、具体的にはどういうことをしようとしていますか?

－Image では脳の活動、脳を働かすような活動を、Create では、ハンズ-オン活動を重視しています。Discover と Explore は似ていますが、前者は、子どもから発案されるような、好奇心に任せた活動を中心にいろいろなこととの出会いや驚きのある体験を、後者はより年上の子どもを対象として深く調査したり探求することを活動の中に取り入れています。

4)展示物はどのような人が創造しデザインしたのですか?また、よりどころとなるようなアイデアはありますか?

－館の職員がチームを作りデザインをしてきました。予算を得るためにしっかりと作り上げることが必要でした。近頃参考になるのは、ハーバード大学の人々が書いている「Dimensions of Success a pear observation tool; DOS(2016)」です。

5)貴館が使っている「play-to-learn(学ぶために遊ぶ)」という言葉は、アメリカではよくつかわれるのでしょうか?私共の科学館では「子どもの遊びは科学がいっぱい」というようなキャッチフレーズをポスターやチラシにつかったりします。

－そうかもしれません。少なくてもミネソタのチルドレンズ・ミュージアムでは「PLAY is Learning」が使われています。

6)STEM をプログラムに取り入れる際難しいことはありましたか?

－それほど難しさは感じませんでした。両親にもかかわってもらうようなプログラムにすることを気を付けました。

２．ミネソタ州での調査の報告

2.1　日程

1 月 7 日(日)に全員がミネソタ州ミネアポリスに集合して、1 月 8 日から 10 日までミネアポリス周辺とオワトナで調査、訪問、会議を行った。

2018 年 1 月 8 日(月)

10:00 ～ 11:30　Minnesota Department of Education 訪問担当者との情報交換会およびミネソタスタンダード作成委会の会場訪問

12:30～13:30　ミネソタ大学ミネアポリスキャンパス Northrup Hall にて Physics Force Show を観覧

15:30～17:00　ミネソタ大学 STEM Education Center 訪問　見学および STEM 会議

2018 年 1 月 9 日(火)

9:45～12:30　Bakken Museum 訪問　科学教室参観およびプログラム担当者との会議

14:00～16:00　Farnsworth Aerospace Magnet Middle School 訪問校内施設見学（一部生徒の活動を参観）質問、話し合い、情報交換など

2018 年 1 月 10 日(水)

9:30～11:00　196 校区:Apple Valley High school 訪問　E^3STEM 教育の取り組みについての説明と校内見学等

11:10～12:30　196 校区：Valley Middle school 訪問　デザインプロセスを重視した STEM 教育の取り組みについて

14:00～16:30　Owatonna Middle School 訪問　校内施設の視察、先生方との意見交換会

2.2　Minnesota Department of Education

John Olson 氏、Doug Paulson 氏をはじめとして，数人の研究者の方々との会議をもつことができた。はじめに、ミネソタでの STEM 教育の現状にかかわる地方と州との関連性、21 世紀型スキルズのこと、環境教育での STEM 教育の在り方など、日本側から聞きたい事柄をお伝えした。Olson 氏が総論について説明してくださった後、それぞれの質問に対して専門とする方からのお話が伺えた。2017 年秋に作られた Every Student Succeeds Act というミネソタ州における教育計画の資料を基に話し合いが進められた。その後、さらに議論を重ねるグループと、当日開催されていた「ミネソタスタンダード作成委員会－Art」の会場を

訪問するグループに分かれ情報収集や意見交換、相互理解に努めた。

図8. ミネソタスタンダード作成委員会の様子

2.3 Physics Force Show

ミネソタ大学内にあるノースラップホールというところで、企業がスポンサーになって行われる子どもたち向けのサイエンスショーを観覧した。冬季の休み中ということもあっ
て、多くの子どもたちがやってきており、会場は盛況であった。ステージを務めるのは、大学の教員一人と高等学校教師たち数人で、タイトル通りいろいろな物理現象に関して、大きなサイズで実験を繰り広げていた。話し方も上手く子どもたちの興味を引き付けていた。ショーは一時間であった。

2.4 STEM Education Center

ミネソタ大学のSTEM教育センターでは、「Design challenge」という活動を中心に様々なSTEM教育の活動が実践されている様子を見ることができた。短期間の社会的課題と長期にわたる社会的課題について子どもたちが考えることが大切であること、社会が平和であることをめざしていることなど、先進的な取り組みについて聞くことができた。また、その後STEM会議が行われ、これからのSTEM教育研究に関して、われわれとミネソタチームとの共通認識が図られた。

図9. STEMセンターでのSTEM会議

2.5 Bakken Museum

医療器具メーカーのメドトロニック社の共同設立者であり、心臓ペースメーカーを作ったことでも知られているアール・バッケン氏が設立した博物館を訪問した。バッケン氏の自宅だった建物をリノベーションして博物館としており、豊かで落ち着いた館内になっている。そこでは「電気」をメインテーマにしながら、サイエンスショーや科学教室、サイエンスキャンプなどが行われている。学校からの生徒たちの訪問、学校へのアウトリーチ（出張授業）をふくめて、盛んに学校教育との連携を図っているとのことである。訪問した日は、小学生向けの科学教室が行われており、参観することができた。人類が電気を研究し電池を手に入れ、技術を発展させてきた歴史に沿ってプログラムが作られており、大変興味深いものであった。プログラムの実践者は教師ライセンス取得者であり、プログラムはほとんどSTEMになっているそうである。

図10. Bakken Museumの外観

2.6 Farnsworth Aerospace Magnet Middle School

ファーンスワース航空宇宙マグネット・ミドルスクールは、航空と宇宙に特化したプログラムをもつ魅力的な公立のミドルスクールである。ロボット工学やフライトシミュレーターを使用したパイロット教育、NASA の探究プログラムを実施するなど周辺から子どもたちを引き寄せる文字通りマグネットスクールになっていると感じた。工学のプロセスを取り入れることに積極的で、学習活動が「Engineering　Challenge」として行われていたり、教室に「materials of Design」としてデザインをする際考慮すべきことが５項目、「誰がこれを使うのか」「コストはどれくらいかかるのか」「どのように動くのか」「なぜこれが今までのものより良いのか」「それはなにをするためのものか」が張り出されていたりした。生徒たちは、このことを確認しながら活動や制作を進めていくということであった。教師たちとの話し合いでは、経済的に恵まれない子でも将来に夢を持ってほしいと語っていた。

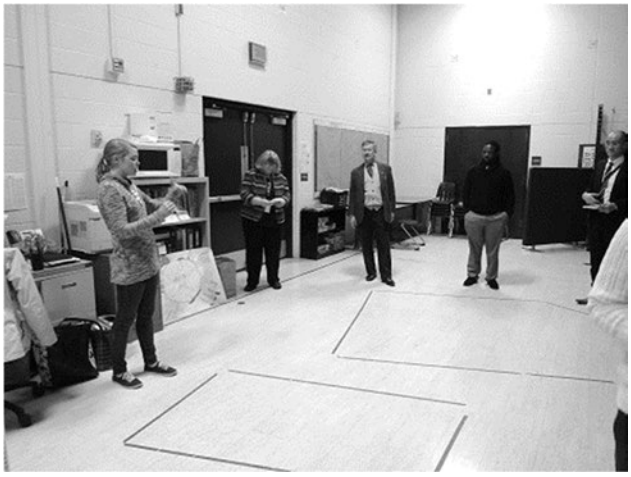


図 11. Engineering　Challenge 授業の説明

2.7　196 校区訪問

この地区の教育コーディネーターの Dr. Kinden 氏に二つの学校を案内していただいた。

2.7.1 Apple Valley High school

生徒たちが STEM 分野でのキャリアを追求できるように、若者のより広い能力を刺激することを目的として、E^3STEM 教育を学校方針としてうたっている。E^3STEM というのは、Exploration, Education & Employment in Science, Technology, Engineering, and Math である。ロボット工学プログラムがあり工作室が充実していた。また、テレビ・メディアプログラムもあり、そのための本格的なスタジオもあった。STEM のクラスでは、ビジネスとの関連も重視し、ドローン技術を農業に使用することやコンピューターサイエンスなども学べるようにしているとのことであった。生徒たちによる自分たちの活動や学校紹介のプレゼンテーションを聞き、インタビューする機会を与えられたので、この学校がどんなところかと尋ねたところ、プログレッシブで、機会が多く与えられる場所、イノベイティブなところという答えが返ってきた。学校内を見学した時にも気づいたことであるが、教師も生徒たちも自分の学校に誇りを持っているように感じられた。

図 11. アップルヴァレー高校の工作室

2.7.2 Valley Middle school

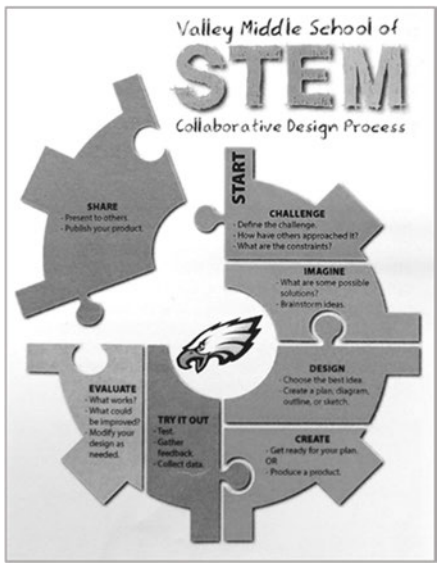


図 13. ヴァレー中学校 STEM 教育モデル

STEM 教育を推進させるための校舎の改築が進んでいるところであった。玄関ホールから続く中央廊下の両側にもいくつかの部屋を組み合わせて新しくスペースが作られ、学びのと場としてのイノベーションが行われているところであった。子どもたちが使っていたロッカーを動かして、子どもたちの発表の場(ステージ)を作ったり、ネイバーという言い方で、関連するいくつかの領域（たとえば健康、スポーツ、食など）が学べる教室や教室群あるいは広い一つのスペースを作ったりしていた。このように STEM 教育を実践するために教育方法、教育内容を変化させるだけでなくまず、適切な空間やスペースから作くろうとすることは、大変アメリカらしいと感じた。また、この学校ではデザインプロセスを取り入れた STEM 教授モデル（右図）が作られており、それに従って教育実践が行われているということであった。

図 15. 教師たちのとの話し合い

2.8 Owatonna Middle School

この学校は前回（2016 年秋）に訪問した学校の一つである。その際増築工事に着手していた部分が完成し、リノベーションがほぼ終わろうとしていた。風船で駆動する砂上バギーの作成に取り
組んでいる STEM のクラスと、科学技術を駆使した Art のクラスを紹介していただいた。Art のクラスではすでに終了していたので生徒たちの活動の様子は見られなかったが、手法について担当教師から詳しく話を聞くことができた。インクの比重の違いで様々な模様が浮かび上がり、それが天体や生物の細胞を映した科学写真のように美しいものであることを知ることができた。また、来年に向け、アウトドアクラスのために、中庭から校庭にかけて大規模に整備する計画があるそうだ。

図 14. 新しい教室の様子

最後に、数学および科学の教師たちと STE 教育の導入について話し合いを行った。この学校では教師たちがチームになって STEM 教育に取り組んでいるが、数学を取り入れる場合の難しさについて語っていた。学校訪問に同行されたオワトナ校区の STEM 教育コーディネーターDr. Meagher 氏とこの学校の校長先生は、昨年ミネソタチームの一員として来日し静岡とも交流のある方々でもある。お互いに STEM 教育推進に関して理解が進み有意義な訪問となった。

３．訪問を終えての所感

今回の訪問では、前半でアイオワ州におけるチルドレンズ・ミュージアムでの調査、後半はミネソタ州の各所における調査を実施することができた。

この結果、一番印象に残ったことは、アイオワ州、ミネソタ州において着実に STEM 教育が広がりを見せており、むしろ STEM 教育が主流となりつつある現状を知ることができたことである。チルドレンズ・ミュージアムでは、キャンプのプログラムはいち早く STEM 教育プログラムとして構築されており、変えるのが容易でない展示物に関しても、それぞれ展示更新の時期に合わせて、STEM を取り入れたものにしよう

としていた。また、学校現場では昨年度には計画・工事段階であった校舎や教室などが完成して、STEM 教育実践に有効に使用されているところを見ることができた。

今回案内・同行いただいた Dr. Kinden 氏や Dr. Meagher 氏のように、ミネソタ州では学校区ごとに、STEM 教育のための専任のコーディネーターが配置されており、彼らのような存在が STEM 教育の推進に大きな役割を果たしていることを感じた。

今後、STEM 教育の拡大によるアメリカにおける学校現場の教育の在り方の変容、教育資源や教育システムの変化についてこれからも注目したいと感じた。

数学教育の視点からみた科学を中心としたSTEM教育 アメリカ視察の報告

松元　新一郎
静岡大学

Consideration of STEM Education Centering on Science from the Viewpoint of Mathematics Education

Shinichiro MATSUMOTO
Shizuoka University

本稿は，アメリカで視察した科学を中心としたSTEM教育の内容のうち，数学教育からみた報告と考察を行うものである．それらの発表や実践（取り組み）では，数学があったが，子どもたちに意識されていない．したがって，STEM教育では，数学の何が利用されているのかを子どもたちに「見える化」することが大切である．同様に，数学を中心としたSTEM教育でも，子どもたちに対して，科学・技術・エンジニアリングがどのように関連しているかを「見える化」する仕掛けを考えることが重要である．

Keywords: アメリカ視察，STEM教育，数学教育

１．はじめに

平成30(2018)年１月２日から１月12日にかけてアメリカの科学を中心としたSTEM教育について視察を実施した．訪問先は以下の通りである．

①ASTE年会
②ミネソタ大学 STEM研究センター
③小学生対象の科学実験ショー(ミネソタ大学内)
④Bakken Museum
⑤Farnsworth Aerospace Magnet Middle School
⑥STEM middle school and high school in district 196

⑤と⑥の学校訪問ではSTEM教育に関わる施設の紹介やディスカッションを行った．そこで，本稿は，STEM教育に関わる実践や実践発表のあった「ASTE年会」「小学生対象の科学実験ショー」「Bakken Museum の科学教室」に着目して，数学教育学が専門である筆者の数学教育からみた報告と考察を行う．

なお，本稿では，算数・数学を合わせて数学と標記することにする．

２．ASTE年会

バルティモアで開催されたASTE(The Association for Science Teacher Education 科学教師教育学会)の年会に参加した．ASTE の年会アプリを使ってSTEMで検索をかけると85件の発表があった．これらの発表のうち，数学に関わる発表を２つ紹介して考察する．

（１）数学に関わる発表

①STEM Picture Books: An integrated and collaborative STEM project for Preservice Elementary Methods teachers.（ポスター発表）

Kathy L Malone, The Ohio State University

この絵本プロジェクトは，小学校数学と小学校理科コースの統合されたプロジェクトである．STEMの指導をEngineeringのプロジェクトを通して数学と理科を統合する教員養成クラスにおける実践である．幼稚園から小３の子ども２０名を対象に絵本を作る活動を行ったものである（写真１）．

写真１　STEM Picture Books の発表ポスター

この実践をみると，数学の要素がふんだんに用いられている．

＜写真２＞彼女は，制作物（絵本）を作るために材料の３フィート×５フィートを測りました．彼女は８フィート必要だと考えています．材料はどれくらい必要ですか．

この活動では，長さの単位，長方形，大きさの見積もりなどの数学を使う．

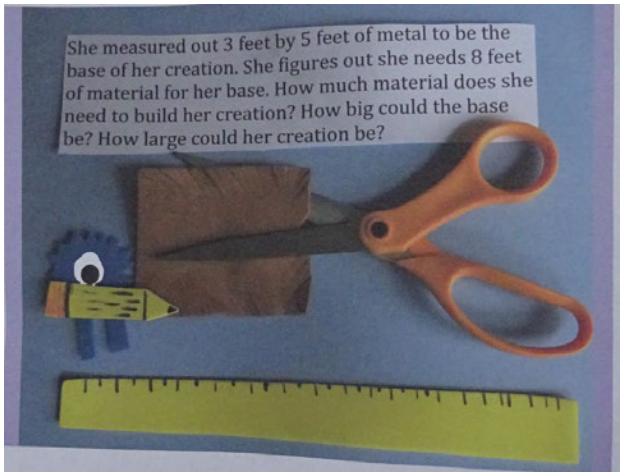


写真２　絵本を作るための数学的な条件

②What is the Science Content in Student Developed IT Projects?

Helen Meyer, University of Cincinnati

この研究は，夏季 IT プログラムに参加している１０学年の高校生の科学知識の種類と質を分析するものであり，生徒は基本的かつ高度な科学をプロジェクトで使用しているという内容であった．この夏季 IT プログラムは NSF の ITEST(Innovative Technology Experiences for Students and Teachers)の支援を受けている．
(https://www.nsf.gov/publications/pub_summ.jsp?ods_key=nsf17565)

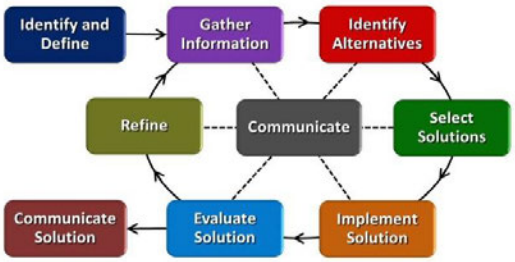


図１　EDP(Engineering Design Process)モデル

エンジニアリングベースであり，図１は，この地域の学校でローカルに使用されている EDP(Engineering Design Process)モデルで，設計プロセスの構想に使用されている．この図が示しているように，プロセスは問題の特定から始まり，最善の解決策について，コミュニケーションを通じて進められる．コミュニケーションは，製品の発表やデザインチームの会話などのものが含まれている中心的なもので，他のステップおよび段階は，必要に応じて反復して繰り返す．

この夏季 IT プログラムは 4 種類（ネットワーク・ハードウェア/ソフトウェア，ウェブサイトと Apps，サイバーセキュリティ，ゲームとシミュレーション）で 27 のプロジェクトがあり，このうち，以下のようなサイバーセキュリティのプロジェクトが５つあった．

・ウェブサイトの情報をハッキングすること(1 つ)
・パスワードの生成(3 つ)
・物理的防御(physical protector)[1](1 つ)

パスワードを生成するときには，代数学や離散数学が扱われる．具体的には，換字暗号（文字の入れ替え）であれば，行列が使われる．共通鍵暗号方式（RSA 暗号）であれば，素数，素因数分解，ユークリッドの互除法，オイラーの小定理などが使われる．

この論文では，パスワードのプロジェクトにおいて用いる数学として，順列，乱数を挙げて，サイバーセキュリティプロジェクトを以下のように述べている．

これらのプロジェクトでは，学生は，他の人にハッキングについて説明するためのウェブサイトを作成し，パスワード作成によるハッキングから個人情報を保護していた．これらのグループの作業の大半は，ハッキングとパスワードについての研究だった．パスワードとパスワードの保護を研究するにあたり，彼らは常に異なる長さのパスワードの順列と数学的モデルについての情報を見つけた．これにより，パスワードの長さの影響と，ランダムな文字の生成が異なるパスワードを再現するのにかかる時間についての情報が得られる．

この内容から推察すると，パスワードの原理に戻って検討することではなく，パスワードの長さや無作為であったりするときのパスワードを解除する時間の変化を扱っている．

（２）考察

科学教師教育学会であることから，①のように数学を明示的に示している STEM 教育の発表はほとんどなかった．また，②のように数学が使われているが，研究発表では数学をどのように利用しているかを明示していない発表が多いことに特徴があると感じた．

[1] コンピュータへの不正アクセスやデータ改ざんを防ぐためにソフトウェアによる管理を行うことを「情報セキュリティ」と呼ぶことに対して、組織の施設や情報への物理的アクセスや損傷及び妨害を防ぐための設備をハードウェアによって管理することを「物理セキュリティ」「フィジカルセキュリティ」と呼ぶ。

2. 小学生対象の科学実験ショー

ミネソタ大学構内にあるホールにおいて，各学校の教師に引率された小学生（低学年）対象の科学実験ショー「物理の力」を観察した（写真３）．約 1 時間のショーでは，実験を行うのは大学と高校の教員であった．以下，どのような実験が行われているか，また，その中に含まれる数学について考察する．

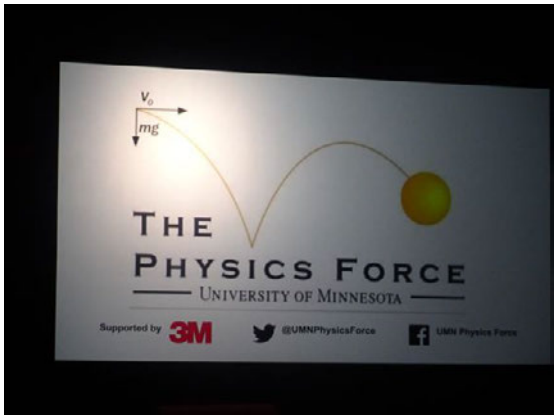


写真３　科学実験ショー「物理の力」

（1） 科学実験ショー「物理の力」の内容

① ロープの波

2 人で長いロープの端を持って揺らすことで，ロープが波打つ．波の打たせ方によって 1 周期の長さが変わるが，ロープのある地点は，動かない．この箇所を指して視覚的に固有点を意識させる実験であった．物理では，以下のような「波動（波）」の内容である（波長・振幅・振動数）．

・振動数 f[Hz] は周期 T[s] の逆数だから， f=1/T…①
・波が進む速さ（1 秒間に進む距離）v[m/s] は，振動数（1 秒間に送り出す波の数）f[1/s] と波長（1 つの波の長さ）λ[m]の積だから， v=fλ　…②

上記の①から，f は T に反比例する．また，②から，v は f または λ に比例する．

② 筒の音

太さや長さが異なる筒をバナー（炎）の中に入れると音程の異なる音がでる（写真４）．このことを利用して，「きらきらぼし」を演奏した．

①と同様に，この実験も「波動（波）」の内容である．筒の長さが決まれば音程が決まることから「関数」の定義の指導に活かせる．また，筒の長さと音程（音の周波数）を測定して定量化すれば，帰納的にだいたい反比例であることが見いだせる．

③ 炎の高さの変化

1 列に炎をつけて，トランペットで Happy birthday to you を吹くと炎の高さが変わる実験である（写真 5）．

周波数によって空気が一番揺れる位置が異なる．「（波長）×（周波数）＝（音速）」の式を利用して，波長を計算すれば，音階によって炎の揺れる位置を計算できる．

写真４　筒から音を出す

写真５　１列に炎をつけてトランペットを吹く

④ 吹き矢

コンプレッサーを使って細長い筒の中を真空状態にして筒に入れた卓球の球を高速で飛ばし，置いてある缶に命中させて貫通させる実験を行った（写真６）．

たとえば，アルミ缶の側面（ボディー部）に穴をあけたいとき，ボディー部はアルミニウム合金のうちの 3000 系でつくられており（UACJ,2015），約 0.1mm の厚さのアルミ缶の強度が分かれば，卓球の球を少なくともどれくらいの速さでボディー部に当てればよいか計算できる．

写真６　卓球の球を缶に命中させて貫通させる

⑤ 綱引き

ガラス同士を真空状態に貼り付けると取りにくくなることを見せるために，縄の先にガラス同士をつけたものを１組用意してガラス同士を真空状態に貼り付けて綱引きをする，いわゆる「マグデブルグの半球」の実験を行った（写真７）．子ども達が綱引きをしても，くっついたガラスは離れない．

ガラス同士を真空状態に貼り付けたときの圧力，一人当たりの引っ張る力が分かれば，何人で引っ張り合うとガラス面が離れてしまうか計算することができる．実験する側は安全面を考慮して事前に計算をしてシミュレーションを行っているはずである．

写真７　真空状態に貼り合わせたガラスを綱引き

⑥ ドラム缶つぶし

ドラム缶に水を入れて沸騰させておき，水をかけると一気にドラム缶がつぶれる（写真８）．

側面積を計算して（中１），側面に加わる大気圧を計算することができ，定量的に実感することができる．

写真７　ドラム缶つぶし

⑦ トイレットペーパーの吹き流し

ドライヤーの風を利用して，トイレットペーパーを高速で回転させて紙を出し切る実験である（写真８）．

写真８　トイレットペーパーの吹き流し

⑧ ２つのボール

２つのボールを高い位置から同時に落とす．１つのボールは横（水平）に投げ，もう１つのボールは真下に投げる（自由落下運動）が，２つのボールが同時に地面にぶつかる実験である．

自由落下は $y = 1/2gt^2$，水平投射の初速度を v_0 とすれば，$x = v_0t$，$y = 1/2gt^2$ となる（t は時間，鉛直下向きを正）．これらの式から，同時に地面にぶつかることが定量的に（あるいは式を比較することで）求めることができる．

⑨ 大砲

大砲から離れた場所の位置にカゴを置いておき，大砲を使って，仰角を変化させてボールを打ってもカゴに入る実験である．

斜方投射において，初速度を v_0，x 軸方向の初速度を v_{0x}，y 軸方向の初速度を v_{0y} とし，x 軸水平とのなす角を θ とすれば，

$$x = v_{0x}t = v_0\cos\theta \cdot t.$$

$$y = v_{0y}t - 1/2\,gt^2 = v_0\sin\theta \cdot t - 1/2gt^2$$

となる．これらの２つの式から t を消去すると以下の式になる．

$$y = \tan\theta \cdot x - g\,v_0^2\cos^2\theta x^2/2$$

この式を用いて，２次方程式を解き，x=0 とは別の解が一致する条件を調べることができる．

⑩ ボールのキャッチ１

動いた車に乗った人がボールを真上に投げ上げて，地面に戻ってきたボールをキャッチできるという実験である（写真９）．一定の速さで走っている時に，真上に投げたボールは空気抵抗がないと仮定すれば手元に戻ってくる（慣性の法則）．

⑪ ボールのキャッチ２

天井に人がぶら下がっている．地面にある筒がこの人に向いており，ボールが筒から発射されたのと同時に人が地面に向かって落ち（自由落下），飛んできたボ

ールをキャッチする実験である（写真１０）.

この実験を成功させるためには，あらかじめ数学を使って計算して，筒と人が地面に落ちる地点との距離，筒の仰角を設定しておく必要がある.

写真９　ボールのキャッチ１

写真１０　ボールのキャッチ２

⑫ 消火器

車に乗った人が消化器から勢いよく放射すると，車が放射するのと反対側に動く実験である（写真１１）. 空気中を飛ぶ飛行機は，周りの空気を後ろに押しやり，その反作用を受けて推進するのと同じ原理である.

写真１１　消化器

⑬ 空気砲

大きな箱の中に煙を充満させてから，箱の面を手で叩くと，大きなドーナツの煙（渦輪）が飛び出る実験である．流れの中心部より外側の方が遅いので，箱から出た空気のかたまりは，常に内側向きの圧力を受けることになり，飛び出した空気は，周囲に拡散(かくさん)することなく進み，穴と同じ大きさのまま遠くまで伝わる．日本でも学校の授業や科学館のサイエンスショーでよく見られる実験である.

写真１２　空気砲

⑭ テーブルクロス引き

テーブルクロスをかけたテーブルに食器を並べたままでクロスを思いっきり引っ張ると，食器だけがテーブルに残る実験である(写真13).

テーブルクロスを強い力で引っ張ると，食器は動摩擦力でテーブルクロスと同じ向きに動く．しかし，その加速度は小さく，テーブルクロスは食器よりもかなり大きな加速度で動いていくので，食器はとり残されてテーブルクロスだけが動く.

写真１３　テーブルクロス引き

⑮ ブロックの破壊

横になっている人の上に板を乗せ，さらにその上にブロックを置いた状態で，もう一人の人がハンマーでブロックを割る．ブロックは割れるが，横になっている人は怪我もなく大丈夫であるという実験である（写真１４）.

同じ重さのものが乗ったとき，面積が広ければ広いほど，重さは分散される．面積が２倍になれば，単位

面積あたりにかかる圧力は1/2になるので，面積と圧力は反比例の関係になる（(面積) ＝ (力) ÷ (圧力)）.

写真１３　ブロックの破壊

⑯ 音による光の変化

音（メリーさんのひつじ）の反応で光が変化する実験である（写真１４）．音声で空気を振動させて光の強弱に変換している.

写真１４　音による光の変化

（２）考察

子どもたちに興味を引かせながら，16もの実験を途切れることなく行っていた．各実験は「科学実験」であり，①～③は周波数・振動数，④～⑦は圧力，⑧～⑪は落下運動，⑫～⑬は空気圧（圧力），⑭は摩擦，⑮は圧力に関わる実験（ショー）であった．約１時間のショーを小学校低学年に飽きさせない工夫があった．これらの実験の多くは，数学を使って具体的にその根拠を考えたり，計算して定量的に検討したりすることができるが，小学校低学年を対象としたショーのため，どれも定性的に実験を行っていた.

以上のことから，科学で行われている様々な実験に関わる根拠に数学が潜んでいる（使われている）ことを明示的に行えば，ＳとＭが融合したSTEM教育として一層機能すると考えられる.

３. Bakken Museum

（１）博物館の概要

ミネアポリスのカルホーン湖のほとりにあるこの博物館（写真１５）は，ペースメーカーを開発したEarl Bakken(1924-)の名前を由来として，1975年に開館している．展示コーナーと実験などの活動を行う部屋で構成されている．展示コーナーでは観察するだけでなく，体験できるハンズオンの道具がたくさん展示されていた. この博物館には約６０名のスタッフがおり，出前授業や博物館での教育プログラムを行っている.

本稿では，観察した博物館内のSTEM教育に焦点を当てた教育プログラム（科学教室）の概要（約70分）を紹介・考察する．対象児童は小学校４年生31名であり，５名の教員が引率していた.

写真１３　Bakken Museum

（２）教育プログラム（科学教室）の様子

電気がテーマであり，寸劇を交えて（写真１４），電気に関わる歴史上の人物を紹介しながら（写真１５），それらの人物に関連する実験を追体験できるような構成になっていた.

写真１４　寸劇を交えて電気に関わる人物を紹介

まず始めに，以下の人物を紹介した．

1 人目： Luura Bassi (1711-1778) イタリアの女性物理学者．児童に Static Electricity（静電気）のキーワードを示した．

2 人目：Luigi Galvni (1737-1798) イタリアのボローニャ出身の男性医師．児童に Animal Electricity（動物電気）のキーワードを示した．

写真１５　科学教室で紹介された人物

2 名の人物を紹介したあと，ジャガイモ・銅板・亜鉛版・水・電流計を使って電気を流す実験を 4 人 1 組で行った（写真16）．

写真１６　ボルタの実験

片付け後に，児童を前に集めて寸劇を行い，以下の人物を紹介して，ボルタの実験について説明した．

3 人目： Alessandro Volta (1745-1827) イタリアの男性物理学者．児童に Metallic Electricity（金属電気）のキーワードを示した．

ボルタを紹介したあと，亜鉛版と酢を染み込ませた布を順々に重ねて，何枚重ねると工作用 LED ライトをつくかどうかの実験を 4 人 1 組で行った．

片付け後に，児童を前に集めて寸劇を行い，以下の人物を紹介した．

4 人目： Glovanni Aldini (1762-1834) イタリアの男性生理学者．児童に Human Electricity（人体電気）のキーワードを示した．

ガルバーニを紹介したあと，代表児童の心電図を計測した．このあと，以下の人物を紹介した．

5 人目： Mary Shelley(1797-1851) イギリスの女性小説家で，「フランケンシュタイン」の作者．児童に Science fiction（空想科学小説）のキーワードを示した．

シェリーを紹介したあと，2 本の導体の帯を児童の前で広げて，指で触って電気が通っていることを確認する実験を行った（写真１７）．

写真１７　電気を流す実験

（3）考察

小学校低学年の児童であるため，実験は定量的には扱っていない．数学教育の視点からみたとき，ボルタの実験が，定量的に扱えば数学とすぐにつながる内容であると感じた．たとえば，「何枚重ねると工作用 LED ライトをつくか」ということについて，亜鉛版と酢を染み込ませた布の重ねる枚数毎に電圧計で電圧を測定して表やグラフに示しておき（電圧は枚数にほぼ比例する），工作用 LED ライトを点灯させるのに必要な電圧の表示を見れば，点灯させるのに必要な枚数が予測できる．

４．今後の課題

今回の訪問は，科学を中心とした STEM 教育の取り組みであった．そこで，筆者は，様々な取り組みを数学の目で観察・考察した．それらの発表や実践（取り組み）では，数学があったが，子どもたちに意識されていない．したがって，STEM 教育では，数学の何が利用されているのかを子どもたちに「見える化」することが大切である．

筆者は，理科の教員とティーチングで行った「皆既日食の最大時間」の実践において，理科の教員が離心率や公転周期と朔望周期の違い等について概念や計算方法を生徒たちに説明する場面を設けた（松元，2005）．このように，数学を中心とした STEM 教育でも，子どもたちに対して，科学・技術・エンジニアリングがどのように関連しているかを「見える化」する仕掛けを考えることが重要である．

参考文献

石綿良三・根本光正・日本機会学会(2004)：流れのふしぎ―遊んでわかる流体力学のABC，講談社ブルーバックス.

松元新一郎(2007)：算数・数学科以外の教科で使われている数学的表現-中学校理科教科書における「ともなって変わる量」の記述の分析：教育工学・実践研究,金沢大学教育学部附属教育実践センター，第 33 号, pp.77- 87.

引用文献

Helen Meyer(2018)： What is the Science Content in Student Developed IT Projects? , ASTE 2018 INTERNATIONAL CONFERENCE.

Kathy L Malone 他(2018)： STEM Picture Books: An integrated and collaborative STEM project for Preservice Elementary Methods teachers, ASTE 2018 INTERNATIONAL CONFERENCE.

松元新一郎(2005)：数学的モデル化過程における「変数の制御」の実態の考察―「皆既日食の最大時間の探究」の実践を通して―：日本教材学会教材学研究, 日本教材学会，第 16 巻, pp.19-22.

UACJ(2015)：アルミポケットブック，p.9.

【問い合わせ先】
〒422-8529　静岡市駿河区大谷 836
静岡大学教育学部
松元　新一郎
e-mail: matsugen@shizuoka.ac.jp

ASTE2018国際学会 における STEM 教育に関する報告と分析
The Report & Analysis on the STEM Education by Attending the ASTE 2018 International Conference, Baltimore, MD

○ 小坂 那緒子

KOSAKA Naoko
静岡大学創造科学技術大学院・大学院教育学研究科
加藤学園暁秀中学校・高等学校
Graduate School of Science & Technology, Shizuoka University & Graduate School of Education
Katoh Gakuen Gyoshu Junior & Senior High School

［要約］ 2018 年 1 月 3 日より 6 日にかけて，アメリカ合衆国メリーランド州ボルティモアにおいて開催されたASTE(Association for Science Teacher Education)2018 という教育学会に参加した．学会では，勤務する学校で実践したSTEM教材研究についてポスター発表し，今後の研究の方向性の指針を探すとともに，アメリカでの教育実践や研究について情報を集めた．本稿ではその結果の概要を報告する．

［キーワード］ ASTE(Association for Science Teacher Education)，STEM 教育，STEM 実験教材，ウミホタル，NSTA(National Science Teachers Association)，Preservice Science Standards，アメリカ

1． ポスター発表

日本国内におけるSTEM 教育の実践例として，勤務する学校において，顧問を務める科学部生物班の活動の中で行った STEM 教育について，ポスター発表を行った．

1）演題名：

Establishment of the STEM experimental materials in Japan -using *Vargula hilgendorfii*—

日本国内における STEM 実験材料の確立
—ウミホタルを用いた実践—

2）発表概要：

中学1年生から高校1年生までの生徒11名とともに，日本の固有種である「ウミホタル」の発光理由の解明を行った．活動の中で生徒は4つものを作成した．ウミホタル採集器，ウミホタル飼育装置，ウミホタルを発光させるための電気刺激装置，発光強度を測定するためのルミノメーターの4つである．研究の結果，生徒たちは「ウミホタルは身に危険が迫った時に発光する」と結論づけた．4つのものを作る STEM 活動を経験しながら探究した生徒達は，研究の前後で科学研究に臨む姿勢が変化した．また，ウミホタルを飼育し，実験材料として扱う中で，命に対する考え方などにも変容が見られた．ウミホタルは STEM 教育の実験材料の一つになるとともに，STEM 教育は日本国内においても有効な教育の手法の一つになると考えられる．

3）聴衆の反応：

・生徒のどの活動が S(Science)・T(Technology)・E(Engineering)・M(Math)の活動となるかの確認
・生徒の活動への具体的な質問（どのようにしてウミホタルを採集したかなど）
・教材への興味（アメリカにも類似生物がいるか）
・生徒の発見は科学的にも新しい発見かどうかの確認と新しい発見をした生徒への称賛
・生徒の態度の数値化を検討するべきだとの助言

などがあった．

図1は会場の様子である．次の頁では実際の発表で使用したポスターを掲載する．

図1 ポスター発表会場の様子

Proporsal ID
10341

Establishment of the STEM experimental materials in Japan —using *Vargula hilgendorfii*—

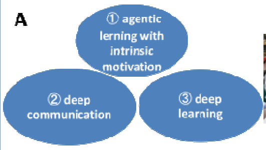
Naoko Kosaka*[1,2], Yoshisuke Kumano[1]
1 Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, 2 Katoh gakuen Gyoushu junior and senior high school

Abstract

STEM education, though it is widely used in other countries such as America, is not very familiar to junior and senior high school educators in Japan. Currently, educators in Japan are reviewing its classroom pedagogy and practices to provide students with opportunities to develop the 21st century skills. The purpose of this study is to establish one of the STEM experimental materials in Japan. In this study, activities are designed and conducted with 11 junior and senior high students which were framed under the eight practices of the STEM education. *Vargula hilgendorfii*, a native *Plankton* in Japan, is mainly used as the experimental material for students to work with. *Vargula hilgendorfii* emits blue light in the evening. This was chosen as a material for this study since it is familiar to Japanese and the reason why they shine is not known. The blue light from this animal is mainly produced by the chemical reaction of luciferase and luciferin. In the research, students made four things: the traps to catch *Vargula hilgendorfii*, the water tank to take care of them, the electrolysis device to stimulate them and an original illuminometer. During the research, students have changed their hypothesis on why the *Vargula hilgendorfii* produces the bright light at 4℃(39F) and more new questions appeared. They also learned the importance of the lives. One of the surprising results was the change of their attitude toward science. Before this research, they did not plan their own experiments or have the skills to design their own since they are always waiting for the teachers' advice. But they came to think deeply, discuss a lot, make their own hypothesis and try out various experiments. These data show that they can work with another framework different from what they have been used to in the Japanese education system. It is concluded that *Vargula hilgendorfii* could be a good choice for students to work with as a STEM experimental material when working with luminescent creatures.

Back ground of the Japanese Science Education

A



B

C

In Japan, some science and education policies are being adopted to provide students with opportunities to acquire the 21-st Century Skills. For example, last March 2017, the government proposed a new Course of Study of Japan for schools[1]. One of the main point of it is the "active learning". In Japan it is expressed in three words. ①agentic lerning with intrinsic motivation, ②deep communication, and ③deep learning(A). As another effort to acquire the 21-st Century Skills, beginning in 2020, all school children will have to learn programming or coding in their schools (B). Also in 2020, the style of University Entrance Examination will be changed. Students will be assessed more in their thinking skills rather than in their memorization skills (C).

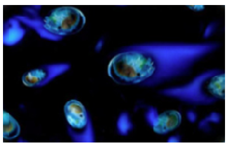
STEM education in Japan and the purpose of this study

STEM education is widely used in other countries such as America. The nature of the "active learning" proposed by Japanese government could also be addressed using the STEM education framework. There are some teams trying STEM education in Japan[2], but it has not yet spread to schools in Japan, and thus there are only a few STEM resources and experimental materials in Japan. The purpose of this study is to establish one of STEM experimental materials in Japan.

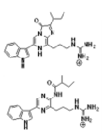
Method of this study

A

B



C



D

E

grade	7th	8th	10th
number	4	4	3
gender	Boys	Girls	Total
number	5	6	11

In this study, the *Vargula hilgendorfii* animal is used as one of the STEM experimental materials. *Vargula hilgendorfii* is one of the tiny *Plankton* living in the warm and shallow sea near Japan. Its body length is about 2-3mm (A). In the afternoon, they stay at the bottom of the sea while in the evening, they move to the shallow waters with their beautiful blue lights (B). The blue light from this animal is mainly produced by the chemical reaction of luciferase and luciferin. DiagramC shows the chemical structures of luciferin and oxidated luciferin. Eleven junior and senior high school students participated in this study (D). They are members of the school's science club. DiagramE shows that there are four 7th graders, four 8th graders and three 10th graders. There are five boys and six girls. They all wanted to know why the *Vargula hilgendorfii* shine. In this study, students researched about the ecology of the *Vargula hilgendorfii*. They paid special attention to when and why the *Vargula hilgendorfii* produce the light. During the research, the students' responses and attitudes toward science were observed. The activities are designed within the eight practices of the science and engineering framework by NGSS[3].

References

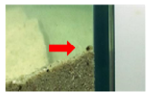
[1] MEXT(Ministry of Education Culture Sports Science and Technology), "Course of study.", Oct2020
[2] Yoshisuke Kumano, Shizuoka STEM junior project Annual report of the year of 2016, 2017, pp.1-103
[3] Next Generation Science Standard, The next generation science standard. "AppendixF Science and Engineering Practices in the NGSS", March 2013

The four major steps

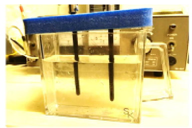
A

B

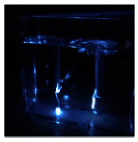
C



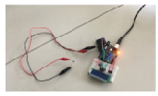
D



E



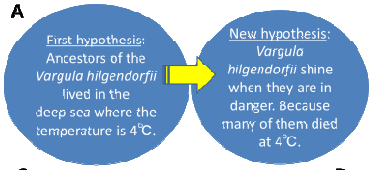
F



There were four major steps that the students did. First they made the traps to catch *Vargula hilgendorfii* (A), and by using them, they caught a lot from the sea. Next, they made the water tank to take care of the *Vargula hilgendorfii* (B). Diagram C shows one of them living in their water tank. They also made the electrolysis device to stimulate live *Vargula hilgendorfii* (D). By using electrostimulation, *Vargula hilgendorfii* produced light in figure E. They applied what they learned in their science classes. They also made an original illuminometer like shown in figureF. A technical high school helped the students in making the electric circuit and its codes.

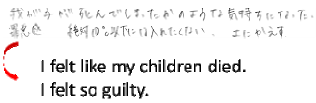
The changes in students' attitude and skills

A

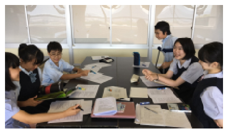


B

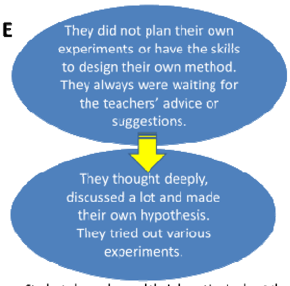
C



D



E



F

Students have changed their hypothesis about the reason why the *Vargula hilgendorfii* produces the bright light at 4℃(39F). They had known already that *Vargula hilgendorfii* shine brightly at 4℃, and the temperature of the deep sea is 4℃. So their first hypothesis was that the ancestor of *Vargula higendorfii* lived in the deep sea. According to their observation, *Vargula hilgendorfii* predictably produced bright light at 4℃, but they died. So they made a new hypothesis. It is that *Vargula hilgendorfii* shine when they are in danger (A). DiagramB shows the dead *Vargula hilgendorfii*. Students were shocked by this observation and learned the importance of the lives. DiagramC shows one of the students' comment. Their attitude toward science also have changed (D&E). They won three prizes. DiagramF shows the awarding ceremony of the "Suzuki Umetaro shou"(prize).

Discussion

- The *Vargula hilgendorfii* produced high intensity light when exposed to low temperature, high temperature, low salinity water and electrostimulation. These data support students' hypothesis.
- The illuminometer which students made is not so sensitive, therefore improvement is needed.
- A collaboration between another schools is rare in Japan, but it is encouraged because of the many advantages it offers.
- Some female students have difficulty in computer programming.
- The prize was an incentive for the students to do more research.

Conclusion

It is concluded that *Vargula hilgendorfii* could be a good choice for students to work with as a STEM experimental material when working with luminescent creatures.

発表を通して，アメリカの研究者や教員もまだ STEM 教育を行う良い実験材料を探している途中であることを感じた．また，生徒のどの活動が，S(Science) ・ T(Technology) ・ E(Engineering) ・ M(Math)の4つの領域のどれに当たるかということを強く意識していることも感じられた．本研究はクラブ活動の中で行われた STEM 的活動であったが，聴衆は，「正に STEM 教育だ」と言われる方も多く，生徒との本実践をアメリカにおいて「STEM 活動である」としても通用するということが実感できた．ウミホタルは，集団での一斉授業の中でも展開可能な実験材料であると感じるので，今後はその実践を行いたいと考えている．

2． 参加したセッションより

1）NSTA の新しい Preservice Science Standards

NSTA(National Science Teachers Association)は 1944 年に設立された世界で最も大きな科学教育のための組織である．学習指導要領に基づく同じ目標に向かって教育を展開する日本と異なり，州ごとに異なる教育が展開されるアメリカでは，NSTA が様々な科学教育の指針を提示しており，これを各州が参考にしながら教育が展開されている．現在 NSTA のホームページでは，2012 年度版の Preservice Science Standards が示されている[1]が，今回の ASTE では，2018 年版の案が提示され，新しい案についての意見が求められた．

2012 年版と 2018 年版との違いについてまとめると以下のようである．いずれの Preservice Science Standards も，以下の 6 つの Standards から成るため，それぞれに分けて説明する．

①Standard1:
Content Knowledge(教える内容の知識)
2012 年度版において concepts, ideas, and applications という単語が使われていた部分は，2018 年度版では，disciplinary core ideas, crosscutting concepts, and science and engineering practices という単語に変更された．

②Standard2:
Content Pedagogy(教え方の知識)
2012 年度版の文章に加えて，2018 年度版において新たに追加された文章は，

Effective teachers also include appropriate connections to science and engineering practices and cross-cutting concepts. である．

③Standard3:
Learning Environments(学ぶ環境)
2012 年度版では Science という単語のみ使われていた部分に，2018 年年度版では engineering という単語が追加された．そして，2018 年度版には，新たに次の文章が追加された．

Students are provided with the opportunity to construct and evaluate their own explanations and understanding of scientific phenomena.

④Standard4:Safety(安全性)
変更点なし

⑤Standard5:
Impact on Student Learning(生徒の学びへの影響)
2012 年度版で使用された Science knowledge の代わりに 2018 年年度版では disciplinary core ideas を使用．また，2018 年度版では Engineering と crosscutting concepts が多用される．

⑥Standard6:
Professional Knowledge and Skills（専門知識・技術）
大きな変更はないが，2018 年に新たに追加された文章として，

Engage in critical reflection on their own teaching practices to continually improve their instructional effectiveness.がある．

アメリカで 2012 年に発表された“A Framework for K-12 Science Education” [2]において示された新しい 3 つの観点である Practices, Crosscutting Concepts (CC), Disciplinary Core Ideas (DCI)が，2018 年版の新しい Preservice Science Standards にも多用されることになるようだ．

2）教材の提案

ASTE ではいくつかの STEM 実験教材が具体的に紹介されていたので，報告する．

①空き缶つぶし機

アメリカでは毎年 10 億個もの空き缶がリサイクルされており，空き缶は 60 日以内にリサイクルされている．授業ではその現状を伝え，そのために家庭で簡易な空き缶つぶし機が必要であるというニーズを確認する．そしてより使いやすい空き缶つぶし機のデザインを考え，身近な材料を使って試作する．ただ作るだけでなく，作ったものを互いに評価しあうという展開が提案されていた．図2は実際に小学生が試作する様子，図3は試作された空き缶つぶし機である．

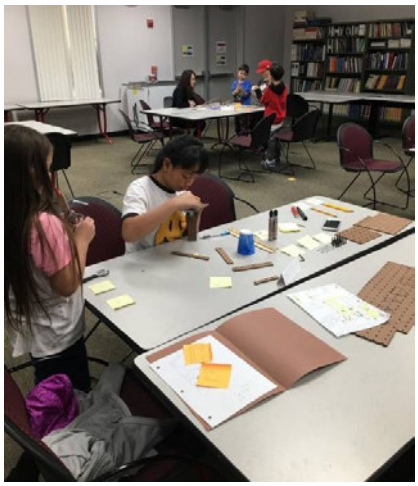


図2　小学生の空き缶つぶし機試作の様子

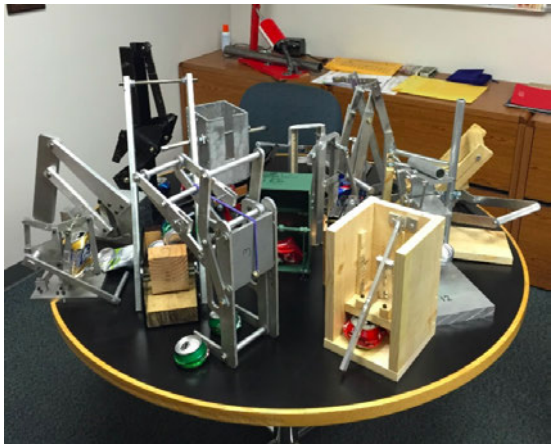


図3　試作された空き缶つぶし機

身近な問題と絡めた教材の提案であり，小学生も興味を持ちやすいと感じた．

②電磁石とスピーカー

電磁石を使って，スピーカーを作ることができること，これを授業の中で教材として使用することを提案していた．図4は使用された電磁石とスピーカーの材料である．日本の中学校理科の教科書では，電磁誘導を学習する際にマイクロホンが紹介されたり，スピーカーはその逆のメカニズムを使うということが文章では書かれているが，実験材料としてスピーカーを試作することは少ないのではないかと感じる．身近な製品を設計する経験も生徒の科学的理解を深めると感じた．

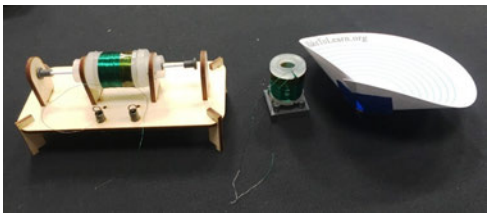


図4　電磁石とスピーカーの材料

③性別とSTEM教育の関係についての研究

Jonathan L. Hall 氏の”The Experiences of Successful Women in STEM Fields: A Phenomenological Study”では，Science の分野で成功を収めている女性の過去の科学における経験をインタビューなどから調査し，それらは同じく科学分野で成功している男性の経験と似ていることを示した発表であった．また，Jeanna R. Wieselmann 氏の”Who Succeeds in STEM? A Study of Elementary Girls’ Perceptions of Gender and STEM”では，学校外での STEM を扱った活動に小学生の女子 30 名が参加したところ，学校の授業で苦手だと感じていた STEM 分野の学習を得意だと感じるようになったという発表であった．

④教員の経験と能力について調べた研究

Laura K Ochs 氏の”Pre-Service Teachers’ Identification of NGSS Engineering and Science Practices in a Sample Lesson Plan”では，9週間若手教員の授業計画と授業を観察し，教員や生徒の変化の様子を調べた．研究により，授業を続ける中で教員が science practices や crosscutting concepts を授業内に入れることができるようになったことや，単発の実験授業よりも複数回の授業に渡って計画される実験授業の方がより生徒の理解を深めることが確認された． Leigh K. Smith 氏の” Elementary Teachers’ Experience, Subject Matter Knowledge, and Knowledge of Student Misconceptions”では，教員の経験年数と小学生のミスコンセプションとの関係を調べた結果，それらは関係しないことが明らかとなった．教員経験年数が長くとも，間違った知識を長らく持ち続けている教員から指導を受けた子供はミスコンセプションに至りやすいようであった．

⑤graduate students forum

学会に参加している学生のみを集めた集会があった．図5はその様子である．集会では，現在の学生の代表，副代表を紹介し，次年度の代表と副代表を決める選挙が行われた．また，知らない学生同士，親交を深めたりする場となった．私は国内の学会に参加したときに，このような学生のみを集めた集会や学生のみを単位とする集団に参加したことがないのでとても新鮮だった．学生同士の中で，各々の研究を深めたり進路の悩みなどを共有したりできることはとても有意義である．日本国内の教育学会においてもこのような学生同士の繋がりを強めることは望ましいと思う．

図5　graduate students forum のようす

3.　おわりに

今回の渡米は私にとって初めての経験であった．アメリカは教師教育，教材開発，教育研究など様々な点において，STEM 教育に力を入れていることを実感できた．実生活とのつながりが感じられる科学の授業を学校内で展開することに力が注がれていると感じた．Practices，Crosscutting Concepts (CC), Disciplinary Core Ideas (DCI)という3つの観点は非常に重要視されていた．これらの観点は，今後日本の教育においても重要になると思う．学校現場で働いていると，科学の特に「物理領域」における男女の差を実感することがある．アメリカでもこの STEM 教育における男女差については研究の対象になっていることも分かった．性差の壁を越えて子供たちが学習できる環境を整えることも私たちの課題である．NSTA の新しい Preservice Science Standards についてのセッションでは，州ごとに異なる教育を展開するアメリカと異なり，1つの学習指導要領のもと，全国的に共通した教育を進める日本は，その点が強みだと思った．日本にとってよりよい科学教育を今後も全国的に展開することに私も尽力したいと思った．

［文献］

[1] NSTA, “2012 NSTA Standards for Science Teacher Preparation”, 2012, http://www.nsta.org/preservice/docs/2012NSTAPreserviceScienceStandards.pdf

[2] National Research Council, “A Framework for K-12 Science Education”, 2012, http://www.nap.edu/catalog/13165/a-framework-for-k-12-science-education-practices-crosscutting-concepts

［謝辞］

本報告は，熊野善介教授の科学研究費（B)の支援を受けました．ここに厚く感謝申し上げます．

STEM EDUCATION IN MIDDLE SCHOOL

(Study about STEM Education at Middle School Level in America)

Lely Mutakinati and Kumano Yoshisuke

Graduate School Science and Technology of Shizuoka University

A. BACKGROUND

America is one of country who develop STEM education successfully, because all of stakeholders participate actively to implement STEM education in schools. STEM education is one project that funded with big budget by American government. STEM education is one implementation model learning of Next Generation Science Standard (NGSS) that involve science and engineering practices. Minnesota city has STEM education center that supported by University of Minnesota established 2009. Therefore, researchers, teachers, and students in Minnesota city familiar and expert in implementation of STEM education. In ASTE conference, many educational and psychology researchers from all states of America have presentations in STEM education.

This educational observation has goals for improving knowledge about implementation STEM education and improving ideas to develop STEM education model. There are some curiosities about STEM education in America: How implementation of STEM education in each state of America especially for middle school level; Whether implementation of STEM education adopt all of ideas of NGSS; How far content knowledge that taught to students; Whether the content knowledge must have follow the NGSS or not. What kind of Project-Based Learning (PBL) implemented in STEM education; What kind of problems showed to students; What kind of kits are used in STEM education for middle school level.

Middle school is a particularly important time in general, with many students beginning to consider possible career options. The opinions they have about STEM subjects at this age will be taken through to further years, with previous experiences or perceptions dramatically impacting their future choices. Despite being such a key time, middle school teachers often have limited resources, with school protocol invariably dictating that other subjects take precedence over STEM (Bamberger, 2103).

These results of observations will contribute for researching and development STEM education learning in Japanese and Indonesian middle school level. Standard contents knowledge of Japan, Indonesia and America are different, therefore, it could be a challenge to educational researchers, teachers, and students. Perhaps, students will achieve new experience learning that have benefit to their future when students conduct STEM education learning.

B. REPORT OF ASTE CONFERENCE IN BALTIMORE

Workshop

1. Exploring Invention Kits

(David A Slykhuis, James Madison University, James Rutter, University of Virginia)

We learnt about how to incorporate engineering principles into science methods courses by completing the construction invention kits. Electric motors were invented in the first half of the nineteenth century. However, batteries – the only power source available at the time – were not powerful enough to allow electric motors to realize their full potential. This required invention of the electrical power grid at the end of the nineteenth century. By the early twentieth century, the combination of these two inventions transformed manufacturing. Along with other inventions of that era, this transformed the United States from an agricultural nation to the world's leading producer of manufactured goods.

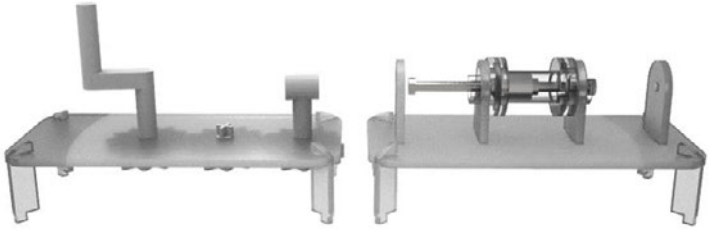
Bar Magnet + Magnetic Motor

The bar magnet on the left attracts the magnet on the right when opposite poles of the two magnets are facing one another.

Rotate the bar magnet by moving the mouse across the screen from left to right. As the poles of the bar magnet alternate, the magnet in the motor on the right moves back and forth as it is alternately attracted and repelled by the changing polarity of the bar magnet.

Magnetic Alternator & Magnetic Motor

The mechanism on the left is a magnetic alternator. The crank rotates the magnet causing the poles of the magnet to alternate.

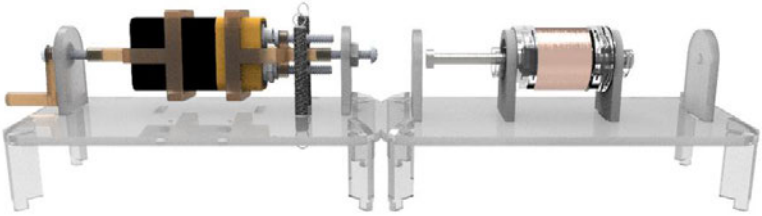


Picture 1. Magnetic alternator and magnetic motor

Turn the crank by moving the mouse across the screen from left to right. As the poles of the rotating magnet alternate, the magnet in the motor on the right moves back and forth as it is alternately attracted and repelled by the changing polarity of the rotating magnet.

Electromagnetic Motor

The battery on the left sends a current through the electromagnet on the right. The magnetic field in the electromagnetic moves the magnet.

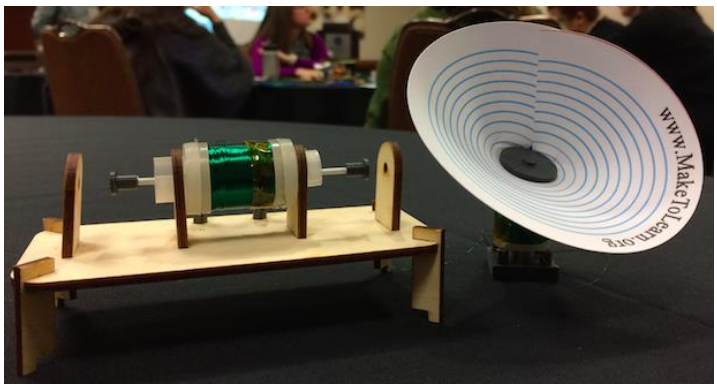


Picture 2. Electromagnetic motor

Turn the crank by moving the mouse across the screen from left to right. As the battery rotates, the electrical current is reversed, reversing the polarity of the electromagnet. The changing polarity of the electromagnetic causes the magnet in the motor to move back and forth.

Electronic Alternator

Invention of the vacuum tube made electronic alternators possible. The electronic alternator controls the rate at which the current changes from positive to negative polarity and back again. Connect the audio output of the computer to an amplifier. Connect the output of the amplifier to a linear motor. Adjust the rate of alternation to 5 times per second. And then click the “On/Off” button to turn on the electronic alternator. The linear motor should move back and forth 5 times per second.



Picture 3. Electronic alternator

2. Exploring the Use of Simulated Classroom Environments to Develop Elementary Science Teachers, Ability to Facilitate High Quality Discussions Focused Argumentation
(Jamie N Mikeska, ETS, Adam Devitt, NYU)

This workshop observed an example of a teacher's performance in the simulated classroom, and discuss how these types of tasks can be used within elementary and middle science method courses and professional development settings.

Designed soda can crushers proved to be a useful engineering design challenged to introduced engineering design processes at the elementary level. Using relevant children`s book aligned with the phase of the engineering design process made soda crushers design challenged more appealing to elementary students. All of students experienced the engineering design process as if they are real engineers. Engaging elementary students in soda can crushers design challenge helped them develop more informed ideas about what engineering is and what engineers do.

Picture 4. Crusher can

Introducing engineering design in early at the elementary and middle level and connecting it with relevant reading and writing activities can inspire students to select STEM careers in the future.

Poster Sessions

1. A Comparison of STEM vs non-STEM majors as career changers in the middle school classroom
(Michelle Fowler, Clemson University, Lienne Medford, Converse College)

This project responds to a gap in the research that examines the differences in success between STEM and non-STEM middle level math and science teachers. It looks at how background and preparation affect teacher and K-12 student success. This project benefits NSF as it provides information about what types of teacher preparation programs and candidates may experience the most success in the public schools.

This NSF-funded longitudinal study looks at the self-efficacy and effectiveness of STEM vs. non-STEM majors as career changer teachers in the middle school math and science classroom. Survey, interviews, and K-12 student scores are used to support conclusions.

Data collected in a longitudinal student comparing STEM and non-STEM career changers based on interviews and then based on interviewees' K-12 student scores. Data shows that program graduates in longitudinal study are doing for better than the state average in both math and science standardized K-12 test scores.

2. Investigating Student Attitudes and Achievements in K-12 STEM Classrooms: A Preliminary Meta-Analysis

(Ibrahim H Yeter, Purdue University, Cristina Diordieva, Texas Tech University)

This study provides preliminary results on the relationship between student's attitude and achievement in K-12 STEM classrooms. The study uses meta-analysis technique to examine 10 qualified recent studies consist of 18 effect sizes. There is a total number of 25,113 K-12 students participated in and out of the U.S with various effect sizes among the grade levels.

3. Merging classroom and field-based investigation to support students' understanding of water quality: The impact of a science field camp experience

(Cathy Wissehr, University of Arkansas, Lisa Wood, University of Arkansas, Madison Brown, University of Arkansas)

Students studied macro invertebrates as water quality indicators through a variety of hands-on activities during a residential field-based environmental education experience with student drawing used to analyze the impact of concepts learned. Results demonstrated a decrease in understanding environmental issues in general, but an increase related to macro invertebrates as indicators of water quality.

Traditional Paper Set

1. Supporting K-12 Teachers' Instruction about Water using Scientific Modeling

(Tina Vo, University of Nebraska-Lincoln, Cory T Forbes, University of Nebraska-Lincoln)

Elementary teachers play a crucial role in supporting and scaffolding students' model-based reasoning about natural phenomena, particularly complex systems such as the water cycle. However, little research exists to inform efforts in supporting elementary teachers' learning to foster model-centered, science learning environments. To address this need, they conducted an exploratory multiple-case study using qualitative research methods to investigate six 3rd-grade teachers' pedagogical reasoning and classroom instruction around modeling practices (*construct*, *use*, *evaluate*, and *revise*) and epistemic considerations of scientific modeling (*generality/abstraction*, *evidence*, *mechanism*, and *audience*). Study findings show that all teachers emphasized a subset of modeling practices—*construction* and *use*—and the epistemic consideration of *generality/abstraction*.

There was observable consistency between teachers' articulated conceptions of scientific modeling and their classroom practices. Results also show a subset of the teachers more strongly emphasized additional epistemic considerations and, as a result, better supported students to use models as sense-making tools as well as representations. These findings provide important evidence for developing elementary teacher supports to scaffold students' engagement in scientific modeling.

2. Strengthening High School Science Teachers' Inquiry Instruction through an Authentic Green Chemistry Research Experience

(Suzanne Nesmith, Baylor University)

This study explored the impact of an authentic, scientist-teacher partnership research experience on high school teachers' understanding and utilization of classroom-based inquiry instruction in general and green chemistry specifically.

Findings provide implications for professional development experiences and attainment of classroom-based inquiry instruction goals.

3. Informal STEM Afterschool Program: Preservice STEM Education Majors, Engineering Majors and Diverse Middle School Students

(Anne P Gatling, Merrimack College, Cynthia Carlson, Merrimack College)

This study explained newly redesigned afterschool STEM program and its impacts on diverse middle school students as well as the STEM Education preservice teachers and Engineering students involved in the Community Partnership Afterschool Programming. Prior survey results had indicated a decrease in girls' science enjoyment and perseverance

4. Guiding Students Toward STEM Career Pathways

(Shana Lee, Mississippi State University, Ryan Walker, Mississippi State University)

As the demand for STEM careers increases, undergraduate STEM enrollment is progressing at a slower rate. Student's social views and misconceptions about STEM career pathways influence career choice. Providing teachers with tools to embed aspects of career explorations into the STEM classroom, help increase the retention rates in STEM degree programs.

5. STEM Readiness: Connecting Science, Engineering and Business Entrepreneurship with Middle School Teachers and Students

(Amy Cox-Petersen, Cal State Fullerton, Jidong Huang, Cal State Fullerton, Pradeep Nair, Cal State Fullerton, Kim Case, Cal State Fullerton, John Jackson, Cal State Fullerton, Len Annetta, East Carolina University)

This paper outlines findings related to STEM-Inc, an afterschool program in four southern California middle schools that combines team-based, real-world engineering and computer science projects with business entrepreneurship concepts.

6. Chemistry students' understanding of dissolving and associated phenomena: The case of sodium chloride

(James M Nyachwaya, North Dakota State University, Katherine Carman, Drake University)

This study explored general chemistry students' understanding of the process of dissolving sodium chloride in water, and the nature and chemistry of the resulting solution. The study also sheds light on students' use of relevant academic language and the nature of conceptual understanding this revealed.

7. A Qualitative Content Analysis of Scientists using the DAST-C in Middle Grade Science Textbooks

(Rebecca Hite, Texas Tech University, Carolanne Grogan, Texas Tech University)

Students' perceptions of scientists continue to captivate educators and researchers. This study examines images of scientists using Draw a Scientist Test (DAST) framework from the 3 major (American) middle grade science textbooks. Results suggest that science textbooks may reinforce stereotypical views of scientists and scientific endeavor.

8. Teaching Old-dogs New Tricks: Creating Space for Project-based Learning in a Vocabulary-focused Classroom through a Year-long Professional Development

(Rory J Glass, State University of New York at Albany, Alandeom Oliveira, State University of New York at Albany)

This study explained the results of a year-long professional development project working with high school teaching teams to improve the learning outcomes of ELLs in content area classes. The results that suggest explicit instruction may be less effective than simply working with, an around, language artifacts; as long as the context is familiar.

C. REPORT OF STEM EDUCATION IN MINNESOTA

1. Minnesota Department of Education

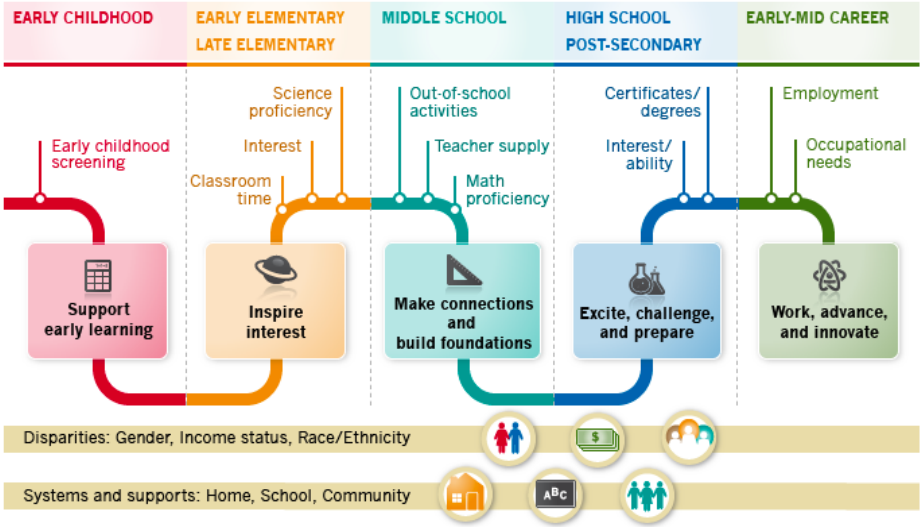
Minnesota is a lead state in the development of the Next Generation of Science Standards. This is a cooperative effort of several states to provide standards that could be adopted by all states. The standards are based on *A Framework for K-12 Science Education* developed by the

National Research Council. The framework sets the vision for science education and identifies science and engineering practices, core disciplinary ideas, and cross-cutting concepts.

The *Frameworks for Minnesota Mathematics and Science Standards* is an online resource for use by educators for planning instruction, professional development, curriculum design and assessment. It provides instructional resources directly connected to each standard. It also has sections focused on best practices and standards implementation. The Minnesota STEM Network is a project to improve STEM education in Minnesota by addressing critical issues and forming collaborations across the state. The project is sponsored by SciMathMN

a. STEM Education in Middle School Level

STEM (Science, Technology, Engineering, Math) education is critical to Minnesota's prosperity, developing workers with the skills to meet 21st century employment needs. Explore data, research, and resources to support people in STEM can be seen in picture 5.

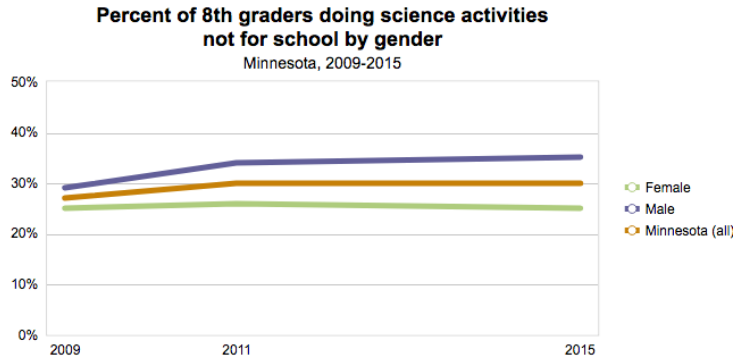


(Sources: Minnesota Compass Minnesota Department of Education, Minnesota Comprehensive Assessment, 2018)

During middle school, students should have meaningful experiences that inspire, build connections, and help them see themselves in STEM. Students also need to build a solid academic foundation to succeed in high school math and science coursework, as well as the ability to apply STEM knowledge and skills to solving real-world problems.

Shoring up teachers' skills is a high leverage point for increasing the number of students who attain STEM degrees. Classes taught by teachers licensed for the assignment provides a measure of the supply of qualified STEM teachers. As discussed on the "Best practices" tab, research literature also indicates substantial changes are needed in teacher preparation and professional development.

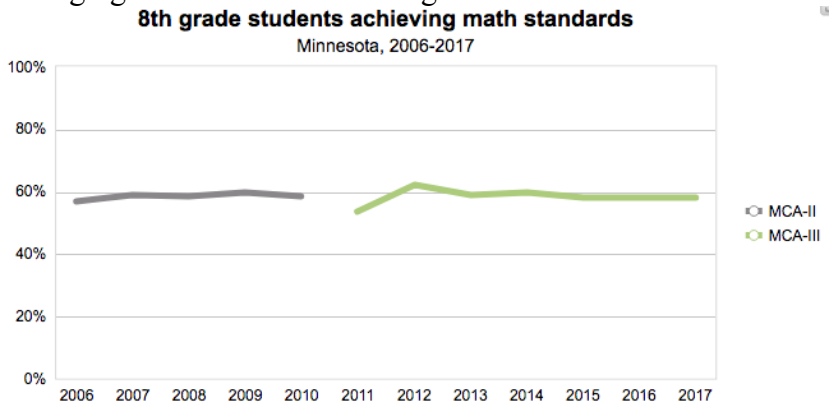
Out-of-school-time experiences provide important opportunities for engagement in STEM. The percentage of 8th-grade students who participate in science activities not for schoolwork provides a measure of informal education.



(Sources: Minnesota Compass Minnesota Department of Education, Minnesota Comprehensive Assessment, 2018)

Eighth-graders were asked how much they disagree or agree that they do science-related activities that are not for schoolwork: strongly disagree, disagree, agree, or strongly agree. Combines response categories of "agree" and "strongly agree."

Proficiency in 8th-grade math provides a measure of whether students are on track to pursue more challenging math coursework in high school.



(Sources: Minnesota Compass Minnesota Department of Education, Minnesota Comprehensive Assessment, 2018)

Until 2010, 8th grade students took the mathematics MCA-II (an assessment aligned with the 2003 Minnesota Academic standards). Since 2011, 8th grade students have taken the mathematics MCA-III (an assessment aligned with the 2007 Minnesota Academic standards). Because mathematics MCA-II and MCA-III test specifications are different, users are strongly cautioned against comparing data or drawing conclusions about mathematics achievement between the two tests

b. Family, School and Community Engagement

The development of strong collaborations between schools, families, and communities is an essential component for student academic success. The resources on this site are intended to assist parents, schools, and districts in strengthening partnerships between schools, families, and their communities to increase student achievement. Each module contains:

- A needs assessment to assist schools/districts in identifying strengths and areas needing improvement.
- Research, best practices, and resources related to the topic.
- A toolkit, which includes handouts, presentations, action plans, examples, SMART goal templates, and more to help school teams develop strategies and plans for that topic.
- Policy and procedure samples and ideas.

2. Bakken Museum

The Bakken Museum acquired its name from Earl Bakken. Bakken was born in 1924 and grew up in Minneapolis and received his training in electrical engineering at the University of Minnesota. The Bakken, previously known as The Bakken: A Library and Museum of Electricity in Life and known in the past as the Medtronic Museum of Electricity in Life, located on the shores of Lake Calhoun in Minneapolis, Minnesota in the United States, is the world's only library and museum devoted to medical electricity.

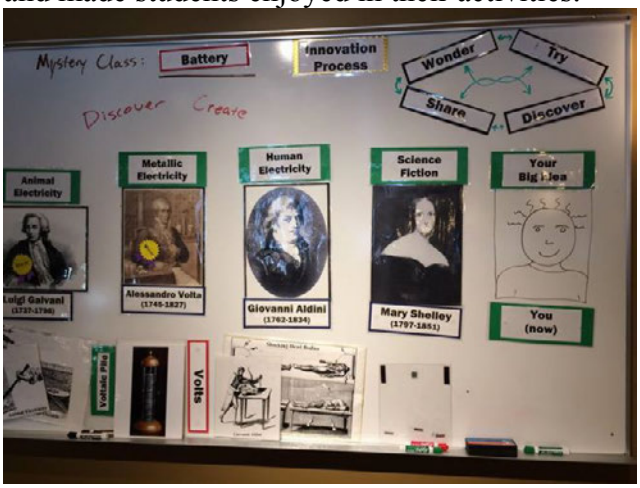
Many programs conducted in Bakken Museum for students, there are Camp, Classes, Fieldtrip, and Outreach. One of activities in Classes program is Electricity. Students was provided some experiment about electricity. They have interested classes using material from daily life and muppet show to explained the history of electricity.

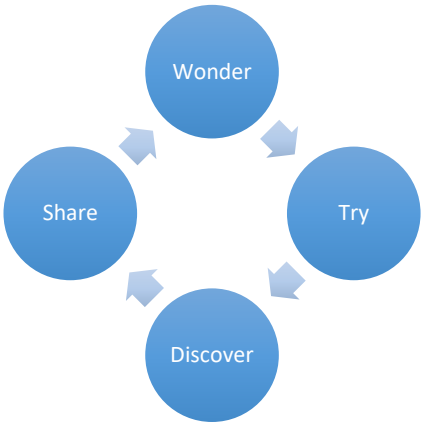
(a)

(b)

Picture 5. Materials for Classes Activities in Bakken Museum

Besides that, The Bakken Museum using 4 steps for student activities in classes program and made students enjoyed in their activities.





Picture 6. Students activities in Classes Program

3. Farmworth Aerospace Magnet Middle School

Farmwort Aerospace Magnet Middle School dedicated staff encourages experimentation and engages imagination. Students work on teams to solve complex problems, and each success builds confidence for the next challenge. Every student in grades 5 - 8 participates in aerospace and engineering classes and has the opportunity to fly in the flight simulator lab. Farnsworth students learn from experts and speakers and have many opportunities for field trips that expand learning outside the school walls.

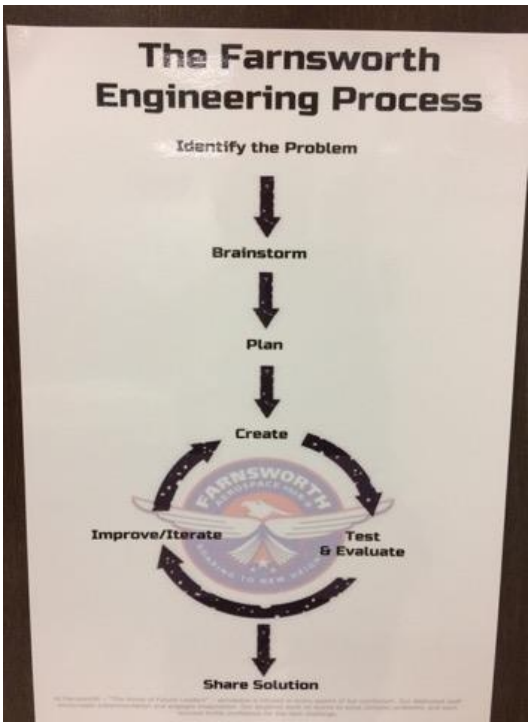
Families are encouraged to learn together through aerospace and engineering family nights and events. Students thrive there through inspiration, imagination and commitment to become a future leader.

Farmwort Aerospace Magnet Middle School has a vision that imagine a 5 to 8 school where all staff are involved in ensuring multiple opportunities for each student to experience academic growth in Reading and STEAM (Science, Technology, Engineering, Aerospace and Mathematics).

Aerospace Technology Department implements a strong standards based curriculum including:

- Flight Simulators
- Engineering Classes (Project Lead the Way)
- Flight Site
- eCar
- LEGO Robotics
- Aerospace Field Trips
- Guest Speakers

Picture 7. LEGO robotics



Picture 8. Engineering Processes in Farmwort Aerospace Magnet Middle School

D. SUMMARY

American government provides students excellent education framework in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) to prepare them to success in the global economy and workplace force. Implementation of STEM education in America especially for middle school level has already developed in many subjects (chemistry, biology, and physic). The teaching materials of STEM education well improve and connect to daily life.

STEM education at all schools can help achieve the goals of *A Framework for K-12 Science Education*: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas and the Next Generation Science Standards (NGSS), the new science education standards that many states in the U.S. have adopted or are in the process of adopting. Schools often approach STEM education in

their own ways due to their own unique populations, challenges, and needs. For example, in Minnesota integrated STEM education intentionally links the *Minnesota K-12 Academic Standards in Science (2009)* and the *Minnesota K-12 Academic Standards in Mathematics (2007)* as well as standards for Literacy in Science and Technical subjects included in the *Minnesota K-12 Academic Standards in English Language Arts (2010).* The informal education sector, including museums and science centers, is a critical component in the overall ecosystem of STEM education. One key area informal institutions contribute to the ecosystem is through teacher professional development.

So many middle school students fail to understand how it fits in with their own goals or world; at this age, they are often unable to see the connection between what they are learning and their own life. Foster a link between STEM and their own experiences, such as explaining how technology enhances their life, and how STEM is literally all around them but often gets taken for granted, such as electricity and crusher can. Regularly talk about science news, and the amazing discoveries and strides that are being made. Another way to implementation STEM in middle school is using Project Based Learning. Through an integrated approach to STEM education focused on real-world, authentic problems, students learn to reflect on the problem-solving process. Research tells us that students learn best when encouraged to construct their own knowledge of the world around them.

Success in STEM requires both technical and non-technical skills. Curiosity, the ability to think logically and creatively in problem-solving, communication skills and the ability to work in teams are all required to succeed in STEM careers. Mathematics and science knowledge are an important base for all STEM workers. Students need to be inspired in STEM subjects beginning in the middle school grades with coursework and extracurricular activities focusing on honing problem-solving skills in the high school grades. After high school, STEM career requirements are more specific to the specific occupations.

REFFERENCES

Allison Luizi, 2018. STEM in Minnesota-Overview. Minnesota Compass.

Bamberger, Y. M., & Cahill, C. S. (2013). Teaching design in middle-school: Instructors' concerns and scaffolding strategies. *Journal of Science Education and Technology*, *22*(2), 171-185.

David A Slykhuis, David. A, James Rutter. (2017). Invention Kit. University of Virginia.

Devitt, Adam, Jamie N Mikeska. (2017). Exploring the Use of Simulated Classroom Environments to Develop Elementary Science Teachers, Ability to Facilitate High Quality Discussions Focused Argumentation. New York University.

National Research Council. (2013). *Monitoring Progress Toward Successful K-12 STEM Education: A Nation Advancing?*. National Academies Press.

ASSESSEMENT OF STEM CONCEPTUALIZATION IN PRE-SERVICE STEM TEACHERS (BELIEF, CONTENT KNOWLEDGE AND PCK)

Pramudya Dwi Aristya Putra

Graduate School of Science and Technology, Educational Division, Shizuoka University

Abstract

This study explained an observation that conducted in Baltimore and Minneapolis, USA, January 4th – 10th, 2018. The methodology was used in this study only observation and discussion about preparedness pre-service STEM teachers of STEM conceptualization. The first explanation in this paper described activities, which the author followed in ASTE annual conference. The second explanation described activities which author followed in Minneapolis. The last part of this work explained resume and authors point of view from all of the activities had been conducted. The most important in this study is developing the PCK model and implementing in the classroom. Evaluation of PCK in STEM education is stressed because this part still develops and argues between researchers. Author believes that a merger of content knowledge and pedagogical knowledge is needed in STEM education.

Keyword: PCK, STEM Education, pre-service STEM teachers.

INTRODUCTION

Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education is included in an integration model. The concept of integration is putting different subject areas together. An emergence of STEM integration is based on real-world problems that have not been solved in one separate subject but use general points (Wang, Moore, Roehrig, & Park, 2011). To create integration, making connections becomes important to generating harmonies between subject areas. It seems STEM could be effective in teaching some concepts one way. On the other hand, if the connection between STEM subjects is not apparent, the desired integrated STEM will be lost (English, 2016).

To use STEM in a classroom, educators need to be well prepared. They need both STEM content knowledge (STEM CK) and STEM pedagogical knowledge (STEM PK) (Rogers, Winship, & Sun, 2015). These are fundamental elements of teaching that Shulman (1986) has formulated as Pedagogical Content Knowledge (PCK). Without STEM CK, educators would not seem confident to show their knowledge, and without STEM PK, they would have difficulty transferring their knowledge to students. PCK represents a more complex set of skills that require educators to merge their mastery of content with their PK (Marshall, Smart, & Alston, 2016). Educators who have high PCK are able to implement the most effective practice for teaching subject-specific concepts as they support meaningful student learning (Shulman, 1986).

A problem with PCK arises when the STEM integration is widely applied to the classroom. According to Shulman (1986), PCK has a specific subject or topic. It is a challenge to assess PCK in pre-service STEM teachers (Berry, Friedrichsen, & Loughran, 2015) because STEM integration is not a subject-specific area. Based on the STEM characteristics, educators who implement STEM integration might master not only in one subject but a cross-subject area in which the integration is needed. (Moore et al., 2014) have given an example that engineering could be a way to integrate science and mathematics, so

the STEM component will be interconnected. In her conclusion, a framework of engineering education could be used to guide the development of curricula and engineering in integrated STEM education settings. Additionally, (Bybee, 2013) has given nine models with which to integrate STEM, but they have still left a chance for educators to develop the integration of STEM based on their understanding. Although many of the researchers have developed STEM integration training for educators, to the best of our knowledge, this study focuses on an exploration of PCK in STEM education.

This study explores preparation pre-service science teachers in STEM education. The exploration based on the ASTE 2018 conference in Baltimore and field trip in Minnesota, USA. The question research that guide this study are as follows:

1. What are the ways to prepare pre-service science teachers of STEM conceptualization?
2. What are models for improving STEM conceptualization in USA?
3. How to assess the teachers STEM conceptualization in the professional Development?

RESULT ACTIVITIES

Exploring Invention Kits,

By David A Slykhuis, *James Madison University*

This section engages all participants to design engineering activity by invention kits. These kits consist of a linear motor invention that divided to be seven sections and each group practiced by following a tutor instruction. Those parts are:

1. Bar Magnet and Magnetic motor
2. Magnetic alternator and magnetic motor
3. Electromagnet and magnetic motor
4. Electromagnetic motor
5. Tone generator
6. Solenoid Motor

The simple design was presented in this workshop and the kit made of simple things. I described an example in figure bellow.

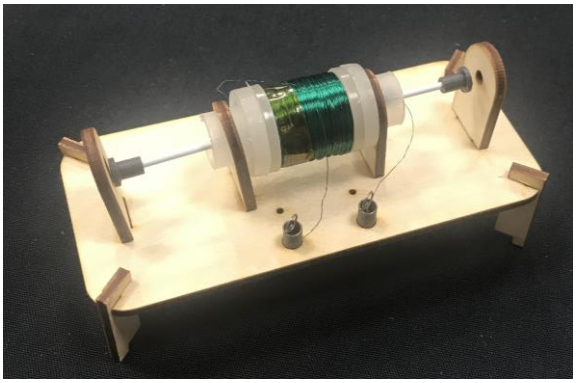


Figure 1. An example of result from the invention kits section

An application in the real world explained briefly in using a sound system. Tutor showed how the sound system (speaker) would work by only paper, wire coil, and amplifier. Interestingly in story sections is that using of technology was dominant because smartphone was also used as one of the experimental equipment.

Integrating Engineering Design with Science and Language Arts within Context of the Next Generation Science Standards

By Hasan Deniz, University of Nevada Las Vegas

Background:

I joined in this section because the material is needed to design of engineering concept in my research. Before the tutor started, the tutor explored a problem in the integrated state environment. The presenting problems were:

- American recycle 1 billion aluminum soda cans each year
- Recycle aluminum saves more than 90percent of the energy required vs. producing the new material.
- Aluminum cans can be recycled and back on the shelf.

After the presenting problem in front of a class, the participants asked for analysis needed to solve those problems. The analysis needed to be conducted whether we need soda crusher, how much money they are willing to spend on a soda can crusher, and what qualities they are looking for in a soda can crusher at the beginning program. As a starting point in engineering process that imagination is needed to make a simple idea. The simple design was chosen to be more efficient than seemingly elaborate designs idea. After the participants sketched on a paper, we arranged to be a paper prototype of a can crush by equipment provided. Those equipment were pegboard, L Shape corner brace joint right angle bracket, Socket Head Cap Screw, Hex Nuts, Flat Washer, Standard adjustable wrench, Hex key Set. While the participants constructed the can crusher, the tutors continuously watch each group that consists of three persons and offered help as needed. After finish for constructing the soda can crusher, we tested to match and evaluation our result.

I bolded keys word of engineering process in the paragraph. A designing soda can crusher was to be useful engineering design challenge because it can introduce engineering process design at an elementary level. At the end of this class, tutor explained Nature of engineering aspect that I described those aspects below.

1. Empirical

Engineering optimizes their design solutions and compares alternative solution based on evidence obtained from test data.

2. Demarcation

Engineering is systematical engaging in the practice of design to achieve a solution for specific problems. Engineering applies their understanding of the natural world (scientific knowledge) to design solution for real-world problems. These endeavors result in new technologies.

3. Tentative

A phase of engineering design process does not always follow in order, any more than do the “steps” of scientific inquiry. At any phase, a problem solver can redefine the problem or generate new solutions to replace an idea that is just not working out.

4. Creative

Creative and imagination of engineers play a major role during the engineering design process. The role of creativity and imaginations is not limited to any specific phase of the engineering design process.

5. Engineering design process

Defining and delimiting engineering problems involves starting the problem to be solved design solution to engineering problem begin with generating some possible solution. Optimizing the design solution involves a process in which solution is systematically tested and refined, and the final design is improved.

6. Subjective

There is no unique solution to an engineering design problem. While there can be many solutions to the same problem, some of these solutions may be more suited to meet the criteria and constraints of the problem.

7. Sociocultural Embeddedness

Engineering is human activity. There is a continuous interaction between engineering and society. Sociocultural factors influence the engineering design process, and in turn, engineering influences the society. These social and cultural factors include social composition, religious, worldwide, political, and economic factors.

8. Social

Engineering is not a solitary pursuit. Engineering design solution is constructed through social negotiation. Despite their differences, members of an engineering community share a common understanding, traditions, and value. This social dimension enhances the quality of engineering design solution.

(January 5, 2018)

Using Biography to Support pre-service science and engineering teachers learning about engineering practices and Habits of Mind

Pamela S. Lottero-Perdue, Towson University

In this section, presenter began briefly reviewing the NGSS Scientific and Engineering Practices, and then described eight engineering habits of mind

.

a. The NGSS Scientific and Engineering Practices

#	**Scientific Practices**	**Engineering Practices**
1	Asking Questions	Defining Problem
2	Developing and Using Models	
3	Planning and Carrying and Investigation	
4	Analyzing and Interpreting data	
5	Using mathematics and Computational Thinking	
6	Constructing Explanation	Designing Solution
7	Engaging in argument from evidence	
8	Obtaining, evaluation and communication information	

There are two practices for which a distinction is made in the practices title between what engineering and scientist do.

b. Eight engineering habits of mind

A list of engineering habits of mind by the NAE&NRC (2009) include:

- Considering technologies as parts of larger systems (Systems Thinking)
- Being creative (Creativity)
- Being Optimistic (Optimism)
- Valuing collaboration (collaboration)
- Communicating in multiple ways (Communication
- Attending to ethical consideration (Ethics)
- Being driven to solve problems (Design to solve problems)
- Being persistent and responding productively when design fail (Persistence and productive responses to failure).

The programs for teaching engineering in middle school science course major activities are depicted in figure below.

	Beginning of semester → → →			End of Semester
Major in Class Activities	Intro	Science-Integrated Engineering Design (Challenge 1)	Science-Integrated Engineering Design (Challenge 2) connected to biography content	Teach Challenge 1 to students at a local middle school
Course readings		Engineering Methods Chapter	Biography	N/A (Students are writing lesson plans and reflection)

The biography : The Boy Who Harnessed the Wind (Kamkwamba&Mealer, 2009, 2015). Why this book had been chosen because this biography provided multiple examples of its main character including NGSS Practices. Other hand, the book provide multiple examples of William Kamkwamba engaging in engineering habits of mid, including the aforementioned collaboration and failure habits.

The biography project has been a meaningful addition to this course. Avoiding the myth of the hero, but it emphasize the way in which a non-engineer with a passionate desire to solve problems in his village engages in practices and habit of mind. Students enjoy this reading and seem inspired by that book.

(January 6, 2018)

Elementary Teacher Conception and Integrations Methods of iSTEM Education: An Exploratory Cross-Sectional Survey Study

By Kathryn "Annie" Arnone, NASA Endeavor

A purpose in this section was to examine and describe a ways in which elementary teachers conceptualize iSTEM education and the integrative approaches they use when teaching STEM content, with the intent to inform the development of elementary specific iSTEM education professional development.

Methodology used, it was chosen five teachers to be interviewed. These teachers become participants because they usually used a different integrative approach in their iSTEM education lesson plan. Overview of purposeful sample is in table bellow.

Teacher	Grade	Rural/Urban	Years of teaching Experience	STEM Ed. continuum	Hours of STEM PD Attended
1	K	Rural	12	Beginner	0
2	2	Rural	3	Beginner	10
3	3	Rural	12	Beginner	0
4	4	Rural	6	Beginner	5
5	5	Urban	15	Somewhat Experienced	10

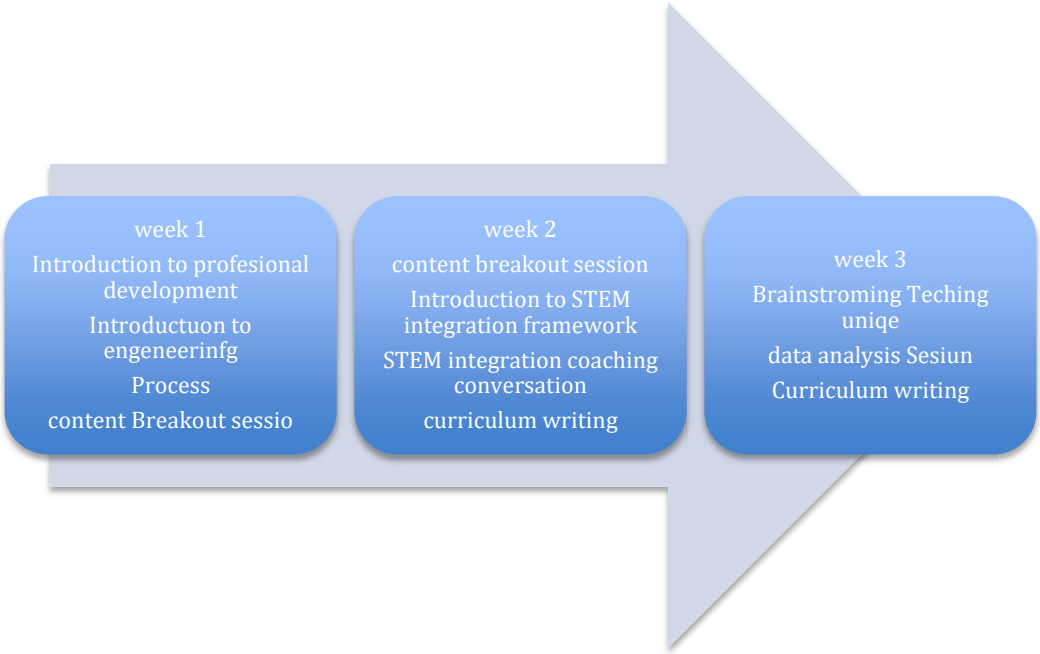
Result:

1. Teachers in this study were generally unprepared to implement iSTEM education,

2. Teacher this study applied the iSTEM: Thematic integration (1), No Integration (2), content specific integration (3), Methodological Integration (4), and Process specific integration (5).
3. Based on the teacher misconception about iSTEM in point 1 and 2, a professional development is needed. It will provide a clear understanding of iSTEM in elementary teachers.

Differences in Teachers' Practices and Ways in Which Their Conceptual Models of STEM are Enacted Implementation of an Integrated STEM Curriculum Unit
By Elizabeth A. Ring , University of Minnesota

This research explained a professional development that conducted only in three weeks. This is effectively short time to improve STEM conception for in-service teachers. Figure bellow gives information the professional development.



Throughout the 3 weeks of professional development, teachers worked together in teams of two or three to develop a new STEM integration module assisted by STEM education graduate students who served as a curriculum development partnered and instructional coach.

It is imperative for facilitator of professional development related to integrated STEM to recognize that these various models exist and to understand the importance of allowing teachers time to reflect on their own conception of integrated STEM education both individually and with others. There is no one-size-fits-all for K-12 educators when it comes to an integrated STEM model, and this presenter only suggest that opportunities that encourage deep reflection on one's conceptual models and communication with others are important for developing these conceptions from simple models to more complex model.

Minnesota Department of Education

There are five are committees to delve in specific topic:

a. Accountability
b. Assessment
c. English learners

d. School improvement
e. Educator quality

The motto of the Minnesota Department of Education "Leading for education excellence and equity. Every day for every one." Education Equity is defined the condition of justice, fairness and inclusion in our systems of education so that all students have access to the opportunity to learn and develop to their fullest potential.

I joined in the Standards and Assessment meeting there. This standard provided a quality assessment system that assures students receive a fair, equitable and high-quality education. Based on that reason, the Minnesota Department of Education held a comprehensive Assessment (MCAs) and Minnesota Test of Academic Skills (MTAS).

Aerospace And Engineering School (Grade 5 – 8)

Model of school is aerospace system. This school has an integration model by own self. STEAM stand of Science, Technology, Engineering, Aerospace and Mathematics. Students demographic was described below

Characteristics	Percentage
Students	620 students
• American Indian	0 %
• Asian	63 %
• Black	19 %
• Hispanic	10 %
• White	8 %
English Language Learners	37 %
Special Education Students	13 %
Free and Reduced Price Lunch	80 %

The facilitate in this school include:

- STEAM programing, on-site flight simulator and provides the opportunity for students to attend three national aerospace field trips each year.
- A team of ten Farnsworth students won first place
- Five Farnsworth students were awarded scholarship from the National Flight Academy to attend the National Flight Academy in Pensacola, Florida.
- Farnsworth was recognized as a sustained exemplar positive behavioral interventions and supports (PBIS) school by the Minnesota Department of Education.
- As a restorative practice (RP) programing site, Farnsworth serves as a model for the district on how to implement its practice.
- Farnsworth is a recipient of three-year university of Minnesota Equitable Science through parental involving science teacher, parents and researcher at the U of M
- AVID programming is implemented school wide to academically prepare our students for collage readiness and success.

STEM center at Minnesota University

STEM center in Minnesota provide office of professional development that relationship with teacher, researcher, and outside. I discussed about the Professional Development, what it is conducted in Minnesota University. In my big question, how did invite the teachers to join in Professional development. They explained that the STEM center in University of Minnesota provided learning material before teacher were s invited. It is relation with my work for dissertation, so I am still communicating with one of researcher in University of

Minnesota. I talked about "Reforming Teaching Observation Protocol (RTOP)" that a questionnaire set is to observe teachers teaching in classroom. A table bellow is a sample item to observe teachers teaching in classroom based on RTOP.

Reformed Teaching Observation Protocol

I. Background Information

Name of teacher		Purpose of observation (curriculum implementation/ coaching/ other)	
School		Grade level	
Subject observed		Number of students	
Observer		Date of observation	
Start time		End time	

II. Contextual Background and Activities

In the space provided below please give a brief description of the lesson observed, the classroom setting in which the lesson took place (space, seating arrangements, etc.), and any relevant details about the students (number, gender, ethnicity) and teacher that you think are important. Use diagrams if they seem appropriate.

III. Field Notes

In the space provided below please provide a detailed description of observed classroom events

IV. Lesson Design and Implementation

		Never Occurred				Very Descriptive
1)	The instructional strategies and activities respected students' prior knowledge and the preconceptions inherent therein.	0	1	2	3	4
2)	The lesson was designed to engage students as *members of a learning community*.	0	1	2	3	4
3)	In this lesson, students engaged in a meaningful engineering design project/challenge.	0	1	2	3	4
4)	This lesson encouraged students to seek and value *alternative modes* of investigation and/or problem solving.	0	1	2	3	4
5)	The focus and direction of the lesson was often determined by ideas *originating with students*.	0	1	2	3	4

V. Content

Propositional knowledge (knowledge of "what") (items 6-10 refer specifically to the targeted science and/or mathematics content of the observed lesson)

6)	The lesson involved fundamental concepts and/or big ideas of the subject.	0	1	2	3	4

7)	The lesson promoted strongly coherent conceptual understanding.	0	1	2	3	4
8)	The teacher demonstrated strong pedagogical content knowledge and student thinking about subject matter.	0	1	2	3	4
9)	Elements of abstraction (i.e. generalizing ideas beyond the specific context or situation) were encouraged when it was important to do so.	0	1	2	3	4
10)	Connections with other STEM disciplines and engaging/meaningful context(s) were explored and valued.	0	1	2	3	4

STEM Reasoning

11)	Teachers and/or students used a variety of representations of a phenomena, system or design (models, drawings, graphs, concrete materials, manipulatives, etc.)	0	1	2	3	4
12)	Students made predictions, conjectures, prototypes, designs, estimations, and/or hypotheses and devised means for testing and/or determining what would count as evidence.	0	1	2	3	4
13)	Students were actively engaged in *thought-provoking activity* that often involved reflection and action on the critical assessment of procedures and/or designs.	0	1	2	3	4
14)	Students were reflective about their thinking, learning, and /or understanding.	0	1	2	3	4
15)	Students were encouraged to generate explanations, alternative solution strategies, and/or ways of interpreting evidence/data/results.	0	1	2	3	4

VI. Classroom Culture

This section addresses a separate aspect of a lesson, and completing these items should be done independently of any judgments on preceding sections. Specifically the design of the lesson or the quality of the content should not influence ratings in this section.

Communicative Interactions

16)	Students were involved in the communication of their ideas to others.	0	1	2	3	4
17)	The teacher's questions triggered *divergent modes of thinking*.	0	1	2	3	4
18)	There was a *high proportion of student talk that advanced understanding*, and a significant amount of it occurred between and among students.	0	1	2	3	4
19)	*Student questions and comments* often determined the focus and direction of classroom discourse.	0	1	2	3	4
20)	There was a *climate of respect* for what others had to say.	0	1	2	3	4

Student/Teacher Relationships

21)	*Active participation* of students was encouraged and valued.	0	1	2	3	4
22)	Intellectual rigor, constructive criticism, and the challenging of ideas were valued.	0	1	2	3	4

23)	In general the *teacher was patient* with students.	0	1	2	3	4
24)	The teacher acted as a resource person, working *to support and enhance student learning*.	0	1	2	3	4
25)	The metaphor "*teacher as listener*" was very characteristic of this classroom.	0	1	2	3	4

DISCUSSION

All of the result was indicated the preparedness of pre-service teachers to build of STEM conceptualization.

Invention KIT related to the engineering process that they provided all of the instruments for the participants arrange and discuss the electromagnetic topic. This session described part of the STEM, which the technology could be trained to pre-service teachers. This program has supported The National Technology Plan, US to help and guide pre-service teachers in understanding what knowledge, skill, attitude are needed to integrate technology to STEM field area (Slykhuis, Lisa, Thomas, & Barbato, 2015). The technology using in this session showed clearly how STEM discipline interconnects and realize the integration of STEM subject in society.

Technology process is needed to the engineering process. To consider how STEM component is interconnected, engineering requires for application of the STEM education (Moore et al., 2014). Engineering could be a bridge between science, mathematics, and technology. The engineering process thinking gives many challenges because the term of "engineering" is still new form to pre-service science teachers. For example in this ASTE 2018 meeting, Deniz (2018) demonstrated activities to improve engineering process thinking among the conference participants. He asked the participants to present problem, analysis, imagine, created a prototype, construct, test and improves. The engineering process permits to back a starting point to create a contraction complete without giving up. Discussion between a group or other groups is first designed to rise engineering thinking. This section described what is and what engineers do. What Denis has done could be an example to conduct STEM pre-service teachers training. He could integrated between science (pressure/force) and engineering (design and create a prototype). This engineering thinking should introduce a teachers candidate early mainly in science education with connecting content knowledge.

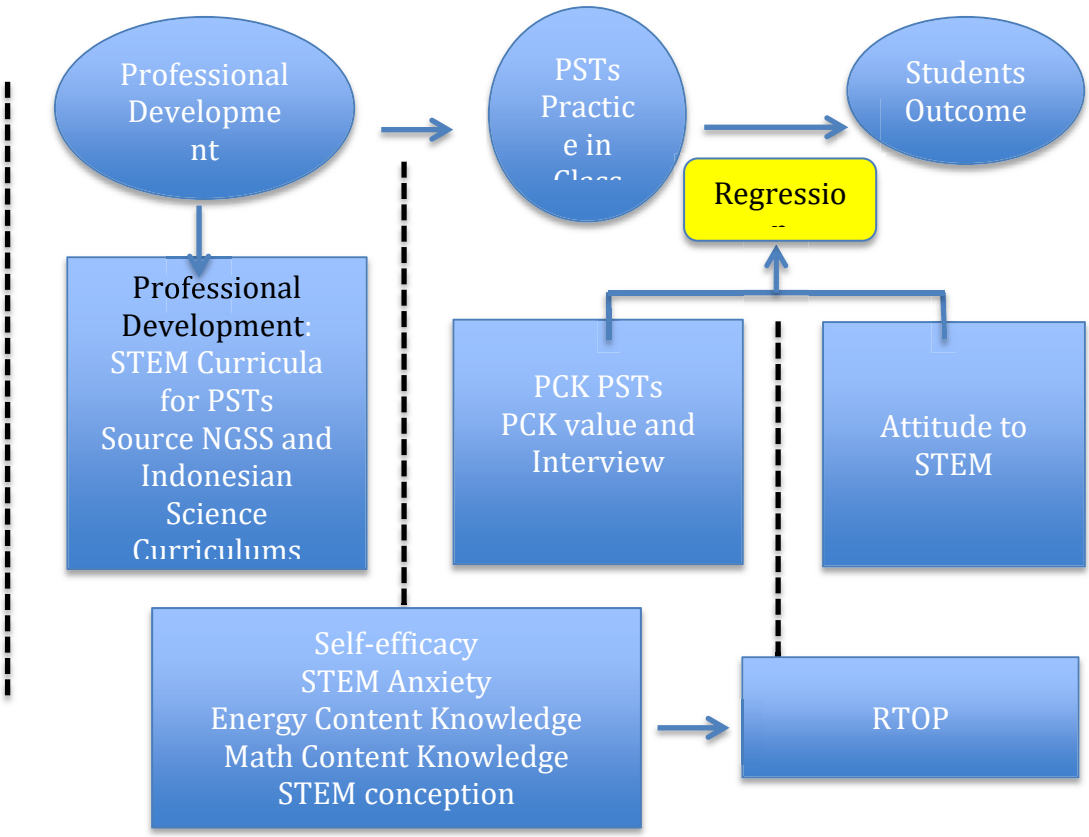
Another case, Lottero-Perdue, De Luigi, & Goetzinger (2015) used an approach to compare the scientific practice and engineering practice. She has concerned to solve the failure mind habit for engineering thinking. Persistence should appear when the STEM activities run in the classroom. This funding describes that the "failure" is a deferent context in engineering practice. This context is not final assessment when the engineering use failure word. Failure needs evaluation, so it is not fixed of aims project. This concept produces a new model in STEM education. She has compared and mixed engineering practices and elementary education. The new model call engineering elementary education (P. Lottero-Perdue & Parry, 2017)

Interestingly topic for prepare pre-service teacher education is how STEM conceptualization has been evaluated in recent year. The integration of STEM education is not only how the cross disciplines between STEM merge but associate with the content knowledge and beliefs (Ring et al., 2017). If the teachers lack knowledge and belief to understanding to integrate the STEM education, they probably can use specifically STEM integration. Kathryn, (2018) ; Ring et al. (2017) explained that their researchers have been to improve the understanding of STEM content knowledge teachers and how to implement an integrated STEM curriculum, so they are available to use STEM integrate into the classroom.

Professional development, particular in STEM education, need to help improve the STEM integration, not in only one side subject, but it should balance between subjects. Although many of the researchers conducted professional development in STEM education, we believe that Ring et al. (2017) had used the shortest time in teachers professional development for integrating STEM education. She's finding that the science teachers who participated in the professional development entered with conceptions of integrated STEM education that still were ambiguous and relatively undeveloped. This finding suggested that preparing of pre-service teachers in STEM education is needed before they will professionally teach in the real classroom.

In the last of professional development, the program needs an evaluation to know how the teachers who participated in professional development implement STEM education in the classroom. Assessment in STEM integration was conducted in Minnesota of University. There was developed STEM reformed teaching observation protocol (see table of RTOP) that could be used to evaluate not only pedagogical knowledge but also knowledge of STEM too (including PCK). The evaluation appears in RTOP have already fulfilled a PCK facets that could use to assess PCK. The facets of PCK based on the Smith & Banilower (2015) are knowledge of the students understanding about the content and knowledge of content-specific strategies that can build students' conceptual understanding. Obviously, the synchronization between cross subject STEM, it is a teachers pedagogical knowledge to arrange a instructional learning based on the what the content knowledge will communicate to the students (Radloff & Guzey, 2016).

In this explanation of study, I only used a limited paper for build my research plan in the ASTE annual conference (2018). This limitation was because some of the related topic presented in same times with different places. I supported by investigate many of the articles with, which I used to developed my research in PCK in STEM cross subject. My big question to develop my future research is how to assess pre-service science teacher for implementation STEM education in the classroom. In case of my research, I will developed of specifically professional development in STEM education with emphasize the STEM content knowledge. As already stated in introduction that is to make specific topic the content knowledge only in energy.



REFERENCE:

Berry, A., Friedrichsen, P., & Loughran, J. (2015). *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. Routledge.

Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA press.

Deniz, H. (2018). Exposing Elementary Students to Engineenring Design Process trhough Soda Can Crusher Design Challange. *Science and Clidren*, *In.press*.

English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, *3*(1), 3. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1

Kathryn, A. (2018). Elementary Teacher Conception and Integrations Methods of iSTEM Education: An Exploratory Cross-Sectional Survey Study. *ASTE 2018 Conference*.

Lottero-Perdue, P., & Parry, E. (2017). Elementary Teachers' Reflections on Design Failures and Use of Fail Words after Teaching Engineering for Two Years. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, *7*(1). https://doi.org/10.7771/2157-9288.1160

Lottero-Perdue, P. S., De Luigi, M. A., & Goetzinger, T. (2015). BLADE STRUCTURE AND WIND TURBINE FUNCTION. *Science and Children*, *52*(7), 45–55.

Marshall, J. C., Smart, J., & Alston, D. M. (2016). Development and validation of Teacher Intentionality of Practice Scale (TIPS): a measure to evaluate and scaffold teacher effectiveness. *Teaching and Teacher Education*, *59*, 159–168.

Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., Smith, K. A., & Stohlmann, M. S. (2014). A framework for quality K-12 engineering education: Research and development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, *4*(1), 2.

Radloff, J., & Guzey, S. (2016). Investigating Preservice STEM Teacher Conceptions of STEM Education. *Journal of Science Education and Technology*, *25*(5), 759–774. https://doi.org/10.1007/s10956-016-9633-5

Ring, E. A., Dare, E. A., Crotty, E. A., & Roehrig, G. H. (2017). The Evolution of Teacher Conceptions of STEM Education Throughout an Intensive Professional Development Experience. *Journal of Science Teacher Education*, *28*(5), 444–467.

Rogers, R. R., Winship, J., & Sun, Y. (2015). Systematic Support for STEM Pre-Service Teachers: An Authentic and Sustainable Four. *Innovative Professional Development Methods and Strategies for STEM Education*, *73*.

Shulman, L. . (1986). Those who Understand: Knowledge grwoth in Teaching. *Educational Researcher*, *15*(2), 4–14.

Slykhuis, D. A., Lisa, M.-H., Thomas, C. D., & Barbato, S. (2015). Teaching STEM Through Historical Reconstructions: The Future Lies in the Past. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *15*(3), 255–264.

Smith, P. S., & Banilower, E. R. (2015). Assessing PCK: A new application of the uncertainty principle. *Re-Examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*, 88–103.

Wang, H.-H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, *1*(2), 2.

資料：　平成29年度発表要旨等

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF SCIENCE CLASSES USING A PLANT FACTORY AND LEVERAGING THE STEM MODEL

(ESERA 2017 conference: Dublin 21-25 August 2017 での Proceedings)

Shuichi Yamashita and Masato MIYASHIMA
Chiba University, Chiba, Japan

The purpose of this research was to develop a learning program contextualized around the plant factory and making use of the STEM model, and to evaluate the science lessons. The plant factory was installed in a public junior high school because Urayasu City lacks agricultural land, such as fields for rice or other crops. As the plant factory allows the manipulation of plant growing environments, it was decided to have the students compare growth states in both light and dark environments using bean sprouts. 51 junior high school students received 100 minutes of instruction by using the observation set with the reading material, and their understanding of photosynthesis was evaluated by a pre-test and post-test.

The research yielded the following three results:

1. The students recognized how plant factories work and solve issues such as food problems.

2. The students came to understand the fact that photosynthesis occurs in green arts with chloroplasts.

3. The students became capable of correlating photosynthesis with the structure and function of each organ.

Keywords: STEM, Plant factory, Photosynthesis

INTRODUCTION

In recent years, countries all over the world have begun focusing on education in the fields of science and technology, and in the U.S., STEM education is emphasized as a priority in science and technology related policies. STEM education collectively refers to education in science, technology, engineering and mathematics, and in the U. S., it has become a strategy for developing personnel in the field of technology. In 2012, A Framework for K-12 Science Education was published as a model for STEM education in the U. S., and the publication discussed three aspects: Practices, Crosscutting Concepts and Disciplinary Core Ideas. Next Generation Science Standards (NGSS), published in 2013, emphasize the connection between science and engineering. The standards point out that a coupling between practice and contents gives context to learning, and that students will become capable of applying what they learn by integrating practice and contents, as a focus on practice results in too many activities and a focus on content results in memorization.

In Japan, the definition of STEM education remains vague, and Kumano (2016) points out that most of what is called STEM education frequently lacks the concepts that form the core of scientific basics and all of their foundations. Shiota et al. (2016) point out the difficulty of ranking STEM education as a specific subject for the purpose of introducing it into Japan. In particular, engineering doesn't exist as a subject in primary and secondary education, and the concepts are not even taught. In addition, most STEM learning programs on physics are focused on manufacturing, such as robot creation, etc., and there are a limited number of learning programs on biology.

On the other hand, Japan introduced its first plant factory in 2016 using an empty public junior high school classroom in Urayasu City, Chiba Prefecture. The actual plant factory consists of the small-sized (6.0m×2.5m×2.1m) plant factory shown in on the left in Figure 1, and six mobile, van-mounted plant factories as shown on the right in Figure 1. The plant factory was installed in a public junior high school because Urayasu City lacks agricultural land, such as fields for rice or other crops, as the majority of the city is built on reclaimed

land, and this location would allow the students to experience seeding, transplanting and harvesting vegetables, etc.

Figure 1. Small-sized plant factory and mobile plant factory

Currently, two students are selected from each class as Environment Officials who conduct seeding, transplanting and harvesting. Class activities have included students designing the exterior of the small-sized plant factory in art classes, and cooking the harvested lettuce in home economics classes. There have been discussions about bringing the topic up in science classes during the unit on photosynthesis and energy, but this has not been realized.

Therefore, the purpose of this research is to develop a learning program contextualized around the plant factory and making use of the STEM model, to enact this program in science classes conducted at an actual junior high school, and to verify the results.

METHOD

Development of a learning program contextualized around the plant factory

1) The STEM model and plant factory activities

The plant factory is capable of controlling the plants' growing environment, such as lighting, air conditioning, nourishing solution, etc., and capable of growing plants inside the classroom regardless of season or weather conditions. Applying the activities conducted in the plant factory to the STEM model, it is possible to include each STEM element, as shown in Table 1.

Table 1. Activities at the plant factory as applied to the STEM model

S: Science	・Observation of germination and growth ・Observation of the structure and functions of plant bodies ・Observation of the interaction between living organisms and the environment
T: Technology	・Plant growing technologies ・Construction of plant growing environments ・Plant harvesting technologies
E: Engineering	・Plant growth control ・Improvement of plant growing environments ・Plant harvesting
M: Mathematics	・Measurement of plant bodies (length and mass) ・Calculation of water solution concentration

2) Placement of the program within the science class

Fifth graders in primary school conduct observations on plant growth within the context of studying “plant germination, growth and fruition” while regulating environmental conditions, and they investigate and compare plant growth based on both factors. Sixth graders conduct control experiments on photosynthesis using leaves within the context of studying “plant nourishment routes,” and confirm using an iodine-starch reaction the existence of starch within leaves that have been exposed to sunlight. The textbooks from the main five textbook writing companies summarize the process as, “Starch forms in leaves when they are subjected to sunlight,” but this description fails to mention the existence of chloroplasts. However, the following description was found at the end of the unit in the textbook from one company: “Photosynthesis uses sunlight to turn water and carbon dioxide into oxygen and nourishment, such as starch, inside leaves.”

First graders in junior high school deal with photosynthesis within the context of studying the “structure and functions of plant bodies” in “Plant Life and Species.” The purpose is to learn the basic structural characteristics of the leaves, stems and roots of seed plants, and to achieve understanding by relating these to photosynthesis, respiration and transpiration through plant observation. In regard to colors and chloroplasts in plants, only one of the five main textbook companies included the following description: “Chloroplasts are found in all geen parts of a plant, not only the leaves.”

Kudo (2001) points out that, when studying photosynthesis in primary school science classes, etc., students focus only on experiments that confirm the occurrence of photosynthesis in leaves, but this leads to the belief that photosynthesis does not occur in the stem and other parts even though they also contain chloroplasts. Based on the results of a survey of university students, Uno (2005) also points out that students lack the basic understanding of photosynthesis that “photosynthesis occurs in all parts containing green chloroplasts,” and he points out the existence of the mistaken notion that “photosynthesis only happens in leaves.”

Due to these findings, it was decided to show students in the class on the “structure and functions of plant bodies” conducted in the first year of junior high school that photosynthesis occurs in all green parts containing chloroplasts, within the context of the plant factory, and to provoke thought by relating photosynthesis to the structures and functions of each organ.

3) Learning programs contextualized around a plant factory and that make use of the STEM model

As the plant factory allows the manipulation of plant growing environments, it was decided to have the students compare growth states in both light and dark environments using bean sprouts, which junior high school students are also familiar with. When kidney beans are germinated in dark environments, the hypocotyl grows abnormally long, the cotyledon become small and yellow, and they become the white sprouts that the students typically eat. However, when germinated in light conditions, green cotyledon form, and the plant becomes green as it performs photosynthesis. It was decided to develop a learning program that could dispel mistaken notions regarding photosynthesis and in which students could achieve understanding by correlating the functions of each organ as they observe these results.

a) Development of an observation set

For the sprouts, it was decided to use green bean sprouts germinated from Phaseolus aureus seeds (Figure 2).

First, Phaseolus aureus seeds were placed one by one into moist hydroponic sponges. Two days after planting, after the Phaseolus aureus seeds germinated, they were transplanted into van-mounted plant factories with either a light or a dark environment. The light environment was set up to be illuminated by LED lights for the ten hours from 8:00 to 18:00 . The dark environment was not illuminated by LED lights, and the plants were shielded by covering the windows of the van in black paper, etc. Firm, robust, green leaves and stems appeared in the light environment thirteen days after planting (Figure 3). Whereas, the dark

environment showed more extensive growth as the stems grew to several times the length of the stems in the light environment.

Figure 2. Phaseolus aureus seeds

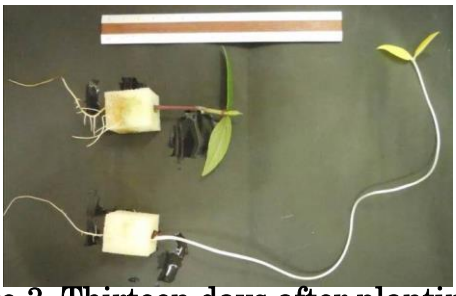


Figure 3. Thirteen days after planting

An observation set was developed so the students could observe growth states as the learning program took place over a two class periods. A, B and C in Figure 4 show the growth states four days, eight days and twelve days after planting, respectively. The red portion on the left side shows those grown in the light environment, and the black portion on the right side shows those grown in the dark environment. Using the observation set made it possible to observe growth states in both light and dark environments within a short period of time.

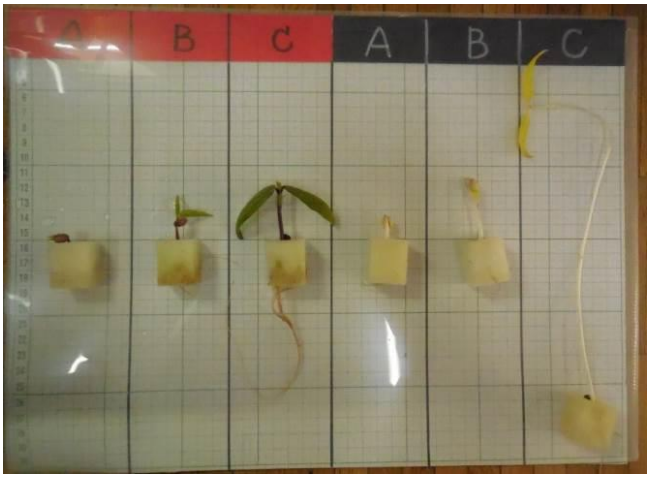


Figure 4. Observation set

b) Development of written educational materials

In order for the learning program to be able to take place within two class periods, in addition to the observation set, written educational materials (Why are sprouts white? ~The Relationship between Greening and Photosynthesis in Plants~) were as developed to achieve understanding by correlating photosynthesis with the functions of the entire plant body using the observed findings.

First, students reviewed what they had previously learned about photosynthesis, and a focus was placed on the green coloring in plants. Next, “sprouts” were brought up as a non-green vegetable, and the students were asked to predict what would happen if sprouts were grown in light and dark environments in the plant factory. Using the observation set, students observed the state of “sprouts” grown in light and dark environments in the plant factory. Examinations were conducted individually and in groups. In addition, the program was structured so that students could deepen their understanding of photosynthesis while reading sections titled “Experiment and Observation Summary,” “The Green Color in Plants and Photosynthesis” and “Various Vegetables and Chloroplasts.”

Design and Participants

The science class was given to 51 first-grade students in two classes at a public junior high school in Urayasa City. The class was conducted over the course of two class periods (one period: 50 min) as a supplementary learning program within the unit on “The Structure and Functions of Plant Bodies.” First, the students were given a ten-minute long preliminary survey on the day before the class.

In the first class period, the students made groups of four to five people, and decided on a leader. The written educational materials were then passed out, and the history behind the establishment of the plant factory as well as how it works was explained. Efficiency and safety regarding plant factories as well as the fact that plant factories are expected to become a new industry were also explained.

Following this, the class proceeded in accordance with the written educational materials, and the students reviewed that photosynthesis requires carbon dioxide, water and light energy and that oxygen is formed as nutrients are synthesized through photosynthesis. In addition, the explanation touched on the fact that chloroplasts are green because they contain a green pigment called chlorophyll. Each group was asked to think about non-green vegetables, and about whether or not non-green plants contain chloroplasts and conduct photosynthesis. Sprouts were brought up as an example of a non-green vegetable, and the students were asked to predict what would happen if sprouts were grown in a light or a dark environment in the plant factory. For this, the students used the observation set, and observed the growth state of sprouts in light and dark environments in the plant factory. Students identified that 1) plants in the light environment became green, and those without light became white, 2) the stems of the plants in the dark environment grew long, and 3) the roots of the plants in the light environment grew well. The students recorded their examinations individually.

In the second class period, students reviewed the previous class, and talked in groups about the differences in sprout growth between light and dark environments. The groups came to consensus and reported their opinion.

Following this, the lesson was summarized in accordance with the written educational materials, and a summary was made of “The Green Color in Plants and Photosynthesis” and “Various Vegetables and Chloroplasts.” Finally, a partially green taro potato was given to each group, and the students were asked to think about whether it is a stem or a root. The learning contents were organized using the “Class Summary” page, the class ended, and the students were given a follow-up survey.

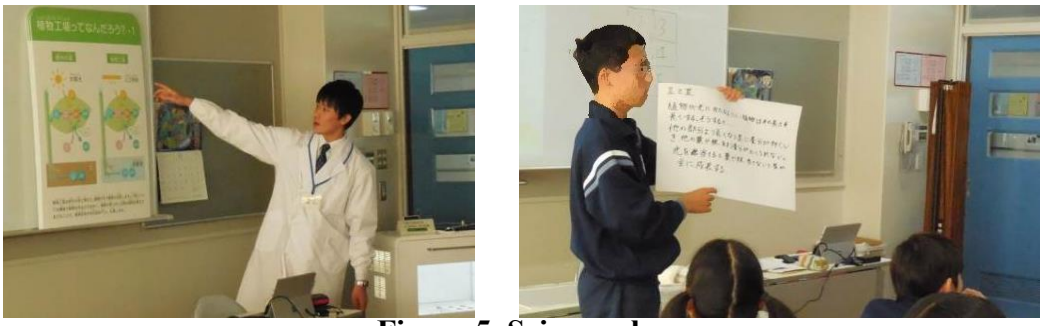


Figure 5. Science class

Data Analysis

In Question 1, students were asked to select one of four stages “4: Very applicable,” “3: Applicable,” “2: Not very applicable” and “1: Not applicable” in regard to the following items 1) ~ 7) both before and after the class, and the results were scored from 4 to 1.

1) I can explain what plant factories are.

2) I want to take a class and conduct activities using the plant factory.

3) I think the plant factory can solve issues in modern agriculture.

4) I am interested in new technology.

5) I am interested in science-related occupations.

6) I think studying science is important.

7) I enjoy discussing and solving problems using scientific knowledge.

Question 2 focused on the color of plant bodies, and students were asked to select in part (1) whether or not it is possible to determine that photosynthesis will occur if the green parts contain chloroplasts, and to write the reason in part (2).

The correct answer for part (1) was that photosynthesis "will occur" in "1) green leaves on a bell pepper plant," "2) a green stem on a bell pepper plant" and "3) green peppers on a bell pepper plant," and that photosynthesis "will not occur" in "4) white roots on a bell pepper plant" and "5) white flowers on a bell pepper plant." Each question was worth two points, so the section was worth a total of ten points.

Part (2) focused on chloroplasts, and students received two points if they were able to write that photosynthesis will occur because green organs contain chloroplasts. One point was subtracted for incorrect answers. Question 2 was worth a total of twelve points, combining parts (1) and (2).

In Question 3, students were asked to explain the reasons for the colors and growth states of the leaves, stems and roots of green plants in the experiment using light and dark environments in the plant factory.

In regard to "color differences," the correct answer for the color of leaves "that grew while exposed to light" was "green," for stems it was also "green," and for roots it was "white." The correct answer for the color of leaves "that grew without exposure to light" was "yellow," for stems it was "white," and for roots it was "white." Each question was worth one point, so the "color differences" section was worth a total of six points.

In regard to "growth style differences," students received one point each if they were able to write about differences in shape in plants that grew while exposed to light and plants that grew without exposure to light, so the "growth style differences" section was worth a total of six points.

In regard to "reasons," students received one point each if they were able to write about shapes and colors. Since there is no difference in the color of roots, students received two points if they were able to write about two or more of the three aspects relating to differences in shape: length, thickness and number. The "reasons" section was also worth a total of six points.

Therefore, Question 3 was worth a total of eighteen points as "color differences," "growth style differences" and "reasons" were worth six points each.

RESULTS

The results of examining the preliminary and follow-up surveys using the Wilcoxon signed-rank test to determine the existence of any significant change between before and after in regard to items 1) ~ 7) in Question 1 are shown in Table 2.

Table 2. Results of Q1 at pre-test and post-test(N=51)

	pre-test	post-test	Z - value
1) explain	2.14(0.98)	2.92(0.87)	-4.704**
2) conduct	3.45(0.73)	3.63(0.56)	-1.638
3) solve	3.04(0.82)	3.33(0.74)	-2.599**
4) interest	3.06(0.95)	3.25(0.85)	-1.684
5) occupation	2.45(0.97)	2.61(1.02)	-1.706
6) important	3.25(0.74)	3.33(0.77)	-0.853
7) enjoy	2.71(0.81)	3.02(0.84)	-3.266**

Wilcoxon signed-rank test **p<.01

In addition, the results of the preliminary and follow-up surveys regarding Questions 2 through 3 are shown in Table 3, similar to Question 1. In regard to Question 3, the results are also shown separately for leaves, stems and roots.

Table 3. Results of Q1 at pre-test and post-test(N=51)

	pre-test	post-test	Z - value
Question 2(max12)	6.14 (2.03)	9.39 (2.71)	-5.154**
Question 3(max 18)	4.39 (2.52)	8.53 (2.86)	-5.736**
leaves(max 6)	1.94 (1.29)	3.06 (1.35)	-3.475**
stems(max 6)	1.12 (1.07)	3.02 (1.23)	-5.660**
roots(max 6)	1.33 (0.82)	2.45 (0.74)	-4.231**

Wilcoxon signed-rank test **p<.01

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

In regard to items 1), 3) and 7) in Question 1, a significant difference, with a standard of 1%, was found between the results of the preliminary and follow-up surveys. From these findings, it could be said that, through the class, students came to understand how plant factories work and came to recognize that plant factories are a means to solve issues such as food problems, and that students learned that it is enjoyable to discuss and solve issues using scientific knowledge. In regard to items 2) and 6), no significant difference was found between the results of the preliminary and follow-up surveys. The school where the survey was implemented is a pilot school for science, and the items already had the high average score of 3.25 at the time of the preliminary survey, so the lack of a significant difference was because the two-period long class was unable to evoke new interest in classes using the plant factory or fresh importance for studying science. In regard to items 4) and 5), no significant difference was found between the results of the preliminary and follow-up surveys. The class failed to generate interest in technology and scientific careers.

In regard to Question 2, a significant difference, with a standard of 1%, was found between the results of the preliminary and follow-up surveys, as the question focused on plant body colors, it was possible to deepen understanding of the fact that photosynthesis occurs in green arts with chloroplasts.

In regard to Question 3, a significant difference, with a standard of 1%, was found between the results of the preliminary and follow-up surveys in all questions relating to each organ type: “leaves,” “stems” and “roots.” In regard to differences in color and growth states for each organ in a green plant due to the existence/non-existence of light, students became capable of correlating photosynthesis with the structure and function of each organ.

Due to these findings, it can be said that students were able to deepen understanding of the fact that photosynthesis in plants is conducted by green chloroplasts and that photosynthesis in plants is a function of the entire plant body that is mutually related to the functions of each organ, and it could be said that it the effectiveness of the developed science class was verified.

This research was conducted as a supplementary learning program in the form of a two class period long learning program contextualized around a plant factory within the unit on the “Structure and Functions of Plant Bodies” in the first grade of junior high school. As mentioned above, it was possible to achieve good results, but it was not possible to generate interest in technology and scientific careers that emphasize STEM education within the two period long learning program. It would likely require continued interaction with STEM education to change the perception of junior high school students on these matters. In addition, many of the answers to Question 3 were only half completed as it was not possible to secure sufficient time to conduct the follow-up survey due to the fact that there is little leeway in the junior high school curriculum. There is likely room for improvement in regard to this as well.

ACKNOWLEDGEMENT

A part of this research were supported by JSPS KAKENHI Grant Number 15H02910 (Shuichi Yamashita) and 16H03058 (Yoshisuke Kumano). なお，本報告は ESERA 2017 conference: Dublin 21-25 August 2017 で発表した Proceedings である。

REFERENCES

Kudo, Y. (2001). An example of under generalized misconceptions by science lesson. *Report of Psychology in Teaching and Learning in Japan*, 1, 2-9.

Kumano, Y. (2014). Theoretical frame of STEM education. *Report of Shizuoka junior STEM project*, 15-31.

Kumano, Y. (2016). Status study on the recent development of the US STEM education innovation. *Report of Japan Society for Science Education*, 30(9), 57-62.

National Research Council (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. National Academies Press.

NGSS Lead States (2013). Next Generation Science Standards: For States, By States. National Academies Press.

Oshima, M., Kawagoe, S. and Ishii, K. (2015). STEM education through outreach programs in collaboration between universities and industries. *Journal of Japan Society for Science Education*, 39(2), 59-66.

Shiota, S. et al. (2016). An example of STEM education using mini-robot in mathematics lesson. *Jugyou jissen kaihatsu kenkyuu*, 9, 99-104.

Uno, S. (2005). Misconceptions naturally are corrected?. *Annual report of Tohoku University graduate school*, 53(2), 127-147.

本基盤研究へのまとめとあとがき

「日米両国における次世代型 STEM 教育の構築に関する理論的・実践的研究」について

連携研究者　興　　直孝

熊野善介代表研究者は、長年米国科学教育の研究活動に取組んできており、その一環として、米国の STEM 教育法の成立を巡る米国のあらゆる要因とその実践について、理論的そして実践的な面からの解明を行うとともに、併せて、我が国特有な STEM の理論と実践の構築を図ろうとしてきている。

そうした中、本研究では、今後の我が国の STEM 教育の実践に向けて、既存の教科の中での STEM 教育の実践例の蓄積とその問題点、複数領域・教科横断した教員協働によるカリキュラムの構築とその問題点、又、分野統合型の問題解決の分析的な枠組みの再構築とその問題点のそれぞれについて、その明確化と対策を打ち出すことを目標としている。このため、科学教育、エネルギー教育更には、STEM 領域を専門としない教育分野のほか、数学、地球科学、幼児教育などの多様な分野の研究者の方々が集い、米国の実践例をもとに、それぞれの研究の進展を図ってきている。

今回の研究成果の内、2. に触れた本研究の目標に向かっての取組の観点から、私が特に関心を寄せたもののいくつかを次に紹介しておきたい。

- 「数学教育からみた米国の STEM 教育の動向」では、米国科学教師教育学会の年会で発表された研究の中で、STEM において算数や数学が明示的に示された発表がなかったこと、又、科学実験ショーでも、子ども達に算数や数学が意識された取組にはなっていないこと、このため、STEM 教育の観点からは、数学の何が利用されているのかを子ども達に示すことが大切であるとの報告が、数学研究者からあった。
- 「米国における環境 STEM 教育の環境教育学的意義」では、STEM 教育については、米国における取組や論文の解析の結果、教育テーマが持続開発可能な開発のための教育へと概念が発展してきたこと、地域の課題を見出し、その課題解決に関わることが重要であること、より統合領域や教科横断型の教育実践として位置づけられていることが、更に、STEM 教育の特徴としては、教育内容よりも、教育方法が重要であること等の報告が、環境科学教育研究者からあった。
- 「日本型 STEM 教育としての理科授業の構築」では、米国での 1 年間の在外研究をもとに、STEM を構成する諸要素の領域の関係性が、R.Bybee 氏の多様な考え方により、紹介され、STEM 教育を取入れた理科授業の実践については、その評価のあり方が提示されている。

- 「地球科学分野の STEM 教育の展開の重要性」について、中学生の生徒の各種鉱物資源の有用性についての認識の低さから、改善のための教育取組の重要性の指摘が地球科学教育研究者から提起されている。　私は、この指摘こそが、STEM 教育の本質を穿つものと評価している。
- なお、今回の研究の中には、米国における種々の取組が紹介されているが、一歩一歩を進め、STEM 教育が必要とされてきた種々の背景を踏まえ、プログラムの中に盛り込まれている論理的科学的手法を顕在化させる解析に取組んで頂きたいと強く期待している。

こうした状況にあって、本研究の目標の完遂に向けて、我が国の STEM 教育をどのように捉えて、教育実践の場に適用すべきなのかを、積極的に提示して関係者の議論を触発することが期待される。

なおその際、STEM 教育は、科学者、教育関係者、行政関係者、更には、広く国民各層に必要とされるものであるとの観点から工夫を施した提示を考えなければならない。

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　その２

（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 30 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

熊野研究室デジタル出版
製本：篠原印刷所