

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: ja 出版者: 静岡大学 公開日: 2020-05-13 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/10297/00027484

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)】研究成果最終報告書

(課題番号 16H03058)

令和元年 6 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 28・29・30 年度科学研究費基盤研究費 (B) 「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」の 3 年目の最終報告書である。本研究の目的は STEM 教育改革の全貌を把握するため、先進的な STEM 教育研究・実践を行う研究機関・学区・学校を直接訪問するとともに、2015 年 12 月に至り、ついにアメリカでは「STEM 教育法」が連邦レベルで策定され、各州にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにすることが目的の 1 つである。この法律がどのように展開されていくのかを現地調査と文献から明らかにしていくことであった。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。

最終年度に至り、ほぼ、理論面・実践面での先進性の解明はできたといえる。1 年目・2 年目・3 年目と毎年、ミネソタ大学 STEM 教育センターのジリアン教授と関係者との継続的な研究交流が出来たことはとても有意義であった。同時に、JST の「ジュニアドクター育成塾事業」に合格し、日本における STEM 教育の実践モデル開発のために、「静岡 STEM アカデミー」を展開することができることになり、本基盤研究 (B) の研究成果を具体化する機会も得ることができ、充実した理論と実践の機会を得た。

第 1 章では、5 月に JSPS に提出した最終報告書を示した。多くの成果が上がっている。英文で示したことも多く、現在では世界の STEM 教育研究者に引用がなされている。第 2 章では、「STEM 教育の動向」と題して、これまでの報告書その 1、その 2 で記述された後のアメリカの最新の動向がまとめられた。特にアメリカの連邦政府が、2015 年に作成した「STEM 教育法」の行方が明確にされたことは、本基盤研究 (B) としての成果であった。さらに、ミネソタ州科学スタンダード案がすでに出来上がり、最終段階になっており、2020 年度の 12 月までに完成の予定であり、我々のチームはその作成過程を追跡してきた。また、インタビューの結果から見つかった内容ももとにしながら、ミネソタ州の科学スタンダードの動向についてまとめられた。また、博士課程の Nurul F. Sulaeman 女史に 3 年目のミネソタ大学 STEM 教育センター訪問のまとめを記載していただいた。日本が本格的に Society 5.0 に応える教育が進展するモデルの一つとなるであろう。

第 3 章では、本基盤研究の研究分担者である高木浩一先生に「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－技術・工学の立場での次世代型 STEM 教育の構築に関する実践的研究」と題してまとめていただいた。ここでは、STEM 教育の中で、本研究でも明確なモデル授業を見いだせていなかった、数学を中心とする STEM 領域の領域横断的な学習の試みがまとめられ、日本型の STEM 教育のモデルが示されているといえる。続いて、分担研究者の郡司賀透先生に、「香港における中等 STEM 教科書の分析」と題して、アメリカの影響を強く受けた香港の STEM 教育がどのように展開しているかを教科書の分析と現地訪問からわかる内容をまとめていただき、香港という東アジアの文脈で積極的に STEM 教育が展開されている事実をまとめていただいた。そして、研究分担者の田代直幸先生には、「日本の小学校理科の授業でどのように STEM 教育を普及するかーものづくりとプログラミングー」と題して、小学校理科の「ものづくり」が現行の学習指導要領にも位置付けられていることが述べられた。具体的には NGSS で示されている「Scientific Practices」と「Engineering Practices」を比較しながら、日本型の STEM 教育として相性が良いということを論証している。また、新学習指導要領においては、さらに工学的な活動が明文化されていることが述べられ、今後の STEM 教育の展開が

可能であることが述べられた。続いて、研究分担者である畑中敏信先生が「小学校理科における STEM 教育としての授業の開発と実践—21 世紀型スキルとエンジニアリングデザインプロセスを含む実践—」と題して、小学校 6 年生の「燃焼」の単元での STEM 教育実践を試み、児童がグループ活動や個人での活動をとおして工学的デザインを行う場面での児童のデータ分析を試み、日本における「理科」の中での STEM 教育モデルを開発した。さらに、研究協力者の坂田尚子博士は、「幼児から小学生への STEM 教育プログラム作成における 4 つの C の育成を促す方法と意義について」と題して、幼児から小学校のための日本型の STEM 教育のありかたについて、アメリカで展開している 21 世紀型の資質・能力の低学年向けの STEM 教育モデルとしての「4C」を理論的な根拠として位置づけ、日本における具体的な実践モデルを遂行して得られたデータをもとに議論が展開されている。最後に研究協力者の博士課程の Nurul F. Sulaeman 女史により、「Professional Development for Pre-service Science Teacher Through Shizuoka STEM Academy」題して、「静岡 STEM アカデミー」において、補助学生になる理科教育関係の学部生・大学院生対象の学生への研修がどのように展開されたかをまとめた内容となっており、今後の日本型 STEM 教育の実現のための教師教育がどのようにあるべきかという考察にとって重要な考察がなされている。

我々の研究や世界の動向を踏まえて、引き続き静岡県総合教育センターにおいて、STEM 教育に関する教員研修が 3 年目を迎える。令和元年度を迎え、静岡県教育委員会高校教育課を中心に「ふじのくにアドバンスト・ラーニング・コンソーシアム」を立ち上げ、グローバルな課題研究として、JST からの支援により、WWL (World Wide Learning) コンソーシアムが立ち上がり、3 つの高等学校を中心に SDG s と STEM 教育を展開することで推進が始まったところである。

日本が第 5 期ならびに第 6 期科学技術基本計画 (STI for SDGs) 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、これを促進する具体的な科学教育の改善・改革が極めて不備であり、アメリカにおける積極的な STEM 教育改革に対応するような、科学技術イノベーションを促進する抜本的な教育改革が求められる。本研究はそのための基礎的な研究であり、多くの人々にそのモデルや知見が行きわたり、より国民的なプロジェクトへと広がっていくことを願ってやまない。今回、忙しい中にも関わらず、研究成果をまとめていただいた分担研究者ならびに協力研究者の関係各位に心から感謝申し上げます。今回の最終報告書は予算との関係で、製本には至らなかったが、デジタルで興味のある人々にはアクセスができるべく、静岡大学図書館を通して、世に出すこととなる。

令和元年 5 月 1 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)

目 次

はじめに	2-3
目次	4
第1章 JSPS への最終報告	5-18
第2章 STEM 教育の動向	
1. アメリカ合衆国における STEM 教育の最近の動向	13
2. STEM 教育のためのアメリカの戦略；成功に導く進路	13
3. Public Law 114-329 (Jan. 6 2017)	14
4. 州科学スタンダードとして STEM 教育を取り入れた州	16
5. ミネソタ州における州科学スタンダードの内容について	17
6. Investigation Improvement of STEM Education in the USA	19
7. 香港での STEM 教育の動向	39
第3章 研究分担者ならびに研究協力者による STEM 研究	
1. 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想	53
－技術・工学の立場での次世代型 STEM 教育の構築に関する実践的研究－	
2. 香港における中等 STEM 教科書の分析	67
3. 日本の小学校理科の授業でどのように STEM 教育を普及するか	75
－ものづくりとプログラミング－	
4. 小学校理科における STEM 教育としての授業の開発と実践	85
－21世紀型スキルとエンジニアリングデザインプロセスを含む実践－	
5. 幼児から小学生編 STEM 教育プログラムにおける4つのCの育成	
を促す方法と意義について	95
6. Professional Development for Pre-service Science Teacher	
Through Shizuoka Stem Academy	105
「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	
－ あとがき －	108

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））研究成果最終報告書

課題番号 16H03058

研究代表者 熊野 善介

所属 静岡大学創造科学技術大学院・大学院教育学研究科

第 1 章 JSPS への最終報告

1. 研究開始当初の背景

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、オーストラリア等、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、すべての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、日本における国家教育戦略として具体的にどのような効果が生成されるのかに関する成果を見出すことが求められている。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。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、具体的な科学教育の改革を検討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。

2. 研究の目的

STEM 教育改革の全貌を把握するため、これまでも 2012 年以降、多数の研究者が、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、合衆国憲法では、“教育に関することは連邦政府ではなく、州政府の所轄であり、地方自治に基づかなければならない”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。

- (1) 理論面・実践面での先進性の解明
- (2) 日本型 STEM の理論と実践の構築
- (3) STEM 教育にもとづく教育研修プログラムの開発
- (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 STEM 4 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「すべての人々のための STEM 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、なおかつ教員同士の協働が行われた場合、さらに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という点で意義がある。

3. 研究の方法

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(1)と(2)、(3)における本研究での目的を以下に示すように、1)~10)に基づいて明らかにする。それぞれの計画と研究方法を以下にまとめる。

(1)理論面・実践面での先進性の解明について (ミシガン大学への訪問は実現できなかった)

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ものとした。

- 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
- 2) 工学(技術)を中心とした分野包括的な実践の開発 (本研究ではこちらが中心となった)

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 田代直幸 片平克弘 紅林秀治 畑中敏伸 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 田代直幸 紅林秀治 郡司賀透 松元新一郎 萱野貴広 遠山一郎 (研究協力) 清原洋一、鈴木宏昭 室伏春樹	(研究協力) 長洲南海男 興 直孝

米国訪問	STEM実践	STEM研修
単一:ミシガン(州立)大 統合:ミネソタ大 研修:ミネソタ州オウタナ地区 州規模改革:アイオワ州	単一:教科への適用 複数:各教科教員の連携 統合:超領域的な課題	複雑性・不確定性の導入 教員協働によるカリキュラム 指導法の検討と最適化

- 3) STEM School の運営と、STEM 教育センターによる教育区全体における教職員の研修
- 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。)

(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
- 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)
 - 7) STEM 4 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。

(3)STEM 教育にもとづく教員研修プログラムの開発

- 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
- 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：STEM 教科の教員の協働における問題点の抽出とその解決

- 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

4. 研究成果

本研究は、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し、日本型 STEM として、より複雑な知識や科学技術の身近な関わりを学習できる教材・授業モデルを開発することを目的としており、以下の成果をあげた。

1 年目はワシントン州、ミネソタ州、アイオワ州に研究者 9 人、静岡大学熊野研究室の博士課程の学生 3 人で訪問できた。これらの 3 つの州を選んだ理由は、NGSS が州の科学のスタンダードとして受け入れられていること、または、間もなく受け入れられること、そして、同時に STEM 教育が州を挙げて最も活発に展開されているという事前調査と分析結果により訪問地が決められた。なぜ急激に STEM 教育が全米で展開したのか、21 世紀型能力を科学教育でどのように受け入れられていったかが明らかにできた。特に、2011 年のアイオワ州における第 74 州知事令が STEM 教育の展開に大きな影響を及ぼしていることを発見した。特に、ワシントン州とアイオワ州は州科学スタンダードとして NGSS が採用され、NGSS の考え方がほとんど受け入れられ、3D 学習が展開されていた。そのためには、大学教育、教師教育、現地の企業との連携が展開され、州を挙げての科学教育改革となっていた。そして、本研究の目的を達成するため、それぞれの調査に参加した研究分担者に近接領域の研究を依頼した。詳しくは中間報告書（その他 1.2.）を参照していただきたい。

現地訪問をもとに、参加した研究分担者は、日本に帰国後もアメリカとのやり取りを継続し、文献研究を重ね、本研究の会議を東京田町の静岡大学東京事務所で開催することができ、中間報告書に向けた研究成果の報告会を行うことができた。さらには、ミネソタ大学 STEM 教育センターの 5 人のチームを迎え、本研究の研究分担者・共同研究者さらには、STEM 教育に興味のある理科教師との交流を展開することが決定しただけでなく、NSF/JSPS の別の競争的な資金のもと、ミネソタ大学の博士課程の D 2 の学生が 3 か月間、STEM 教育を静岡大学にて展開した。これらの受け入れは、我々の研究が単なる現地調査ではなく、両国の課題を共有し、それぞれの国の科学教育の政策の良さや課題を確認しながら、より深みのある研究の展開へと導くものであった。

(2 年目) 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受け入れることができた。さらに日本科学教育学会での年會に STEM

の課題研究を2つ立ち上げ、本研究の研究協力者とともに、ミネソタ大学のSTEM教育センターの副センター長であった、ジリアン教授を招聘した。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と共に、アメリカの予算で参加された。大変インパクトのある発表会となった。

日本の文脈に対応したSTEM実践として、高等学校での実践が1件展開された。また、全米科学教師教育学会(ASTE)国際大会にて、静岡のSTEM教育に関する発表が3件行われた。インフォーマルでのSTEM実践が3件なされた。さらに、静岡STEMアカデミーでの実践と宇宙STEM教材としてのダジック・アースを活用したSTEM教室も実践された。そして、静岡県工学系の高等学校との連携で、STEM教育についての教師教育を開催し、発表会を開催することができた。

既存の教科の中でのSTEM教育の実践モデルは、静岡大学附属小学校にて2回(2時間の実践)、静岡大学附属中学校にて1回(12時間の実践)が附属の理科教師と静岡大学教育学部ならびに創造科学技術大学院の博士課程の院生の協力のもと展開された。ミネソタ大学STEM教育センター所属の博士課程3年のJeanna先生との連携での授業モデルが構築され、日米の融合したSTEMモデル授業が展開された。

(3年目)

高等学校での実践を1件展開し、中学校での実践を1件行い、ダジック・アースを活用した実践を開発したり、複数のSTEM学習教材の開発を行った。さらに、STEMの教員研修として、タイ国のカセサート大学とSEAMEO・QTEPでの数学教師へのSTEM教育研修を展開した。そして、義務教育の現職理科教師に対して、STEM教育の研修会を開催した。さらに、静岡県立の工学系の高等学校との連携で、STEM教育についての教師教育及び発表会を開催することができた。

3年目もThomas Meagher博士を招聘し、2件のSTEMモデル授業、2回の講演会、大学生への2回のSTEM講義を展開していただいた。さらに、Gillian Roehrig教授を招聘し、同じく2回のSTEMモデル授業を展開してもらい、2回のSTEM教育に関する講演会も開催した。米国の現地調査として、博士課程の学生3人と熊野が現地訪問を行った。前回訪問した学校をもう一度訪問したり、新しく市民科学(citizen science; STEMのポストモデル)を展開している「ベル博物館」、工学教育のための「子ども工学館」を訪問できた。2018年度はミネソタ州の科学教育スタンダードがNGSSを導入するため、新しい州科学スタンダードが作成されつつあり、インタビューを行った。これらにより、アイオワ州、ワシントン州と同様、ミネソタ州においても積極的な州の科学スタンダードにSTEMがその柱として導入されたと結論付けられることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 9 件)

- 1) Pramudya Dwi Aristya Putra & Yoshisuke Kumano (2019) Energy Learning Progression and STEM Conceptualization among Pre-service Science Teachers in Japan and Indonesia, the New Educational Review, Volume53, DOI: 10.15804, 153-16. (査読有)
- 2) 紅林秀治(2018). 中学校における計測・制御の学習で身につけさせたい知識と能力, システム制御情報学会誌, 62(7), 260-265. (査読有)
- 3) Shoko Sakata, Yoshisuke Kumano (2018) Attempting STEM Education in Informal Japanese Educational Facilities Through the Theme of "Sand", K-12 STEM Education, Vol.4, No.4, Oct-Dec 2018, pp.401-411. (査読有)

- 4) 黒田友貴・熊野善介(2018). グローバル社会に求められる理系人材のソーシャル・スキル養成を目指したプログラムに関する研究—プログラムの開発と評価に着目して—、科学教育研究、Vol.42, No.2, 82-99. (査読有)
- 5) Lely Mutakinati, I. Anwari, K. Yoshisuke (2018). Analysis of Students' Critical Thinking Skill of Middle School Through STEM Education Project-Based Learning, Journal Pendidikan IPA Indonesia, 7(1), 54-65. (査読有)
- 6) 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, 303-314. (査読有)
- 7) 奥村仁一・熊野善介(2017). 高等学校生物での課題学習に対する評価のあり方に関する実践的研究 - メタ認知に着目し、ビデオおよびコンセプトマップを活用したオーセンティック・アセスメントに向けた実践を通して -、静岡大学教育実践総合センター紀要, ISSN 1348-0707, No.26, 77-84. 2017.3.31 (査読有)
- 8) Tomoki Saito, Ilman Anwari, Lely Mutakinati, Yoshisuke Kumano (2016). A Look at Relationships (Part I): Supporting Theories of STEM Integrated Learning Environment in a Classroom - A Historical Approach, K-12 STEM Education, Vol.2, No.2, pp.51-61. (査読有)
- 9) 奥村仁一・熊野善介 (2016). 高等学校生物の胚発生実験での Bio-STEM 発展学習における生徒の生物学的知識の拡張や科学的思考の変容についての実践的研究、科学教育研究、Vol.40, No.1, pp.21-29. (査読有)

〔学会発表〕 (計 58 件)

1. 高木浩一(2019). Society 5.0 を意識したエネルギー・環境学習の多相・多域展開, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会 (応用物理学一般分科企画シンポジウム (招待講演))
2. Lely Mutakinati & Yoshisuke Kumano (2018). STEM Education through Project Based Learning Lesson in Wastewater Issue, ASTE 2018 International Conference, Baltimore, Maryland, Baltimore, Maryland January 3-6.
3. Naoko Kosaka & Yoshisuke Kumano (2018). Establishment of the STEM experimental materials in Japan -using Vargula hilgendorffii, ASTE 2018 International Conference, Baltimore, Maryland, Poster Session A, Baltimore, Maryland January 3-6.
4. Yoshisuke Kumano (2018), Practical Implementation and Results of Earth Science STEM Using Dagik Earth With Satellite Data, 8th Quadrennial Conference of International Geoscience Education Organization (ISEO) , Campinas, Brazil, PAP023554, Oral Session 06, July 23.
5. 熊野善介(2018). NGSS が推進する STEM 教育改革と科学的探究論、課題研究 5-G1, 日本理科教育学会全国大会発表論文集第 16 号、岩手大学上田キャンパス、平成 30 年 8 月 4 日、p.93.
6. 竹林知大・熊野善介(2018). 東京都新島に産する高温石英砂を用いた地球科学 STEM 教材の開発、平成 30 年度全国地学教育研究大会・日本地学教育学会 72 回全国大会、茨城大会講演予稿集、I-11、平成 30 年 8 月 25 日、33-34.
7. 熊野善介(2018). STEM Education Workshop for Preservice Science Teachers, Room 502, Faculty of Education, Kasetsart University, October 23th-25th, 2018.
8. Shoko Sakata & Yoshisuke Kumano (2018). Attempt of STEM Education with the Theme of "Sand" Informal Educational Facilities, 2018 International Conference of East-Asian Association for Science Education, National Dong Hwa University, Hualien, Taiwan, Nov. 29th to Dec.2, p14.
9. Nurul F. Sulaeman & Yoshisuke Kumano (2018). A Science Educational Perspective on National Energy Policy 2050 in Indonesia, 2018 International Conference of East-Asian Association for Science Education, National Dong Hwa University, Hualien, Taiwan, Nov. 29th to Dec.2, p11.
10. Yoshisuke Kumano(2017). "Theory and Practices of STEM education for Indonesia", Invited lectures by SEAMEO-QITEP Indonesian Government, sponsored by MEXT, Japan, 2017 February 6-10.
11. 熊野善介(2017). 「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—」基調講演 (招待) 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
12. 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, 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.
13. 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.
 14. 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.
 15. 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.
 16. 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.61-62.
 17. 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.
 18. 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、日本科学教育学会年会論文集 41、2017 年 8 月 29 日、pp.91-92. 日本科学教育学会年会論文集 41,
 19. 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－、日本科学教育学会年会論文集 41、2017 年 8 月 29 日、pp.53-56.
 20. 熊野善介(2016). シンポジウム I、「理科教育の新しい潮流 (NGSS/STEM) と次期学習指導要領に定めるエネルギー環境教育」、「新学習指導要領を考える－これからのエネルギー概念をどのように教えるか－」日本理科教育学会第 6 回全国大会論文集、信州大会 2016, 8 月 7 日、招待シンポジスト, 52-53.
 21. 熊野善介ら (2016)、日本における STEM 教育研究の在り方と展望－アメリカの STEM 教育改革の理論と実践を踏まえて－、課題研究発表、日本科学教育学会年会論文要旨集 40、3-4. (他 37 件)

〔図書〕 (計 2 件)

1. 熊野善介(2018). 第 1 章 1. 2 エネルギー環境教育の新しい考え方と実践-米国との比較を通して-; 改訂版静岡県における防災減災と原子力, ; 大矢恭久編著、13-25(1-206).
2. 熊野善介(2016)「4. 教育の新しい潮流と次期学習指導要領を支えるエネルギー環境教育実践」、はじめてのエネルギー環境教育、日本エネルギー環境教育学会編、エネルギーフォーラム、分担執筆、2016 年 6 月、51-62.

〔その他〕

1. デジタル中間報告書；
https://shizuoka.repo.nii.ac.jp/?action=pages_view_main&active_action=repository_view_main_item_detail&item_id=9044&item_no=1&page_id=13&block_id=21 (平成 29 年 3 月)

2. デジタル中間報告書； <http://hdl.handle.net/10297/00025699> (平成 30 年 3 月)
ホームページ

http://edykuma12.ed.shizuoka.ac.jp/2017_基盤研究_b/

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名	ローマ字氏名	所属研究機関名	部局名	職名	研究者番号
遠山 一郎	Toyama Ichiro	国立教育政策研究所	教育課程研究センター 研究開発部	教育課程調査官	70806596
田代 直幸	Tashiro Naoyuki	常葉大学	教育学部	教授	30353387
紅林 秀治	Kurebayashi Shuji	静岡大学	教育学部	教授	60402228
郡司 賀透	Gunji Yoshiyuki	静岡大学	教育学部	准教授	30412951
畑中 敏伸	Hatanaka Toshinobu	東邦大学	理学部	准教授	30385942
裕元 新一郎	Matsumoto Shinichiro	静岡大学	教育学部	教授	40447660
二宮 裕之	Ninomiya Hiroyuki	埼玉大学	教育学部	教授	40335881
片平 克弘	Katahira Katsuhiko	筑波大学	人間系	教授	70214327
今村 哲史	Imamura Tetsunori	山形大学	大学院教育実践研究科	教授	272055
高木 浩一	Takaki Koichi	岩手大学	理工学部	教授	216615
佐藤 真久	Sato Masahisa	東京都市大学	環境学部	教授	360800
山下 修一	Yamashita Shuichi	千葉大学	教育学部	教授	10272296
萱野 貴広	Kayano Takahiro	静岡大学	教育学部	教務職員	30293591

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：興 直孝

ローマ字氏名： Oki Naotaka

研究協力者氏名：鈴木 宏昭

ローマ字氏名： Suzuki Hiroaki

研究協力者氏名 長洲 南海男

ローマ字氏名； Nagasu Namio

研究協力者氏名； 室伏 春樹

ローマ字氏名； Murofushi Haruki

研究協力者氏名；清原 洋一

ローマ字氏名； Kiyohara Yoichi

(※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。)

第2章 STEM教育の最近の動向

熊野善介

静岡大学創造科学技術大学院・教育学研究科

1. アメリカにおけるSTEM教育の最近の動向

STEM教育への連邦政府の予算は最近どのようになってきているかをまず確認することとする。これは、“Final FY19 Appropriations: STEM Education” (2019年3月8日)と“FY20 Appropriations Bills: STEM Education” (2019年10月8日)比較から見るることができる。2020年度の予算については、3月に最終の金額が出される予定である。基本的には、初等中等教育法として2015年にできた、「すべての子どもが成功する(教育)法」として予算化されたもので、2019年度が、1100億円となっている。このほかに、2019年度は“Education Innovation and Research(EIR; 教育改革と研究)として180億円を計上し、その中の80億がSTEM教育関係に支出されると明示されている。また、“Career and Technical Education(CTE; キャリアと技能教育)“に1300億円の予算が計上され、そのうち12億がSTEM教育に特化していると記載されている。NSF(全米科学財団)はSTEM教育研究に910億円の予算が計上され、NASAのSTEM教育プログラムに11億円、国防省でのSTEM教育は136億円が計上され、エネルギー省でのSTEM教育は23億円、全米海洋気象研究機構(NOAA)はSTEM教育に対して29億円が計上された。これらに対して、2020年度の予算は2020年度が1600億円を計上されている。このほかに、“Student Support and Academic Enrichment Grants”(子どもの支援と修学向上資金)に2100億円が計上されている。“21st Century Community Learning Centers(21世紀地域学習センター)に2100億円が計上されている。”STEM Initiatives (STEMの初期展開)に230億円が計上され、STEAMの授業改善に185億円が計上された。NSFにおいては、910億円をSTEM教育に計上し、NASAは110億円、エネルギー省は25億円、国防省は142億円、NOAAは29億円をSTEM教育の予算として計上した。

これだけの予算が計上され、トランプ大統領もSTEM教育をさらに展開していく必要性和論理的な根拠については、これまでの報告書に複数まとめてきたが、ここで新たな最近のSTEM教育推進にかかわる報告書を発見した。これは、連邦政府の「全米科学と技術審議会」の中にある、「STEM教育委員会」が2018年12月にまとめたもので、「Charting A Course For Success: America’s Strategy for STEM Education(STEM教育のためのアメリカの戦略：成功に導く進路)」という報告書である。

2. STEM教育のためのアメリカの戦略：成功に導く進路

「Charting A Course For Success: America’s Strategy for STEM Education(STEM教育のためのアメリカの戦略：成功に導く進路)」が2018年にまとめられることになったいきさつは、「A 21st Century Science, Technology, and Innovation Strategy for America’s National Security (アメリカの安全保障のための21世紀における科学と技術のイノベーション戦略)」が2016年5月に、全米科学と技術審議会の国土と安全保障委員会から出されている。この中でK-16に連動したSTEM教育をあらゆるアメリカ社会システムの中に位置づけ展開し、より質の高いSTEMリテラシーを獲得した人材の育成が国家安全保障上の重要な点であることが示されている。

本報告書では、アメリカの安全保障のための 21 世紀における科学と技術のイノベーション戦略が全米科学と技術審議会の国土と安全保障委員会から出されことになる法律上の根拠は 2007 年に出された「America Competes Act (アメリカ競争力 (向上) 法、P.L.110-69)」の「101 of the America COMPETES Reauthorization Act of 2010 (アメリカ競争力 (向上) 再延長法)」によると記述されている。それでは、これまでの中間報告書の中で、2015 年に成立した「STEM 教育法」が大きな役割を果たしているということを繰り返し示してきたが、この新しい再延長法については、これまでの報告書では、発見されず記載されてこなかった。幸いにも確認ができたので、今回の報告書でその概略について次の節で示すこととする。

本報告書では、アメリカにおける連邦のほとんどの研究組織が STEM 教育の推進をするために、どのような戦略が必要であるかに関する報告書である。最初の概略の中に「**すべてのアメリカの人々が質の高い STEM 教育を一生通して受講でき、その結果として、アメリカ合衆国が STEM リテラシー、イノベーション、雇用において全地球のリーダーになること**」という目標が掲げられ、そのために、3 つの具体的な目標が示された。

- a. Build Strong Foundations for STEM Literacy (STEM リテラシーのための強い基盤づくり)
- b. Increase Diversity, Equity, and Inclusion in STEM (STEM における多様性、公平性、包括性を高めること)
- c. Prepare the STEM Workforce for the Future (未来へ向けて、STEM 分野で十分働ける人々を養成すること)

これらの 3 つの具体的な目標を達成するため、4 つの戦略が挙げられた。

- α. Develop and Enrich Strategic Partnerships (戦略的な連携を構築し深めること)
- β. Engage Students where Disciplines Converge (子どもたちに融合した分野の課題解決にかかわらせること)
- γ. Build Computational Literacy (コンピュータリテラシーの構築をすること)
- η. Operate with Transparency and Accountability (透過性と説明責任を維持した事業とすること)

2018 年から 5 年間である 2023 年まで、以上の目標を掲げて、ほとんどの省官庁が STEM 教育を展開していくための方略が具体的に示されている。

3. Public Law 114-329 (Jan.6, 2017)

この法律は“American Innovation and Competitiveness Act” (アメリカのイノベーションと競争力 (向上) 法) と命名された。実はこの法律は、他の論文で詳しく分析をすることになるが、本報告では概略を示すこととする。そして、本基盤研究 (B) の中間報告書にも説明されているように、2015 年にできた、「STEM 教育法」がその後どのように継続されていったのかを追跡していたが、今回、少なくとも有力な後継となる法律であると考えられる。2015 年にできた「STEM 教育法」は大変簡単な説明があり、具体性に欠けるものであったが、2017 年の「アメリカのイノベーションと競争力 (向上) 法」は 6 つの内容から大きく構成されており、3 番目に STEM 教育に関する内容が示された。1 番目に STEM 分野における基礎研究を最適化することに関して示し、2 番目に管理的規則的な内容の緩和に関して示し、3 番目に STEM 教育の推進に関して

具体的な施策が示された。4番目に団体・個人からの資本投入やテコ入れについて示され、第5番として製造について、第6番にイノベーションと技術移転について述べられた。

即ち、アメリカのイノベーションと競争力（向上）法は、イノベーションをアメリカから多数生み出すためのSTEM教育の推進とSTEM分野の基礎的な研究の強靱化に関する施策が示されているとみることができる。

ここで、3番目のSTEM教育に示されている内容に注目しよう。第1にSTEM教師の養成に関する内容が示され、第2に、領域横断的な宇宙に関するSTEM教育が取り上げられ、第3に、STEM教育諮問機関を開設することに関しての説明がなされた。ここが中心になり、STEM教育の理論と実践、評価がなされる連邦機関の一つとなった。4番目に全米科学と技術審議会内のSTEM教育委員会が定義され、実働することに関して示されている。そして、この法律で規定された、「STEM教育（推進）委員会」がこの法律制定後の1年間でまとめたのが、前述の「STEM教育のためのアメリカの戦略：成功に導く進路」となる。

5番目にSTEM領域へいざなう機会を広げるプログラムの展開についてまとめ、6番目にNIST(国立スタンダード・技術研究所)による教育とアウトリーチについて記載され、7番目にSTEMメンターの中から大統領賞を授与することに関して記載され、第8番目はSTEM領域において、いろいろな団体をどのように結びつけるかに関して示された。9番目に連邦レベルのあらゆる研究機関に学部学生を受け入れ、STEM体験プログラムを展開するべきであることが述べられた。10番目にコンピュータ科学教育の研究について示され、11番目はインフォーマルなSTEM教育に関して述べられた。12番目にSTEM見習い制度の開発について記述され、13番目に報告書の作成を2年ごとにまとめることに関して記載され、14番にNOAAのSTEM教育プログラムについてまとめられた。STEM教育の最後に、スペイン語系の人々に対するSTEM教育についてまとめられている。

そして、P.L.114-329では、TITLE:IV（四番目）に団体・個人からの資本投入やテコ入れについて示されている。ここで、奥村仁一（2019）が述べているように市民科学の推進の重要性が示されている。奥村は北アリゾナ州立大学のFEWS（Food, Energy and Water System）プロジェクト（Wolfe, et al., 2016）について取り上げ、この市民参加型科学研究が、NSFの予算を得て、2020年においても大規模に展開されていることを記載し、新しいSTEM教育の次世代モデルと位置付けている。これらの動きをさらに推進する法律的な根拠が2017年に制定された、P.L.114-329での、TITLE:IVであり、第305節に“インターネットを介してSTEM活動を発注委託したり資金調達したりすることと市民科学”について述べられており、ここでは“市民科学”を「**個人または団体が様々な手法で社会に開かれた科学的研究活動にボランティアで参画する形態**（SEC.402. (c).1.）“のことでありと定義されている。この科学的研究活動には、以下のような活動が含まれる。

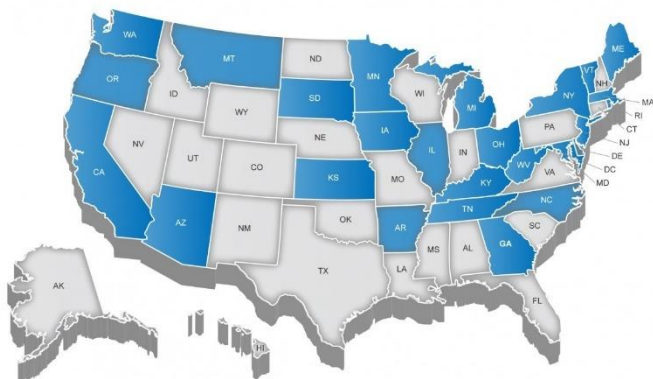
- (A) 研究のための疑問を形成することが可能であること；
- (B) プロジェクト計画を生成することや訂正すること；
- (C) 科学的な様々な実験を遂行すること
- (D) データを収集することと分析すること；
- (E) データの結果を解釈すること；
- (F) あたらしい技術を開発することそれらを活用すること；
- (G) 発見をすること；
- (H) 問題や課題を解決すること。

次に、“CROWDSOURCING”の定義がなされている。”特にオンラインを介して個人や団体からボランティア的寄与をお願いすることによって、必要とされるサービスや考え、内容を獲得する手法“であると記載されている。この後の内容は、あらゆる研究機関が市民科学を推進するための、研究費支援する方略が示されており、イノベーションを起こすためのシステムの構築の一つとみることができる。これらの市民科学に含まれる内容が 21 世紀科学スタンダードで示されている内容と極めて類似しており、国全体を巻き込んだ STEM 学習活動への資金支援を担保し、結果としてのイノベーションの生成を狙っている。

これらの動きと対応する日本の政策との比較をした場合、日本はやっと国を挙げて Society5.0 を目指して、様々な計画が位置づけられた段階であり、より組織的なアクションにつなげるための法律や資金支援については、ほとんど展開していないのが現状であり、日本型の STEM 教育改革が待たれるところである。

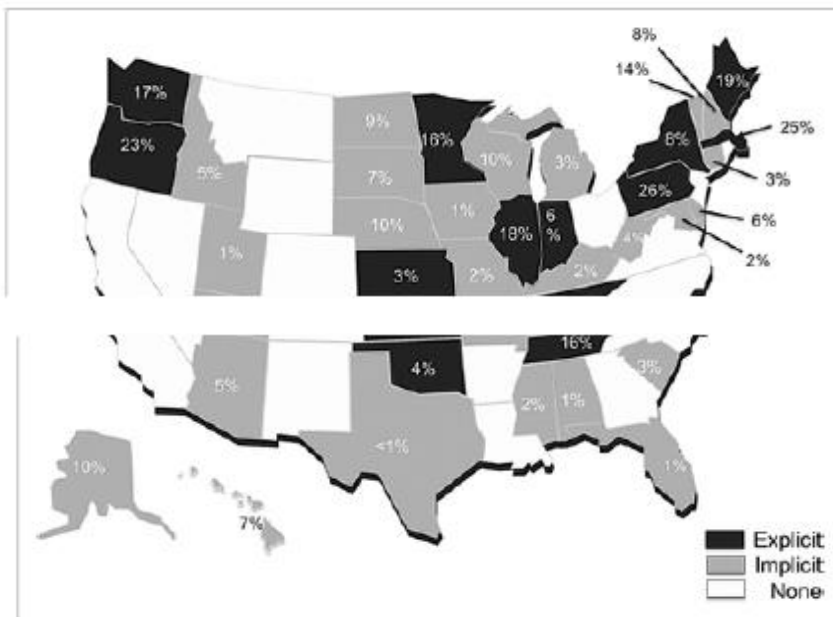
4. 州科学スタンダードとして STEM 教育を取り入れた州

本基盤研究 (B) の中間報告書(熊野善介, 2018 & 2019)にも述べたが、次世代科学スタンダードの作成委員会には 26 の州の教育委員会からの科学カリキュラムの専門家が参画してきた。このカリキュラムの専門家が各州に戻り、これらの州で新しい科学スタンダードの作成に取り組んだ(次ページ参照)。以下の州の他にもコロラド州、コネチカット州、ネバダ州、ニューメキシコ州、ネブラスカ州等が NGSS を州スタンダードに取り入れたか、取り入れつつある。



NGSS(2013, Achieve)の HP から(<https://www.nextgenscience.org/lead-state-partners>)

各州が NGSS を取り入れる以前の科学スタンダードにおいて、工学の内容がすでに導入されていた州は 13 州程度であったことが明らかになったのである(Tamara J. Moore, et al., 2015)。したがって、NGSS を取り入れることは、多くの課題があったことが容易に見取れるのである。すなわち、日本においても「理科」の中に工学的な学習要素や工学的な資質・能力を取り入れることは、中学に週に 1 時間の「技術・家庭」の必修の時間もあり、「理科」の学習の中に工学的学習を取り入れることは容易なことではない。こうして 2 つの図を比較すると、科学教育のカリキュラムの中に工学的学習を取り入れていた州が、NGSS を問題なく受け入れることができているという傾向がある。「Explicit」という言葉が示している内容は、科学スタンダードに明示的に工学的な思考が記述されていることを示し、「Implicit」とは明示的ではないが明らかに工学的思考が包含されているという意味である。わが国の学習指導要領では、「科学概念の理解のためのものづくり」が数多く導入されているので、この場合は Implicit という言葉の範疇に入ることになる。



Tamara J. Moore, Kristina M. Tank, Aran W. Glancy, Jennifer A. Kersten (2015);

科学スタンダードに NGSS を導入する前において、工学の内容をどの程度科学スタンダードに取り入れているかに関する図；

5. ミネソタ州における州科学スタンダードの内容について

ミネソタ州の教育委員会の理科のカリキュラム専門官である、Dr. John Olson は、ミネソタ州教育委員会の代表者として、2011 年の夏から「NGSS（全米科学スタンダード）」作成に参画してきた STEM 教育改革の専門家である。Olson 氏は具体的にどのようにミネソタ州科学スタンダードとして現実化していくことを想定しながら、NGSS のビジョンと内容の訂正改善作業を行ってきた方である。

我々は、継続的にミネソタ州教育委員会をたびたび訪問し、ミネソタ州科学教育スタンダードがどのように作成されていくかについて追跡してきた。毎年本基盤研究（B）の報告書で継続的に報告をまとめてきた。STEM 教育改革が組織的に展開しているのが、26 州あり、さらにその他の州科学スタンダードも次第に STEM 教育改革が展開してきている段階である。なぜミネソタ州なのかということについては、特に、STEM 教育センターを作り、州を挙げて展開しているのが、ミネソタ州、アイオワ州、イリノイ州、ウィスコンシン州、ワシントン州、カリフォルニア州、オレゴン州などであるが、その中でも現在、まだ州科学スタンダードとして作成途上であり、日本にとってこの過程が大変参考になるからである。

ミネソタ州科学スタンダードの今後の工程であるが、2019 年にミネソタ州科学スタンダードの最終バージョンを関係者に配り、訂正・改定を進めている。その一方で、2019 年から 2020 年にかけて、科学と工学的学習を活用する PD（科学教師約千人の研修）を進めているところである。同時に各学校における、年間カリキュラムと評価プログラムの作成を行われている。2020 年の秋から 2021 年 1 月には最終的なミネソタ州スタンダードが出来上がることになる。2020 年から 2021 年においても研修とカリキュラムと評価プログラムの作成する学校をさらに広げる予定である。2021 年から 2022 年に新しい州科学スタンダードをもとに、幼稚園、3 年、6 年、9 学年で州科学スタンダードを実施する。2022 年から 2023 年に 1 年、4 年 7 年と高等学校が実施する。2023 年から 2024 年が完全実施となる。

ミネソタ州の新しい科学スタンダードでは、以前の高校用であった物理科学（物理と化学）が8学年にまるまる移行することになった。また、高等学校では、化学、地球・宇宙科学、生命科学、物理が公平に扱われ、特に、1年間の地球・宇宙科学が学習されることになるので、2023年度を目指して、すべての高等学校では準備がなされる必要があることになった。つまり、ミネソタ州では相対的にSTEM学習を進めることになるために、地球・宇宙科学が必要になったということである。物理、化学、生物が主な科目であり、現状維持のまま、STEM学習へと突入できる。

州スタンダードのドラフトは極めてNGSSとほぼ同様の内容が示されている。すなわち、授業論的には、科学学習と工学的学習を融合した課題解決型（PBL）の学習を行うことになる。最初は教師から出される課題もあるが、できるだけ児童生徒から出される課題や疑問を大切に、チーム学習や数学的な思考を取り入れ、実験や観察のデザインを主体的に展開し、試行錯誤をしながらデータを分析し解釈していくことが求められる。そして、課題解決策をデザインすることが必要となる。議論をしたり、多くの人々に公表したりすることが求められる。この過程で、教師は7つの科学と工学にまたがる大切な概念理解を行い、科学スタンダードに記述されている科学的内容を理解していくこととなる。

今回もNGSSにある、「科学的探究学習」から「科学的工学的プラクティス」という言葉に変化しているが、これは日本の理科教師には理解しがたく、受け入れることが難しい概念であるが、ミネソタ州科学スタンダードは、この変化を受け入れたのかという質問に対して、アメリカでも理解できない方々は多くいることが示され、しかし、「探究学習」が否定されたのではなく、「プラクティス」という新しい言葉を使うことにより、NGSSの理念をより分かりやすくし、具体的な実践につなげることができるといふ返答をいただいた。今後とも、継続的にミネソタ州の教育委員会を訪問し、対話を継続していくことが必要である。

参考文献

1. COMMITTEE on STEM Education (2018). Charting A Course for Success: America's Strategy for STEM Education, National Science & Technology Council, 1-36.
2. Committee on Homeland and National Security (2016). A 21st Century Science, Technology, and Innovation Strategy for America's National Security, the National Science and Technology Council, 1-12.
3. MN Department of Education (2020). Preparing for New Minnesota Science Standards; <http://educaton.state.mn.us/mde/index.html>
4. MN Department of Education (2019). Minnesota K-12 Academic Standards in Science-2019, Commissioner Approved Draft, July 29, 2019.1-59.
5. NGSS(2013, Achieve)HP ; <https://www.nextgenscience.org/lead-state-partners>
6. 奥村仁一, Benjamin L. RUDDELL, Richard R. RUSHFORTH, Elisabeth ROBERTS, Emily EVANS, Sean RYAN (2019), 米国における市民科学の進展とPPSR及びFEWSへの展開—科学リテラシー向上と持続可能社会の構築に向けた市民科学の活動—、エネルギー環境教育研究、V.13, No.2. 3-16.
7. Public Law 114-329 (2017); <https://congress.gov/114/plaws/publ329/PLAW-114publ329.pdf>
8. Tamara J.Moore, Kristina M. Tank, Aran W. Glancy, Jennifer A.Kersten (2015); NGSS and the landscape of engineering in K-12 state science standards, Journal of Research in Science Teaching, Voume 52, Issue3, DOI: 10.1002/tea/21199 .

6. Investigating Improvement of STEM Education in the USA

Nurul F. Sulaeman^{1,2}, Yoshisuke Kumano¹

¹Dept of Science Education, Shizuoka University, Shizuoka, Japan

²Dept of Physics Education, Mulawarman University, Samarinda, Indonesia

Abstract

Science-Technology-Engineering-Technology (STEM) education become one of approach that initiated by the USA and spread all over the world. Due to the its' significant role to science education, investigation about improvement of STEM in the USA is needed. The aim of this research is to observe the improvement in science education and STEM in the USA during 2018/2019. The observation focused at Association of Science Teacher Education (ASTE) conference, STEM research center, department of science education, formal education and informal education institutions. From the analysis, there are several important findings. First, the trend of STEM school and the improvement were existing in the USA. Considering the diversity in the USA citizen, some social issues also discussed such as equity issue in school. Second, science education concerned in the improvement of teacher pedagogical content knowledge (PCK) with various professional development activity. Specifically, in Minnesota State, the new science curriculum standard has been designing with some part of the standard is adopted from NGSS. In real practices, STEM is observed at STEM school in elementary and middle school level and also in the science museums.

Keywords: STEM, science education, practices, the USA context.

6.1 Introduction

As one of the biggest nations in the world, the United States of America (the USA) has been concerning their education sector carefully. The spirit of Equity is easily transformed from their education slogan, "No child left behind" since 2002. In line with this spirit, the needs of technology for better future is continuously increase. In line with the society development, the urgency of STEM Education is crucial for any country. Because in the beginning STEM initiated at the USA, investigating the improvement is always interesting. This improvement could be seen by observation at several activities and institution in the USA that could be seen at Figure 1. First investigation is at Association for Science Teacher Education (ASTE) that held January 2-5, 2019. This conference is an annual conference that has been held for facilitating researchers in science education field. Investigating at this conference become one of key part to understand the trend of research and development in science education and especially STEM education.

After broadly the improvement in the USA as a country could be investigate at ASTE, the detail investigation for one of state in the USA has been done. This year, 2019, is the year for developing new science standards for science education that initiate by Department of Education, Minnesota. In addition, for having comprehensive understanding of STEM education, observations at the implementation of STEM at real school are needed. The best practices of STEM could be seen at STEM School around Minnesota State. Observations at elementary and middle school are done which the school were McKinley

Elementary School, Crossroads Elementary School, Owatonna Middle School. The last observation was investigation at informal science education that has massive support to formal education issue. The science museums are The Works and Bell Museum.

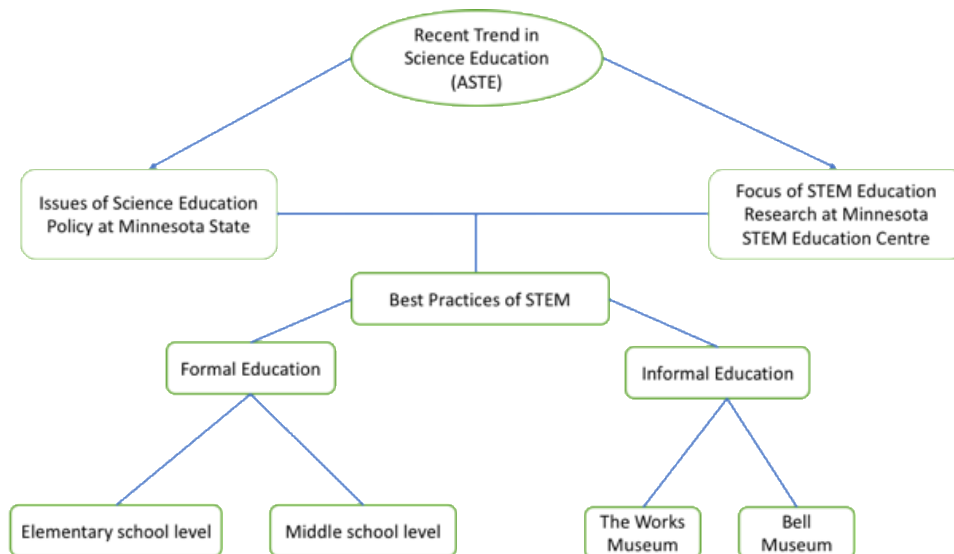


Figure 1. Framework of STEM Education Observation at the USA

6.2 Association for Science Teacher Education (ASTE)

Description of Event ; January 4, 2019

<https://theaste.org/meetings/2019-international-conference/>

Hyatt Regency Savannah, 2 W. Bay Street, Savannah, Georgia, USA, 31401

This conference is an annual conference where all the region of the USA an international researcher in science education gather and share their ideas. In 2019 conference, the general topic was “Building Bridges and a Presence within a Climate of Change in Science Teacher Education” and special general session about “Re-examining Bridges in Today’s Climate of Diversity” that was delivered by three panelists (Dr. Meg Evan, Dr. Alexandra Reyes and Dr. Brian Williams). The general session emphasized the important of equity, diversity and social justice in education. In case of the USA, as a huge country, multiracial and multiethnicity issues are still become a critical issue. Another equity that discussed was about gender equity such as women in science program. Interesting discussion also held about the children from immigrants’ parents that most of them did not use English as their major language. For science teacher, the awareness of equity in their classroom become important. The perspective of current issues related to diversity implicit bias, and inclusivity in science education and teacher preparation was discussed with valuable best practice experience of the panelists.

Beside the general session, ASTE provided 12 major topics that discussed, which are:

- a) College and University
- b) Policy and Reform
- c) Curriculum, Pedagogy, and Assessment
- d) History and Nature of Science
- e) Equity/Diversity
- f) Educational Technology
- g) Preservice Science Teachers
- h) Informal Science Education
- i) Science Teacher Professional Development
- j) STEM
- k) K-12 Student Learning
- l) Ethnoscience-Environmental Science Education

During the limitation of observations, this report will focus on three topics which are teacher professional development, pre-service teacher preparation and STEM education.

6.2.1 Teacher Professional Development

During the teacher professional development sessions, three observation was done for the following research:

1. **Becoming a Teacher: Reflective Practice as a Way of Exploring Secondary Science Teachers' Beliefs and Practices**
Preethi Titu, University of Minnesota , Gillian H Roehric, University of Minnesota , Joshua A Ellis, Michigan Technological University

Abstract

Knowing that teacher's beliefs and practices toward teaching vary widely in education and have significant classroom impacts, this study investigated the beliefs and practices of in-service secondary science teachers toward teaching as a classroom teacher.

2. **Science Teachers' Perception of Their Increasing Use of Professional Noticing During Instruction**
Lauren N Stewart, San Diego State University , Meredith Houle Vaughn, San Diego State University, Donna L Ross, San Diego State University

Abstract

This study examines five secondary science teachers' perceptions on the growth of their professional noticing skills over time and how their teaching practices are influenced by noticing. We found that teachers perceive that noticing influences teacher moves, helps to elicit student thinking, and to no longer focus on correct/incorrect answers.

3. **The Effects of Extended Action Research-Based Professional Development on the Teaching of Climate Science**

Allan Feldman, University of South Florida

Molly Nation, Florida Gulf Coast University; Katie Laux, University of South Florida

Abstract

This presentation reports on the use of extended action research- based professional development for climate change education. Results indicated teachers changed their practice to incorporate discussion and argumentation, decreased their concern about the political aspects of climate change, and increased the place-based nature of their teaching.

From the three researches, the trend of more qualitative research about professional development has been seen during these presentations. The belief that a teacher has will related to the teaching practice. This issue is important for professional development of in-service teacher. Another crucial issue is how teacher notice during the learning process. The analogical of mechanic see the car machine will be suitable with teacher see the student and learning process. A professional in some job will have different point of view with novice. Moreover, the important of action research to improve specific topic is still needed especially in the global issues such as climate change.

6.2.2 Preservice Science Teacher Preparation

4. Focusing on the Formative Assessment Skills of Pck: How Does Science Compare with Other Licensure Areas in State- Mandated Performance Assessments , *Julie S. Kalnin, University of Portland, Patricia D Morrell, University of Queensland; Richard Christen, University of Portland; Peter Thacker, University of Portland*

Abstract

Formative assessment is a strong contributor to effective teaching. We examined how two candidate performance assessments—before and after state-mandated adoption of edTPA—shaped the purposeful implementation of formative assessment, and the impact content area (science, mathematics, social science, and language arts) had on those practices.

5. Preservice Teachers Learning Formative Assessment Through Formative Assessment *Stephanie Hathcock, Oklahoma State University, Toni Ivey, Oklahoma State University; Drew Gossen, drew.gossen@okstate.edu*

Abstract

This exploratory study examined introducing and showcasing formative assessment by formatively assessing elementary preservice teachers and reflecting on the experience. We were seeking to determine (1) content gains, (2) how they viewed the process of being formatively assessed, and (3) their perceptions of the experience.

6. Strengthening Preservice Science Teachers' Understanding of Nature of Science: The Role of an Embedded Research Experience in Teacher Preparation *Julie Angle Angle, Oklahoma State University*

Abstract

This session shares the development of a science methods course that provides secondary preservice science teachers with a mentored research apprenticeship as a lens to strengthen their understanding of nature of science. The course outline, rationale for course assignments,

and student products are presented.

7. Exploring (Mis)alignment in In-service and Preservice Science Teacher Mentoring Relationships with Respect to Standards- Based Reform

Alison Riley Miller, Bowdoin College, Brooke Whitworth, University of Mississippi; Laura Zangori, University of Missouri; Mandy Biggers, Texas Woman's University; Michael D Walsh, Bowdoin College

Abstract

This qualitative study explores how mentor science teachers are selected across programs in two states, and characterizes pedagogical alignment, or misalignment of mentor and preservice science teacher (PST) pairs with respect to the NGSS. Findings indicate that PSTs and mentor teachers need greater support around this crucial mentoring experience.

8. The Impact of Cooperating Teachers on Pre-Service Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge

Kayla R Norville, North Carolina State University Soonhye Park, North Carolina State University

Abstract

Pedagogical content knowledge (PCK) is a specialized body of teacher knowledge required for effective teaching. This study explored the impact of cooperating teachers on pre-service science teachers' (PSTs) PCK during the student teaching experience. The findings of this study provide implications for both PSTs and teacher education programs.

The discussion about pedagogical content knowledge (PCK) in science education become major discussion in Preservice Science Teacher Preparation session. This issue is related to the transformation proses in teacher preparation program that has a challenging work to shape the future teachers. Another issue is about how to improve assessment skills in pre-service teachers. The problem in the relation between student teacher and in-service teacher also was discussed. The enhancement in the teaching practice for pre-service teacher is complex issue that need cooperation between university, school, in-service teacher and pre-service teacher.

6.2.3 STEM Education

9. Navigating Integrated Stem in Small Group Activities: A Gender- Focused Case Study

Jeanna R. Wieselmann, University of Minnesota; Emily A. Dare, Florida International University; Elizabeth A. Ring-Whalen, St. Catherine University; Gillian H. Roehrig, University of Minnesota

Abstract

To better understand how gender may relate to participation in small group STEM activities, this study explored the experiences of four students (two girls and two boys) as they participated in

small group portions of an integrated STEM unit. Additionally, it explored differences in student engagement between science and engineering lessons.

10. Life Changing: What Happens When We Stemify Our Schools

Thomas F Meagher, Owatonna Public Schools/University of Minnesota

Abstract

This study explores student perceptions of science, technology, engineering, math and the environment of over 500 students in grades 4-8, for five years. Findings from how students perceive STEM learning, and significant differences in academic test scores, provides evidence for a definitive model of integrative STEM teaching and learning.

11. Rethinking Structures of Instructional Time and Space in the Middle School Stem Classroom

Meg Gardner, Colgate University

Abstract

This presentation focuses on how one integrated STEM model redefined instructional space and time. The researchers found that the team pooled instructional minutes and shared one student roster. Halls, atria, and green spaces were considered part of the instructional landscape. Teachers expressed feelings of collective ownership of the model.

12. Reflection on the Aspects of an Effective Stem Integration Partnership: A Collaborative Action Research Study

Justine N Kim, University of Minnesota, Corbin Rice, University of Minnesota; Gillian Roehrig, University of Minnesota

Abstract

A school-university partnership engaged in collaborative action research to develop STEM curriculum as part of a year-long professional development model. The process of implementation was documented and analyzed. This study makes recommendations for future partnerships to promote successful STEM integration for in school spaces.

In STEM session, the discussion was divided into two categories. Some researches focus on the STEM in widespread subject such as in a state or a school or set of curricula that change into STEM schools. The collaboration between school and university to design sustainable STEM school also needed. On the other hand, some others focus on enhance STEM class in specific ways such as related to gender. The trend of STEM school in the USA is growing recently.

6.3 Minnesota STEM Education Center

Description of activities

Address	:	1954 Buford Avenue, 320 Learning and Environmental Sciences Building, St. Paul MN 55108
Website	:	http://www.cehd.umn.edu/stem/
Email	:	stem@umn.edu
Interviewees	:	Prof. Gillian Roehrig
Date	:	January 7 – 10, 2019

As a STEM education center, this institution actively conducts various researches that related to STEM. Prof. Gillian Roehrig is one of the active professors in this institution that has research interest in K-12 STEM integration, STEM teacher induction and STEM teacher preparation and professional development. During this period, the researches specifically focus on two major project which are STEM evaluation protocol (Figure 1) and Science teacher professional development (Figure2).

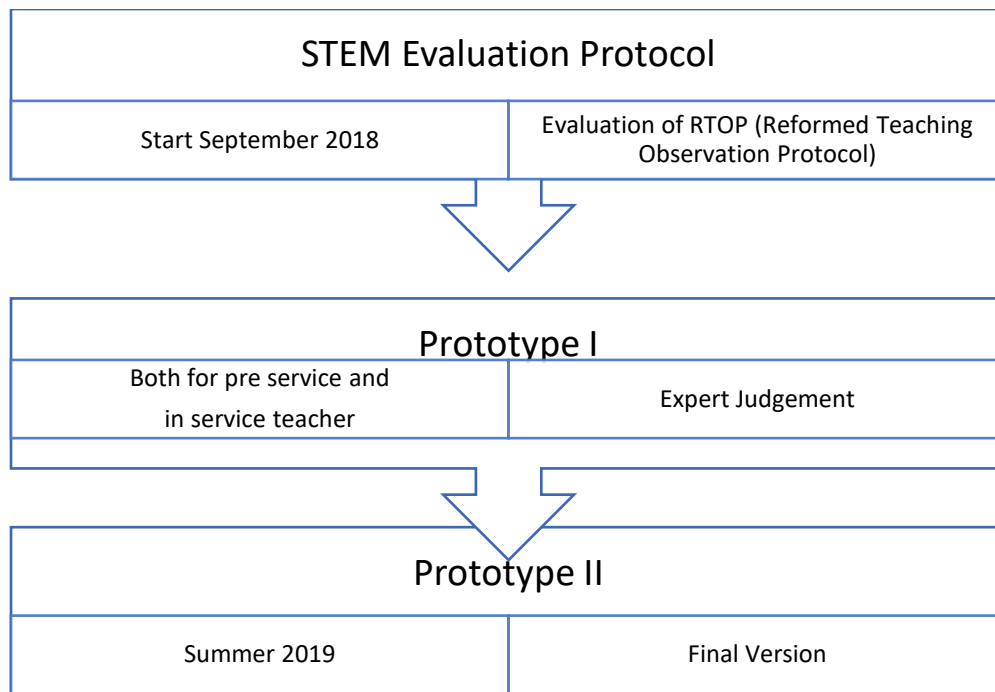


Figure 1. STEM Evaluation Protocol Development

Measuring STEM evaluation protocol is quite challenging for researchers. The pedagogical content knowledge (PCK) of a teacher will be related to STEM PCK. Prof. Gillian mentioned a basic research question about this issue as below:

$$S(PCK) + M(PCK) + E(PCK) \neq STEM(PCK)$$

$$S + M + E + ?? = STEM(PCK)$$

The equation tries to formulate the reality in a teacher that have STEM PCK. The terminology of STEM PCK is still incomplete because the research is trying to find the other factor that in reality play significant role. A simplification sample is if a teacher has science, math and engineering skill, she or he still need another skill that makes her/his STEM PCK completely. This discussion is very interesting to be many possible researches in the future.

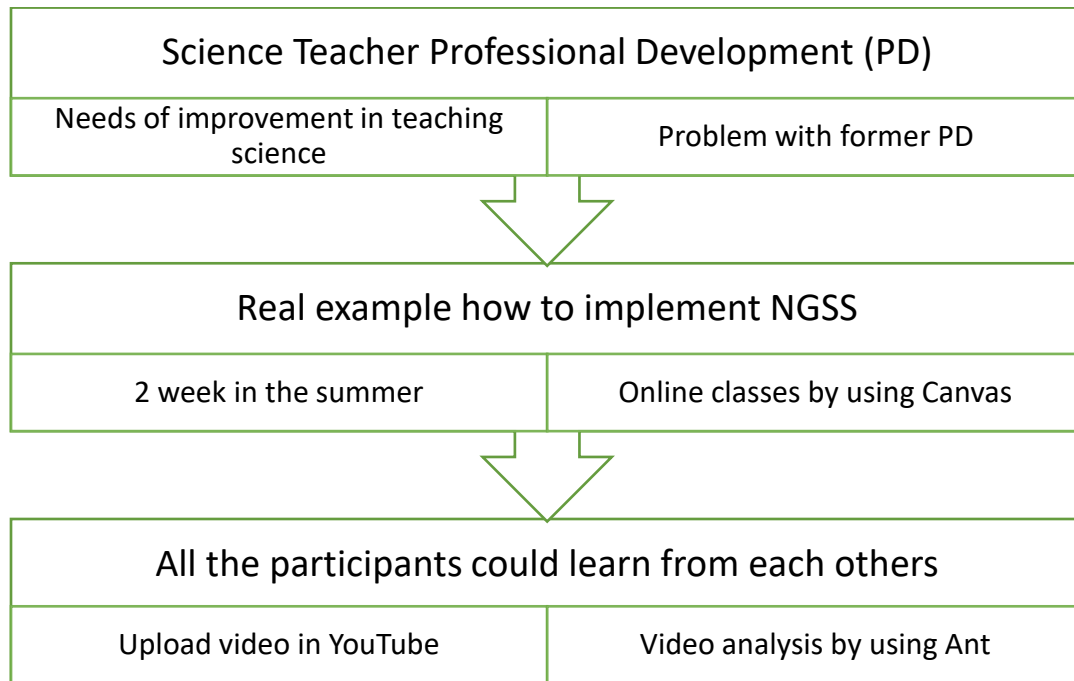


Figure 2. Science Teacher Professional Development

Both of researches in Figure 1 and 2 have related each other. The protocol that developed by first research could be use in the second research. Those researches are funded by various funding such as NSF Grants, University of Minnesota, St. Catharine University Minnesota and others.

Cooperation project is carried out with some educational institutions. One of the projects with NASA used "How to get to Mars?" as context question. This project was 10 days workshop for junior high school students and for 1 week all the learning activities at that school was used NASA as the general theme. Another grand from NASA is related to Climate Change issues I Cedar Creek ecosystem that focus on finding the evidence of the effect of climate change on diversity.

6.4 Minnesota Department of Education

Description of activities

Address	:	1500 Highway 36 West Roseville MN 55113
Website	:	https://education.mn.gov

As a state, Minnesota has right to has standards in education with considering the national standard. Every academic year has specific goal of what subject that will be revised. This academic year, 2018/2019, is the year for science standards. The major concern is in what extend Minnesota science standards has to be change toward Next Generation Science Standards (NGSS) that become national standards since 2013. The former Minnesota science standard was developed based on National Academy of Science because it was developed at 2011. The process of this revisions could be seen in Figure 3.

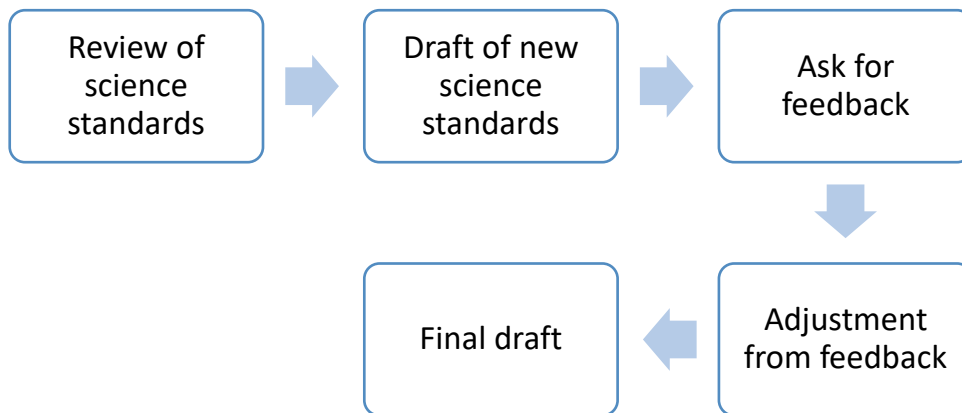


Figure 3. The Process of Science Standards Revision

6.5 Best Practice of STEM ; Formal Education

In the level of formal education, the implementation of STEM education is challenging, and dynamics based on the situation in those country or specifically in that area. The challenges around Minnesota area is vary from the multiracial background to the need of science education to keep up with the improvement of advance technology. In this level of education, the STEM education is facing the most challenge.

McKinley Elementary School

Address	:	1050 22nd Street NE (6,092.64 mi) Owatonna, Minnesota 55060
Interviewees	:	5 senior teachers
Date	:	January 9, 2019

This school is one of the STEAM school for elementary level (Figure 4a and 4b). This school serves the northeastern neighborhoods of Owatonna, as well as the entire community through the district STEAM programming. This school is a K-5 school with around 600 students with high the diversity and uniqueness. Through the observation, the equity for each student is strongly adapted. Students at McKinley STEAM have a choice for the first time to learn through STEM; a philosophy embedded in literacy and focused on science, technology, engineering and math. This opportunity allows students to approach learning from integrating content while emphasizing problem solving and collaboration. Students spend time observing and wondering about how the natural world and human society interact. In this context, engineering is how we design and build solutions to problems and improve the world we all live in. The STEAM is integrated in the learning processes through several key concepts, which are:

- **Collaboration**
The students collaborate with each other and the outside world.
- **Integration**
Their curriculum is integrated with literacy serving as the foundation of all learning.
- **Student Ownership & Inquiry**
The teachers serve as the facilitator, giving students the power to own their learning.
- **Real-Life Learning-**
The learning is connected with the outside world. Through simulations, partnerships, and problems, our students experience real-life learning on a daily basis.

In addition, this school has unique open class concepts where the class is located around the library (Figure 4c and 4d). From the interviews, we found that the teachers collaborate each other for designing STEAM lessons. Most of the teachers have experience in STEM certification program or STEM education in master's degree. Focus on the integration for art part, this school has several art teachers that also has STEM license. The



a



b



c



d

Figure 4. McKinley Elementary School

6.5.1 Crossroads Elementary School

Address : 543 Front Ave, Saint Paul, MN 55117

Interviewees : 2 senior teachers and students

Website : <https://www.spps.org/crossroads>

Date : January 10, 2019

This school (Figure 5a) is quite unique elementary school because it has two section of the school which is Science School and Montessori School. In the science section, the school design science as integrated subject to into all core subjects and is the foundation for reading, writing and math. At the heart of this school, there is a one-of-a-kind Inquiry Zone – a fully-equipped science lab (Figure 5b), staffed in collaboration with the University of Minnesota’s Bell Museum of Natural History, where students can build machines and design and conduct hands-on investigations.



a



b



c



d

Figure 5. Crossroads Elementary School

Another interesting part is the aquaponics laboratory (Figure 5c and 5d). This lab will allow 5th grade students to study systems and how living organisms and systems. They will have opportunities to explore and observe how organisms use their structures to meet their needs. Students will also be able to explore natural systems and how removing or changing a part can affect the whole system. Moreover, investigation of different variables that affect plant growth such as water, light, grow medium and temperature is available. 3rd graders will be able to observe and investigate the functions of different structures organisms have. This system will also allow students to grow plants in one year. Each classroom in grades 3-5 will have their own plant grow bed to monitor, explore, plant and harvest. 5th graders also build mini aquaponic systems in groups of 3 out of 20-gallon aquariums. These small systems will enable students to become experts on the system and how all the parts work. The tanks will have goldfish and the plant beds will have peppers, sun flowers or lettuce.

This aquaponics system is mostly from **Science**. It is connected to **Engineering** with the mini systems because students work out how to construct them and make sure all the parts in the system are working. The connection to digital **Technology** is through using digital probes to monitor temperature and pH with an iPad, organizing data and researching aquaponics. The **Mathematics** connect is through data collection and analysis.

6.5.2 Owatonna Middle School

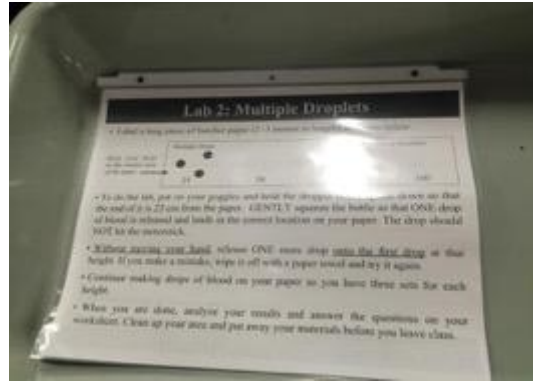
Address	:	500 15 th Street Northeast Owatonna, MN 55060
Interviewees	:	Katie Coudron, M.Ed (Teacher on Special Assignment)
Website	:	https://www.owatonnajhs.portal.rschooldtoday.com
Date	:	January 9, 2019

This middle school was one of the STEM middle school that has 1110 students (grade 6,7,8) and 135 staff members. The school's hours start from 8:10 am until 2:40 pm. The students must take essential classes that could choose electives classes. As a STEM school, majority of the teacher has been taken STEM certifications program. The STEM teachers will discuss the curricula from the standards, the topic that related to STEM and try to "Stemify" the learning process.

In one of the elective class, the forensic class is open (Figure 6a, b, c, d). This class is very popular among students. The teacher itself has an experience in STEM certification and special training by real police detective. In this class, real life problem that related to crime scene could be seen. For examples, the problem with human shoes print or the mysterious problem related to drop of blood. The teacher used fake blood for basic science experiment to understand the characteristic of blood and blood print and made kind of criminal case to solve.



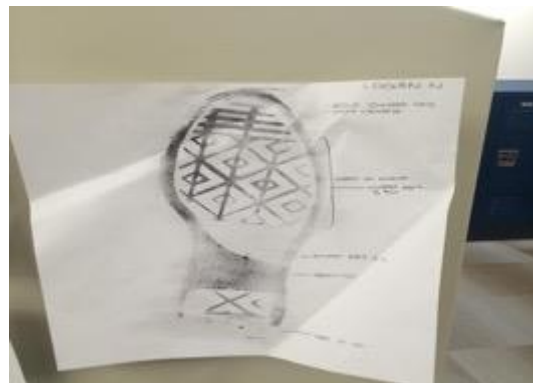
a



b



c



d

Figure 6. Owatonna Middle School

6.5.3 The Participatory Process of STEM School Improvement

One of the most common question is how to design and improve an effective STEM lesson or STEM school. In case of these three STEM schools, we observed a common collaborative atmosphere among the principle, STEM specialist, teachers and staff. This is a key point of STEM school in real practice. In case of Japan or Indonesia, the STEM lesson usually designs as several activity in one lesson such as Physics or Chemistry. But the idea of a whole school curricula change into STEM has different challenges.

In case of McKinley STEAM School, the process of collaborative work to design the integration is strongly observed (Figure 7). From the interview, we could conclude that in the beginning of school year, the discussion of how this school will be run and what are the goals for this academic year was held. In case of Elementary School, the core competency toward literacy or reading is commonly used. The discussion about new academic goal is prepared from teacher, STEM coordinator and principle with considering the phenomena in last academic year (Figure 8).



Figure 7. McKeinley STEAM Integration Work

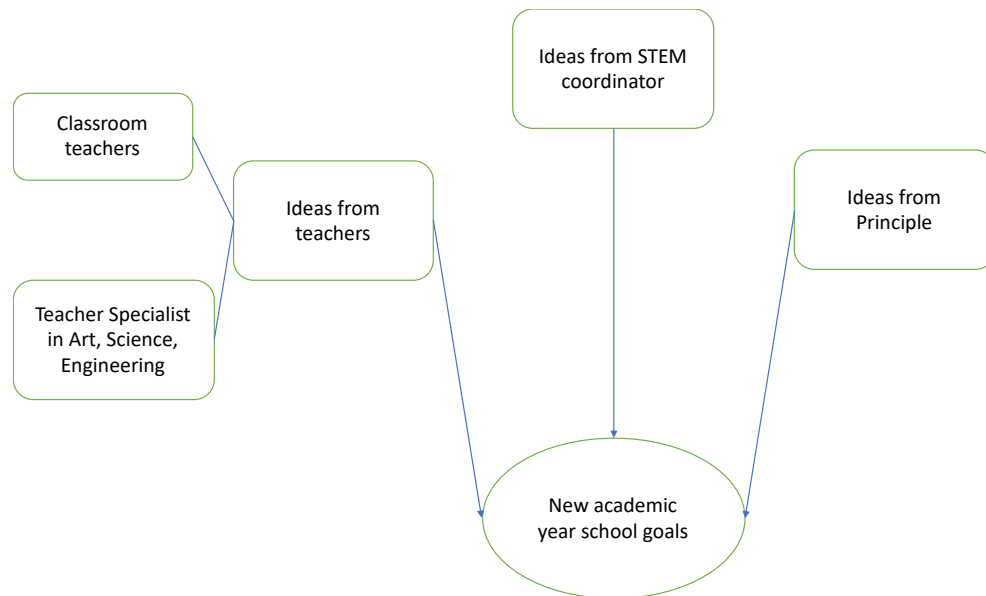


Figure 8. The Process of School Academic Goal

6.6 Informal Education (Science museums)

In the level of informal education, the implementation of STEM education in the USA increase with the support of community and company around that area. We observed two science museums that each has its own uniqueness to arrange their museum. The first museum was “The works” that focus in engineering part and the second was “Bell” that focus on natural history of science.

6.6.1 The Works

Address	:	9740 Grand Ave. S. Bloomington, MN 55420
Website	:	theworks.org.
Email	:	info@theworks.org
Interviewees	:	Kit Wilhite (Senior Director of Learning Experiences)

Museum has significant role for supporting education, likewise in science museum. While commonly museum has bigger fix collection area then small part of hand-on activities, this museum focus in engineering activities. The name of this museum, “The Works”, its self is emphasizing to describe that this place design to support active learning. The entrance of this place could be seen in Figure 9a. The concept of this museum gives opportunities for the visitors to learn new experience by doing. The works museum also supports by qualified staffs that provide various activities.



Figure 9. The Work Museum Entrance and Collection

The senior director of learning experiences, Kit Wilhite, explained that they have various activities such as Camp (school break, summer, pre-k summer), workshop, fieldtrip and teacher professional development. Detail activities could be seen at their website.

From many collection and section at this museum, Figure 9b, c, and d show a replica of harp that design with string of light. The visitors could play with the harp and listen the different sound that produce by this instrument. If we look more detail, we could see the part of the instrument that have sensor. In the top of the instrument, some explanation is given. This instrument is stimulating curiosity for any age of visitors.

Beside the collection, the interior of The Work is appealing for the visitors. Many interesting sentences that relate to science and engineering practices such as at Figure 10a the sentences “Engineers make things faster stronger easier and more fun”. While the visitors observe the wall, they could have insight about engineering and science from many famous artist and scientist. Example of another hands-on activities could be observed in Figure 10b and c while the visitors have opportunities to try to solve some problems through designing something. In Figure 10b, the visitors ask to design the sticks to block surface and make the ball not falling. In Figure 10c, enormous possibilities could be designed from brick replica. Both of this part are possible to play personal or team or family team. Therefore, the museum also facilitates the team work building during hands on activities.

Considering that children visitors has unique and varied characters, the museum also provide some space that tend to be quieter. Figure 10d show a corner where visitors could write or draw or read something. For some visitors like quite students or parents, the museum provides this kind of spot for them to enjoy the museum more.

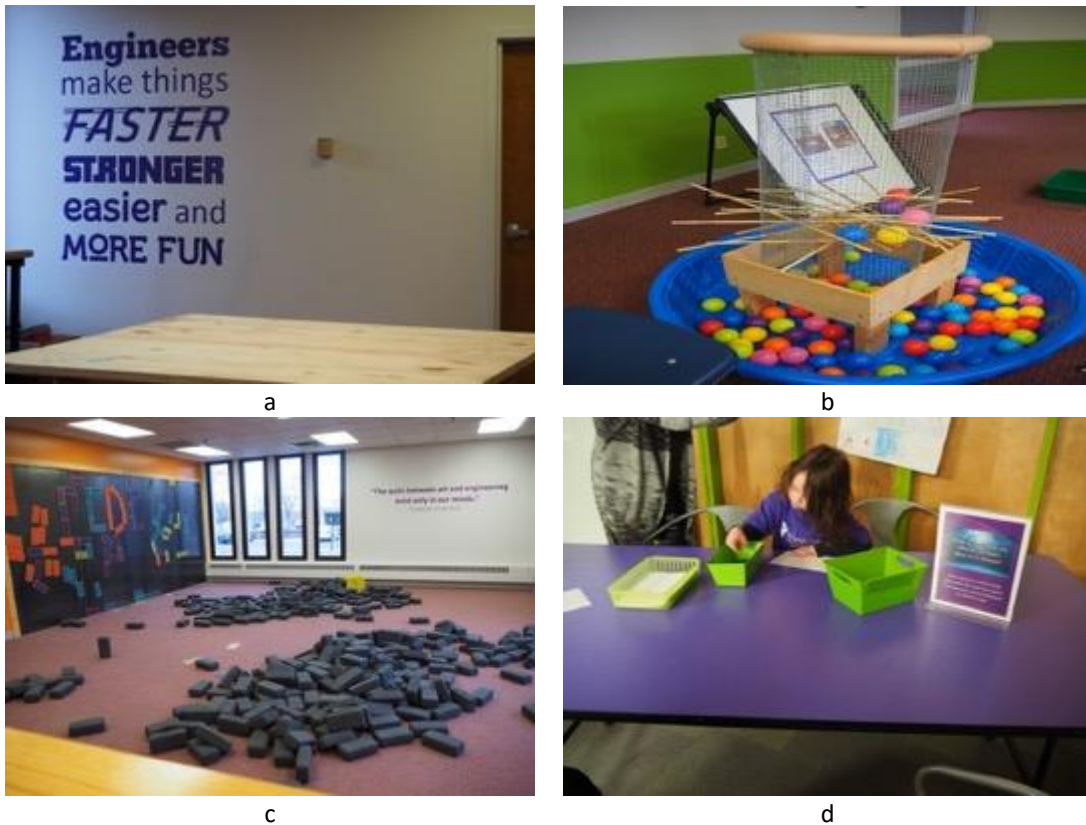


Figure 10. The Work Museum Decoration

6.6.2 Bell Museum

Address : 2088 Larpenteur Avenue West Saint Paul, MN 55113
Website : <https://www.bellmuseum.umn.edu>
Email : bellaccess@unm.edu
Date : January 10, 2019

As a natural history museum, this museum is quite unique. Newly renovated in 2018, this museum provides new fresh look impression to the visitors. Well prepared visitor guide is prepared for all the visitor. After the renovation, this museum located on The University of Minnesota's St. Paul campus and have

several famous wildlife dioramas and outdoor learning experiences. All the facilities at first and second floor could be seen at Figure 11 and 12. The new facilities are:

- a) Curiosity shop
This facility provides some souvenirs that related to science
- b) Whitney and Elizabeth MacMillan Planetarium
The planetarium makes the visitors have opportunities to experience the cosmos and learn which stars and planets. From our observation, the young visitors are enjoying this facility much. The science communicator also has great support to make the exhibition more interactive.
- c) Minnesota Journeys Exhibition
This exhibition explores the origins of the universe and the diversity of life on the earth which include world-renowned wildlife dioramas.
- d) Ruth and John Huss Observation Deck
From this deck, the visitors could enjoy panoramic views of St. Paul campus as well as the sustainable features including pollinator-friendly plants, rain gardens, pond and geology specimens.

The idea of “citizen science” is also observed in some collections. This museum tries to engage citizen to be more concern in science and environmental issues such as “Global warming” and “Biodiversity”. The museum also has special event such as Saturday with a Scientist, Minnesota Skies, Winter Circle, etc. These activities increase more visitors to come and involved with science activities.

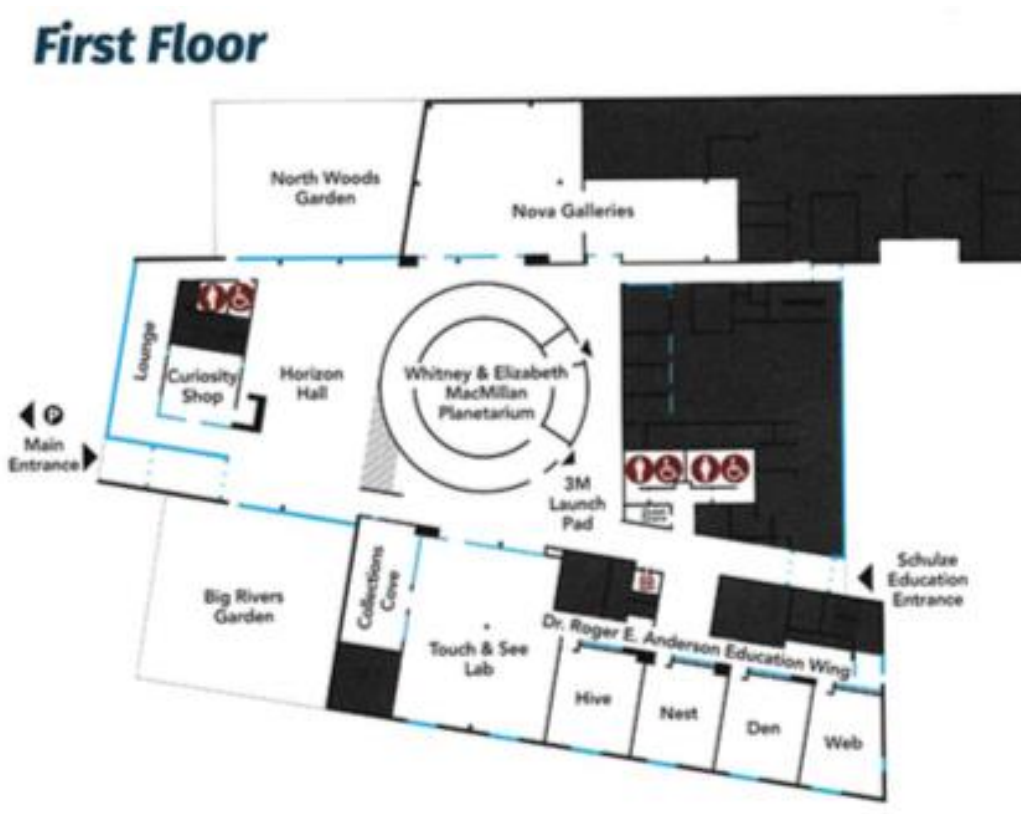


Figure 11. Bell Museum First Floor

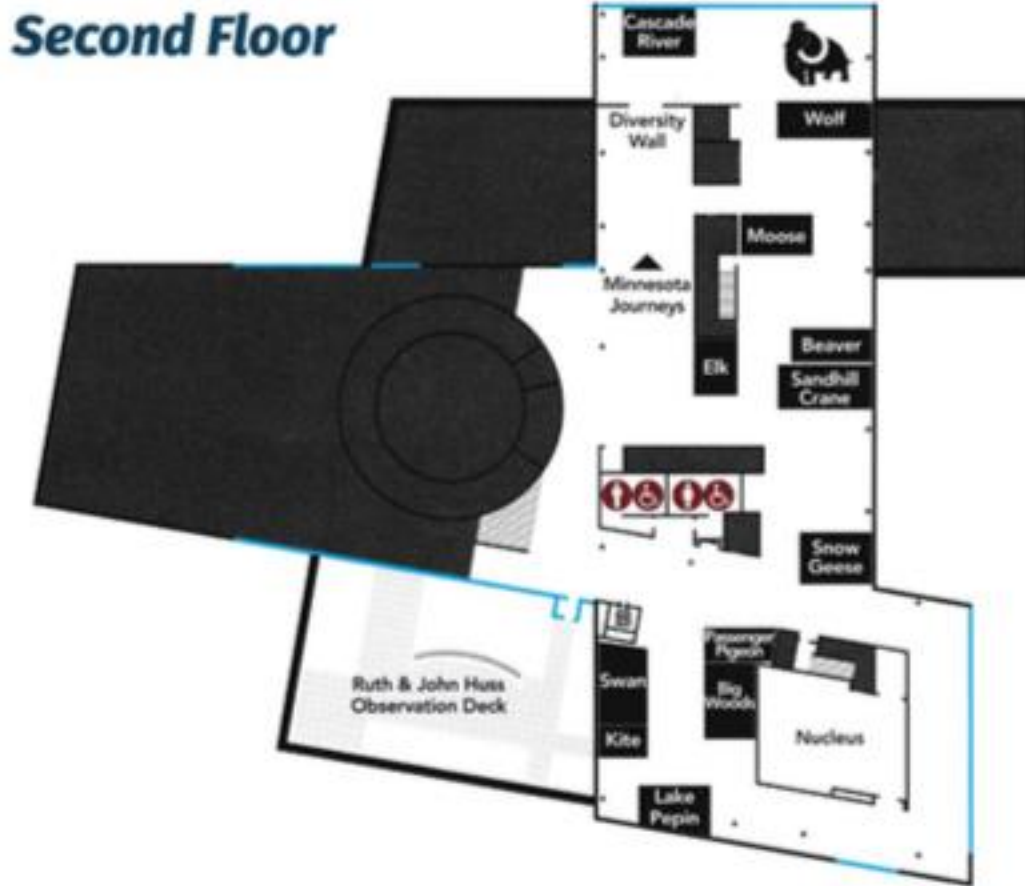


Figure 12. Bell Museum Second Floor

In Figure 13a, the visitor guide that share to every visitor could be seen. Another strength point of this natural science museum is some exhibition possible for visitor to have interaction such as in Figure 13b. Beautiful and informative diorama also made this museum makes natural science in almost real creatures such as shown in Figure 13c and d.



a



b



c



d

Figure 13. Bell Museum Collection

6.7 Conclusion

As conclusion, the trend of STEM school and the improvement were existing in the USA. Considering the diversity in the USA citizen, some social issues also discussed such as equity issue in school. Science education concerned in the improvement of teacher pedagogical content knowledge (PCK) with various professional development activity. Specifically, in Minnesota State, the new science curriculum standard has been designing with some part of the standard is adopted from NGSS. In real practices, STEM is observed at STEM school in elementary and middle school level and in the science museums.

2.7 香港における STEM 教育

①出張者名

静岡大学教育学部理科教育講座助教 山本高広

②出張先

香港

③日程

2019年3月5日(火)～2019年3月9日(土)

④目的

代表者である熊野善介の基盤研究(B)の補助金により「香港における NGSS と STEM 教育改革の影響」について、データを収集するため。つまり、米国等の STEM 教育改革の香港に対する影響について比較、分析し、考察をするためのデータを収集することが目的となる。

⑤旅程

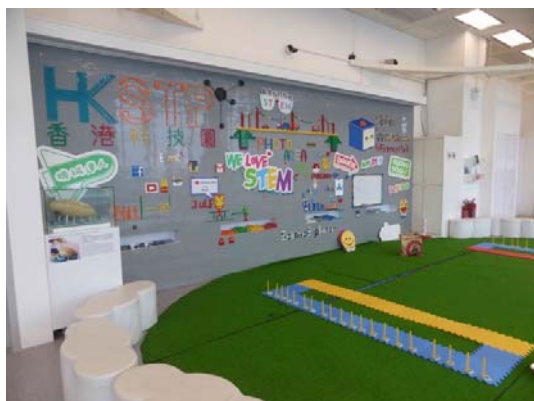
日付	時間	訪問先	内容
3月5日	18:00～		出国・香港へ到着。
3月6日	9:30～11:30	香港教育大学	教育大学における STEM 教育について。
3月6日	14:00～15:30	HKSTP (香港科技园)	STEM 教育とロボット工学等に関するワークショップの見学。
3月7日	9:30～12:00	STEM 教育センター (藝術與科技教育中心)	芸術大学に併設されている STEM 教育センターの見学。
3月7日	14:00～16:00	基督教宣道會宣基中學 (英語名: Christian & Missionary Alliance Sun Kei Secondary School)	中学校における STEM 教育の実践場面の見学。特に、大学と連携した場合の STEM 教育の実践。
3月8日	14:30～16:00	樂善堂余近卿中學 (英語名: Lok Sin Tong Yu Kan)	中学校における STEM 教育の実践場

		Hing Secondary School)	面の見学。特に、学校 独自で展開した場合 のSTEM教育の実践。
3月9日	10:00～		香港を出発・帰国。

⑥-1 3月6日 (14:00～15:30) HKSTP (香港科技园)

: STEM教育とロボット工学等に関するワークショップの見学。

HKSTP (香港科技园) は、香港市内にある日本の科学館のような施設で、この施設におけるSTEM教育とロボット工学を中心としたワークショップの見学を行った。見学した施設内には、レゴブロックを中心したSTEM教育のための展示品、そして教育環境が整っていた (図1, 図2)。



【図1 展示品】



【図2 教育環境】

見学したワークショップの内容は、レゴブロックで作られたゴールキッカーロボット (レゴ education シリーズ) を使って、ボールをより強くより遠くに飛ばすためには、どのようなデザインにすればよいかを考えるロボット工学とSTEM教育を絡めた内容であった。対象者は、7歳児の男女約25名であった。一人の教師役の人物が、モニターを使って、ロボットのアームの長さや飛距離の関係や、モーターの向きやレーダーの有無の組み合わせを自由に変更できるipadのプログラミング教材を使用しながら、適宜説明をしていた (図3)。対象者には、各班1つずつゴールキッカーロボット (レゴ education シリーズ) のセットと、教師と同様のipadのプログラミング教材が支給されていた。その

ipad のプログラミング教材は、ゴールキッカーロボットと連動しており、モーターの向きやレーダーの有無などをプログラミングすることで、その通りのロボットの動きを可能としていた（図 4）。教師と対象者は適宜、コミュニケーションをとりながら、上記の課題を解決するためのプログラミングを試行していた。プログラミングについて班ごとに考える時間を与えたあとは、実際にそのゴールキッカーロボットを使用して、班ごとにボールをゴールに入れるゲームをした。ボールの種類は、ピンポン玉、ゴルフボール、アイスクューブ（プラスチック製）、などを用意していた。班ごとのそのゲームを見学していたが、ボールを飛ばすことはできても、ゴールに入れることは苦戦している様子が窺えた。また、教師は、摩擦の少ないコンクリート製の床と、摩擦の大きい芝生について、紹介をしていた（図 5）。

この他にも、HKSTP（香港科技园）では、人生ゲームを模倣した STEM 教育を行う施設もあった（図 6）。また、上記のようなワークショップは HKSTP（香港科技园）内にいくつも用意されているようで、対象者となる幼児たちは 20 人前後の集団を形成し、各集団が同時進行のローテーションで、各ワークショップを巡る様子も窺えた。

HKSTP（香港科技园）には、このように様々な形の STEM 教育施設が充実しており、特に、幼児を対象としたワークショップに力を入れていることが窺えた。



【図 3 教師の説明】



【図 4 プログラミングの様子】



【図 5 摩擦力の違いについての紹介】



【図 6 人生ゲームを模倣した STEM 教育の様子】

⑥-2 3月7日(9:30~12:00) STEM 教育センター(藝術與科技教育中心)
: 芸術大学に併設されている STEM 教育センターの見学。

見学した STEM 教育センターは、香港市内にある藝術與科技教育中心という芸術を中心とした大学に併設されている施設であった。芸術大学と併設されていることもあり、この STEM 教育センターでは、多種多様な 3D プリンターを使いながら、デザイン力、工学的思考力を鍛えられるような教育環境が整っているように窺えた(図 7)。また、この STEM 教育センターの特徴として、理科だけでなく、数学や技術の教師も参加して、受講生に指導する体制があった(図 8)。2017年にこの STEM 教育センターが設立したこともあってか、最新の 3D プリンターとその技術、再生可能な資源を利用したリサイクル品の創出、などが充実していた(図 9, 図 10)。この STEM 教育センターは、4つの区間で構成されて

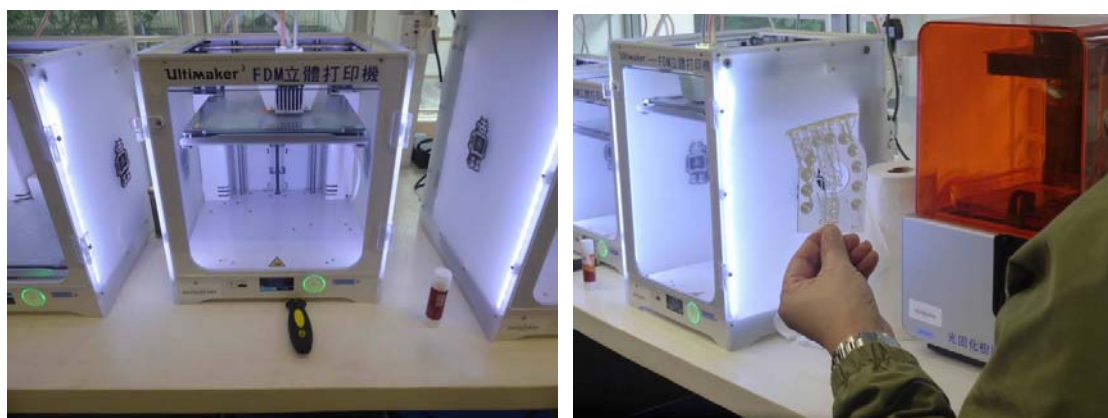
おり手前から、①ディスカッションエリア、②アイデアの創出、PCの設置とPCを活用した計測エリア、③3Dプリンターなどの機器エリア、④工作エリア、であった。当該STEM教育センターの案内人兼指導者も仰っていた通り、まさにこの施設は、STEM教育のための一種の学校として機能しているようであった。



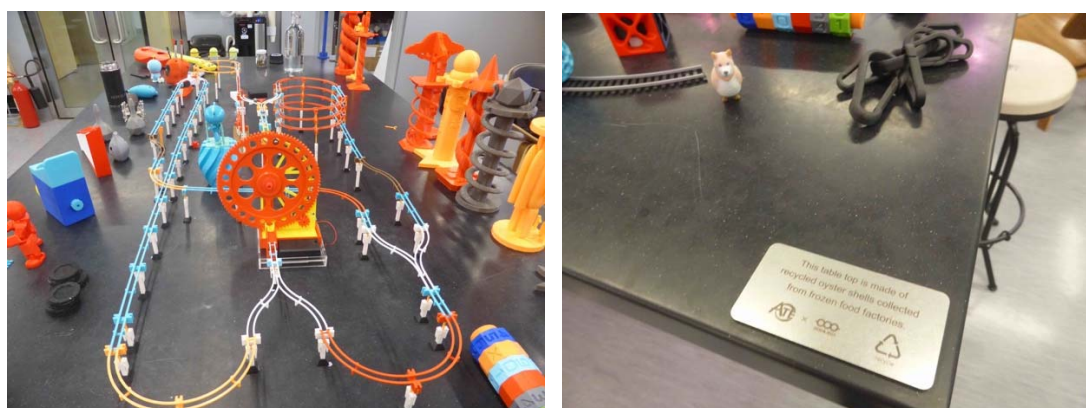
【図7 デザイン力, 工学的思考力を鍛えられるような教育環境】



【図8 理科, 数学, 技術の教師陣による指導体制】



【図 9 多種多様な 3D プリンター】



【図 10 リサイクル品の創出】

⑥-3 3月7日(14:00~16:00) 基督教宣道會宣基中學(英語名:Lok Sin Tong Yu Kan Hing Secondary School)

: 中学校における STEM 教育の実践場面の見学。特に、大学と連携した場合の STEM 教育の実践。

基督教宣道會宣基中學(英語名:Lok Sin Tong Yu Kan Hing Secondary School) は、STEM 教育を推進する中学校の 1 つであり、特に、大学と連携した STEM 教育を推進している中学校であった。簡単な学校紹介や集合写真撮影を終えた後、中学校内の様子を見学することができた。

この中学校は大学と連携して STEM 教育を推進していることもあり、英語に

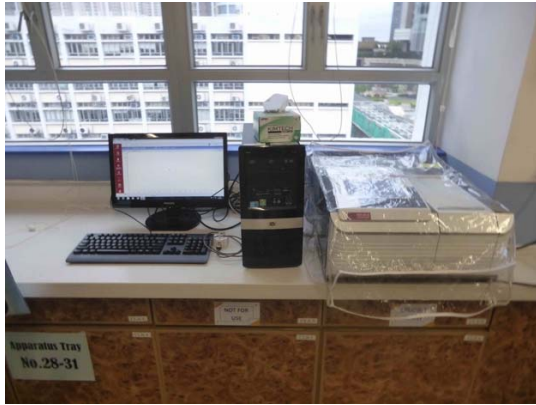
よる授業が基本となっており、実験室や教室内の掲示物なども英語で表現されていた（図 11）。見学ではまず、物理、化学、生物の実験室を案内された。化学の実験室では、大学レベルの機器が設置されていたり（図 12）、生物の実験室では、生態系の説明とともに水槽などによる生き物の飼育がみられた（図 13）。

プログラミングの授業も見学することができた。ここでは、先述の HKSTP（香港科技园）のワークショップでみられたレゴ education シリーズの類似品を用いながら、走行車のプログラミングを行っている様子が窺えた（図 14）。この教室には、工学的な作業を行う環境が整っており、3D プリンターなどの最新の機器の設置もみられた（図 15）。

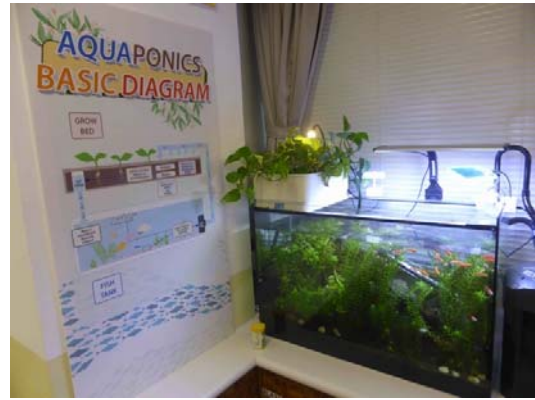
中学校内の見学を一通り終えた後は、当該中学校で推進する STEM 教育についてのプレゼンテーションがあった。STEM 教育を推進するにあたっての組織づくりや広報活動が非常に充実かつ整理されており、今後の展開も含め（図 16）、STEM 教育に対する計画性と熱量を強く感じた。大学と連携することで STEM 教育に対する予算的な部分や環境づくりが充実することのメリットも感じた。当該中学校で学ぶ生徒は、当然のように英語による授業、STEM 教育を受けているだろうが、日本のそれと比較するとかなり高いレベルで人材育成ができていないのではないかと香港教育のレベルの高さに驚いた。



【図 11 学校内での英語による表記】



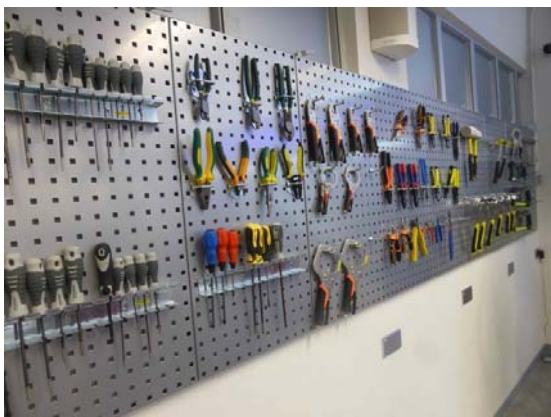
【図 12 化学の実験室】



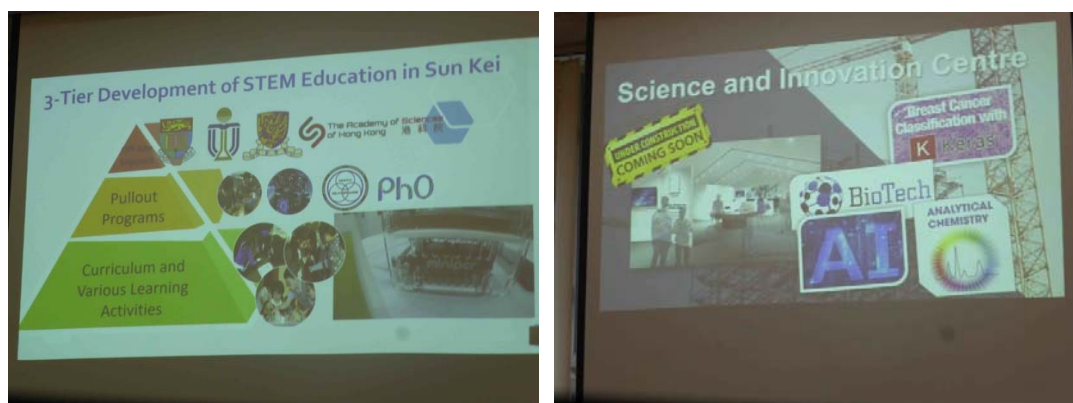
【図 13 生物の実験室】



【図 14 プログラミングの授業の様子】



【図 15 工学的な教育環境の充実】



【図 16 STEM 教育のための組織づくり, 広報活動, 今後の展望】

⑥-4 3月7日(14:30~16:00) 樂善堂余近卿中學(英語名: Lok Sin Tong Yu Kan Hing Secondary School)

: 中学校における STEM 教育の実践場面の見学。特に, 学校独自で展開した場合の STEM 教育の実践。

樂善堂余近卿中學(英語名: Lok Sin Tong Yu Kan Hing Secondary School)は, STEM 教育を推進する中学校の1つであり, 特に, 学校独自で STEM 教育を展開し, 実践している中学校であった。先述の基督教宣道會宣基中學は大学と連携して STEM 教育を推進していたこともあり英語での授業など, よりグローバルな視点が窺えたが, 樂善堂余近卿中學は学校独自で STEM 教育推進のために工夫を凝らしていることから, 日本の学校教育における STEM 教育の導入・推進により参考になると考えられた。

中学校内の見学の前に, 当該中学校における STEM 教育についての簡単なプレゼンテーションがあった。そのプレゼンテーションの中では, 6E Learning についての米国の文献 (Barry, 2014) を引用していること (図 17), 4C の 21 世紀型スキルについて言及していること (図 18), 男性の STEM・女性の STEM と男女の STEM の違いについて言及していること, などが特徴的であった (図 19)。また, 野外での STEM 活動, AI 教育などに力を入れており, STEM 教育のためのスポンサーも数多くついていることがわかった (図 20)。

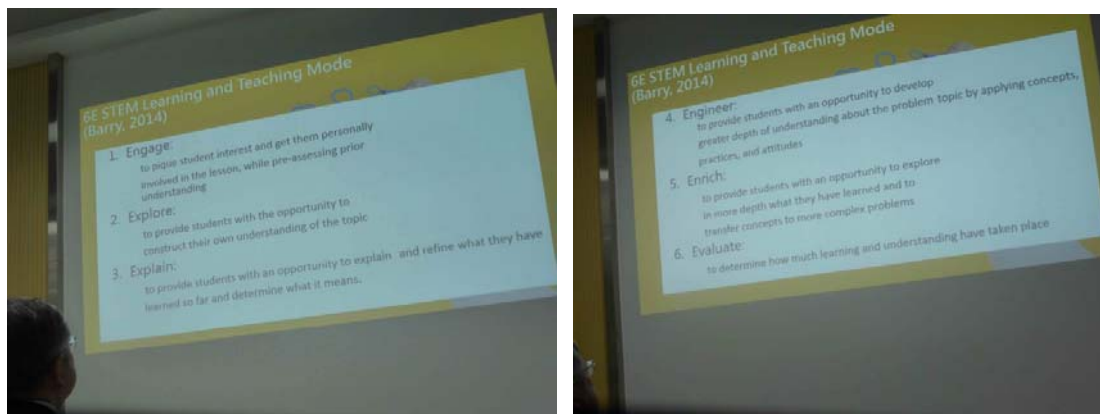
中学校内の見学でまず驚かされたのが, AI などの最先端の情報科学を取り入

れた数々の STEM 教材が展示されていたことである。例えば、ペットボトルの分別、バスの到着時間がわかるバス停、乳幼児の安全を守るための顔認証システム、などがあった (図 21)。また、生態系の保全を意識した大規模なアクアリウム施設も目立っていた (図 22)。さらに、当該中学校内には、宿泊施設が設けられており、そこでは STEM を生活の中で感じることができる様々な工夫が凝らされていた。その宿泊施設における展示品には、スリッパやヘルメット、コップなどの身近な生活用品にプログラミング機器を取りつけた STEM 教材が数多くあり、これらはすべて当該中学校の生徒のアイディアによって創出されたものだという (図 23)。

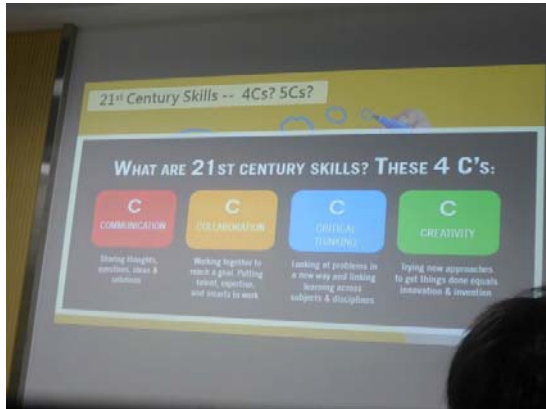
訪問の最後には、当該中学校における STEM 教育のための教科書を拝見した。OXFORD から出版されている STEM 教科書シリーズを用いており、その教科書は、中国語と英語に対応していた (図 24)。初心者から上級者まで使用できるその教科書シリーズは、わかりやすく図表などが示されながら多くの STEM 教材が掲載されていたので、日本の中学校における STEM 教育の導入・推進のためにも参考になると考えられた。

【引用・参考文献】

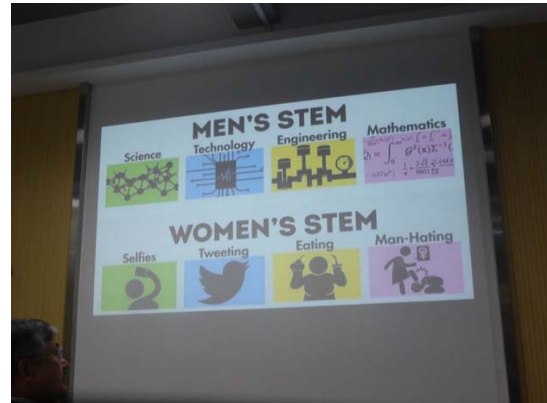
Barry N., B. (2014). 6E Learning by Design™ Model. *The Technology and Engineering Teacher*, 14-19.



【図 17 米国の STEM 教育に関する文献の引用】



【図 18 4C の 21 世紀型スキル】

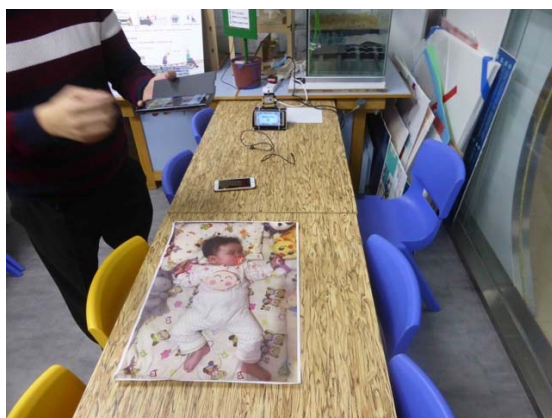


【図 19 男女の違いと STEM】

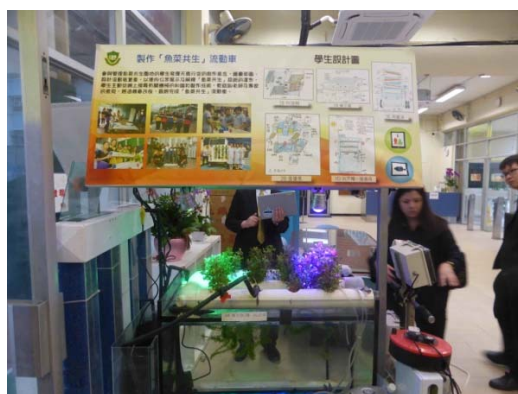


【図 20 STEM 教育のためのスポンサー】





【図 21 AI を取り入れた STEM 教材】



【図 22 大規模なアクアリウム施設】



【図 23 宿泊施設と生徒が創出した STEM 教材】



【図 24 樂善堂余近卿中學で使用されている STEM 教科書】

⑦考察と総評

この度の香港への出張は、米国を中心とした STEM 教育改革の影響を調査することにおいて、非常に実りあるものとなった。結論から述べると、香港は米国を中心とした STEM 教育改革の影響を多分に受けていると言える。それは、例えば、今回の香港出張で拝見した、ワークショップや学校における Reg education シリーズの使用、中学校においての米国の文献を参考にした STEM 教育の推進や米国由来の STEM 教科書の使用、などが裏付けている。また、今回の香港出張全体を通して、香港の STEM 教育のレベルが非常に高いレベルにあることが窺えた。STEM 教育のための最新の機器（3D プリンターや ipad 教材など）、STEM 教育のための環境設備等が整っており、我が国において STEM 教育をこれまで以上に充実させるためのヒントが数多く隠されていたと感じる。また、これまで以上に STEM 教育を推進するためには、それなりの投資をする必要があり、子どもたちが無理なく STEM の世界の溶け込めるような環境づくりが非常に重要であると今回の香港出張にて考えさせられた。同じアジアの国として、香港の STEM 教育は、我が国の学校教育における STEM 教育の導入・推進に大いに参考になることがわかった。

第 3 章

研究分担者の STEM 教育研究

3.1 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

— 技術・工学の立場での次世代型 STEM 教育の構築に関する実践的研究 —

高木浩一*1, 伊藤陽菜*2

*1岩手大学理工学部, *2岩手県立花北青雲高等学校

【要約】 STEM 教育では, 科学・技術などを教材とした数学・理科などの複合的な学習が有効となる. しかし, これらを総合的に学ぶカリキュラムを有するのは, 理数科や SSH (スーパーサイエンスハイスクール) など, 一部の学校に限られる. そこで本研究では, すべての高校で行われる数学の授業に科学・技術・実験・データ整理などの要素を組み込んで考え, エネルギー・環境に関する現象と数学を結び付けつることを意識した授業を設計した. その結果, 生徒は授業でエネルギーや環境に関する内容に興味を持ち前向きな姿勢で取り組むことができ, 数学の内容についても定着度が向上することなどが明らかになった.

【キーワード】 エネルギー環境教育, 高校, 数学, 積分, 三角関数, 授業設計

1. 問題の所在

STEM 学習では, 科学・技術などを教材とした数学・理科などの複合的な学習が有効となる. 現在, 持続可能な社会の構築の必要性から, エネルギー環境分野での人材育成, すなわち教育の重要性が認識されている¹⁾. エネルギー・環境および持続社会構築は, STEM 学習に適したテーマとなる^{2)・4)}. エネルギー・環境学習など, 科学や技術を含む総合的な学習として活用されてきたのは, 「総合的な学習の時間」が主であった^{5)・6)}. 最近では教科学習の時間を活用してのエネルギー環境学習などが展開されつつある⁷⁾. 高等学校の教科で活用する例としては理科, 地歴公民科, 家庭科などが挙げられる. これらの教科では, 学習する単元に関連の深いエネルギー環境教育の内容が扱われ展開されている^{8)・10)}. また, スーパーサイエンスハイスクール (SSH) 指定校となっている高等学校もあり, 年間を通じたカリキュラムの編成や課題研究に取り組むなど, より専門性の高い教育がなされている学校もある^{11)・13)}.

近年, 岩手県では, 学校の特色や生徒の実態により, 進路に密接な教育を行い, 知識だけでなく授業への取り組む姿勢も加えて評価を行う観点別評価の導入が進められている. 岩手県立盛岡南高等学校 (以下, 盛岡南高校) でも, 総合的な学習の時間には東日本大震災からの復興教育や防災教育, さらに進学や就職に向けた活動にも力を入れている. このため, エネルギー環境を STEM 学習として, 新たに時間を設けて導入するのは難しい. この解決法の1つとして, 他の科目の関連する事象として組み込むことが挙げられる. 特に, 数学は具体的な現象と関連させることで, 学習する動機の向上や, 理解が深まることが期待できる科目であり¹⁴⁾, エネルギー環境などをテーマにした STEM としての導入に適している. 数学でエネルギー環境教育を実施している例として, SSH 指定校では学校に設置してある太陽光パネルを題材に, 数学が用いられる状況を設定する授業や, 関数グラフソフトを用いて

軌跡と領域の作図を行う，区分求積法を用いた回転体の体積の求め方を学習する授業で，問題に対する考察力や解析力の育成をはかっている．このように自然科学における数学の汎用性を学習する授業を行っている学校もある^{11),15)}．しかし，導入部分にエネルギー問題や環境問題についての内容を取り入れ，数学で扱う計算方法や考え方との連結を，通常の数学の単元の中で取り扱った例は見当たらない．そこで，今回はエネルギー・環境学習のうち，エネルギーの内容に着目し，数学の授業の導入部分で考える機会を設け，生徒により身近な例を示すことで数学に対する興味を引き出せることを目的に，授業内容の構築及び教材開発を行った．加えて，授業を実施し，アンケートや小テストを通じて評価を行った．

2. 研究の方法

図1に，授業構成について示す^{16),17)}．通常の授業では進度を急ぎ，教科書の解法が中心になりがちとなる．そこで導入部分にあえて直接数学の内容から遠いエネルギーや環境のテーマを扱っている．その際理科，家庭科，社会科で学習した内容との関連を意識して構成する．他教科で学習した内容を教材として用いた問題提起として，普段と異なる展開を行うことで生徒の注目や興味を引き付けるよう配慮する．また高等学校学習指導要領より，生徒の思考力，判断力，表現力等をはぐくむ言語活動にも配慮

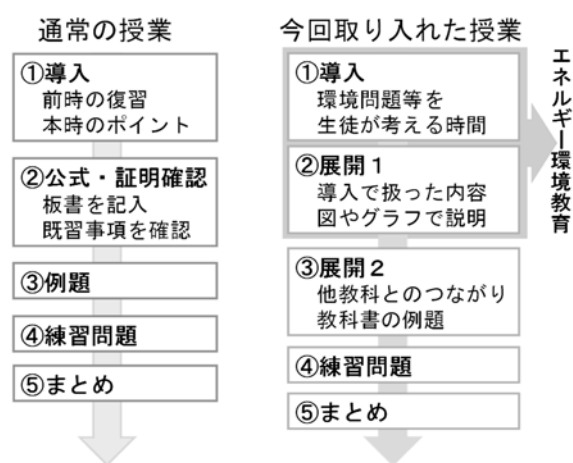


図1 授業の流れの比較

し，授業中に周囲の生徒と話し合っ意見をもとめるなどの作業時間を設け，積極的に学習に参加できるよう工夫する．

エネルギー環境学習を題材にした数学の授業は，「知識を利用して課題を解決する」といった応用力も培うものとなる．このため，数学の積み上げが多少できている，高校2・3年の生徒を対象として，「数学Ⅱ」，「数学Ⅲ」のなかで実施した．実施は，平成26年1月に岩手県立盛岡南高等学校普通科理系2クラスである．理系クラスではあるが数学が苦手と感じていたり，医療看護系志望者が多かったりするため，「自分は数学Ⅲの内容は入試に使わないから」という理由で数学という教科自体にマイナスイメージを持っている生徒が若干名いるクラスである．使用している教科書は，数研出版「新編数学Ⅱ」，「新編数学Ⅲ」¹⁸⁾である．実践を行った単元は，「定積分の図形的な意味」，「無理関数」，「三角関数のグラフ」，「関数の極限」，「いろいろな関数の導関数」，「楕円」，「導関数の応用」になる．

3. 「定積分の図形的な意味」における学習例¹⁶⁾

本時は無理関数の節の最後に，まとめの時間として一例として，表1に，「定積分の図形的な意味」の指導案を示す．授業の流れはまず，前時までに学習している定積分の計算の仕方を復習する．はじめに，人間が1日に必要なエネルギー量を予想させる．生徒は1年生で家庭科を履修しているため，既習事項の復習と確認にあたる．17歳男子・女子それぞれ

表1 「定積分の図形的な意味」の指導案

	学習活動	指導の留意点・評価
5分 導入	定積分の計算の仕方を確認する。	☆(知識・理解) 正確に計算できるか。
25分 展開①	高校生が1日に必要なエネルギー、人間が1日に使用しているエネルギーについて確認する。	本校生徒は運動量が多いので必要なエネルギーは平均値+200 kcal程度。必要量に対する使用エネルギーの大きさにも着目させる。
	盛岡南高校、東北で使用しているエネルギーについてグラフで確認する。 単位[Wh]と[W]の確認をする。	既習事項の復習を行う。 ☆(関心・意欲) 板書・指示にしたがってプリントを記入できるか。
	12月13日の東北電力の電力量について確認する。 定積分と面積積分の関係について学習する。	生徒に電力と時間の積を計算させ、24時間分の総和をとる。積分の式の意味とグラフとの関係について発問しながら説明する。 ☆(数学的な技能) グラフの形、積分範囲等を、図を書いて考察する
10分 展開②	例題と問題演習	図を描き面積積分の求め方を説明する。 ☆(関心・意欲) 積極的に取り組んでいるか机間巡視する。
10分 まとめ	感想やまとめを書く。	節電するには普通の生活においてどのような行動をとれば良いのか。 定積分と面積積分の関係が理解できたか。

のエネルギー量を単位[kcal]で示し、これに[J]への変換としての仕事当量4.18をかけ、さらに $24 \times 3600[s]$ で割り、1日の平均電力[W]を求めさせる。さらに、これは日本人が実際に使用しているエネルギーのおよそ10分の1であることを示し、食事に必要なエネルギーと比較して生活で使用しているエネルギーが多いことを確認させる。次に理科の復習で、電力量[Wh]についても確認する。生徒は2年生で物理基礎を履修しているため、式の意味についても定着度の確認となる。次に盛岡南高校で毎月使用している電力量の年間の推移のグラフを示す。このグラフから、季節や学校行事による電力量の変化について確認する。また、電化製品の電力量について例を示し、電力量の大きさについて確認する。

図2に、授業で使用した補助プリントの一部を示す。1日に東北で使用している電力量の推移のグラフで

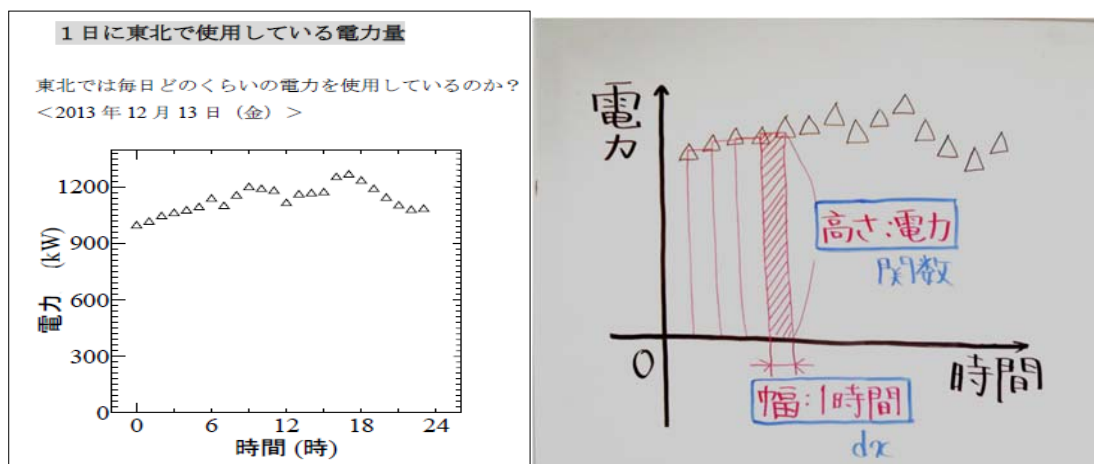


図2 定積分の補助プリントと板書による定積分の説明；(左) 1日に東北で使用している電力量のグラフ、(右) グラフを使用した定積分の説明

ある(東北電力 HP)。電力量すなわち定積分によって求められる部分の面積から、縦に細長い長方形を切り取り、幅を1時間、高さを該当時間の電力として、面積を求めさせる。そして24時間分の総和を取らせる。ここで1日分の電力[kW]と時間[h]の積、つまり面積を

求めることによって電力量[kWh]が求められることを確認する。さらに、図形と積分の式の意味を照らし合わせて説明する。最後に教科書の練習問題を解き、感想を記入して授業の終結とする。このほかの単元についても、単元で取り扱う内容と関わりのあるエネルギー環境の内容を教材化して、学習する数学が現象を理解する上で、たいへん重要なツールとなっていることを実感させて、数学の学習意欲向上につながるように授業を構成する。

4. 「無理関数」における学習例¹⁷⁾

本授業実践では、数学の授業ではあるが、体験型の学習を組み入れることが可能な単元については、実験を通してグラフ作成など行っている。一例として、表2に、「無理関数」の授業の学習展開を示す。日本のエネルギー構成と再生可能エネルギーについて扱い、発電のしくみについて学習する。今回は物理基礎で学習した、運動量保存則を軸として進めるため、物理の先生が実際に使用している文字（速さ v 、エネルギー U の頭文字等）を統一させる。先に述べた定積分の授業で行った、エネルギーについても触れ、水力発電のしくみについて実験を通してイメージさせる。実験では、傾斜を付けたレールに鉄球を転がし、レールを転がり落ちた時の速度を計測する。転がり始め h に比例して大きくなる ($U=mgh$; m :重さ, g :重力加速度)。摩擦損失などを考慮しなければ、鉄球がレールを転がり落ちた時の速さは、レールの高さ h の無理関数となる。実験の模式図を図3に、生徒が測定したデータ及びそれを用いて描いたグラフを図4に示す。

表2 「無理関数」の指導案

時間	学習内容	生徒の学習活動	指導上の留意点	評価規準【観点】 (評価方法)
5分	【導入】 本時の流れの確認 前時までの復習	無理関数と分数関数のグラフのかき方を発問しながら確認する。	説明する時間、考えさせる時間、まとめる時間を明確にする。	既習事項の知識 ☆知識・理解 問題を考えられたか。
10分	【展開1】 日本のエネルギー事情の確認	日本のエネルギーは何で賄っているか。 震災前後の電力源を棒グラフで確認する。(項目は選択式) 自然エネルギーとは何か。 岩手で使用されている自然エネルギーは何か。	震災前後の電力源の変化を確認させる。 生徒数人に質問して、どのような自然エネルギーがあるか挙げさせる。	☆関心・意欲 大きく変化している項目について予想を立てることができる。 ☆関心・意欲 近くの友達と相談して、お互いの意見・知識を共有することができる。
5分	【展開2】 水力発電のしくみ 水が持つエネルギー	自然エネルギーの中でも水力発電について詳しく扱う。 ・水の持つエネルギー ・位置・運動・圧力によるエネルギー	図を用いて水の動きをイメージさせる。	☆知識・理解 既習範囲を確認させる。
20分	【展開3】 実験してみよう	今回は位置エネルギーと運動エネルギーに着目させる。 理論値ではレール下側の速さは $v = \sqrt{2gh}$ になる。 ビー玉を実際に走らせて速さの計測をする。高さ h の値を数点示し、測定値のグラフをかく。	運動量保存則で $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ の式から速さ(噴出速度)の式を導かせる。測定した速さをプリントの表に記入させ、速さの平均値を計算させる。時間があれば誤差の考察をする。	☆数学的な見方考え方正しく式変形できるか。 ☆関心・意欲 無理関数のグラフを示すことができるか。
10分	【まとめ】	自然エネルギーのメリットはなにか。 無理関数はどんなところで使われているか。 プリントに感想を書く。	最近学習した数学の内容が自然の中でも使われていることを確認させる。	

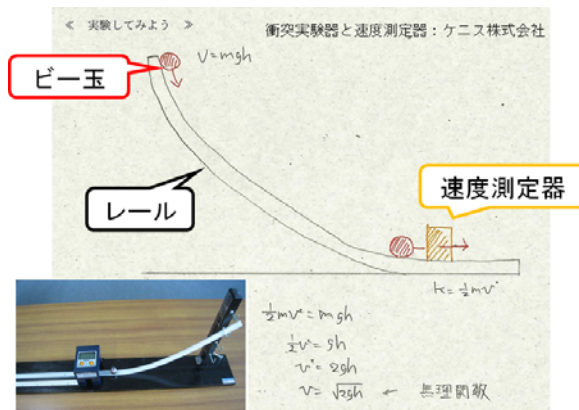


図3 「無理関数」の授業の補助プリントと実験装置

高さ (m)	速さ (m/s) 1回目	速さ (m/s) 2回目	速さ (m/s) 3回目	平均の速さ (m/s)
0.05	0.82	0.92	0.81	0.87
0.10	1.02	1.02	1.00	1.01
0.15	1.18	1.21	1.23	1.21
0.20	1.43	1.44	1.45	1.44

$\frac{0.85}{1.02}$	$\frac{0.82}{0.92}$	$\frac{1.18}{1.21}$	$\frac{1.23}{1.2}$	$\frac{2.87}{4.32}$
$\frac{1.02}{1.02}$	$\frac{1.02}{1.02}$	$\frac{1.00}{1.00}$	$\frac{1.00}{1.00}$	$\frac{1.01}{1.01}$
$\frac{1.18}{1.18}$	$\frac{1.21}{1.21}$	$\frac{1.23}{1.23}$	$\frac{1.23}{1.23}$	$\frac{1.21}{1.21}$
$\frac{1.43}{1.43}$	$\frac{1.44}{1.44}$	$\frac{1.45}{1.45}$	$\frac{1.45}{1.45}$	$\frac{1.44}{1.44}$

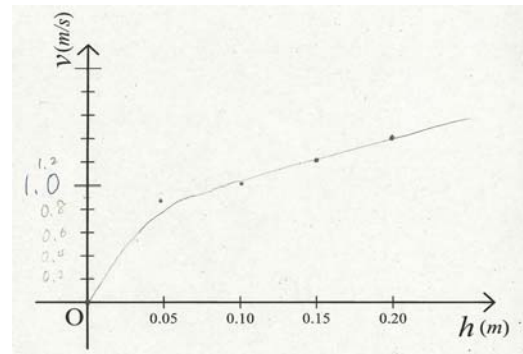


図4 「無理関数」の授業で生徒が作成した表およびグラフ

5. 結果と考察

本授業実践では、授業の終結時に生徒が記入した感想を抜粋したものを次に示す。

- 身近なところから数学に結びつけて考えられて興味を持って勉強できた!
- 日頃からかなりの電気を使っていると思うので節電などをがんばりたいです。
- 1日の電力量から面積積分へつながったときは感動しました。もっと日常の中で面積積分は活用できるのではないかなと思いました。
- どの教科も互いに関わり合っているようでおもしろいと思った。

このように、通常と違う授業展開に興味を持つ生徒や、他教科との関連に気付いた生徒がいた。通常の授業では、内容が発展的な問題になると集中が途切れる生徒や、単元の開始直後からできないと決めつけてしまう生徒もいる中、より具体的な例を示すことで数学に対する抵抗感を緩和されたことが示唆される。また、エネルギーについて考える機会となったことも窺える。

表3 「楕円」の小テストの結果

- (1)「地産地消」のメリットを2つ挙げよ
- (2)「フードマイレージ」の意味を答えよ
- (3)楕円 $\frac{x^2}{5^2} + \frac{y^2}{4^2} = 1$ の概形を図示せよ
- (4)(3)の楕円の焦点と長軸・短軸をそれぞれ求めよ

問/配点	満点	部分点	不正解未記入	平均点	正解率
(1) 2点	61人	10人	5人	1.74点	80.3%
(2) 1点	15人	17人	44人	0.31点	19.7%
(3) 2点	70人	2人	11人	1.71点	84.3%
(4) 2点	58人	15人	10人	1.58点	69.9%

表4 「放物線」の小テストの結果

- (1)放物線 $y^2 = \frac{1}{2}x$ の焦点と準線をそれぞれ求めよ
- (2)(1)の放物線の概形を図示せよ

問/配点	満点	部分点	不正解未記入	平均点	正解率
(1) 2点	45人	11人	26人	1.23点	59.8%
(2) 2点	29人	8人	45人	0.80点	31.5%

表3に、楕円の小テストの結果を示す。楕円の授業を行った翌週に「地産地消」と「フードマイレージ」の意味を問う小テストと、「楕円の概形、軸と焦点」を問う小テストを行い、学習の定着におけるエネルギー環境教材の導入の効果を調査した。(3)では楕円の概形を図示させた。満点の生徒は83人中70人で、正解率は84.3%となった。(4)では楕円の焦点と長軸・短軸を求めさせた。満点の人数は83人中58人となり、正解率69.9%となった。

表4に、放物線の小テストの結果を示す。放物線の節では授業の導入にエネルギー環境教育は用いず、通常の教科書に沿った授業を行っている。放物線と楕円の概形を図示させる問題では、楕円の正解率84.3%であり、放物線の正解率31.5%に比べて、多くの生徒が概形を図示することができている。また、焦点と準線あるいは長軸・短軸を求める問題は、計算方法や公式は異なるが、どちらも与えられた式を変形して求める問題である。楕円の焦点と長軸・短軸は正解率69.9%であり、放物線の焦点と準線の正解率59.8%であった。こちらも楕円の小テスト結果の方が、正解率は高い。このように通常の授業と比較すると、エネルギー環境などその科目の有用性が理解できる内容、また体験的な学びを用いた授業とすることで、学習の定着度は高くなることが示唆される。

6. まとめ

エネルギー環境教育の内容を教科数学の導入部分に取り入れ、数学で扱う計算方法や考え方との連結を行う授業を実践した。授業の終結時に記入させた感想、授業時間の様子、事後に行ったアンケートより、今回の授業は生徒の学習に対する興味や意欲の改善に効果があることが窺えた。生徒同士が活動する時間や、グラフを活用する場面を設け、生徒の注目を引き付けられるよう授業を構成することが、今後の授業改善につながる事が分かった。

【引用文献】

- 1) 環境省：「環境保全の意欲の増進及び環境教育の推進に関する基本的な方針」、環境省、pp.13-18 (2004)
- 2) 一般社団法人 新・エネルギー環境教育情報センター：「エネルギー環境教育ガイドライン2013」、一般社団法人 新・エネルギー環境教育情報センター (2013)
- 3) 解説教育六法編集委員会：「解説教育六法」、三省堂、pp.47-49 (2014)
- 4) 解説教育六法編集委員会：「解説教育六法」、三省堂、p.183 (2014)
- 5) 熊野善介：「小学校・中学校理科および総合的な学習におけるエネルギー環境教育に関する提言」、日本科学教育学会研究会報告、Vol.23, No.5, pp.43-46 (2009)
- 6) 高木浩一・甚野伸雄・梶原昌五・山口明・菊池雅彦・鈴木桃子：「地域連携を活用した小学校高学年用エネルギー環境学習プログラムと教材の開発」、電学論 A, Vol.127, No.4, pp.205-211 (2007)
- 7) 文部科学省：「高等学校学習指導要領解説理科編理数編」、実教出版、p.14 (2009)
- 8) 重松宏武・内田由美子・吉岡真志・佐々木英樹・野村啓介・谷口将人・森山充・野々村佳代・高田慧・西山桂：「エネルギー生成・変換・備蓄をテーマとした教材開発及び実践—充電電池とコンデンサーの活用：電力ためる君とコンデンカー—」、島根大学教育学部紀要（教育科学）、Vol.44, pp.29-34 (2010)
- 9) 橋場隆・大磯眞一・佐島群巳・高山博之・山下宏文・鈴木真・石原淳・野口芳江・井元

- りえ・妹尾理子・中村俊哉・前田浩平：「教科学習におけるエネルギー環境教育用教材の開発」, INSS JOURNAL, Vol.17, pp.44-59, (2010)
- 10) 川崎勉・名久井あけ美・三浦雅美・塚崎亮：「技術を適切に評価・活用する力を育てる～中学校における教科を横断したエネルギー環境教育の取り組み～」, 日本エネルギー教育学会第7回全国大会論文集, pp.46-47 (2012)
 - 11) 重松敬一・横弥直浩：「スーパーサイエンスハイスクール (SSH) における数学科の取り組みの成果と課題」, 奈良教育大学紀要, 第59巻, 第1号 (人文・社会) (2010)
 - 12) 青森県立三本木高等学校・附属中学校：「平成22年度指定スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書 第3年次」, 青森県立三本木高等学校, pp.10-17 (2013)
 - 13) 加藤正・高橋大介・澤館和志・菊池敏・高橋正美：「地域と連携したエネルギー環境教育の実践」, エネルギー環境教育研究, Vol.6, No.2, pp.35-40 (2012)
 - 14) 竹内薫：「体感する数学」, エンターブレイン(2013)
 - 15) 岩手県立盛岡第三高等学校：「平成23年度指定スーパーサイエンスハイスクール研究開発実施報告書 第1年次」, 岩手県立盛岡第三高等学校, pp.40-44 (2012)
 - 16) 伊藤陽菜・高木浩一：「地域の暮らしを教材としたエネルギー環境教育の高等学校数学での展開」, 電学論 A, 135, 630-635 (2015)
 - 17) 伊藤陽菜・高木浩一：「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」, エネルギー環境教育研究, 9, 51-57 (2015)
 - 18) 大矢雅則・阿原一志・市原一裕・井原俊輔・岡部恒治・落合豊行・大藪弥・工藤昭子・佐々木智章・戸瀬信之・中村八束・本橋信義・森田純・八木克巳・吉田正章・早苗雅史・瀧陽一郎：「新編数学Ⅱ」, 数研出版 (2012)
 - 19) 秋山仁・大西和榮・桑田孝泰・小野真太郎・梶川尚朗・瀬戸睦宏・酒井利訓・中村玄・新妻弘・森岡誠・吉田俊介：「新高校の数学Ⅱ」, 数研出版 (2012)
 - 20) 畑村洋太郎：「直観でわかる数学」, 岩波書店, pp.183-197 (2004)
 - 21) 大矢雅則・阿原一志・市原一裕・井原俊輔・岡部恒治・落合豊行・大藪弥・工藤昭子・佐々木智章・戸瀬信之・中村八束・本橋信義・森田純・八木克巳・吉田正章・早苗雅史・瀧陽一郎：「新編数学Ⅲ」, 数研出版 (2012)

【成果；書籍】

- 日本エネルギー環境教育学会編「はじめてのエネルギー環境教育」(高木浩一, 6章2節「小中学校および高校でのエネルギー環境教育の実践とその効果」, pp.91-122 ; 32pagesを執筆), エネルギーフォーラム, 2016.7.27

【成果；発表・講演】

- 高木浩一, 農水食分野での電気エネルギーの高度利用, 日本エネルギー環境教育学会第11回全国大会, 1S-02 (基調講演), pp.5-8, 札幌市立山の手小学校, 札幌, 2016.8.9
- 高木浩一, 宇宙教育と連携したポスト3.11型持続発展教育の構築と実践, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 2016年天文教育普及研究会年会, 21-11 (招待講演), 東北大学, 仙台, 2016.8.21
- 高木浩一, いつでもどこでもサイエンス; 広域・多機関連携を基調としたポスト3.11型

科学教育プログラム開発と実践，第 64 回応用物理学会春季学術講演会，15p-423-4（招待講演），パシフィコ横浜，横浜，2017.3.15

- 高木浩一，高電圧プラズマの農水食分野での利用とその国際共働，日本原子力学会北海道支部平成 29 年度第 2 回特別学術講演会（招待講演），北海道大学，札幌，2018.2.19
- 高木浩一，いつでもどこでもサイエンス；広域・多機関連携を基調としたポスト 3.11 型科学教育プログラム開発とその実践，高教研数学部会沿岸地区研究集会（中高連携数学学力向上推進事業；地区研修支援ネットワーク）（基調講演），陸中海岸グランドホテル，釜石市，2018.7.26
- 高木浩一，高専・高校における工学・科学教育での国際連携，日本エネルギー環境教育学会第 13 回全国大会，国際交流委員会企画セッション，2I-04，山形大学，山形市，2018.8.10
- 高木浩一，あなたの高専にも「アグリエンジニアリング教育」を導入しませんか，平成 30 年度全国高専フォーラム，OS17（パネラー登壇），名古屋大学，名古屋，2018.8.22
- 高木浩一，農水食分野での高電圧・プラズマの高度利用，日本物理教育学会東北支部第 33 回研究大会（基調講演），奥州宇宙遊学館，奥州市，2018.11.17
- 高木浩一，Society 5.0 を意識したエネルギー・環境学習の多相・多域展開，日本物理教育学会東北支部 第 33 回研究大会（基調講演），第 66 回応用物理学会春季学術講演会（応用物理学一般分科企画シンポジウム「環境・エネルギーを意識した物理教育を考える」），（招待講演），10a-W935-1，東京工業大学，東京，2019.3.10.

【成果；資料】

- 高橋徹，菊川裕規，軽部周，衛藤賢一，高木浩一，濱田英介，中川裕子，古川明德，アグリエンジニアリング教育の展開－工業技術者のための農学概論－，大分工業高等専門学校紀要，第 54 号，pp.16-20，2017.11.（査読なし）

【成果；受賞】

- 高木浩一，自然の中に潜む科学に気づき学ぶエネルギー教育の普及啓蒙，科学技術賞（理解増進部門），文部科学省，2016.4.20
- 伊藤陽菜，高木浩一，エネルギー環境教育と電気回路を教材とした高等学校数学の授業設計，電気学会優秀論文発表 A 賞（IEEJ Excellent Presentation Award），電気学会，2016.9.5
- 伊藤陽菜，高木浩一，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，電気学会東北支部支部優秀論文賞，電気学会東北支部，2017.4.18

【成果；メディア報道】

- 高木浩一，科学技術 岩大 2 人に文科大臣表彰「エネ教育の普及 高木教授（理工学部）」，岩手日日，2 面（県内総合），2016.5.8
- 高木浩一，科学追及重ね栄誉；岩手大の 3 人大臣表彰「エネルギー教育に力」，岩手日報，24 面（社会），2016.5.14
- 高木浩一，実験，工作楽しみエネルギー学ぶ；親子向けイベント，岩手日報，21 面（地域），2016.7.26
- 高木浩一，エネルギーの重要性実感；北上こども環境未来塾，岩手日日，14 面（社会），

2016.7.29

- 高木浩一，理工学部 高木浩一 教授のエネルギー教育，IBC 岩手放送：「ガンダイニング」，2016.11.8（18:55～18:58）放映
- 高木浩一，札幌藻岩高が学問研究ガイダンス 様々な分野へ関心高める 大学教師招き 26 講座実施，北海道通信，8 面，2016.11.15
- 高木浩一，発電の仕組み学ぶ 好間二小でエネルギー学習，福島民報，8 面（いわき），2016.11.21
- 高木浩一，実験楽しみ知識深める 好間二小エネルギー教育学習会行う，いわき民報，2017.5.17
- 高木浩一，実験楽しみ電気学ぶ いわきの好間二小教室，福島民報，2017.5.19
- 高木浩一，電気の働き分かった 好間二小・エネルギー学習，福島民報，2017.5.19
- 高木浩一，科学に関心，夢中；実験や工作 児童が環境学習，岩手日日，15 面（社会），2017.7.16
- 高木浩一，実験，工作楽しみエネルギー学ぶ；親子向けイベント，岩手日報，26 面（地域；県南），2017.7.17
- 高木浩一，今も昔も・・・雷との深～い関係，NHK 総合テレビ：「おはよう関西」，2017.7.28（7:45-8:00）放映
- 高木浩一，ビビッとくる天気不思議；气象台でフェア，岩手日報，22 面（地域；盛岡県北），2017.7.30
- 高木浩一，SUN トピ，TBS テレビ「日曜 N スタ」，17：30～18：00，2017.9.10
- 高木浩一，シイタケを成長させる（と言われる）気象現象はどれでしょう？，テレビ朝日「グッド！モーニング」，7：35～7：45，2017.10.13
- 高木浩一，エネルギー問題学ぶ；中央台東小 専門家招き教室，福島民報，9 面（いわき・相馬），2018.7.22
- 高木浩一，エネルギーと環境，講義や体験で学ぶ；中央台東小，福島民報，2018.7.25
- 高木浩一，目輝かせ，科学実験；ソーラーランタン作りも，岩手日日，1 面，2018.7.23
- 高木浩一，盛岡地方气象台 一般公開，テレビ岩手「ニュースプラス1いわて」，18:15～18:54，2018.7.28
- 高木浩一，气象台を公開 お天気フェア／岩手・盛岡市，IBC 岩手放送「ニュースエコー」，18:15～18:55，2018.7.28
- 高木浩一，お天気実験楽しく；气象台でイベント，岩手日報，21 面（地域；盛岡県北），2018.7.29
- 高木浩一，燃料電池車上で水素生成；ビル管理の大高商事；岩手大と；プラズマ使い安全性向上，日本経済新聞，27 面（地域；北関東），2018.8.17
- 高木浩一，きょうでサヨナラ “静電気”，NHK 総合テレビ「あさイチ」，8:15～9:54，2018.12.17
- 高木浩一，節電の重要性実感；環境未来塾 親子が実験，工作，岩手日日，14 面（社会），2019.1.16

【成果；実践活動】

- 高木浩一, カミナリ実験, 科学技術週間関連スペシャル実験教室, 盛岡市こども科学館, 約 60 人, 2016.4.24
- 高木浩一, 工学の体験～ 電気エネルギーとその高度活用～, キャリア講演会, 2 年生
理系 4 クラス 147 名, 宮城県立多賀城高等学校, 2016.4.26
- 高木浩一, 研究リテラシー入門, 盛岡一高高大連携講座, 2 年理数科 40 名, 盛岡一高
物理実験室, 2016.4.28
- 高木浩一, 自分たちの技術・知識を地域で活かす, 二子地区との黒沢尻工業高校地域連
携プロジェクト第 1 回ワークショップ, 2 年約 40 名, 黒沢尻工業高等学校, 2016.5.2
- 高木浩一, 研究リテラシー (研究計画作成, 実験実施と解析), 大学連携セミナー, 青
森県立三本木高等学校, 1 年 5・6 組 80 名, 2016.6.9
- 高木浩一, 研究リテラシー入門～研究とは何か～, 平成 28 年度「躍進 I」第 2 回サイ
エンス基礎講座, 立秋田中央高校, 1 学年 240 人 (6 クラス), 2016.7.14
- 高木浩一, エネルギー体験とソーラーランタン工作, きたかみこども環境未来塾 (主催:
北上市生活環境部), 児童 32 名 (保護者 30 名), 北上市生涯学習センター, 2016.7.24
- 高木浩一, 研究リテラシー入門, 多賀城高校アカデミックインターンシップ, 2 年理系
30 名, 岩手県青少年会館, 2016.7.27
- 高木浩一, 科学工作教室「ソーラーランタン」, 夏休み親子プラン 2016 (B コース) (主
催: 岩手県市町村職員健康福利機構), ゆこたんの森, 48 名, 2016.7.30
- 高木浩一, 実験工作教室「振動おもちゃ」, 盛岡市子ども科学館夏休み SPECIAL!, 盛岡
市こども科学館, 57 名, 2016.8.13
- 高木浩一, 実験工作教室「ソーラーランタン」, 盛岡市子ども科学館夏休み SPECIAL!,
盛岡市こども科学館, 84 名, 2016.8.14
- 高木浩一, 実験工作教室「空き箱分光器」, 盛岡市子ども科学館夏休み SPECIAL!, 盛岡
市こども科学館, 43 名, 2016.8.15
- 高木浩一, 研究リテラシー入門, 福岡高校アカデミックインターンシップ, 1・2 年 7
名, 岩手大学理工学部, 2016.9.3
- 高木浩一, 文理選択のための出前授業; 理系ってなに?～学校のミッションとは, 文理
選択とは, 理学と工 (実) 学のちがいは～, 大学出前講義, 能代高校 1 年 234 名, 能
代高校, 2016.9.9
- 高木浩一, 工学・理学系の学び・職業, 職業ガイダンス, 札幌啓成高校 1 年 38 名, 札
幌啓成高校, 2016.10.27
- 高木浩一, 工学の体験 ～電気エネルギーとその高度活用, 学問研究ガイダンス, 札幌
藻岩高校 1・2 年 25 名, 札幌藻岩高校, 2016.10.28
- 高木浩一, 電気のはたらきを知ろう, 好間第二小学校 5 年「電気が生み出す力」, 5 年
児童 42 名, 10:30-12:00, 好間第二小学校, 2016.11.4
- 高木浩一, カミナリを見よう! 200 分の 1 スケールで実験, 盛岡市こども科学館「日曜
サイエンス」, 盛岡市こども科学館, 約 180 名, 2016.11.27
- 高木浩一, 親子で楽しむ大学探検隊「科学実験教室」, 平成 28 年度教育事業 みちのく
「体験の風をおこそう」運動協賛事業 (主催: 国立岩手山青少年交流の家, 岩手大学),
岩手大学理工学部, 親子 60 名, 2016.12.4.

- 高木浩一，総合学習_発電体験と新エネルギー，出前授業（矢巾東小学校6年総合学習1～4校時；85名），矢巾東小学校，2016.12.19
- 高木浩一，作ってあそぼ；おもしろ科学実験教室，彦部・星山地区教育振興運動実践協議会「親子サイエンス教室」（主催：紫波町教育委員会），13名，彦部公民館，2017.1.9
- 高木浩一，ワークショップ；実験「エネエコ&プチかみなり」，いわて温暖化防止フェア2017～つなげよう 未来へ～（主催：温暖化防止いわて県民会議），イオンモール盛岡，約30名，2017.1.28
- 高木浩一，ワークショップ；実験「いろいろなエネルギー体験・工作教室」，いわて温暖化防止フェア2017～つなげよう 未来へ～（主催：温暖化防止いわて県民会議），イオンモール盛岡，約40名，2017.1.29
- 高木浩一，研究リテラシー入門（研究計画作成，実験実施と解析），平成28年度研究リテラシー入門講座，理数探究コース希望者1年生約37名，盛岡三高，2017.2.14
- 高木浩一，サイエンスショー「カミナリ実験」，科学技術週間関連スペシャル実験教室，盛岡市こども科学館，約180人，2017.4.23
- 高木浩一，工学の体験～電気エネルギーとその高度活用～，学問研究講演会，2年生理系4クラス155名，宮城県立多賀城高等学校，2017.4.25
- 高木浩一，自分たちの技術・知識を地域で活かす，二子地区との黒沢尻工業高校地域連携プロジェクト第1回ワークショップ，3年約40名，黒沢尻工業高等学校，2017.4.26
- 高木浩一，研究リテラシー入門，盛岡一高高大連携講座，2年理数科40名，盛岡一高物理実験室，2017.4.27
- 高木浩一，電気が生み出す力，好間第二小学校4・5年「電気が生み出す力」，4年児童40人，5年児童36人（計76人），好間第二小学校，2017.5.17
- 高木浩一，エネルギーと地球温暖化，郷ヶ丘小学校6年「エネルギーと地球温暖化」，6年児童95人，郷ヶ丘小学校，2017.5.17
- 高木浩一，研究リテラシー（研究計画作成，実験実施と解析），大学連携セミナー，青森県立三本木高等学校，5組40名，6組40名2017.6.15
- 高木浩一，エネルギー体験学習，北上市立北上北中学校大学訪問，岩手大学理工学部，1年40名，2017.7.7
- 高木浩一，研究リテラシー入門～研究とは何か～，平成28年度「躍進I」第2回サイエンス基礎講座，立秋田中央高校，1学年210人（6クラス），2017.7.13
- 高木浩一，エネルギー体験とソーラーランタン工作，きたかみこども環境未来塾（主催：北上市生活環境部），児童41名（保護者31名），北上市市民交流プラザ，2017.7.15
- 高木浩一，カミナリ実験，お天気フェア盛岡2017（主催：盛岡地方气象台），505人，盛岡地方气象台，2017.7.29
- 高木浩一，研究リテラシー，多賀城高校アカデミックインターンシップ，2年生理系13名，岩手県青少年会館，2017.8.7
- 高木浩一，実験工作教室「空き箱分光器」，盛岡市子ども科学館夏休みSPECIAL!，盛岡市こども科学館，59名，2017.8.11
- 高木浩一，実験工作教室「振動おもちゃ」，盛岡市子ども科学館夏休みSPECIAL!，盛岡市こども科学館，56名，2017.8.12

- 高木浩一, 実験工作教室「ソーラーランタン」, 盛岡市子ども科学館夏休み SPECIAL!, 盛岡市こども科学館, 82 名, 2017.8.13
- 高木浩一, ワークショップ「エネエコ&プチかみなり実験」, いわて温暖化防止フェア in 浄土ヶ浜ビジターセンター (主催: 温暖化防止いわて県民会議), 浄土ヶ浜ビジターセンター, 約 100 名, 2017.9.23
- 高木浩一, 理学と工学の違い, 科学における実験の重要性, 合意形成と概念を形にする方法, 科学的思考力養成講座「科学と人間生活」, 盛岡三高第一体育館, 1 学年 287 人 (7 クラス), 2017.10.2
- 高木浩一, カミナリとキノコの不思議な関係, 平成 29 年度春日南中学校「夢満開講座」, 春日南中学校体育館, 全校生徒 528 人, 2017.10.21
- 高木浩一, 工学・理学系の学び・職業, 職業ガイダンス, 札幌啓成高校 1 年 33 名, 札幌啓成高校, 2017.10.26
- 高木浩一, 工学の体験 ~電気エネルギーとその高度活用, 学問研究ガイダンス, 札幌藻岩高校 1・2 年 22 名, 札幌藻岩高校, 2017.10.27
- 高木浩一, サイエンスショーと親子工作教室, 第 44 回ひらいずみ芸術文化祭 (主催: 平泉町教育委員会), 平泉小学校, 親子 21 組, 2017.11.4
- 高木浩一, カミナリを農業や食品に利用して暮らしに役立ててみよう, ふるさと発見! 大交流会 in Iwate 2017 (主催: ふるさと発見! 大交流会 in Iwate 実行委員会・ふるさといわて創造協議会), 大学はおもしろい! -理工学への誘い- (主催: 岩手ネットワークシステム), 岩手大学, 約 25 名, 2017.11.19
- 高木浩一, カミナリを見よう! 200 分の 1 スケールで実験, 盛岡市こども科学館「日曜サイエンス」, 盛岡市こども科学館, 約 180 名, 2017.11.26
- 高木浩一, 総合学習_発電体験と新エネルギー, 出前授業 (矢巾東小総合学習 1-4 校時; 6 年 95 名), 矢巾東小学校, 2017.12.20
- 高木浩一, エネルギー (海洋エネルギーなど) について, 先端科学技術講演会, 釜石高校視聴覚室, 2 学年 29 名, 2017.12.22
- 高木浩一, 作ってあそぼ; おもしろ科学実験教室, 彦部・星山地区教育振興運動実践協議会「星山こどもクラブ; 親子サイエンス教室」 (主催: 紫波町教育委員会), 26 名, 樋ノ口公民館, 2018.1.10
- 高木浩一, 研究リテラシー入門 (研究計画作成, 実験実施と解析), 研究リテラシー入門講座, SRH コース 1 年 42 名, 盛岡三高, 2018.2.14
- 高木浩一, 自分たちの技術・知識を地域で活かす, 二子地区との黒沢尻工業高校地域連携プロジェクト第 1 回ワークショップ, 3 年約 40 名, 黒沢尻工業高校, 2018.4.19
- 高木浩一, サイエンスショー「カミナリ実験」, 科学技術週間関連スペシャル実験教室, 盛岡市こども科学館, 約 180 人, 2018.4.22
- 高木浩一, 工学の体験~ 電気エネルギーとその高度活用~, 学問研究講演会, 2 年生理系 4 クラス 143 名, 宮城県立多賀城高等学校, 2018.4.24
- 高木浩一, 研究リテラシー入門, 盛岡一高高大連携講座, 2 年理数科 38 名, 盛岡一高物理実験室, 2018.4.26
- 高木浩一, 研究リテラシー (研究計画作成, 実験実施と解析), 大学連携セミナー, 青

- 森県立三本木高校，5組40名，6組40名，2018.6.7
- 高木浩一，課題研究の進め方について，南陵ラボⅡ，青森県立弘前南高校，2年SSHクラス40名，2018.6.13
 - 高木浩一，研究リテラシー入門～研究とは何か～，平成30年度「躍進Ⅰ」第2回サイエンス基礎講座，秋田県立秋田中央高校，1学年210人（6クラス），2018.7.12
 - 高木浩一，電気エネルギーとその利用，きいばすカフェ2018（主催：美浜町），学生・生徒65名（大学20名，高校44名，中学1名），美浜町エネルギー環境体験館きいばす，2018.7.15
 - 高木浩一，電気エネルギーとその利用，総合学習「エネルギー環境学習」，いわき市立中央台東小学校，6年78名，5年76名，2018.7.19
 - 高木浩一，エネルギー体験とソーラーランタン工作，きたかみこども環境未来塾（主催：北上市生活環境部），親子42組，北上市生涯学習センター，2018.7.22
 - 高木浩一，カミナリ実験，お天気フェア盛岡2018（主催：盛岡地方気象台），約500人，盛岡地方気象台，盛岡市，2018.7.28
 - 高木浩一，研究リテラシー，多賀城高校アカデミックインターンシップ，2年理系13名，岩手県青少年会館，2017.8.7
 - 高木浩一，実験工作教室「振動おもちゃ」，盛岡市子ども科学館夏休みSPECIAL，48名，盛岡市子ども科学館，2018.8.11
 - 高木浩一，実験工作教室「ソーラーランタン」，盛岡市子ども科学館夏休みSPECIAL，72名，盛岡市子ども科学館，2018.8.12
 - 高木浩一，実験工作教室「空き箱分光器」，盛岡市子ども科学館夏休みSPECIAL，52名，盛岡市子ども科学館，2018.8.13
 - 高木浩一，サイエンスリテラシー入門講座，総合的な学習の時間，2年生理系生徒102名，盛岡中央高校，2018.4.24
 - 高木浩一，理学と工学の違い，科学における実験の重要性，合意形成と概念を形にする方法，科学的思考力養成講座「科学と人間生活」，盛岡三高第一体育館，1学年287人（7クラス），2018.10.1
 - 高木浩一，カミナリとキノコの不思議な関係，大野高校；里山づくり講演会，全校生徒105名，大野高校，2018.10.3
 - 高木浩一，サイエンスショーと親子工作教室，第45回ひらいずみ芸術文化祭（主催：平泉町教育委員会），平泉町立幼稚園，親子22組，2018.11.3
 - 高木浩一，サイエンスショー：科学実験で地球温暖化やエネルギーについて知ろう！，いわて温暖化防止フェアin北上（主催：温暖化防止いわて県民会議），江釣子ショッピングセンターPAL，約20名，2018.11.4
 - 高木浩一，カミナリを見よう！200分の1スケールで実験，盛岡市こども科学館「日曜サイエンス」，盛岡市こども科学館，約130名，2018.11.18
 - 高木浩一，エネルギー環境学習～エネルギー環境と私たちの未来～「電気を賢く作ろう！利用しよう」，出前授業（矢巾東小総合学習1-4校時；6年96名），矢巾東小学校，2018.12.19
 - 高木浩一，エネルギー分野（静電気とエネルギー～雷のふしぎからイオンエンジンま

で～), きいばす 2018 サイエンスクリスマスキャンプ (主催: 美浜町), 生徒・児童 10 名, 美浜町エネルギー環境体験館きいばす, 2018.12.22-23

- 高木浩一, 作ってあそぼ; おもしろ科学実験教室, 彦部・星山地区教育振興運動実践協議会「星山こどもクラブ; 親子サイエンス教室」(主催: 紫波町教育委員会), 35 名, 樋ノ口公民館, 2019.1.7
- 高木浩一, 研究リテラシー入門 (研究計画作成, 実験実施と解析), 研究リテラシー入門講座, SRH コース 1 年 44 名, 盛岡三高, 2019.2.13
- 高木浩一, 先端研究とエネルギー環境, 出前授業, 情報工学科 2 年 41 名, 花北青雲高校, 2019.2.14
- 高木浩一, エネルギー需給の現状と課題, 住建会講演会 (主催: 東北住建), 約 40 名, 盛岡地域交流センター マリオス, 盛岡, 2019.3.8

3.2 香港における中等 STEM 教科書の分析

郡司賀透

静岡大学学術院教育学領域

漢字圏にありながら、高度な科学技術を生み出した点において、日本と香港は類似した背景を有している。現在、香港においても STEM 教育が急速に普及しており、その実態を知ることで、NGSS に即した日本の STEM 教育を思索できるものと思われる。本稿では、まず、香港の中等教育学校において展開されている STEM 教育の訪問調査を報告する。つぎに、2015 年に香港特別行政区政府教育局が作成した『STEM 教育の振興』における振興方針の特徴と中等 STEM 教科書の分析結果を報告する。

(1) 香港の中等学校における STEM 教育の展開

平成 31 年 3 月 8 日、Lok Sin Ton Kan Hing Secondary School を訪問した。同校では、STEM リテラシーを「複雑な問題を理解し、その問題を解決すべく革新するように、科学・技術・工学・数学の諸概念を特定し、応用し、統合する能力」と定義していた。問題解決について、「革新的に」とする点が特徴的であった。

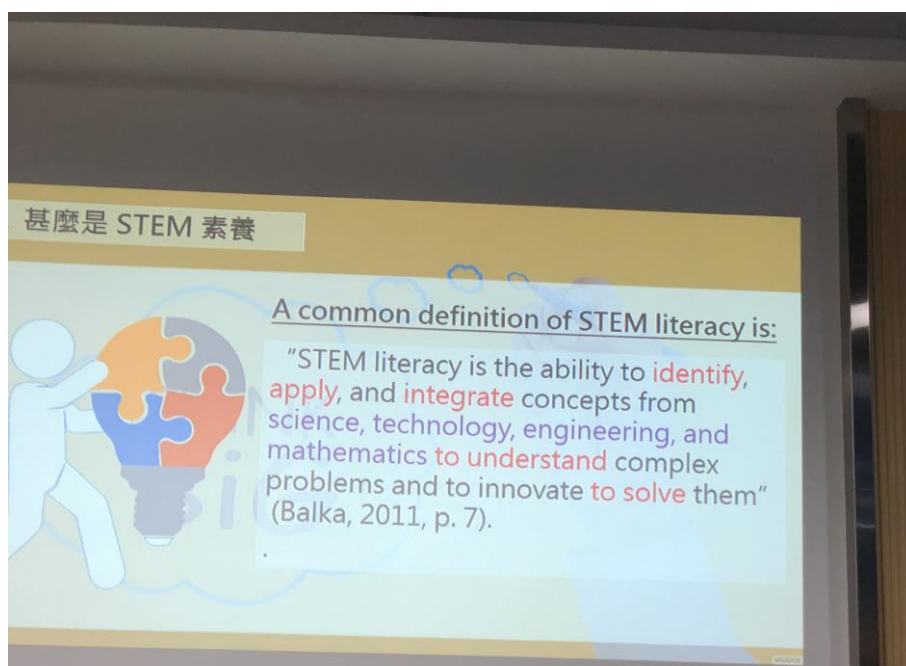


写真 1 STEM リテラシーの定義

その革新的な問題解決を実現するために、学校内にはサンゴの共生、カブトガニを飼育する水槽、VR/AR/MR/Makers Labs と称する先端的な活動施設が準備されていた(写真 2)。



写真2 香港の中等教育学校における先端的活動施設

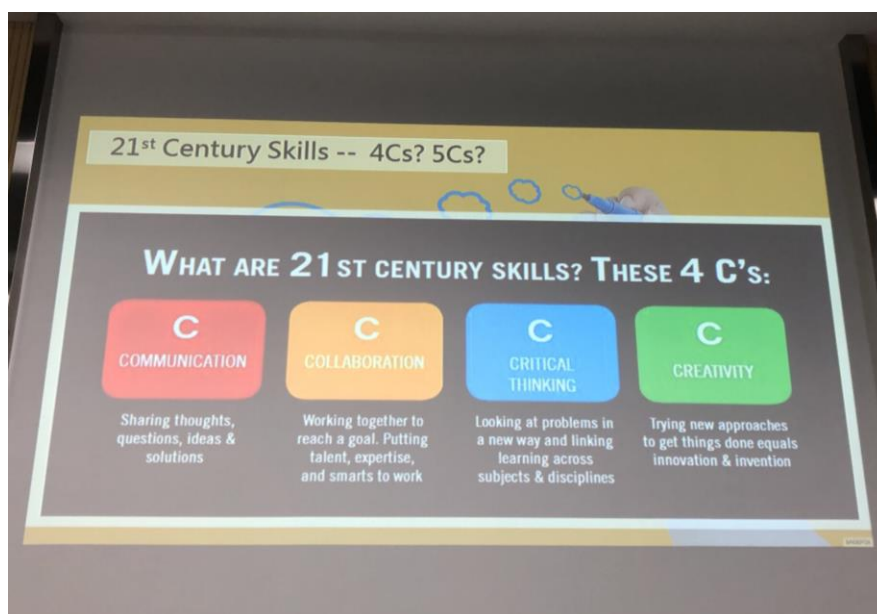


写真3 21世紀スキルの定義

写真3にあるように、同校では、「21世紀スキル」として、4C'sが設定されていた。すなわち、「コミュニケーション」、「協働」、「クリティカルシンキング」、「創造性」であった。

同校には、水循環システムにより動植物を育てる施設があり、実際に稼働しており、活動を重視したSTEM教育を展開している特徴が確認できた（写真4）。



写真4 水循環システム

同校だけでなく、香港のSTEM教育センターや関連施設でも頻りにみた装置に、レーザーカッターがあった。旧式のものもあったが、段ボールなどが精密に加工されていた（写真5）。3Dプリンタはすべての訪問先に設置されていた。



写真5 レーザーカッター

写真6、写真7に示すように、同校ではSTEM教育を推進しており、各種の賞を受賞

するなど、著しい学修成果を生み出していた。



写真6 訪問校の玄関



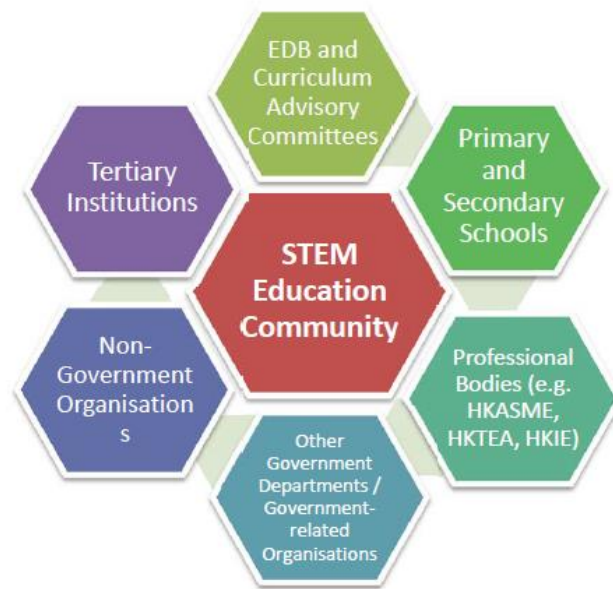
写真7 学校前にあるSTEM教育推進を示す看板

(2) 香港特別行政区政府教育局作成の『STEM教育の振興』

2015年に、香港特別行政区政府教育局が作成した『STEM教育の振興』には、6つの振興方針が示されている。すなわち、

- 方針1 科学・技術・数学教育の KLAS (Key Learning Areas) の更新
- 方針2 生徒の学習活動の豊富化
- 方針3 学習材、教材の供給
- 方略4 学校と教師の専門職発展の向上
- 方針5 コミュニティにおける重要なプレイヤーとの連携強化
- 方針6 優れた実践のレビューと普及

方針5にみられるように、学校教育だけでなく、「STEM 共同体」として STEM 教育を推進する方略がとられているのが、香港の特徴であった(図1)。この動向は、我が国の「社会に開かれた教育課程」にも一脈通じるものがあるといえよう。



Partners in the STEM Community

図1 STEM コミュニティの概念図

【出典】Curriculum Development Council(2015):*Promotion of STEM Education – Unleashing Potential in Innovation*,16より転載。

(3) 香港における中等 STEM 教科書の分析

今回、香港における『New Mastering Science 新編基礎科学』(Oxford University Press 牛津大學出版社)のSTEM教科書4冊を入手することができたので、内容構成、提示された指導案及びその特徴を報告する。これらの教科書はサンプル版であり、本稿では書名を明記していない。同書はいずれも、同じ内容で英語と中国語で書かれており合本になっている。

1) 内容構成

同教科書の内容構成は、表1に示す通りであった。

表1 香港における中等 STEM 教科書の内容構成

	教科書名	活動	教科書会社による アピールポイント
1	Science DIY	1 砂時計. 2 オレンジ皮の洗剤 3 虹の花 4 PET ボトル顕微鏡 5 飛ぶ蝶 6 液体タイマー 7 肺のモデル 8 柔らかい回路 9 ジェット推進ボート 10 Thumb Piano (筆者註 カリンバ) 11 磁気浮上式鉄道 12 蚊よけ 13 CD ランプ 14 魔法の箱 課外 メリーゴーラウンド	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンズオン STEM 活動 生徒が単純なものものづくりに科学を応用する ・ワークシート 教科書中にある ・課外活動が与えられている
2	Design and Make	デザインプロセス 水節約装置 1 問題を特定する 2 解決策をブレインストーミングする 3 モデルをつくる 4 テストし検証する 5 改善し再デザインする 指導案 評価のチェックリスト ギフトカード 1 問題を特定する 2 解決策をブレインストーミングする 3 モデルをつくる 4 テストし検証する 5 改善し再デザインする 指導案 評価のチェックリスト	<ul style="list-style-type: none"> ・STEM プロジェクト 日常生活の問題を解決する STEM スキルを生徒が応用する ・詳細なワークシート 教科書中にある ・指導案がある ・インタラクティブなクラス活動がある
3	3D Printing	1. 3D プリントとは何か	・短い序章がある

	Guide	2. 3D プリントの応用 3. 3D プリンタはどのように動くか 4. 3D プリンタの基礎工程 デジタル 3D モデルを創造する STEM 活動における 3D プリンター	<ul style="list-style-type: none"> • 3D プリント技術の基礎 • 簡単に 3D モデルを作成する方法 • STEM における 3D プリンティング • 無料の 3D プリントデータのウェブサイトリスト
4	STEM in Life	<ul style="list-style-type: none"> • Fidget spinner (筆者註ハンドスピナー) • 過熱蒸気オープン • 透明なミルクティ 	<ul style="list-style-type: none"> • 日常生活における興味深い STEM の対象の紹介 • ワークシートと答えを含む

表 2 に水節約装置の指導案を示す。生徒中心の EDP 型学習指導となっている特徴が認められた。

表 2 水節約装置の指導案

240 分 (約 6 コマ)

時間	
10 分	導入 <ul style="list-style-type: none"> • クラスをグループに分ける • シナリオを生徒に紹介する • 水の保護の大切さを生徒に語りかける
10 分	問題を特定する <ul style="list-style-type: none"> • 生徒に国内の水消費を減らす方法を提案させる • 課題 (蛇口に取り付ける水節約装置をデザインしてつくる) を生徒に話す
30 分	バックグラウンド調査 <ul style="list-style-type: none"> • 生徒に既存の水節約装置を調査させる • 生徒にいくつかの考えを示す
30 分	ブレインストーミングによる解決策 <ul style="list-style-type: none"> • 水節約装置の考えをブレインストーミングするよう、生徒に問いかける • 最もよいものを選ぶ
50 分	モデルをつくる <ul style="list-style-type: none"> • 生徒にその装置をつくる段階を考えさせる。家にある材料を準備し、次の授業で学校に持ってくるようにする。 • グループ仲間でモデルを創造するように、生徒に求める。
20 分	テストし検証する <p>生徒に装置をテストし、その効率をチェックさせる。</p>

30分	改善と再デザイン 装置を改善する方法について、生徒で議論させる。
60分	発表 各グループに制作物、工作の過程、改善の方法などをクラスに向けて発表させる。

最後になるが、STEM教育は教科横断的に推進されている。その一例として、体育におけるSTEM教育を紹介する（表3）。

表3 体育におけるSTEM教育

スポーツ	科学の応用	STEMの応用
陸上競技	力 エネルギー系 重力の中心 投射角	<ul style="list-style-type: none"> トラックやフィールドで生じるニュートンの運動の法則 短距離走、長距離走におけるエネルギー系 砲丸投げ、やり投げ、円盤投げの飛距離を最大化する投射角度
水泳	回転軸 抗力 エネルギー保存	<ul style="list-style-type: none"> 水をかくために回転軸を使う プールにおけるエネルギー変換 水中の水着と抗力の関係
バドミントン	力 角度 直線運動	<ul style="list-style-type: none"> バドミントンにおけるニュートンの運動の法則 羽根とプラスチックシャトルにおける軌跡の違い グリップの長さの力学

【出典】 The Government of the Hong Kong Special Administrative Region Education Bureau から転載。（確認日：2019年3月17日）

https://www.edb.gov.hk/en/curriculum-development/kla/pe/STEM_Education_in_PE/index.html

以上、香港における中等STEM教育を報告した。周知の通り、Engineeringは香港では「工程」と訳されており、まさにプロセスを意味している。日本語の「工学」とは異なる意味を有しているかもしれず、今後は文化的なアプローチが必要であろう。また、香港の中等STEM教科書には、蒸留を学ぶ目的で日本の「透明なミルクティ」教材が写真付で登場している。海外の中等STEM教科書に登場する日本の製品を分析することでも、日本のSTEM教材の豊富化が図ることができるかもしれず、今後の研究の進展が期待される。

【謝辞】

Lok Sin Ton Kan Hing Secondary Schoolの先生には学校をご案内いただき、熊野善介先生（静岡大学教授）には、貴重な教科書の閲覧をご快諾いただいた。深謝申し上げます。

【引用・参考文献】

Curriculum Development Council(2015):*Promotion of STEM Education - Unleashing Potential in Innovation*

3.3 日本の小学校理科の授業でどのようにSTEM教育を普及するか —ものづくりとプログラミング—

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教育といえることができるだろう。中でもEngineeringのPracticesは、ScienceのPracticesと類似性が高く、両者を対比しながら子供たちに学ばせることの効果が高いと考えられる。日本の小学校での理科においては、「ものづくり」が位置付けられている。ものづくりの中では、EngineeringのPracticesを子供たちに無理なく体験させることができる。このため、平成20年告示の現行の学習指導要領下における「ものづくり」について平成27年発行の教科書を分析して、来る平成29年告示の学習指導要領における「ものづくり」をどのように実施していくのがよいかをSTEM教育という観点から提言する。また、「ものづくり」だけでなく、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によっても、米国STEM教育の趣旨を反映した日本におけるSTEM教育を普及することに繋がると考える。

[キーワード] STEM教育、小学校、理科教育、ものづくり、プログラミング学習

(1) はじめに

日本の小学校の理科には「ものづくり」が位置付けられている。「ものづくり」の位置付けは、平成20年の中央教育審議会の答申¹⁾においては「(オ)生活科との関連を考慮し、ものづくりなどの科学的な体験や身近な自然を対象とした自然体験の充実を図るようにする。」とされていた。「ものづくり」は科学的な体験という観点から強調された。科学的な体験というのはややあいまいな表現であり、平成20年告示の小学校学習指導要領（以下現行学習指導要領と記す）においても、ある意味多様に解釈のできるという側面があった。

一方、文部科学省（2017）の『小学校学習指導要領解説理科編』におい

ては、「目的を設定し、計測して制御するといった考え方に基づいた観察、実験や、ものづくりの活動の充実を図った」²⁾と示されており、「目的の設定」「計測」「制御」という Engineering に必要な要素が明示されている。このことは、ものづくりに着目することで日本における STEM 教育を行う素地が固まったとみることができるだろう。

(2) 科学的な探究とエンジニアリング的な追求

1) 米国における 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、②Scientific Practices (科学的な探究における振る舞いの意で、以下「科学的な探究」と日本語では略す)・Engineering Practices (エンジニアリング的な追求の振る舞いの意で、以下「エンジニアリング的な追求」と日本語では略す)、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、Scientific Practices・Engineering Practices について着目する。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、「ある領域の専門家と類似した学習活動に取り組むことで生徒はより深い知識を学ぶ」³⁾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)。熟達した科学者やエンジニアが研究を行う際のごく一般的な振る舞いである。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追求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、熟達者としての振る舞いの流れ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に関連させながら児童生徒に学習をさせていくことが大切なのである。この流れは、平成 29 年告示の学習指導要領（以下、新学習指導要領と記す）の方向性とかなり一致していて、日本での STEM 教育とも相性がよいと考えられる。

表 1. Scientific Practices と Engineering Practices の違い

Scientific Practices <科学的な探究>	Engineering Practices <エンジニアリング的な追求>
1. <u>問いをつくる</u>	1. <u>問題（課題）を定義する</u>
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. <u>説明を構築する</u>	6. <u>解決方法をデザインする</u>
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

※下線は筆者による。<科学的な探究>と<エンジニアリング的な追求>とで異なる部分を強調。

（3）現行学習指導要領におけるものづくり

新学習指導要領におけるものづくりと STEM 教育は相性がよさそうであるが、現行学習指導要領におけるものづくりはどのように扱われているだろうか。現行学習指導要領下にある平成 27 年発行の日本の理科の教科書 5 社のものづくりの取り上げ方について調べた。一覧にしたのが表 2 である。表 2 の「STEM 教育等との関連」においては、以下の①～③の視点で分類を試みている。

- ① **Technology**：科学の原理を使って実際に製品化されているものを実際に製作してみる。理科で学んでいることが身のまわりの製品にどのように利用されているのを実感できる。
- ② **Engineering**：作りたい課題（より速く、より遠く、よりゆっくり）をもとに製作する。この過程で、修正や改善を行うプロセスが重要である。特に、「ここにピッタリ止める」などの制御が入る方が質の高いプロセスになると思われる。より速く、より遠くというのが一方向なのに対して、制御は、例えば速度であれば分速 15m といったように、より速くという観点とよりゆっくりという観点の双方向を扱うことになるからである。
- ③ **体験**：生活経験が不足している児童に体験を補う。以前なら知っていて経験していて当然というものが欠落していることがある。体験がな

表2. 平成27年刊行の教科書におけるものづくりの扱い

学年	学習指導要領の項目	A社(H27年)	STEM教育等との関連	B社(H27年)	STEM教育等との関連
3学年	風やゴムの働き	牛乳パックと段ボールの帆かけ車	engineering 風の強さによる移動距離	風車(かざぐるま)	engineering
		輪ゴムと段ボールによる車	engineering ※途中の駐車場に止めるという制御も入っている	輪ゴムと段ボールによる車	engineering ※ゴールで止まるという制御を含む
				(読み物)風車	technology
		ゴムの方で動く船・ゴムの太さを変えた車	technology 日常生活への活用	風の方で物体を持ち上げる。風で動く車づくり	engineering
	光の性質	(資料)ソーラッカー	technology	(読み物)鏡の利用・顕微鏡	technology
		(資料)丸い氷で火を起こす	technology		
	太陽と地面の様子 物と重さ	(資料)日時計 (資料)天秤	technology		
	電気の通り道	スイッチづくり	technology	スイッチづくり	technology
	磁石の性質	缶の分別(紹介のみ)	technology	(資料)缶の分別	technology
磁気情報・バーコード(紹介のみ)		technology			
★懐中電灯、電気迷路、バトカー、魚釣りゲーム、かえるレース、回路つなぎゲーム		生活科との関連か、ものづくりを集中して集めている。	★バックンへび、ゆらゆらユーフォー	生活科との関連か、ものづくりを集中して集めている。	
昆虫と植物			☆昆虫の模型づくり	体験/メタ認知	
4学年	電気の働き	プロペラカー	engineering	モーターを速く回す 乾電池で速く走る車	engineering
		(資料)宇宙での光電池	technology	光電池で走る車	engineering
		扇風機、光のオルゴール	technology	(資料)電卓や屋根に取り付けられた太陽パネル	technology
	空気と水の性質	水鉄砲・空気鉄砲	engineering	水鉄砲・空気鉄砲	engineering
		(資料)空気入れ、ポット、霧吹き	technology	(資料)空気入れ、防災用空気マット、	
		☆ペットボトルロケット	engineering	☆空気を使った水鉄砲	
	金属、水、空気と温度	ソーラーバルーン	technology	(資料)熱気球	technology
ものづくり広場					
5学年	電流と磁界	電磁石クレーン、電池チェッカー、コイルモーター	technology	強い電磁石をつくる	engineering
				☆コイルモーターを作ろう	体験
		(資料)リニアモーターカー	technology	(本文中)各種モーター	technology
	物の溶け方	ミョウバンのブローチ	体験		
	振り子の運動			1秒ふりこをつくろう	engineering
		(資料)振り子時計	technology		
	天気の変化				
ものづくり広場	手作りメトロノーム ※自由研究の例	engineering			
6学年	てこの規則性	☆さおばかり	engineering technology	さおばかり(郵便物の重さを量る)	engineering technology
				(本文中)輪軸	technology
	燃焼の仕組み			炭を作ってみよう	体験
	電気の利用	電熱線カッター	体験	風力発電機を作ってみよう	technology
				(本文中)オープントースター、ヘヤードライヤー	technology
ヒトの体のつくりと働き					
ものづくり広場					

★印は、「おもちゃ」の要素の強いもの ☆印は、発展・発展的なものづくり

C社(H27年)	STEM教育等との関連	D社(H27年)	STEM教育等との関連	E社(H27年)	STEM教育等との関連
風で動く車	engineering	プラ段ボールとポリスチレンの帆の車	engineering	プラ段ボールと厚紙の帆の車	engineering
ゴムで動く車	engineering ※的で止めるという制御を導入	プラ段ボールの輪ゴムカー	engineering ※ねらったところに止めるという制御も示している	プラ段ボールの輪ゴムカー	engineering ※輪の中で止めるという制御が示されている
★風わ		★かみつきワニ、プロペラロープウェイ	生活科との関連か、ものづくりを集中して集めている	(資料)プロペラ・翼を動かす飛行機	
プロペラで動く車づくり	engineering			★紙コップ風車、ピンポン球ロケット、プロペラカー	生活科との関連か、ものづくりを集中して集めている
(資料)日時計(体の影で)	technology	ソーラークッカー	technology (engineering)	日時計のつくり方	体験、technology
(資料)日光を部屋にのめかり	technology	太陽光照明、温室、洗濯物を干す			
★おもちゃランド(ピタッとウインドカー、風力持ち上げ機(風)ノびっかり鍵発見、どきどき輪くぐり(電気)ノくるくるじゃんけん、びよこびよこウサギ、つりコーナー、かけっこウサギ(磁石)ノ重さ比べクイズ)	生活科との関連か、ものづくりを集中して集めている。	★どきどき輪くぐり、○×判定ゲーム	生活科との関連か、ものづくりを集中して集めている。	★信号機、パトカー、ゆれ発見器、タッチアウト(どきどき輪くぐり)	生活科との関連か、ものづくりを集中して集めている。
		★動く円盤、魚釣りゲーム	生活科との関連か、ものづくりを集中して集めている	キツキ	磁石の活用
		こん虫切り紙	体験		
★扇風機 ★モーターカー	engineering	モーターの回転速度	engineering	モーターの回転速度	engineering
光電池とモーターの速さ	engineering	光電池とモーターの速さ	engineering	★電気自動車づくり	technology ※壁に当たるとバックする
ソーラーカー(紹介)	engineering	電気自動車を作ろう	technology	(資料)乾電池、充電電池、光電池	technology
(資料)熱気球	technology	水鉄砲・空気鉄砲	体験	★空気鉄砲、水鉄砲、噴水	体験
		(資料)ホースと水道による鉄砲		(資料)ドーム型スタジアムの天井	technology
空気鉄砲	engineering			(資料)強力水鉄砲、水ロケット	technology
		(資料)熱気球・紙風船あ	technology	(資料)温度計、熱気球	technology
★逆転スイッチ、墨を使った電池、ペットボトルロケット、自作温度計					
強い電磁石をつくる	engineering	強い電磁石をつくる	engineering	強い電磁石をつくる	engineering
☆電磁石釣りざお	engineering	鉄拾い機、ゆらゆらチョウ、二極モーター ★クリップモーター、	体験	★クレーンゲーム、強力電磁石、回る人形	体験
(資料)リニアモーターカー	technology			(資料)強力電磁石、各種モーター、リニアモーターカー	
		食塩やミョウバンのきれいな粒を作る	体験	(資料)大きなミョウバンのつくり方	体験
		★イルカのジャンプ、玉乗りダンス	体験	メトロノームを作る	engineering
(資料)振り子時計	technology			(資料)振り子時計	technology
☆雨量計					
★ふりこを使ったおもちゃ、みょうばんの飾り、ミョウバンの大きな粒、ゆらゆらユーフォー、コイルモーター、二極モーター	体験				
		(本文)てこを利用した道具	technology	モバイル、さおばかり	体験 technology
(資料)てんびん、さおばかり、輪軸	technology	(資料)輪軸	technology	(資料)輪軸	technology
(資料)炭をつくる	technology			(資料)たたら吹き	technology
		★発光ダイオードの家、コンデンサを使った電気自	technology	電気自動車、風力発電機	technology
		人体内部の模型(紙)	体験		
肺での空気の出し入れモデルの作製、デンプン精	体験				
さおばかり、風力発電の模型	technology				

いとその後の学習における理解を悪くしたり妨げたりすることがあるので、その体験不足を補うという価値がある。Technologyと同様、「こんな風に理科の学習が生活と関連付くのか」という児童の実感に繋がることもありうる。また、出版社サイドとしては、児童の意欲の醸成に繋がることもねらっていると思われる。

なお、(資料)とあるのは、「ものづくり」とは直接関連しないものも多いが、理科の学習で学んだことが日常生活でどのように生かされているかということ「読み物」等で知らせることで、Technologyと関連付けているものである。STEM教育においては、理科とTechnologyとの関係も重視されているため、取り上げることにした。

表2をみて気付くことは、第3学年で圧倒的にもものづくりが多く取り上げられ、第4学年以降は少なくなっていることである。また、第3学年では、生活科との関連からか、ものづくりの扱いは児童が遊ぶ「おもちゃづくり」となっていたり、そのつくったおもちゃで児童同士が交流する場面をつくったりしている。その点では、STEM教育で目指しているengineering practicesでのものづくりとはかなり目的や質が異なってしまう。

また、B社では「炭を作ってみよう」というものづくりのテーマが取り上げられている。子どもの生活経験や自然体験が減っていることからこのような体験が必要であるのも事実である。しかしながら、体験そのものの価値は認めるとしても、STEM教育のエンジニアリング的な追求という面からみると「問題(課題)を定義する」部分がなく、何の目的のためにそれを追求していくのかがないままの活動となっている。

一方で、各社とも、第3学年の「(2) 風やゴムの働き」において、風やゴムで走る車を作り、より遠くまで走るとか速く走るなどの具合な目標を明確に設定して、修正・改善するような流れをつくっている。さらにこの単元においては、子どもが風やゴムの強さを加減して、ある場所で止めるといった運動を「制御」させるというEngineeringにおいて重要な場面設定をつくりだしている。このように現行学習指導要領においてもSTEM教育と相性のよい取り上げられ方をしている部分もある。

ただ、第3学年、第4学年の中学年であると、「制御」させるということを全員に意識させることは難しいのではないかと筆者は捉えている。もちろん地域や児童の実態によって不可能ではないと思うが、第3学年の児童の様子を捉えれば双方向のベクトルで制御を行うことより、より速くとかより遠くへなどの一方向の要求を満たすことに向けて修正・改善を継続する方がより健全であると考え。一方、第5学年や第6学年の高学年になれば、制御を経験させる場面設定を意図的に入れていくことが大切と考える。

(4) 新学習指導要領におけるものづくり

新学習指導要領においては、現行学習指導要領の際の「科学的な体験」というやや曖昧な表現ではなく、文部科学省（2017）の『小学校学習指導要領解説理科編』で、ものづくりのねらいや具体的な取組などが示されている。

ねらいの面では、繰り返しになるが「目的を設定し、計測して制御するといった考え方に基づいた観察、実験や、ものづくりの活動の充実を図った」²⁾と記されるとともに、「実験の結果から得られた性質や働き、規則性などを活用したものづくりを充実させる」⁴⁾とも記されている。

個々のものづくりの具体的な例としては、以下のものが例示されている⁵⁾。

<第3学年>

- ① 風やゴムの力の働きを活用したものづくりとしては、風やゴムの力を動力に変換するという観点から、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。
- ② 光の性質を活用したものづくりとしては、日光により物の明るさや暖かさが変わるといった観点から、例えば、平面鏡を使って物を明るくしたり暖かくしたりすることを目的とした装置などが考えられる。
- ③ 音の性質を活用したものづくりとしては、音は、様々な物が震えることで伝わるという観点から、離れた所や同時に複数の場所に音声を伝えることを目的とした糸電話などが考えられる。
- ④ 磁石の性質を活用したものづくりとしては、磁石の異極は引き合い、同極は退け合うという観点から、例えば、極の働きや性質を使って物を動かすことを目的とした自動車や船などが考えられる。
- ⑤ 乾電池や豆電球などを使った、電気の性質を活用したものづくりとしては、回路ができると電気が通るといった観点から、例えば、回路につないだ豆電球などを動作させたり止めたりすることを目的としたスイッチ、電気を通す物であるかどうかを調べることを目的としたテスターなどが考えられる。

<第4学年>

- ① 空気や水の性質を活用したものづくりとしては、空気は押し縮められるが、水は押し縮められないという観点から、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。
- ② 物の温まり方を活用したものづくりとしては、水や空気は熱せられた部分が上に移動するという観点から、例えば、物を上空に持ち上げることを目的としたソーラーバルーンや、体積変化という観点から、温度の計測を目的とした温度計が考えられる。
- ③ 電流の働きを活用したものづくりとしては、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、モーターの回り方が変わるといった観点から、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。

<第5学年>

- ①振り子の運動の規則性を活用したものづくりとしては、振り子の周期を変えるとという観点から、例えば、規則正しく時間（リズム）を刻むことを目的とした簡易メトロノームなどが考えられる。
- ②また、電流がつくる磁力を利用したものづくりとしては、電流の大きさなどによって電磁石の強さを変えるとという観点から、例えば、物を動かすことを目的としたモーター、鉄を引きつけたり放したりして移動させることを目的としたクレーンなどが考えられる。

<第6学年>

- ①てこの規則性を活用したものづくりとしては、てこの働きを利用するという観点から、用途に応じて作用する力の大きさを制御することを目的としたてこや、物の重さを測定することを目的としたてんびんばかりなどが考えられる。
- ②また、電気の働きを活用したものづくりとしては、風力や太陽光といった自然エネルギーで作りだした電気を蓄電器に蓄えて効率的に利用することを目的とした照明などが考えられる。その際、目的に合わせてセンサーを使い発光ダイオードの点灯を制御するなどが考えられる。

そして、第6学年ではプログラミング教育についても理科での例示が示されている。

ここにあげられた例示をみても、「(～の観点から)～することを目的とした」と個々のものづくりのねらいが明確に示されるようになっている。このねらいのもとに改善・修正を行ったり、その中で試行錯誤したりすることはエンジニアリング的な追求の過程の体験そのものといえる。また、第5学年の振り子の運動における例示である「簡易メトロノーム」は速さを制御する装置である。第6学年の「てこの規則性」における「てんびんばかり」や「電気の働き」の光センサーを用いた発光ダイオードの点灯の例示には「制御する」という言葉がしっかりと書き込まれている。また、第6学年での理科におけるプログラミング教育においても、プログラムというものを使って、制御するということを体験的に学ぶことになる。これらのことを意識し、工夫することで、日本におけるSTEM教育を充実させることが可能となるだろう。

そして、科学的な追究とエンジニアリング的な追求とを関連させることがSTEM教育の要といえると筆者は考えているが、そのことも文部科学省(2017)『小学校学習指導要領解説理科編』⁶⁾においては、以下のようにまとめられている。

目的を設定し、計測して制御するといった考え方に基づいた学習活動については、まず、観察、実験などにおいて、その目的を明確に意識することにより、観察、実験の結果を見直し、再度観察、実験を行ったり、解決方法の修正をしたりするといった学習活動の充実を図ることが考え

られる。また、ものづくりの活動を充実させることが考えられる。これまでのものづくりの活動は、その活動を通して解決したい問題を見いだすことや、学習を通して得た知識を活用して、理解を深めることを主なねらいとしてきた。今回、学んだことの意義を実感できるような学習活動の充実を図る観点から、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ことが考えられる。 ※アンダーラインは、筆者による

このことを踏まえると、平成 27 年の B 社で取り上げられていた炭をつくるという体験的ものづくりでも、例えば「よりよい炭をつくるには？」という課題に置き換え、「よりよい炭」を定義して、これに向かって修正・改善を加えていくなら、児童に Engineering Practices を経験させることは可能である。となれば、なおさら新学習指導要領において、日本での STEM 教育を実施する素地は整ったと捉えてよいはずである。

(5) 結論

日本の理科教育に米国での STEM 教育の理念を生かし、普及することは新学習指導要領のねらいを踏まえれば十分可能であり、日本の科学技術の将来を考えるとこれらに早急に対応していくことが望まれる。平成 30 年度には小学校の理科の教科書の見本本が提供される。STEM 教育の観点からして、その出来具合はどうかということをしっかり見ていく必要がある。また、その教科書の内容に合わせた教材教具を開発していくことが日本での STEM 教育の普及に大いにつながるだろう。

(6) おわりに

日本の小学校の理科と STEM 教育との結びつきの親和性について触れ、日本における STEM 教育が十分可能であることを示唆した。しかし、一方で、中学校においてはものづくりをはじめとするエンジニアリング的な追求は多くのものが技術家庭科の技術分野にある。この課題を現行学習指導要領で解決するのは難しい。新学習指導要領において、この両者の関係をどのようにするかが今後の研究の一つの方向となるだろう。

引用文献

- 1) 中央教育審議会 (2008) 「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について (答申)」 p.89
- 2) 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 p.10
- 3) R. K. ソーヤー編 (大島純ら監訳、望月俊男・益川弘如編訳) 『学習科学ハンドブック [第二版] 第2巻』(北大路書房) p. 4

- 4) 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 p.20
- 5) 再掲 pp.38-39、p.52、p.67、pp.83-84
- 6) 再掲 p.102

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
- ・ 文部科学省 (2017) 「小学校学習指導要」 東洋館出版社
- ※以下、検定済み教科書は、第3学年から第6学年すべてを利用した。代表して第3学年のみ記す。
- ・ 学校図書 (2015) 『みんなと学ぶ 小学校理科3年』
- ・ 教育出版 (2015) 『みらいをひらく 小学理科3』
- ・ 啓林館 (2015) 『わくわく 理科3』
- ・ 大日本図書 (2015) 『新版 楽しい理科4年』
- ・ 東京書籍 (2015) 『新編 新しい理科3年』

小学校理科における STEM 教育としての授業の開発と実践 ～21 世紀型スキルとエンジニアリングデザインプロセスと含む実践～

畑中 敏伸, 村岡 大地
東邦大学理学部, 柏市立酒井根小学校

はじめに

STEM (Science Technology Engineering Mathematics) 教育の捉え方は多様である。米国の STEM 関連学会と学校教育での STEM 教育の実践を踏まえると, 21 世紀型スキルの育成, エンジニアリングデザイン, コンピュータやデータ収集にデータロガーを活用する要素が見られた (畑中, 2017, 2018)。これらの特徴を踏まえ, 本稿では, 小学校理科の授業に取り入れやすい 21 世紀型スキルの育成, エンジニアリングデザイン, を含む日本型の STEM 教育の実践の可能性を検討する。日本の小学校理科におけるものづくりがエンジニアリングデザインの要素を含むため, 小学校 6 学年のものの燃え方の単元で, 割り箸を燃やすストーブを作るものづくりを行う授業を開発し実践した結果を報告する。

(1) エンジニアリングデザインプロセスを含むものづくり活動

1) ものづくりとエンジニアリングデザインプロセス

小学校理科の学習指導要領解説では, ものづくりは次のように記載されている。

これまでのものづくりの活動は, その活動を通して解決したい問題を見出すことや, 学習を通して得た知識を活用して, 理解を深めることを主なねらいとしてきた。今回, 学んだことの意義を実感できるような学習活動の充実を図る観点から, 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ことが考えられる。(文部科学省, 2017, p. 98)。

目的を設定し, 目的を達成するためのものづくり, 目的が達成されたか振り返り, 修正というプロセスは, エンジニアリングデザインプロセスと同じであるため, ものづくりの授業としてエンジニアリングデザインを含む実践をすることができる。学習指導要領解説には, いくつかの単元でもものづくりの例が示されている。例えば, 糸電話, スイッチ, テスター, 空気てっぽう, 水てっぽう, ソーラーバルーン, 温度計, 自動車, 回転ブランコ, クレーン, メトロノーム, モーター, てこ, てんびんばかり, 照明などがある。本研究で扱う小学校 6 学年のものの燃え方の単元では, 学習指導要領解説にはものづくりの例として挙げられている活動はない。

2) 小学校理科教科書での記載と本研究での実践

小学校理科の教科書 6 社¹⁾を調べたところ, 小学校第 6 学年のものの燃え方の単元では, ものづくりとして作り方を示している記載はない。3 社の教科書では, 課題を見出すことと知識を活用し理解を深める項目として, 缶に入れたものを燃やすことが記載されている。啓林館の教科書では, 単元の最初の「やってみよう」のコーナーで, どんなときに木がよく燃

えるのかを、空き缶（缶の上だけを開けたものと、缶の下にも穴を開けたもの）に割り箸と新聞紙を入れ燃え方の違いを観察するという活動が記載されている。単元の最初であり、解決したい課題を見出すことに関連した活動の提案である。東京書籍では、単元の最後「考えよう」のコーナーに、缶の穴の開け方と木の入れ方が違う4つを比較させ、どれが一番燃えるか考えさせる問いがある。学校図書では、単元の最後の「活用しよう」のコーナーに、缶に木の棒が入っているものに、缶の上部と下部のどちらに穴をあけるとよく燃えるかを問う問いがある。これら2社の教科書では、単元の最後の、知識を深める、学習したことを日常生活に適用する問いとしての記載と言える。その他の3社の教科書には、穴を開けた缶にもものを入れて燃やすことは記載がない。

教科書の調査からは、異なる場所に穴の空いた缶に入れたものの燃え方を比べる活動や問いが記載されていることがわかった。本研究では、異なる場所に穴が開いている缶での燃え方の比較の実験ではなく、児童が缶の穴の開け方をデザインし、試すことができるようなエンジニアリングデザインの活動として授業で実践することとした。また授業は、単元の学習後に行なうこととし、知識の活用し理解を深める、学んだことの意義を実感する、という目的も持つものづくり活動とすることとした。

3) ものづくりの方法

空き缶に穴を開け、はやく良く燃えるストーブをつくることを課題とした。予備実験の結果を踏まえて、350 mLの空き缶の上面をリサイクルハサミで切り離し(図1)、木材を缶の中に入れた状態で直径8mmのポンチ穴を金槌で6箇所開け(図2)、1膳分の割り箸、14cm×20cmの新聞紙1枚を燃やすこととした。作成に必要な道具は、穴開けポンチ、トンカチ、木材、リサイクルハサミ、軍手、チャッカマンである。木材とリサイクルハサミはホームセンター等で、穴開けポンチは100円ショップで手に入れることができるため、安価に準備することができた。

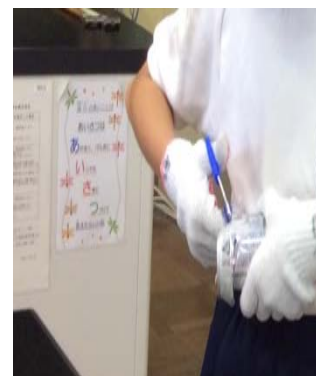


図1 リサイクルはさみでの切り離しの様子

4) エンジニアリングデザインの要素

ストーブの製作においては、エンジニアリングデザインの要素を入れた。エンジニアリングデザインでは、制約のある中でデザインし、デザインしたことを実験で試し、結果をもとに再度実験したり、デザインを変更するプロセスを含む。児童には、缶の穴の開け方を考えるデザインをさせ、作成し、実験し試させた。実験は2回行なわせることとした。その後、実験結果をもとに、新しいストーブをデザインさせ、再度作成し、実験し試させた。また、各過程で考えたことを明確化させるために、ワークシートを用意し、デザインしたもの、デザインをした理由、実験結果からわかったこと、2回目のデザイン、2回目のデザインをした理由、2回目の実験結果からわかったこと、という各プロセスで考えたことを記録させ、児童の思考を明確化させることとした。



図2 缶の穴あけ方

(2) 21世紀型スキルを考慮した授業の実践と児童の反応

1) 主体的・対話的で深い学びと21世紀型スキル

学習指導要領では、主体的・対話的で深い学びを実現することが、学習指導の充実の方向性として示されている。一方、21世紀型スキルについては、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)が、学習とイノベーションのスキルとして、批判的思考(Critical Thinking)、創造性(Creativity)、協同(Collaboration)、コミュニケーション(Communication)、の4つのスキルを示しており²⁾、頭文字をとって4C'sと呼ばれることもある。

学習指導要領における対話的学びについては、次のように示されている。

「対話的な学び」については、例えば、問題の設定や検証計画の立案、観察、実験の結果の処理、考察の場面などでは、あらかじめ個人で考え、その後、意見交換したり、根拠を基にして議論したりして、自分の考えをより妥当なものにする学習となっているかなどの視点から、授業改善を図ることが考えられる(文部科学省, 2017, p. 91)。

対話的学びの中にある、「意見交換したり、根拠を基にして議論」との記載は、批判的思考(Critical Thinking)、21世紀型スキルの4C'sとも関連する記載である。本実践では、学習指導要領とも関連する21世紀型スキルの4C'sの、批判的思考、創造性、協同、コミュニケーションを重視する形で、授業を開発し実践することとした。

2) 授業実践の概要

授業実践は、2018年6月に公立小学校6学年34名を対象に、ものの燃え方の単元の学習後に行なった。本実践に関連する概念として、授業実践前に、「空気が燃え続けるには空気の入れ替えが必要」、「温められた空気は上にいく(4年生での既習事項)」、「びんの上と下が開いていると空気の出入りが比較的うまくいく」ことについて学習済みである。

3) 学習課題の設定

児童が活動に目的を持てるように、ものづくりのためのストーリー示し学習課題を設定した。ストーリーでは、「キャンプにでかけた先生達。その日は5月といえども涼しかった。暖かくするために、キャンプ場にあるものでストーブを作ることになった。そこで村岡先生が、ストーブを作ろうとしているけれど、火が付きません・・・」というストーリーを設定した。その際、教師の失敗作を提示することで、製作意欲を喚起すること、児童の考えるヒントとなることをねらった。児童に、穴を一つも開けていない空き缶を提示し、失敗したことを伝える



図3 授業の導入場面

と、児童からは「先生！これは火がつかないよ！穴を開けないとうまくいかないよ！」という期待通りの反応が湧き上がった。この反応をきっかけに、児童は穴の開け方をすぐに考え始め、穴のあけ方や、あける場所について様々な意見が出た。このように児童の意見を踏まえて、本時の課題である、「より早く、より良く燃えるストーブを作ろう」という明確な課

題を設定した。この課題の提示により、児童の探究心を引き出し、熱心に取り組ませることが出来た。また、この学習課題の設定により、工夫して作るという創造的に問題解決することを意図した授業とした。

4) 児童間の協力

製作への意欲を高め、児童同士が協力しあう協同が見られることを期待し、3人1組で作業に取り組みさせることにした。どの場所に穴を開けるかを定めるデザインは、個人で考えた後、グループでどのデザインにするか決めさせ、コミュニケーションを促すこととした。また、理科室の実験机は6人掛けのため、3人1組のチームが、同じ実験机に座る相手チームと比べ、競い合う形で意欲を高めるとともに、比較することで実験の結果を把握させることとした。その際、グループで決めたデザインは、同じテーブルの相手グループに説明をさせた。なお、ワークシートには、自分のチームの穴の開け方だけでなく、相手チームのデザインを書かせ、グループ間の話し合いの機会を設け、相手のデザインと比較し実験結果を考える批判的思考が行なわれることを期待した。

グループのデザインを決定するための話し合いは、3人1組と1グループあたりの人数が少ないため、話し合いは非常に活発であった。また、3人でチームとなり相手チームと競う形式であったことも、製作への意欲やよりよい作品を作りたいという気持ちを高めさせた。

5) デザインと製作活動

穴の位置をデザインするという課題を設定すると、児童はすぐに個々に考え始め、その後グループで相談をした。穴の位置を考えるだけの課題は、児童にとっては難易度が高くないが、様々なあけ方があり自由度が高いため、児童は、様々な穴の開け方を考えてデザインし、創造性をはたかせることができた。

デザインを決めた後に、実際に製作をさせた。自然と協力する様子が見られ、全員が活発に動いていたため、今回の課題の難易度が適当であり、児童にとって興味のある活動であったと言える。けがをし



図4 デザインを決める話し合い

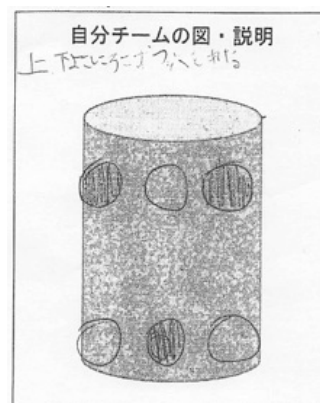


図5 児童が考えた上下の穴のデザイン

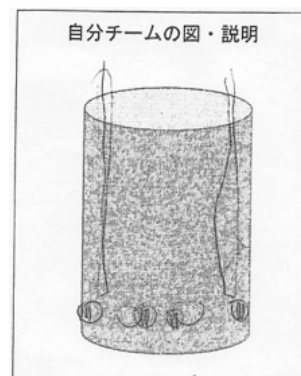


図6 児童が考えた下だけの穴のデザイン

ないように、作業を行なうときは、軍手をさせた。児童には、リサイクルはさみで缶の上部を開けることは問題が無く行なうことが出来た。それに対し、金槌を上手に使用してポンチで穴を開けることに苦勞する児童が目立った。児童は図工科の授業で金槌を使用した経験があるが、釘を打つのに比べて、ポンチで穴を開けるには力が必要なため、苦勞したようだった。

6) 製作したストーブを試す

実験は、相手グループと同時にライターで点火し燃やすことで、燃え方を比較し実験結果を把握させることとした。燃え方には、様々な要素が影響するため、同じ条件での実験を2回行なわせることとした。児童は、穴の開け方で、火の勢いが強くなるまでの早さや燃焼時間が異なることに驚いているようであった。また、空き缶曲面下部に穴が開いている方がよりよいストーブになることに気付く児童が多かった。



図7 缶に穴を開ける活動

7) 2つめのデザインと作成

2回の実験が終わった後で、自分のグループと相手グループの結果を踏まえて、再度どの場所に穴を開けるかをデザインさせて、1回目と同じように、実験を行なわせた。2つめを作成する際は、多くのグループが空き缶の下部に穴を開けていた。1つめのストーブで空き缶の下部に穴を開けているチームは、よりよいストーブを目指して、新聞紙の入れ方や割り箸の設置の仕方を考えていた。穴の開け方によるストーブの性能の違いを想定時に設をむける実験だったため、新聞紙や割り箸に関心が移ったことは想定外であった。ただ、新聞紙や割り箸の設置の仕方を考える際にも、空気の流れや入りやすさ等、キャンプファイヤーの経験を思い出して考える児童もいて、単元の学習とは関連している。授業のまとめでは、穴の位置を工夫すれば、よりよいストーブが作れること、下部に穴を開けたほうがよく燃えたことをクラス全体で確認した。



図8 想定時に設をむける実験



図9 相手チームとの比較

8) 有用性を感じさせるよう製品を紹介

キャンプグッズとして社会で用いられる、ソロストーブを用意し、授業翌日に児童に提示した。ソロストーブは授業で製作したストーブと同じ原理が用いられていて、下の穴から空気を取り入れ、燃えるようになっている。違いは、ソロストーブは2重構造であり、底から空気が入り、煙突効果による2次燃焼がある点である。今回の授業では、ソロストーブは底部に穴が開いていることに注目させ、下から空気が入っていくところに共通性があることを説明した。

ソロストーブは、理科の有用性をより強く感じさせるために、以下のようにソロストーブを紹介した。「昨日の学習では、みんなの協力やアイデアのおかげでよりよいストーブが作れましたね。そのポイントは、下に穴を開けることでした。先生にとっても、勉強になりました。昨日の授業の話職員室でしていたら、キャンプ好きの先生がこんな物を紹介してくれたよ」。児童は興味深く、ソロストーブの原理を聞いていた。そして、「やっぱり下に穴があるね」、「ソロストーブは底に穴が開いているよ」等、製品と前日の自分たちのストーブとの共通点を見出し、前日の学びを製品と結びつけていた。



図10 ソロストーブ

(3) 授業後の成果と課題

授業で用いたワークシートに書かせた、児童の最初のデザイン、相手チームのデザイン、実験結果、再デザイン、相手チームの再デザイン、わかったこと、授業前後に行なった質問紙調査に書かせた、既習事項との関連、できるようになったこと、他児童との協力、自己の取り組み、楽しいか、またやりたいか、感想)の結果をもとに、授業の成果と課題を考察する。なお、以下の文章の括弧内の数字は、調査対象者34人中の回答者数を示している。

1) 授業への取り組みについて

児童の熱心に活動に取り組む様子が観察できたが、児童は自身の取り組みについて、とても一生懸命やった(20)、まあまあ頑張れた(10)と回答し、ほとんどの児童は熱心に取り組んだことがわかった。

授業前にとった質問紙調査では、理科の授業が嫌いだと答える児童は36人中7人いて、普段の理科の授業には、学習に前向きに取り組むことが出来ない児童がいる。しかし、授業中にそのような児童の様子を見てみると、非常に楽しく、協力しながら取り組むことができていたことに驚いた。また、授業後に「先生の役に立てたかな?」と話す児童もいた。授業の課題設定のストーリーに入り込めた児童にとっては、人の役に立つことを感じられたようであった。授業での課題と、ストーリーの設定が児童に熱心に取り組ませていたといえる。

授業での課題が楽しかったと楽しかった理由を書いてもらった自由記述欄には、自由にできた(30)、工夫できた(17)と児童は書いていた。今回の授業は、ストーブを作るという目的のために、デザインを工夫し、失敗を生かしてデザインを変えたり実験を繰り返した。普段の授業とは異なる、自由に工夫することができた学びは楽しく取り組めたようだ。児童が、熱心に製作する姿からもその前向きな様子が伝わった。普段の理科の学習では、実験方法を考えさせ話し合わせることもあるが、準備の時間や実験器具の都合で仕方なく教師が誘導する形で進めてしまうことが少なくない。今回の結果は、多くの児童が自由に考えて試して、結果を出したいと感じていたようだ。今回の実践は、缶と燃やすものは決められていたが、穴のあけ方、燃やすものの配置は自由に決めることができる形でものづくりができたことが今回の実践のよさであるといえる。

今日のような授業をまたやりたいか聞いたところ、32人が肯定的な回答をしていて、多くの児童に有意義な学習であったことがわかる。

ワークシートの感想欄においても、次のように、考えるのが楽しかったこと、工夫が出来たこと、燃え方を観察した驚き、もっとやりたい、ことに関することを児童が書いていて、意欲的に取り組めたことがわかる。

考えるのが楽しかった

- ・ 自分でどのように穴をあけたりすればいいのか考えるのが楽しかった。
- ・ どうしたらしっかり長く早く火がつくかどうかを考えるのが楽しかったからまたやりたい。
- ・ たのしかったしなんで下にあけるともえるのかもかんがえてわかったりしてよかった。

工夫ができた

- ・ 今日の実験を工夫して作るのは楽しかった。
- ・ くふうをするだけで火の燃え方がちがったり、長く燃え続けるようにしたりする時ができるようになった。
- ・ おき方や、穴の場所によって燃え方が変わるのがおもしろかった。少ない材料でも大きな炎がだせるのがすごいと思った。工夫すればもっともえそう。

燃え方を観察した驚き

- ・ すごくおもしろくて、穴を開ける場所やしんぶんし、わりばしのおき方ですごく火の大きさがかわるのでびっくりしました。あと空気は、下から上に行くことがよくわかりました。
- ・ かん穴をあけることだけでなく、しんぶんしとかわりばしもかんけいしているとしてびっくりした。
- ・ いきおいがよくなるのがすごいと思った。
- ・ 少しの変化をいれるだけで、こんなに変化するんだ！とびっくりした。

もっとやりたい

- ・ もっと火が強くなるようにもっともって実験したい。
- ・ 他のチームは、折り紙のようにしたらよく燃えたらしいのでやってみたい。
- ・ いつもより楽しかった。また同じような実験をやりたい。次は6こ以上でやってみよう。

2) 児童間の協力

児童は自由記述欄に楽しかった理由として、チーム戦だった(20)ことを書き、他児童との協力については、グループの人の話を聞けた(31)、グループの人と話し合いができた(29)、協力して実験ができた(30)と回答し、児童は協力し学習できたといえる。

ワークシートの感想欄においても、次のように協力できたことを書く児童がいた。

- ・ 友達と考えが同じだった時はうれしかった。話しあって、よりよい考えにするのがたのしかった。相手チームは、またちがう考えをもっていて、なるほどと思った。
- ・ 1回目は少し失敗してしまったけど、2回目は班の人といっしょに合わせてできたからよかったと思う。
- ・ ストープの作り方を知った。おもしろかった。チームで協力して考えるのは楽しかった。実際に自分達で工夫して、自由なやり方でやるのが楽しかった。
- ・ 楽しかった。比べられたりしてよかった。みんなと協力してやってよかった。

3) 児童の学び

児童は、ものづくりの活動の中の科学的概念について気づくことができた。ワークシートにはわかったことの欄を作って自由に書かせたが、6つの実験機のうち、5つの実験機の児童の中に缶の下部に穴を開けると良く燃えると記入した児童がいたため、1つの実験機を除き缶の下部に穴を空ける方がよいことに気づいたといえる。この缶の下部に穴を空けて燃やすことは、ものの燃え方の単元で学んだ下部に穴があり上に空気が抜けるとろうそくが燃え続けるという実験結果と同じである。

ものの燃え方の単元で学んだことと今回のストーブ作りの実験の関係を書かせたところ、燃焼に空気や酸素が必要であることとの関係を書き(26)、多くの児童が、単元で学んだことと同じ実験結果に気づくことが出来ているといえる。他には、4つの机で割り箸の長さや入れ方、3つの机に新聞紙と箸の位置を変えるとよく燃えると記入していた児童もいて、燃え方について考えを深めることが出来た児童もいたことがわかる。

図11は、児童Aのワークシートでのデザインの変化である。児童Aは、穴の位置を下にすればよりよいストーブになることに気付いたことが分かる。今回の場合は、14人の児童が製作過程の中で穴の位置をA児のように、下部に修正していた。このことは、1回目の実験結果により、14人が下部に穴を空ける方がよいことに気づいたといえる。

図12は、児童Bのワークシートでのデザインの変化である。児童Bは、ものが燃えるときに空気が入り、出るこ

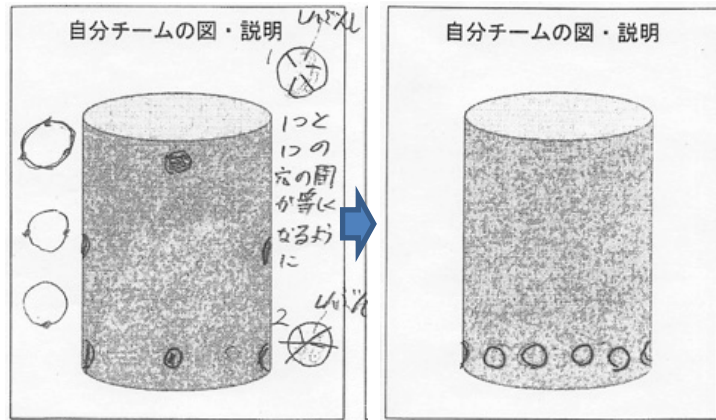


図11 児童Aのデザインの変化

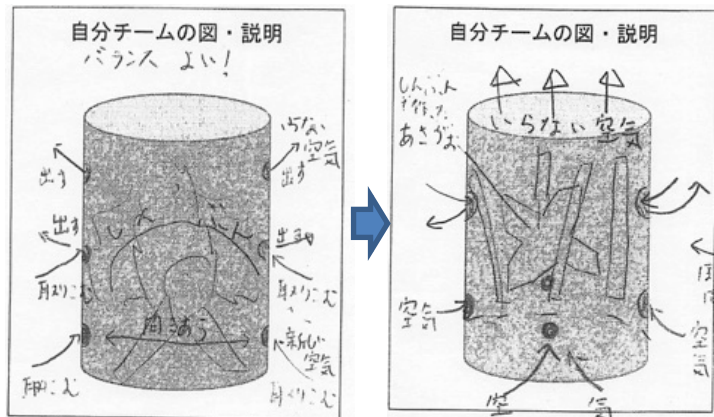


図12 児童Bのデザインの変化

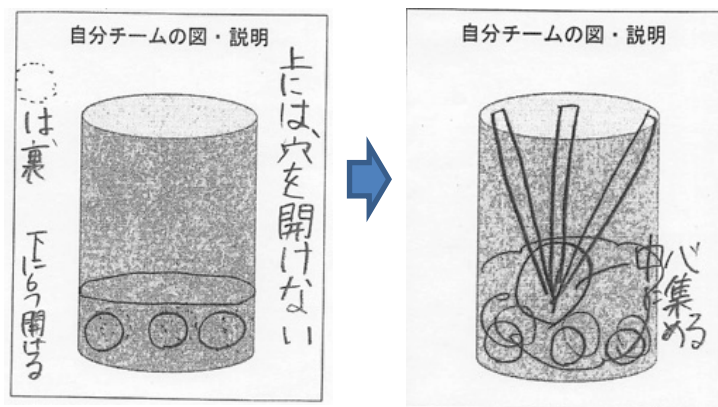


図13 児童Cのデザインの変化

とを考えて最初にデザインをした。ただし、缶に空けた穴のところからしか空気の出入りがないと考えていたようで、缶の上部には空気の流れの記載がない。2回目のデザインでは、缶の下部に多く穴を空けるとともに、缶の上部から空気が出ることが矢印で示されており、空気が上部からも出ることに気づいたようである。

図13は、児童Cのワークシートでのデザイン変化である。児童Cは、最初から缶の下部に穴を空けて、2回目のデザインでも同じところに穴を空けたことがわかる。ただし、よりよく燃えるために、割り箸の入れ方や新聞紙の入れ方についての工夫をした様子が伺える。

このようにワークシートでのデザインの変化を見ると、缶の穴の位置を考えさせることを意図して図を描く欄を作ったが、児童は、穴の位置の変化に加え、空気の流れを予想したり、最初から穴を下部に空けた児童は、割り箸と新聞の入れ方に考えが移ったりと、様々な側面からものの燃え方を考えた様子が伺える。

道具の使い方に不慣れな児童が観察されたが、授業後にできるようになったこととして、穴の開け方やライターや金槌の使い方を書く児童もいて(9)、児童は道具の使い方も学んだ。

ワークシートの感想欄においても、児童は日常生活との関連することを学ぶことができたことを書いていた。

- ・ 生活に生かせる実験ができたと思う。作るのがとても楽しかったし、わかりやすかった。
- ・ 今日の実験は、バーベキューの時などにうちわであおぐ位置などとかんけいしていて、これからもつかっていくちしきを学べてよかったなと思った。
- ・ この実験は、かんたんにできるので、どこでも使えると思う。

おわりに

本研究で行なった、小学校第6学年のものの燃え方の単元で、21世紀型スキルとエンジニアリングデザインプロセスを含む、ストーブをつくるものづくりの実践の成果は、次の通りである。

- 1) 児童は、普段は前向きに取り組むことが難しい児童も含め、熱心に授業に取り組むことができた。自由記述に、自由に決めることができること、工夫できること、燃え方を観察した驚き、などを理由に挙げており、教師に誘導されて実験を行う授業とは異なる感想を持っているようである。
- 2) グループで協力し取り組むことができた。また、グループで取り組むことに肯定的な意見を自由記述に書く児童もいた。
- 3) 単元の学習と結びつけ、発展的な学びとすることができた。ものが燃えるときの下から上に空気が移動していることと関連し、缶の下部に穴を空けたほうがよいこと、燃やすものの入れ方、に気づいたり、日常生活との関連性を見出す児童もいた。

これまで米国でのSTEM教育調査や文献調査では、STEM教育では21世紀型スキルとエンジニアリングデザインプロセスが重視されていたため、本実践では、日本の小学校理科においてSTEM教育を実践する方法の1つを示すことができた。ただ、21世紀型スキルの育成については、授業の観察と質問紙調査により児童が協力して取り組んだ点のみ明らかに出来た。児童の批判的思考、創造性、コミュニケーションについても、量的質的な向上を明らかにすることが今後の課題である。

付記

JSPS 科研費 16H03058 の助成を受けた。本稿は、以下の発表をもとに大幅に加筆し作成したものである。

畑中敏伸，村岡大地「小学校6年生のものの燃え方の単元に関連するSTEM教育の実践」日本理科教育学会第68回全国大会，岩手大学，2018年8月4日

村岡大地「理科を学ぶ意義や有用性を感じる授業づくり～目的，デザイン，製作，振り返り，修正する探究的なものづくりを通して～」平成30年度柏市教職員実践記録集，印刷中

註

- 1) 啓林館，学校図書，教育出版，信州教育出版，東京書籍，大日本図書，の2018年度版の理科教科書を調査した。
- 2) http://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21_Framework_Brief.pdf を参照した。

文献

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。

畑中敏伸(2017)「アメリカにおけるSTEM教育の研究学会の現状」，科研費成果中間報告書，研究代表者熊野善介，平成28～30年度文部省科学研究費補助金基礎研究(C)研究成果報告書『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』，pp. 43-45

畑中敏伸(2018)「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—」科研費成果中間報告書，研究代表者熊野善介，平成28～30年度文部省科学研究費補助金基礎研究(C)研究成果報告書(その2)『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』，pp. 30-37

3.5 幼児から小学生への STEM 教育プログラム作成における

4つのCの育成を促す方法と意義について

坂田 尚子

静岡大学 静岡科学館る・く・る

(1) はじめに

今世紀を迎えるころから、アメリカ合衆国をはじめとする諸外国において 21 世紀型スキルズあるいはコンピテンシーとして、これからの社会を生きる子どもたちがどのようなスキルを習得し能力を高めるべきかなどについて議論がされてきた。その中でアメリカ合衆国では、21 世紀型スキルズ習得のために科学教育で何をどう行えばよいのか NGSS : Next Generation Science Standards (NGSS State leaders 2013) が示され、それを実現すべく各地で STEM 教育の実践が行われている。とはいえ、21 世紀型スキルズは、幅広く議論が行われたため、18 ものスキルズが挙げられることになったため、初等・中等教育では、この中から基本的な 4 つの C : Creativity (創造性) , Critical thinking (判断的・批判的思考) , Communication (コミュニケーション) , Collaboration (コラボレーション) を重視すべきであるとされる 4Cs セオリーが提唱されるようになってきた (Roekel 2015)。これらの議論に関する文献調査や、STEM 教育に取り組むアメリカ合衆国における先進的地域での現地調査を通して、これからの生きる子どもたちへの科学教育のひとつの在り方として、日本においても科学教育への STEM 教育の導入、科学教育の STEM 教育化が考えられるのではないかと、また日本型の STEM 教育でも、これらの 4 つの C の育成をめざすことを取り入れるべきであると考えたのである。

日本ではこの十数年の間に、幼い子どもたちへの教育の在り方が改めて問われ、示されたこともあり (文科省 2006)、幼児から小学校低学年が科学的な活動を行うことやその年代への科学教育が、その存在を社会的に認知されるようになってきた。2017 年には、21 世紀型の資質・能力について、文部科学省がその方向性を 3 つの柱「何ができるようになるか」「何を学ぶか」「どのように学ぶか」として集約し、その中で子どもたちの主体的・対話的で深い学びを目指すことを明らかにした。これは、就学前の幼い子どもの学びであっても同じ様に目指されるべきものなのだろうと考えた。幼児から小学校低学年においては、学校教育などの公的な教育の枠組みにおいては、いわゆる「理科教育」が設定されておらず、生活科や環境領域の中で科学教育的な活動が行われている年代である。このため、インフォーマルな場のみならず、フォーマルな教育の場においても、領域に捉われない教科横断的な活動が可能で、STEM 教育の導入が実現しやすいと考えられた。そこで、幼児から小学校低学年へのプログラム開発に取り組み 3 つのプロジェクトを立ち上げ、アクション研究を行った。まず、子どもたちにとって身近な「砂」をテーマとした、一つのモデルプログラムを作成し、それをいくつかの場で実践することを通し、STEM 教育の特徴を掴み、STEM 教育のモデルプログラムを開発することを試みた。次に、保育園という公教育の場に

における科学教育プログラムの STEM 教育化に取り組み、そして、博物館というインフォーマルな教育の場における科学教育プログラムの STEM 教育化に取り組み、それぞれの枠組み、文脈への適応に必要なもの・条件を探った。

本報告ではその中から、静岡県立の自然科学系博物館である「ふじのくに地球環境史ミュージアム」での実践において、STEM 教育プログラム実践で見えてきた、4つのCの育成を促すための方法と、その意義について述べてみたい。

(2) 21 世紀型スキルズと 4 つの C について

現在、諸外国での STEM 教育への動きの中で、先導的な役割をしているアメリカ合衆国においては、今世紀が近づいたころから、これからの世界を生きていくための子どもたちの資質・能力について、21 世紀型スキルズとして、様々な学問・産業領域において、議論されてきた。その領域ごとに、多様なスキルズが示され、Partnership for 21st Century Skills: P21 や、National Research Council : NRC を含む国家機関による議論では、21 世紀型スキルズの特定と定義、教育システムへの統合、主となる学習内容との関わりについての検討が行われた (P21 2009, NRC2010)。National Science Teachers Association (全米科学教師協会) は、2011 年にそのポジション・ステートメントにおいて、質の高い科学教育と 21 世紀型スキルズについて宣言を表明するにあたって、P21 と NRC の示した 21 世紀型スキルズを支持するとしている (NSTA 2011)。それらは、「学習とイノベーションのスキル」、「情報、メディアと技術のスキル」、「人生とキャリアのスキル」「適応性」、「複雑なコミュニケーション/社会スキル」「非日常的な問題解決」「自己管理/自己開発」と「システム思考」の八つのスキルであり、人間の知識基盤が拡大し、学んだことを伝え共有するための現代的ツールを理解して使用する必要性が増すにつれ、これらのスキルは不可欠なものとなるとしている。そして、科学教育のコミュニティーがカリキュラム、教授法、科学教師育成、科学教師の質的向上などの最善の実践と合致する 21 世紀型スキルズを支持することを推奨した。

STEM 教育を通して 21 世紀型スキルズを身につけることができるように教育実践がおこなわれている一方で、各領域からの子どもたちへのスキル習得の願いなどから 21 世紀型スキルズは多岐に渡り 18 ものスキルが示されたと言われている。そのため、低学年 (初等科教育など) においては、それらのスキルズの中から「4 つの C」すなわち創造性 (creativity), 判断的・批判的思考 (critical thinking), コラボレーション (collaboration), コミュニケーション (communication) に注目し、重点的に育成しようとする考え方; 4Cs セオリーが出てきている (Roekel, 2015)。実際には、幼児のための科学教育において、Lindeman と Anderson (2015) は、ブロックを使った活動において、「4 つの C」が刺激されるような、場の設定や教師の問いをはじめとする働きかけについて提案し、実践を報告している。本報告は、主に幼児から小学校低学年を対象とした STEM 教育プログラムについて議論するものであるため、子どもたちの習得すべき 21 世紀型スキルズに関しては、この「4 つの C」について述べることにする。

21 世紀型スキルズの中でも特に基本的な 4 つの C: Creativity, Critical thinking, Communication, Collaboration と、開発したプログラムを体験することで、それらの活動が子どもたちを刺激し、夢中になって取り組み、主体的で深い学びにつながることを期待

して、前向きな内なる意欲の高まり：Intrinsic Motivation（内在的モチベーション）についても調査すべきであると考え、アンケートに項目として取り入れた。日本の文脈における主体的で対話的な深い学びについては、前述したが、文部科学省が示した「どのように学ぶか」にかかわる学習過程の質的改善につながる重要な視点であると考えられる。したがって、Intrinsic Motivation（内在的モチベーション）を項目として取り入れるということは、STEM教育プログラムが日本の文脈に合致するののかということ計る大事な項目となると考えた。

その結果、Intrinsic Motivation（内在的モチベーション）と4つのC：創造性、判断的（批判的）思考、コミュニケーション、コラボレーションとを合わせて5項目からなるアンケートを下のように作成し（表1）、子どもたちの表れなどを検討し分析した。活動に合わせて、語尾を若干変えながら活動ごとにアンケートを行った。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、1～5ポイントで集計した。

表1. 基本となるアンケートの内容

	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みましたか
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

(3) ふじのくに地球環境史ミュージアムでのSTEM教育プログラム

1) STEM教育プログラムの作成と実践

研究を始めた当初、ふじのくに地球環境史ミュージアム（県立の自然科学系博物館）は開館後1年を経過したばかりの若い博物館であった。来館者各年代・世代へのニーズに合わせた対応と、それぞれの年代に向けた連続講座という形態の事業を確立するという課題があり、その解決のために、本プロジェクトは3回シリーズの小学生向けの科学教室として、博物館との共同研究という位置づけで取り組むことになった。その際、博物館の特性を生かしながら、これからの科学教育を見据えて実施することを考えたとき、開発するプログラムは、博物館ならではの科学教育プログラムでなくてはならないと考えた。さらに、近年諸外国で実施され、日本でも取り組みが始まっているSTEM教育（森ほか 2017、奥村・熊野 2017など）を取り入れようと考え、また、「砂」をテーマとしたSTEM教育プログラム開発における研究での知見をもとにプログラムを構想した。下に、第1回の実践のためにデザインしたプログラムの流れを例示

する。

表2. 「アメンボ」をテーマとしたプログラムの流れ

Activities		S T E M
①	アメンボが水に浮いている姿を観察しよう	S
②	基本の針金製アメンボを水に浮かべること挑戦しよう (STEM ワークショップ)	
	i) アイデアを出し合う、アイデアを絵にする	S E
	ii) グループで分担してモデルを作る	T E
	iii) 試してみて、改良を加える	T E M
	iv) すべてのグループ対抗で、最良のモデルを使って「浮いている時間コンテスト」をする	S T M
③	生活の様子と体のつくりについて博士のお話を聞く	S
④	博士への質問	S

プログラムのSTEM教育化を図るために、活動の流れの中にSTEMワークショップを取り入れ、ものづくり的な活動を導入することを試みた。また、博物館での利点を活かすために「博士のはなし」と「質問コーナー」を設定することにし(表2)子どもたちが科学者と触れ合える機会を提供できるようにデザインした。

実施時間は3回のそれぞれのプログラムにおいて1時間30分ずつのプログラム構成とし、実践は2017年11月3日、12月23日、2018年3月31日に行った。テーマは第1回が「アメンボ」、第2回「シャボン玉」、第3回「岩絵の具」であった。表1の右欄に記載しているS, T, E, Mはそれぞれ、Science, Technology, Engineering, Mathematicsを表しており、活動ごとに主にどの分野に関連しているのか示そうとした。

2) 実践結果

参加者は小学校1年生～6年生で、基本3回参加できるという条件で30名募集した。参加数は、第1回が29人、第2回は28人、第3回は23人で、欠席する生徒もいたがほぼ



図1. STEMワークショップの様子

顔ぶれは同じであったので、次第に顔見知りになっていくことができた。

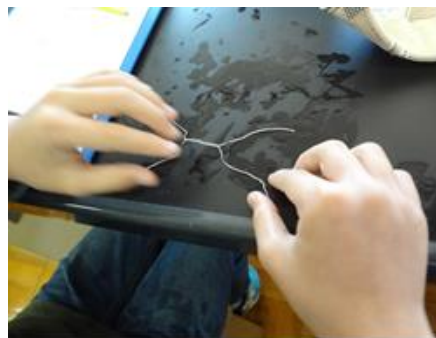


図2. 針金製のアメンボ

で、「計画をする活動・調査方法などのデザイン」を取り入れることで、ワークシートへの記入が促進されていたばかりでなく、その後の活動が主体的かつ積極的に行われる様子が見られた。これは、例示した「アメンボ」をテーマとしたプログラム中では、② i) アイデアを出し合う、アイデアを絵にする活動に相当する(表1)。今回紹介しなかったが、これ以外の2つのプログラムにおける②:STEMワークショップにおいても、ものづくりの要素を取り入れた。そうすることで、子どもたちが、個人的にだけではなくグループにおいても盛んに試行錯誤する様子が観察された。また、個人的な活動、グループでの活動、全体での活動と活動にいくつかのスタイルを設けることにより、コミュニケーションやコラボレーションの促進を図った。これら3つの実践の成果から、博物館における科学教育プログラムのSTEM教育化について、表3のような枠組みモデルを得ることができた。

表3. 博物館でのプログラムのSTEM教育化の枠組み

<ul style="list-style-type: none"> ➤ ①観察して見つける活動→ ②STEMワークショップ→ <ul style="list-style-type: none"> 「計画する活動・調査方法などのデザイン」を取り入れる 「試してみる活動・より良いものを作る活動」で、ものづくりの要素を取り入れることで、算数・数学的な活動、技術の活用を意識的に導入する ③博士のはなし→ ④質問コーナー という流れで行う
<ul style="list-style-type: none"> ➤ コミュニケーション/コラボレーション活動を促す場面を設定する

子どもたちの表れについては、上述(表1)のアンケートを行った。4つのCとI.M.(内在的モチベーション)について、このプロジェクトに参加する前の状況を把握するために事前アンケートを行い、各回の体験後に事後アンケートを行った。その結果、回ごとに数値が伸びた項目にばらつきが認められ、一度の活動ですべての項目の数値が増加するということはなかったが、I.M.(内在的モチベーション)はいずれの回でも数値の増加がみられた(図1)。Creativityは「アメンボ」の活動で、Communicationは「シャボン玉」と「岩絵の具」で、Collaborationは「シャボン玉」と「岩絵の具」の数値が増加した。事前アンケートとの比較について、それぞれの項目でT検定を行ったが、危険率5%以下の危険率で有意差が認められた。

ワークシートでは、テーマとして取り上げた事柄や生物を理解できて、それに基づいてアイデアを持っているかどうか、「科学的な活動:予想をかく欄」を設けた。また、工学的探究のプロセスを取り入れるため「計画する活動:調査方法のデザイン」として、第1回では、「モデルづくりの設計図を描く欄」、第2回と第3回では、「実験の仕方・アイデアをかく欄」を設けた。また、第1回と第2回では自分の「考えをまとめる欄」、第3回では「下絵・アイデア画を描く欄」を設けた。これは、考えをまとめたり、新たなアイデアを書(描)き留めたりしておくことで、その後続く全体での活動で、コミュニケーション

／コラボレーションを活発に行えるように図った。

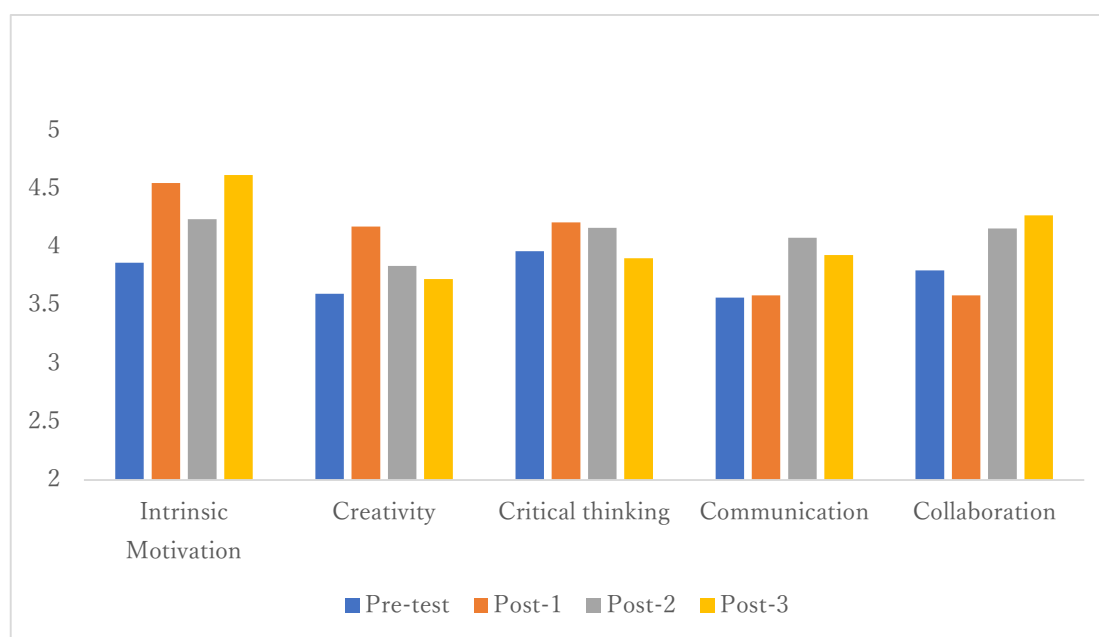


図1. プレテストとポストテストの比較

(4) 考察

1) 4つのCの育成について

コラボレーション／コミュニケーションについては、3回の活動はともに、グループで行うようにデザインされ、活動の中に意図的に、「作業を分担して行う場面」「グループ内で意見をまとめる場面」「グループでの結果を発表する場面」「グループ内で協力する場面」を設定した。子どもたちにとって、初対面の1回目より2回目、3回目と回が進む程協力したり分担したりして、活動を進められるようになっていった。活動の内容によって、コミュニケーションが行われる程度に差が認められたが、それでもアンケートによると普段より盛んに行ったとする子どもたちが多く、これらの場を設定することが、子どもたち同士の学びあいを引き出す鍵になると思われる。そしてこの様な学びのスタイルが、子どもたちの主体的で深い学びにつながるものになるのではないかとと思われる。

創造性、判断的(批判的)思考については、第1回の創造性の高まりを除いて、微増してはいてもアンケートからだけでは、明らかに増加しているとまでは言い切れなかった。これは、プログラム内容による違いだったり、創造的な活動や判断的(批判的)思考の体験を自覚していなかったりすることが理由なのではないかとも考えられる。感想部分の記述では判断的(批判的)思考の表れとも思える表現があったり、創造性の表れともとれる表現が見られたりしたので、STEM学習におけるこのような活動に慣れていくことで、徐々に育成されていく側面もあるのではないかと予想される。文部科学省が示した「主体的な学び」につながるものであると捉えている「内在的モチベーション」については、毎回高い数値は示しているが、やはり、プログラムのテーマ設定や内容によって差が生じていることが分かった。

一つのプログラムだけで4つのCとI.M.（内在的モチベーション）のすべての項目について効果を上げることは難しかった。つまり、これさえやればよいというプログラムは今のところ見いだせていない。したがって、多様なプログラムを用意し、幅広くSTEM教育を体験することで、基本的で重要なスキルや学びに向かう意欲を高めていくことができるのではないかと考えている。

また、これらのプログラムが与える子どもたちへのインパクトについては、各活動において、それぞれに創造性、判断的（批判的）思考、コミュニケーション、コラボレーションのスキルを使う場面が見られたことがあげられる。また、前向きな内なる意欲の高まりであるI.M.（内在的モチベーション）に関しては、プログラム実践者や補助者たちの観察記録とその振り返り、アンケートから、すべての活動において子どもたちが熱中する様子、活動が活発化していく様子が報告されている。子どもたちにとって、学習におけるインパクトをいろいろな形で受けているといえるだろう。

2) 4つのCの育成の意義について

子どもたちの21世紀型スキルズの向上という点から、STEM教育プログラムの実践結果について俯瞰してみたい。本実践では、一つのプログラムで創造性、判断的（批判的）思考、コミュニケーション、コラボレーションの4つのスキルすべてが同時に子どもたちに活用され、習得につながっているということは示せなかった。つまり、あるものは2つの項目の数値が高くなり、またあるものは3つの項目の数値が高くなったりしたということである。これはプログラム内容の特性を反映している可能性を示していると推測している。つまりプログラムによっては、あるスキルをより多く活用していたり、また別のプログラムでは他のスキルを多く活用していたりすることを示していると考えられるからである。すなわち、幅広く多様なプログラムを用意することにより、STEM教育が子どもたちのスキル向上に資することができることを表しており、将来理科や科学を学ぶ子どもたちへの導入には意義があることを示している。しかしながら、1～2度のプログラムの体験だけでは、十分な効果が得られないこともと考えられる。したがって、幅広い内容とできるだけ多くの体験の保障も合わせて考慮しなければならないだろうと考える。前向きな内なる意欲の高まり：Intrinsic Motivation（内在的モチベーション）については、子どもたちの活動が主体的に行われ、活動の中の4つのCを使う場面についても、誘導されることなく自ら進んで取り組もうとする姿が見られ、STEM教育プログラムが子どもたちの「やる気」を引き出す可能性を大いに示しているものと考えられる。このことは、STEM教育プログラムの効果として、学習指導要領によって明示された学習の方向性における3つの柱のうち「何ができるようになるか」「何を学ぶか」に相当する資質・能力を高める可能性を示しており、このような学びのスタイルが、子どもたちの主体的で深い学びにつながると推測され「どのように学ぶか」に相当する学び方のスタイルを示唆することができたのではないかと考えるものである。

3) 教育の場に適合した科学教育プログラムのSTEM教育化の枠組み

文献研究やアメリカにおけるSTEM教育先進地域での学校現場、教育省、大学などへのSTEM教育現地調査から得た知見をもとに、基本となる枠組み案を作成した。そして「砂」

をテーマとした STEM 教育プログラムを 1 つ作り上げていく過程において、この枠組み案をもとに、日本における現状やそれぞれの教育の場における文脈に適応した形で新たな枠組みを得ることができ、これにより基本となる枠組みの要素と形を示すことができた。すなわち、要素として、1) 必ず S、T、E、M の活動を取り入れること、2) 活動の中に「調査方法のデザイン」を組み込むこと、3) 数・量・長さなどに意識が向く仕組みを取り入れることなどである。特に、プログラムの中に、「調査方法のデザイン」を行う場を取り入れたことで、子どもたちが自身の活動のデザインをしたため、どこに焦点を絞って工夫をするのか明確になった。このことにより、その後の活動が主体的でスムーズに運ぶことが明らかになった。技術の活用と算数・数学の活動の取入れにおいては、低学年では、結果をあいまいになりがちな言葉であらわすだけではなく、数値で表すことにより、比較することや考えることや活動の推進の手助けになることがわかった。さらに、4) ものづくりなど試行錯誤が生まれるような場をつくること、5) 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こと、6) 子どもたちが主体的に取り組んでみたくなるような必然性やストーリーを設定すること、7) プログラム開発者やプログラム実践者がどんな概念を学ぶのか、何を学ぶのか意識して活動を構成することの 7 つの要素である。

博物館においても、博物館ならではのプログラムとするために、基本的な要素を残しつつプログラムの内容やテーマ、流れを再考することで、博物館の現状と文脈に合致した枠組み（表 3）を作ることができた。この枠組みによるプログラムを実践することが、4 つの C の育成を促す方法であると考えている。

（5）おわりに

これまでの研究では STEM 教育化された 8 つの科学教育プログラム（本報告の博物館における実践では 3 プログラム）を開発実践することができ、教育の場ごとの文脈に沿ったプログラム開発の枠組みを示すことができたと同時に、4 つの C の育成を促す方法と意義を踏まえて、日本の文脈において具体的な STEM 教育の有り様を描くことができたと思う。

本報告においては、日本の小学生への教育とくに、小学校低学年へのインフォーマルな教育の場における科学教育への STEM 教育導入の可能性を示すことができた。その効果についても、4 つの C と I.M.（内在的モチベーション）に関して分析することで、学習指導要領によって明示された学習の方向性における 3 つの柱「何ができるようになるか」「何を学ぶか」「どのように学ぶか」について、STEM 教育におけるその実現の可能性と、学び方のスタイルを示唆することができた。

今後は、現在も進行している本プロジェクト「博物館における STEM 教育プログラムの開発と実践」を、継続的にアクション研究として展開していくことで、さらなる発見が期待できると考えている。そして、STEM 教育の導入の有効性をより明らかにできるのではないかと考えている。

以上のことから、STEM 教育への取組みについて以下のことを提案する。

1. 一つの学習活動プログラムの中で、S, T, E, M 各領域の活動を行うことを目指すだけでなく、技術の活用、数学・算数の活動を多層的に組み込むように意識する。

2. プログラムの一連の流れにおいて、工学的な手法で子どもたちの活動が深まるように試行錯誤の場やデザインを行う場を設定する。
3. 活動は基本的に少人数のグループで行う。しかし、グループ学習を行うだけでなく、一人で取り組むことやグループを超えて全体で取り組むことなど、文脈に対応したいくつかのスタイルを組み合わせで行う。
4. 取り扱うテーマと、領域を超えた大切な概念を意識してプログラムを作成する。
5. 子どもたちにとって、取り組んでみたくなるような必然性やストーリーを設定し、子どもたちが意欲的に取り組めるように工夫する。

上述した提案による取り組みが、これから多く実践され、成果が報告され知見が蓄積されることにより、科学教育における STEM 教育を、日本の文脈に適合した新たな領域横断的な教育として確立することができるのではないだろうかと考えるのである。

参考文献・引用文献

- National Research Council (2010). *Exploring the Intersection of Science Education and 21st Century Skills*, Washington, D.C.: National Academy Press.
- NSTA(2011). *Quality Science Education and 21st-Century Skills*, NSTA position Statement.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards for States by States*. Washington, D.C..
- Bybee, R. W. (2013). *TRANSLATING the NGSS for CLASSROOM INSTRUCTION*. VA: NSTE Press.
- NSTA(2013). *Next Generation Science Standards, NSTA position Statement*.
- National Research Council. (2015). *Guide to Implementing the Next Generation Science Standards*.
- Yager, R.E., and Brunkhorst, H. (Eds.). (2014). *Exemplary STEM Programs: Designs for Success*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Katz, L. G. (2010). *STEM in the Early Years, SEED Papers*.
<http://ecrp.illinois.edu/beyond/seed/katz.html>
- Vasques, J. A., Snider, C. C., and Comer, M. (2013). *STEM Lesson Essentials – Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics*, Heinemann.
- Roedel, D. (2015). *An Educator's Guide to the "Four Cs", Preparing 21st Century Students for a Global Society*. Washington DC: National Education Association.
<http://www.nea.org/tools/52217.htm>
- 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.
- Sneiderman, J.M. (2013). Engaging Children in STEM Education EARLY! Natural Start. *North America Environmental Education*.
- Lindeman, K. W. and Anderson, E. M. (2015) *Using Blocks to Develop 21st Century Skills*.

NAEYC, www.neayc.org/yc

Meagher, T. (2016) STEMify Your Teaching.

<http://www.slider.net/drtmeagher/msta-2016-stemify-your-teaching>

Sulaeman, N. F., and Kumano, Y. (2018) "Stemify" Energy Education in U.S and Its Possible Implication for Japan and Indonesia Context, *Proceedings of the 42nd Annual Meeting, Japan Society for Science Education*, 503 - 504.

文部科学省 (2017) H29 年度小・中学校新教育課程説明会 (中央説明会) における文科省説明資料, http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1396716.htm

文部科学省 (2005) 中央教育審議会答申 (平成 17 年 1 月 28 日) 「子どもを取り巻く環境の変化を踏まえた今後の幼児教育の在り方について」

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/siryu/attach/1401289.htm

文部科学省 (2006) 幼児教育振興アクションプログラム

http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/youchien/07121721/001.htm

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. *日本科学教育学会年会論文集* 41, 91-92.

坂田尚子・熊野善介. (2004) 幼稚園における科学教育の現状とこれからの展望 - 静岡大学附属幼稚園、静岡市アソカ幼稚園の事例を通して - *科学教育研究*, Vol.28 No.5 : 306 - 313.

坂田尚子・熊野善介, (2006) 幼児を対象とした科学教育アクティビティ作成のビジョンに関する研究, *科学教育研究*, Vol.30 No.1 : 3 - 13.

Sakata S, and Kumano Y., (2018). Attempting STEM Education in Informal Japanese Educational Facilities Through the Theme of "Sand", *K-12 STEM Education*, Vol.4 No.4: 401-411.

小谷卓也. (2010) 幼児期におけるプロセス志向探究型科学教育の研究動向— Science Process Skills による幼児期の科学教育の提案—, *教育福祉研究*, (36), 8-18.

月僧秀弥・稲垣裕介・早武真理子・伊佐公男・葛生伸・浅原雅浩. (2016) 幼児向け科学教育プログラムの開発とその評価の試み—ものの浮き沈みに関する実験を例として—, *科学教育研究*, 40(4), 325-333.

奥村仁一・熊野善介 (2017) エネルギー教育における STEM 教材を用いた実践的研究 - ソーラーオープンを利用したプロジェクト学習, *エネルギー教育研究*, 11(1), 35 - 43.

森健一郎・高橋弾・栢野彰秀 (2017) 小学校等中学校の連携を意識した指導事例とその評価 - STEM 教育の比 (proportion) の概念に着目して -, *北海道教育大学紀要 教育科学編*, 67(2), p 333 - 343.

松原憲治・高阪将人 (2017) 資質・能力の育成を重視する教科横断的な学習としての STEM 教育と問い, *科学教育研究*, 41(2), 150 - 160.

3.6 Professional Development for Pre-service Science Teacher Through Shizuoka STEM Academy

Nurul F. Sulaeman^{*1,2}, Yoshisuke Kumano^{*1},

^{*1} Dept of Science Education, Graduate School of Science Informatics and Technology
Shizuoka University, Japan

^{*2} Dept of Physics Education, Mulawarman University, Indonesia
^{*}nurulsulaeman@yahoo.com

Introduction

During Shizuoka STEM Academy project, the main purpose is to engage the students (5 to 13 grade) to STEM learning that was done as extra-curricular activity. Moreover, for the pre-service science teachers (PSTs) that involved in this project, the whole STEM academy activity is professional development (PD). In order to develop science teacher with sufficient understanding in real classroom teaching especially in STEM, teacher's candidates need more professional development (Gjedia and Gardiner, 2018). This activity facilitates teacher's candidate to be engaged in a process of discussion, modeling, practice, and reflection (Zhou, 2017). This research aims to discuss the steps of STEM academy become Shizuoka STEM PD for PSTs.

Methodology

This research was conducted through observation, group discussions and interviews. Participants for this research were 9 pre-service science teachers which 2 master students in science education and 7 undergraduate students in science education from Shizuoka University that held during September 2018 until February 2019.

Result and Discussions

STEM Stages and Shizuoka STEM Academy 1.5

The integration of STEM can be done in different ways as STEM 1.0 (single discipline), STEM 2.0 (two disciplines), STEM 3.0 (three disciplines) and STEM 4.0 (four disciplines) in creating the STEM curriculum (Bybee, 2013). All stages could be observed at Figure 1. For example, in a basic STEM 1.0 program, the disciplines would be taught independently; there would be a math class, a science class, engineering would be taught as a club after school, technology may be seen as a robotics competition.

Shizuoka STEM Academy was designed in two steps which were STEM 1.0 and STEM 1.5. The terminology of STEM 1.5 in Shizuoka STEM Academy means that in this stage our project tries to bridge from STEM 1.0 toward STEM 2.0. These crucial steps need more support from many sectors such as students, parents, school partner, senior teachers, researchers and pre-service science teachers.

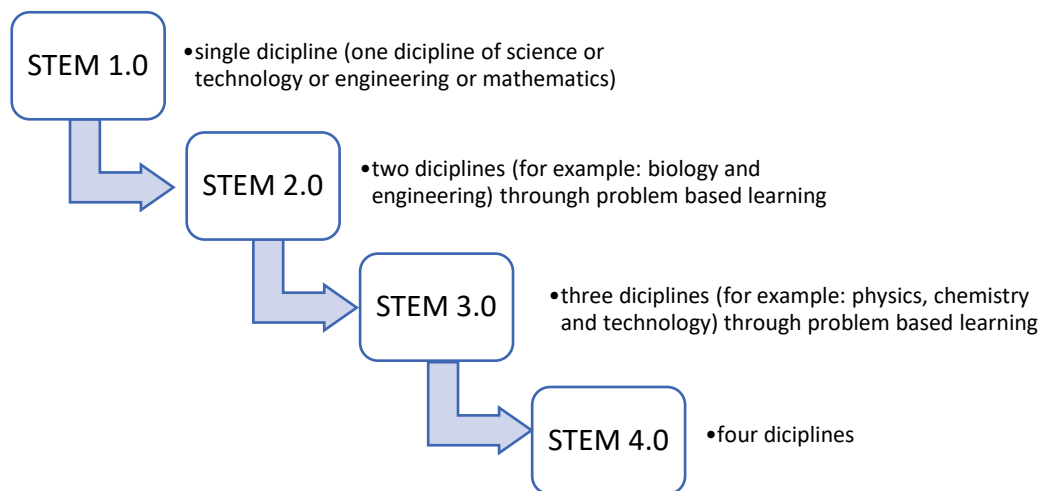


Figure 1. Stage in STEM Education
(Adopted from Bybee, 2013)

Shizuoka STEM Professional Development

During the around 6 month, 9 PSTs participated in this project with detail framework in Figure 2. Minimum requirement for participants were 3rd grade in science education undergraduate program that have taken courses related to STEM such as teaching methodology. During the process, one senior professor, one associate professor, one assistance professor and four Ph.D. candidates in science education were involved to develop this professional development. Moreover, three experts from Minnesota University were also invited to build comprehensive understanding about STEM and modelling STEM into real classroom situation. After involved in experts' sessions, PSTs collaborate to design STEM lesson Plan. For example, one of participant developed a STEM lesson that combined biology concept of ecosystem with new technology that used underwater camera drone. From the experience, PSTs also had opportunities to consider the learning situation such as safety issue when the learning process better to be outside class room. In the implementation, while one PSTs become a teacher for a session in Shizuoka STEM Academy, the other participants could observe and play a role as teachers' assistance.

Participants Perspective in STEM

From the interviews, the involvement of PSTs in Shizuoka STEM Academy was highly influence PSTs perspective about STEM. Comparing with their initial perspective about STEM that more theoretically, their perspective about STEM education has been increased. In general, this project has great potential to develop as professional development project especially for PSTs. Due to the limited STEM Academy lesson that only 4 session per month, participants did not get many opportunities to practice and take turn as teacher or assistance teachers.

During this activity, 3 PST participants that 4th grade undergraduate students also develop their own STEM learning activity in real school context as their thesis research. This additional activity become another evidence that the Shizuoka STEM professional development is beneficial for the participants.

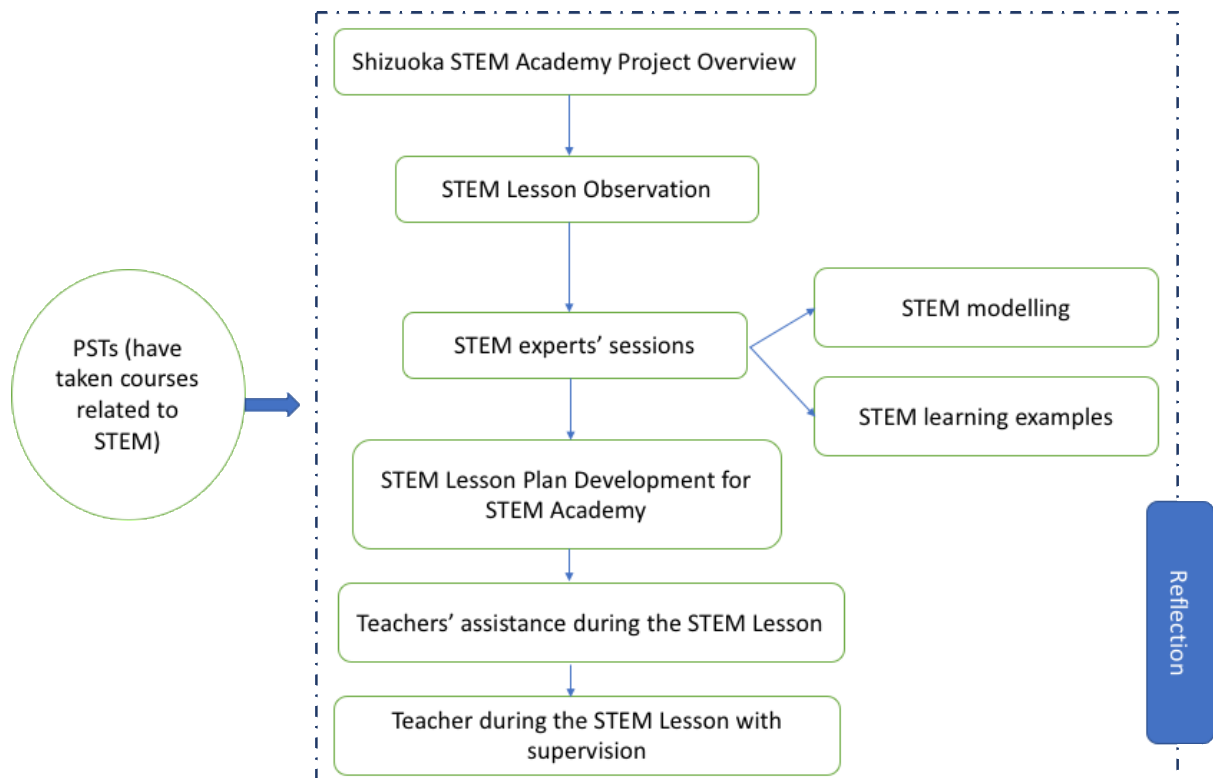


Figure 2. Shizuoka STEM Professional Development

Conclusion

Beside students, PSTs that participate in Shizuoka STEM Academy received valuable insight to increase their knowledge and skill related to STEM Education. The steps of STEM academy become Shizuoka STEM PD for PSTs consist of 6 steps that include program overview, STEM modelling, STEM practice and reflection.

References

- Bybee, R. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. US: NSTA Press.
- Gjedia, R., Gardinier, M. P. (2018). Mentoring and teachers' professional development in Albania. *European Journal of Education Research, Development and Policy*.
- Zhou, G. (2017). Developing Pre-service Teachers' Capacity in Teaching Science with Technology through Microteaching Lesson Study Approach. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 13 (1).

「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
- あとがき -

研究協力者 興 直孝

1. 3年間の研究活動が成功裡に終了

熊野先生の強い研究意欲と遂行の意志、そしてこの研究に参加した方々の熱意溢れる取組により、米国がSTEM教育にかける背景と取組の数々が明らかになってきたこと、同時に連邦政府に呼応しての各州の具体的な取組が顕在化してきたことを先ず、研究成果としてあげておきたい。更に、これらの研究成果を背景に、我が国の教育取組の実践研究を通し、その後の我が国及び地方庁における教育コミュニティに重要なインパクトを齎せてきたと考えている。ミネソタ大学STEM教育センターとの協働取組みとして、静岡県下における初等中等教育における研究成果の教育実践や高等教育段階における教師教育等の取組は高く評価したい。

2. 個別の研究活動の実践を概観

○ 連邦政府の取組の実態を明らかにすることを一義的に捉え、そして、STEM教育を州全体としてまた州内の教育機関として積極的な活動を行っているミネソタ州政府、ミネソタ州立大学STEM教育センターを中心に、併せて、積極的な取組の見えるワシントン及びアイオワ州を選んで、現地の調査研究を行い、STEM教育の手法の深化を探る努力を継続的に実施してきた。

○ 米国の前政権のSTEM教育取組には、当初トランプ政権の取組に懸念が指摘されていたが、幸い、強い国家を標榜する姿勢から、STEM教育政策への姿勢も前政権と変わらぬものとなったこと、そして、「アメリカの安全保障のための21世紀における科学とイノベーション戦略」（2016年5月）と「STEM教育のためのアメリカの戦略：成功に導く進路」（2018年12月）を打ち出し、これらを梃に、強い米国を象徴する取組が行われていること、また、2017年1月の、「アメリカのイノベーションと競争力向上法」をもとに、数多くのイノベーションを生み出すためのSTEM教育の推進とSTEM分野の基礎的な研究の強靱化に関する国家としての取組を明確にしたこと、更には、これらに基づく各州の取組などから、米国としての取組の実態が明らかになってきている。

○ 研究分担者の方々からは、米国の連邦政府更にはミネソタ州はじめ3州等の調査研究を、理科、数学、環境、科学教育や幼稚園教育など多数分野にわたり、着実に実践の成果を積み重ね、これらをもとに、教育の場において着実に成果を上げることが出来たこと、そして、静岡大学創造科学技術大学院のみならず、ミネソタ州立大学やタイ国カセサート大学との協働研究や教育取組みにより、STEM教育人材の輩出に貢献したこと等、そうした成果の列挙には事欠かない。

3. 本基盤研究 (B) の課題と今後の STEM 教育研究に向けた期待

我が国にあつては、科学技術イノベーションの推進とその発展に、国の将来を託そうと、「Society5.0」の政策が打ち出されている状況にあり、長く科学技術政策に関わつて来た私としては、今回の取組に研究参加した研究者の方々から、研究の完了を迎えるに当たり、我が国の国家戦略の実現のための次世代に託した課題は何だったのかを、直截的に聞きしたい思いがある。

米国が国家競争力法に基づき、国家として国際的競争力を維持し発展させる趣を持つての STEM 教育に取組んできたこと、そしてそうした取組みの結果、教育コミュニティだけではなく、米国社会全体として、どのような変化が生じて来たのかについて明らかにすることは、決定的に必要な事と考えている。同時に、国家として、示すべき規範は十分なのか、他方、各州政府としての取組の実践を見極める上では、ミネソタ州はじめ3州だけで十分であったのか、必要な州は落ちていなかったのか、そうした状況の下であつて、米国のSTEM教育に対する取組を見極めることが出来たのかという疑問が残った。少なくとも、我が国の「Society5.0」に応えられる人材育成を視野に捉えた教育実践を図る上で、現在の指導要領体系に大幅な見直しが必要なのかどうかについての知見を、出して頂きたかった。そうした意味で、研究活動は、道半ばではないかと思料している。

このため、ここまでの研究成果を基に、「Society5.0 に応える日本型 STEM 教育改革」に対する研究を、一層深化させる努力を払って頂きたいと強く申し上げて、激励の言葉をお送りしたい。近いうちに我が国の教育改革の中核をなす柱が打ち出されることを期待しておきたい。

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)】研究成果最終報告書

(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

令和元 年 6 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