

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03201

研究課題名(和文)小・中学校理科における「ものづくり」の指導方略の洗練化に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Refining Teaching Strategies for "Engineering" in Elementary and Junior High School Science

研究代表者

人見 久城 (Hitomi, Hisaki)

宇都宮大学・共同教育学部・教授

研究者番号：10218729

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：アメリカのボストン科学館で開発されたSTEAM教育プログラム(Engineering is Elementary, Engineering the Future)の単元構成や指導方法の特徴を分析した。特徴として、エンジニアリング・デザインの過程を学習の基盤に置き、その過程そのものの理解を目指すように設計されていること、科学、数学等にかかわる知識は、テーマにかかわる問題解決の中で随時学習するようになっていること、の2点を指摘した。また、STEAM教育の動向をもとに「統合」概念について考察し、「統合」の度合いは学習の成果として獲得が期待され、カリキュラム構成上も重要な概念であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アメリカのSTEAM教育に沿った科学教育プログラムにおいて、基礎・基本の理解から応用へ向かう日本の理科カリキュラムとは異なる考え方に沿った学習単元の構成やものづくり活動が設計され、成果を挙げつつあることが確認された。日本の理科のものづくり活動とSTEAM教育との共通性や親和性を整理することは、日本の理科のものづくり活動が、探究型へ転換する上で有効な手がかりになり、ものづくり活動の指導方略を洗練化に寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The characteristics of unit structures and teaching methods of two STEAM education programs (Engineering is Elementary and Engineering the Future) developed at the Boston Museum of Science in the United States were analyzed. Two characteristics were pointed out that 1) the Engineering Design Process is the basis of learning, and it is designed to aim for understanding of the process itself, and 2) knowledge related to science and mathematics are learned as needed while solving problems related to the theme. The concept of "Integration" based on the trend of STEAM education was considered. It was confirmed that the level of "Integration" is expected to be acquired as an outcome of learning and is an important concept in curriculum structure.

研究分野：理科教育学

キーワード：理科教育 小学校理科 中学校理科 ものづくり

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

理科における従来のものづくり活動はいわば検証型であった。これからのものづくりでは、検証型に加えて、探究型ものづくりの展開も期待される。探究型ものづくりとは、問題解決のために科学的原理を適用させることを大事にしながら、プロセスを大切にしようとするものづくり活動である。それは、例えば、教師から提示されたり、自身で見いだしたりした仮想的な課題を解決するために、学習者自身が模型を製作し、製作物の中に科学的原理が応用されている箇所を確認したりすることを、ものづくり活動のねらいと位置づけることである。世界で隆盛を見せる STEAM (スチーム; Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) 教育には、自然科学に関する学習の中に工学的手法を導入して統合的に学習することが特徴の一つとなっている。工学的手法とは「エンジニアリング・デザイン」の活用である。具体的には、課題の解決のために問題を見だし、細分化し、最適解を探すなどのプロセスが重視されている。この点において、日本で展開が期待される探究型ものづくりのねらいと、エンジニアリング・デザインでめざす考え方には、共通性が認められる。しかしながら、エンジニアリング・デザインの過程に沿ったものづくり活動として何を取り上げればよいのか、どのような指導方法を用いればよいのかについて、必ずしも明確な答えは提出されていなかった。本研究は、これらの答えを導くための基礎となる知見を得るために、STEAM 教育に見られる特徴を分析するとともに、授業実践を通じた検証を進め、理科におけるものづくり活動の充実に資する知見を得るために進められた。

2. 研究の目的

- (1) STEAM 教育において鍵となる考え方を抽出し、STEAM 教育に沿って開発された科学プログラムの単元構成や指導方略の特徴を分析して、日本の理科におけるものづくり活動の指導方略の見直しに期待される知見を明らかにする。
- (2) エンジニアリング・デザインの過程に沿ったものづくり活動を展開するための教材や指導案等を検討し、日本の理科授業として実践し、その効果を検証する。
- (3) エンジニアリング・デザインの過程に沿ったものづくり活動を展開する上で懸念される問題の扱いについて検討し、ものづくり活動の指導方略の洗練化のための示唆をまとめる。

3. 研究の方法

上述の目的に対して、次のように進めた。

- (1) STEAM 教育の近年の動向から鍵となる考え方を抽出し、STEAM 教育の特徴を把握した。また、STEAM 教育に沿って開発されたアメリカの科学プログラムに注目し、その単元構成や指導方略の特徴を分析した。
- (2) エンジニアリング・デザインの過程に沿ったものづくり活動を展開するための教材や指導案等を検討した。日本の中学校理科「天体」領域を事例として授業実践をおこない、その教育的効果を検証した。
- (3) エンジニアリング・デザインの過程に沿ったものづくり活動を展開する上で検討すべき問題点として、展開の場、カリキュラム・オーバーロードとの関係などについて論じ、ものづくり活動の指導方略の洗練化のための示唆をまとめた。

4. 研究成果

上の各方法によって得られたおもな成果は、次のようになる。

- (1) STEAM 教育の動向の分析と科学プログラムの特徴の分析 [人見 (2023a) から抜粋] 鍵となる考え方の抽出

Hunter (2021) は、STEAM 教育に関して根本的な問いを投げかけている。挙げられた問いとは、次のようなものである。

○STEM ディシプリン (教科) を合わせて教えることに、どのような意味があるのか。

○実践は、transdisciplinary か interdisciplinary か、multidisciplinary か。

○STEM ディシプリンに対して、教師の指導力と自信をどのように高められるか？

ディシプリンと実践の構想のしかた、教師教育に関する視点などを示しており、STEAM 教育の視程や拡張範囲を見極める上で手掛かりになるものである。これらは、理科のものづくり活動において、教材選択や指導方略の見直しをする上で有用であると考えられる。

「統合」(インテグレーション) の特質

STEAM 教育は、その頭文字に代表される複数の教科にかかわって、学習内容や学習方法を検討しなければならない。その際、「統合」に関する考察は重要であると考えられる。松原・高阪 (2017) は、STEAM 教育の中で教科横断的な視点を掘り上げる上で、統合の度合い (level of Integration) に注目している。そこに見られるアプローチは、STEAM 教育の実践において重要な意味をもつ。それは、「学習の成果として学習者に獲得を期待することは何か」を焦点化すること、および「それに必要な学習コンテンツはどのようなものか」というという 2 つの問いに対する答えを明確にすることであり、取りも直さず、カリキュラムを構成する上で重要な点だからである。

一方で、「統合」に対する批判も提出されている。「統合」を STEAM 教育の推進において重要だと考える場合、学習効果を確認しなければ、その学習の意味や推進の是非が問われてしま

う。例えば、Mason (1996) は、科学と数学との関連から、「統合」における不用意な知識の付与について懸念を示している。「数学の学習内容は系統的になっているが、統合の実践で数学的知識や概念を断片的に付与することは、もし前提となる知識やスキルを持ち合わせていない場合、学習者を困惑させる」と指摘し、「不用意な知識や概念の付与は、学習内容と学習者の適切な理解との間にギャップを生じさせる恐れがある」と警鐘を鳴らしている。

アメリカの科学プログラムに見られる特徴 [人見 (2023b, 2023c) から抜粋]

STEAM 教育が活発に展開されている州の一つであるマサチューセッツ州に位置するボストン科学館は、同州の STEAM 教育の拠点の一つである。同館で開発された STEAM 教育プログラムの特徴を分析した。

(a) 初等教育段階のプログラム

小学校第 1~5 学年を対象とした Engineering is Elementary (以下、EiE と略記) がある。エンジニアリングに関するリテラシーの育成をおもなねらいとし、小学校理科のトピックとの関連を視野に入れた学習内容が用意されている。EiE では、宇宙・地球科学、生命科学、物質科学にかかわる 20 種類の単元が開発されている。個々の単元では共通の学習指導過程が示されている。次世代科学教育スタンダード (NGSS Lead States, 2013) の公表後、EiE はその内容と同スタンダードとの整合性の確保について各種資料で示している。

EiE では、5 つの学習指導過程が示されている。それらは次のとおりである。

- 予備段階； エンジニアリングやテクノロジーの意味を解説する。
- エンジニアリングに関するストーリーの提供； いろいろな物語を読み聞かせ、場面を想像させる。
- エンジニアリングの想起； 体験活動を通して、エンジニアリングがかかわる場面を想起させる。
- エンジニアリング・デザインとデータ収集； 実験結果を数値で表すなど、科学、数学、エンジニアリングの関連に気付かせる。
- エンジニアリング・デザインの適用； エンジニアリング・デザインの 5 つの過程（問う、考える、計画する、作る、改善する）に沿った活動をおこなう。

工的手法の一つであるエンジニアリング・デザインとは、社会的なニーズに対して様々な知識やスキルを結合させて活用する方法を指し、「問題の特定、複数解の提案、最適化」という過程で示されている。過程を細分化すると、「問題を見出す、調べる、アイデアを提案する、モデルを作る、実験で試行する、改善する」などになる (NGSS Lead States, 2013)。STEAM 教育はすぐれて応用的な理科学習になることから、エンジニアリング・デザインが活用されている。エンジニアリング・デザインでは、課題の解決のための過程をたどり、その過程の意味を理解することなどが重視されている。この点において、探究型のものづくり活動のねらいは、エンジニアリング・デザインで目指す考え方と共通していると考えられる。

(b) 中等教育段階のプログラム

第 9~12 学年 (高等学校) を対象とした Engineering the Future (以下、EtF と略記) がある。EtF のおもなねらいは、生徒がテクノロジーに関するリテラシーを獲得することで、科学、数学、テクノロジー、エンジニアリングの関連について理解することをおもな目標としている (Sneider, 2015)。EtF は、4 つの単元 (生活の中の最適化； Jump Into Engineering, 建物の設計； Design a Green Building, 蒸気船； Patent your Vehicle Design, 電気と通信； Design with Light and Sound) で構成されている。

EtF は、エンジニアリング・デザインの過程を学習の基盤に置き、その過程そのものの理解を目指すように設計されている。そして、それに適する事例やトピックが学習内容として選定されている。科学、数学等にかかわる知識は、テーマにかかわる問題解決の中で随時学習するようになっている。例えば、蒸気船の模型設計の中で、水と空気の性質を学ぶ必要性が提示され、それらの性質の学習をするような流れとなっている。基礎・基本の理解から応用へ向かう日本の理科の単元構成とは異なる考え方を見ることができる。EtF は STEAM 教育に沿うプログラムとして開発されたが、学習の流れは基礎的内容から実社会への応用というのではなく、応用から基礎的内容へと向かうアプローチに立脚している。

(2) エンジニアリング・デザインの過程に沿ったものづくり活動を導入した授業の実践と効果の検証 [小林, 人見 (2024) から抜粋]

中学校理科「天体」領域を事例として、教材を生徒自身がモデルを製作する過程を導入した学習活動を展開し、その教育的効果を検証した。天体の学習を実生活との結びつきでとらえて考える学習を導入することで、実生活における問題の解決を指向する意味で、STEAM 教育に沿うものと考えられた。

単元の構成とものづくり活動

中学校第 3 学年理科「天体の動きと地球の自転・公転」単元ではモデルを活用し、星の動き

に関しての理解を深めていく活動がある。理科授業でモデルを用いる際、理科の学習内容と技術（Technology，以下「T」と略記）の要素が繋がっていることを知らせることができる。モデルの再現性や限界にも触れることで、モデルを使って探究することへの理解を深めることも期待できる。授業（3校時分）の概略を次に述べる。

・第1時「星の日周運動」

目標は、「モデルを使って、星がどのように動くかを考えよう」とした。はじめに、星や星座に関して持つイメージを生徒から自由に挙げさせ、プラネタリウムなどを想定して天球について説明した。この時、モデルの意味を説明し、モデルで再現できる部分や限界を説明した。その後、太陽の日周運動と関連させ、東から西に向かって移動していくことをおさえた。次に、丸底フラスコを用いた天球モデルを用意し、各方位の空で星がどのように動くかについて、観察をおこなわせた。フラスコ内には青色の水（重曹水溶液をBTB溶液で色付けしたもの）を入れ、ゴム栓をした。丸底フラスコの外側の球面に、油性ペンで星の位置を描き、斜めにした丸底フラスコの首方向を軸として回すことで、星の動きを観察できるようにした。日光東照宮（栃木県日光市）の背景に広がる北の夜空の写真を提示し、写真がどのように撮られたものなのかを考えさせた。丸底フラスコを使ったモデル実験により、星の動きを生徒が解明できるように配慮した。最後に、各方位の空について確認し、星の日周運動についてまとめた。日光東照宮と江戸の位置関係も取り上げ、方位と日周運動についての深い理解を目指した。本時でのモデルの活用は、技術（T）との関連を指向した。

・第2時「四季の星座の移り変わり」

目標は、「季節によって見える星座が変わる理由を、地球の動きから考えよう」とした。はじめに、星や星座の名前について知っていることを挙げさせ、小学校理科で学んだ夏の三大角、冬の三大角に触れ、季節に注目させながら学習に入った。次に、誕生日にかかわる十二星座を扱い、理科室内で生徒を誕生日の順に円に並び立たせ、十二星座の位置や黄道について説明した。その後、モデル実験に移った。DVDのディスクの中央に紙粘土で作った太陽の模型を置き、周辺部に地球の模型を置いた。ディスクを回転させることで地球の公転を再現し、四季との関係で、4つの星座を取り上げ、それらの星座カードをディスクの周囲に立て、それぞれの四季で真夜中の南の空に見える星座について考えさせた。本時でもモデルを活用しており、技術（T）との関連を指向した。

・第3時「星の日周運動と年周運動」

目標は「学んだことを生かして、星や星座の動きから状況を推測しよう」とした。ねらいは、星座早見盤を使って、季節や時刻から星座の位置や方位を推測し表現すること、昔や現代の天体観測について知り、星や星座の観測に対して興味を持つこと、の2点であった。前時までの復習をおこない、本時の題材である「ホクレア」の航海術を取り上げた。ホクレアとは、古代に南太平洋地域の島々とハワイ諸島を結ぶ長距離航海で使われたカヌーの名前である。ホクレアによる航海では、星座の位置が重要な手がかりになっていたことを説明した。生徒全員が星座早見盤を製作し、それを使って航海するという設定で教師が提示した課題に取り組みさせた。課題とは「航海している途中、船が故障し、一刻も早く港に戻らなければならない状況の中で、真夜中にどのように方位を知るか」というもので、どの方位にどのような星座があるかを考え、星座の見える位置から方位や方角を知ることを行なった。第3時では、工学（Engineering，以下「E」と略記）と科学（Science，以下「S」と略記）、工学（E）と技術（T）の関連を意識した。工学（E）にかかわる場面では、ものづくりとして星座早見盤の製作を入れた。星座早見盤を使い、昔の航海で用いられていた技法を疑似的に体験するためである。この活動での留意点は、星の見える季節や時刻が分かるといった星座早見盤のもつ可能性を技術（T）の視点でとらえさせること、見える星座の変化と季節を関連させて理解するといった科学（S）の資質・能力につなげること、の2つであった。

授業は2023年12月に、栃木県内の公立中学校第3学年生徒93名を対象として実践された。効果の検証方法として、ワークシートへの記述や事前・事後調査などから、学習者の理解の深まりなどを分析した。現代的な資質・能力に関する調査項目に関する事前・事後の回答の比較で、「現代的な課題と理科の学習は関わっていると思う」「疑問や不思議に感じたことは調べたいと思う」で有意差があり、「問題が見つければ自ら積極的に解決したいと思う」「問題の解決にコミュニケーションは大切だと思う」では有意差は見られなかった。本実践の効果として、以下の点が指摘された。

(3) 検討すべき問題点

(a) ものづくり活動の展開の場

STEAM教育では、教科とのつながりが強いものからそうではないものまで様々である。日

本の学校の教育課程の実情を考慮すれば、教科の学習内容に依拠した STEAM 教育の方が実践の可能性が高まると考えられる。ものづくり活動の展開についても同様である。プロジェクト型学習を構想し、はじめから多くの教科の学習内容をつなげようと意識し過ぎたものづくり活動を構想すると、焦点化がむずかしくなる。ものづくり活動のねらいと、成果として学習者に何を期待するのかという点を十分に検討することが重要であると考えられる。

(b) カリキュラム・オーバーロードへの懸念

STEAM 教育では、複数のディシプリンを視野に入れたテーマやトピックを扱う。その際、学習内容の選定において、その基になるディシプリンからの選択を適切におこなわないと、従来のディシプリン型の教科学習に比べて、学習内容が増えてしまうことが懸念される。それは学習者と教師の双方への負担増につながり、カリキュラム・オーバーロードという問題として顕在化してくる。白井(2020)は、OECD の Education 2030 に関する論考の中で、カリキュラム・オーバーロードへの対応策について、6 つのアプローチを挙げている。その中に、「学習テーマを実社会・実生活上の様々な課題に結びつけることで、より少ないコンテンツであっても、様々なことを学ぶことができるようにする取り組みがある。」というものがある。STEAM 教育に沿ったものづくり活動を導入する際も、このアプローチを念頭におき、コンテンツ(学習内容)をいかに適切に設定するかが鍵になると考えられる。

最後に本研究の意味を再確認してまとめとする。日本の理科におけるものづくり活動を、STEAM 教育に沿うものとして位置づけていくことは、検証型ものづくりから探究型ものづくりへの転換を促し、学習の成果として獲得が期待される事柄にも変化を与えるであろう。探究型ものづくりは、学習者全員の成果が同じではなく、個々に異なってもよいとする指導観に立つ。学校の理科授業における指導観としては異質に受けとめられる可能性もある。しかしながら、ものづくり活動の原点である「学習者の自由な発想に立つてもの(物)を作る」という考え方に立ち返れば、ものづくり活動は探究型であるべきである。日本の理科授業に STEAM 教育に沿ったものづくり活動が導入され充実することは、探究型ものづくりの広がりという意味すると考えられる。本研究の知見は探究型ものづくり活動の広がりにも寄与するものと考えられる。

<引用文献>

- Bunn, J., Pulis, L. C., Ravel, M. K., Sneider, C. I. (2019): Engineering the Future Teacher Guide, Museum of Science, Boston.
- 人見久城(2023a): STEM/STEAM 教育の推進を考える上での視点の整理, 日本科学教育学会第 47 回年会論文集, pp.3-4.
- 人見久城(2023b): アメリカ・ボストン科学館で開発された STEM 教育プログラムの事例 - プログラムの概要とカリキュラム・オーバーロードへのコメント -, 日本科学教育学会第 47 回年会論文集, pp.163-164.
- 人見久城(2023c): ボストン科学館の科学教育プログラム Engineering the Future の特徴, 日本理科教育学会第 62 回関東支部大会論文集, p.71.
- 人見久城(2024): STEAM 教育とどう向き合うか, 中学校教育フォーラム(大日本図書), No.67, pp.4-9.
- Hunter, J. (2021): High Possibility STEM Classrooms; Integrated STEM Learning in Research and Practice, 35, Routledge.
- 小林駿平, 人見久城(2024): STEAM 教育を指向した中学校理科の授業の実践 - ものづくり活動やモデリングとの親和性に関する一考察 -, 日本科学教育学会第 48 回年会論文集(投稿済, ページ未定).
- Mason, T.C. (1996): Integrated curricula: Potentials and problems, Journal of Teacher Education, 47(4), 263-270. [Czerniak, (2007) から再引用]
- 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 STEAM 教育と問い, 科学教育研究, 41(2), 150-160.
- NGSS Lead States (2013): Next Generation Science Standards For States, By States, National Academy Press.
- 白井俊(2020): OECD Education 2030 プロジェクトが描く教育の未来 - エージェンシー, 資質・能力とカリキュラム -, p.216, ミネルヴァ書房.
- Sneider, C. I. (2015): Engineering the Future, Science, Technology, and the Design Process, In Sneider, C. I., The Go-To Guide for ENGINEERING CURRICULA Grades 9-12 Choosing and Using the Best Instructional Materials for Your Students, pp.57-89, Corwin.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 人見 久城	4. 巻 72
2. 論文標題 理科における自由研究を支援する上で考えたいこと	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 理科の教育（日本理科教育学会）	6. 最初と最後の頁 5-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 人見 久城	4. 巻 67
2. 論文標題 STEAM教育とどう向き合うか	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 中学校教育フォーラム（大日本図書）	6. 最初と最後の頁 4-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 人見 久城
2. 発表標題 「主体的に学習に取り組む態度」の評価に関わる論点の整理
3. 学会等名 日本科学教育学会第46回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 人見久城
2. 発表標題 理科教育の立場から日本発STEAM教育と小学校コンピューティング教育に関する考察
3. 学会等名 日本科学教育学会第45回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 人見久城
2. 発表標題 エンジニアリング・デザインの視点とそれを導入した理科学習の事例
3. 学会等名 日本科学教育学会第44回年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 人見 久城
2. 発表標題 STEM/STEAM教育の推進を考える上での視点の整理
3. 学会等名 日本科学教育学会第47回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 人見 久城
2. 発表標題 アメリカ・ボストン科学館で開発されたSTEM教育プログラムの事例 - プログラムの概要とカリキュラム・オーバーロードへのコメント -
3. 学会等名 日本科学教育学会第47回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 人見 久城
2. 発表標題 ボストン科学館の科学教育プログラムEngineering the Future の特徴
3. 学会等名 日本理科教育学会第62回関東支部大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 人見 久城, 小林 駿平
2. 発表標題 STEAM 教育を指向した中学校理科の授業の実践 - ものづくり活動やモデリングとの親和性に関する一考察 -
3. 学会等名 日本科学教育学会第47回年会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 片平克弘, 木下博義, ほか34名	4. 発行年 2021年
2. 出版社 協同出版社	5. 総ページ数 262
3. 書名 新・教職課程演習 第14巻 初等理科教育	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------