中学校の各教科の時間における低・中統合度 STEM の効果の検証

小島　一生　高度教職開発コース　教科授業力高度化プログラム

キーワード：STEM 教育　STEAM 教育　統合度　中学校　理科　技術科

１．問題の所在と研究の目的

現代的な諸問題を解決する力を育む手だてとして，STEM 教育が注目されている[1)]。しかし，国内の STEM 教育実践（以下，STEM）を散見すると，教科の時間での実践例は少ない。私自身も，これまで総合的な学習の時間での STEM について研究を行ってきた。生徒が自ら創造的に多様な問題解決が行えた他，理数教科に対する興味関心や職業観について有意な変化が確認できた一方，評価の難しさや教科の学びとの連携の困難さが課題であった[2)]。また，総合的な学習の時間は，運用方法は学校ごとに異なるため一般化が難しい。

より広く，一般的に STEM を行うために，日々の授業に STEM を取り入れたい。そこで教科の授業での実践できる可能性が高い，統合度が低い STEM（Thematic，以下低統合度 STEM），あるいは中程度の統合度をもつ STEM（Interdisciplinary，以下中統合度 STEM）に着目した。ここでいう STEM の統合度とは，構成する 4 つの学問分野の関連付けの程度を表し，Vasquez が示す統合の水準[3)]よる分類に基づく。本研究は，より広くより容易に STEM 実践が行えるようになることを目指し，低・中統合度 STEM の授業化を行い，その効果を検証し，これらの STEM の特徴を整理することを目的として行った。

２．研究の方法

研究は，①低・中統合度の STEM 実践の開発，②公立学校に在籍する中学 3 年生を対象とした理科や技術・家庭科技術分野（以下技術科）の時間での授業を実践，③STEM を構成する各教科や問題解決に対する意識に関する質問紙による意識調査と記述の分析による効果の検証，の３つのステップで行った。2021 年度に行った調査では，③において，研究の過程で開発した STEM 関連教科に関する意識尺度[4)]を用いた効果の検証も行った。

３．実践内容

3.1 低統合度の STEM 実践

STEM の内容と工学的思想を統合する方法には，文脈統合（context integration）と内容統合（content integration）の 2 種類がある[5)]。統合の度合いは，この 2 軸によってコントロールされる。そこで，低統合度 STEM として，理科の力の合成の単元で，技術科の材料と加工の題材として行われることが多いブリッジコンテストを行う実践を計画した。

「これまでの学びを生かし，紙を使って，できるだけ強度が高い橋をつくる」ことを課

題とすることで，文脈統合の視点としては，紙の形状の最適化に絞り，内容統合の観点としては，力学と材料工学という狭い範囲の統合とした。

コンテストは図 1 のように B4 の用紙を切ったり折ったりして強度を上げ，橋の中心においたコップにどれだけの重りを乗せられるかを個人ごと競うというルールで行った。これまで発想の多様性の認識する機会として行われることが多かったブリッジコンテストだが，今回は，内容の理解を深化させ，世の中への応用に視点を広げることを目的に行った。

2020 年 9 月，3 年生 30 名を対象に授業を行った。最初に前時の内容を確認したところ，全員が分力の作図を正しく書いた。一方で，大地震に耐えうる明石海峡大橋の橋脚はなぜ高いのか問い，記述を求めたところ，2 名が「上向きの合力が強くなるから」と回答し，15 名が「支えるため」などの抽象的な回答を，13 名の生徒が無回答であった。ブリッジコンテストでは，多く生徒が，紙を蛇腹に折ったり，端を折り返したりし，最も多い生徒で 13 個の単三電池を乗せることができた。授業の振り返りでは，「三角形がたくさんある構造は上向きの合力が大きくなるから強い」等，合力を大きくする方法について記述した生徒が 19 名，「折り返すことで紙が丈夫になる」等の紙の強度について記述が 8 名，「明石海峡大橋は，橋脚とワイヤーで三角形を作っている」等世の中との関連について記述が 2 名で，その他の 1 名を合わせ，全員が回答した。

3.2 中統合度の STEM 実践①

指導要領の改訂により，技術科の学習内容に加わった「統合的な問題の解決」の題材の一環として，近隣の小学校からの依頼を受ける場面を設え，小学生が理科の時間に用いるコンデンサ教材（図 2）を製作する授業を計画した。「小学生のための理科教材の製作」という条件を設定することで，根拠をもって工業的な最適化が行える。また，課題解決の中では構造や電気の他，認識のしやすさ等，比較的多面的な学問領域にふれるため，単一の教科内で比較的高い統合度の STEM が行えるのではないかと考え，授業設計を行った。

2020 年 12 月，3 年生 30 名を対象に授業を行った。小学校教諭が生徒に教材を発注することからスタートし，小学生になりきって授業をシュミレーションした上で教材に必要な機能を検討し，製作を行った。製作は，ケースや端子を 3DCAD でデザインし，3D プリンターで出力するチームと，基盤に必要な電子部品を配置し，配線するチームにわかれ

図 1　ブリッジコンテストの様子

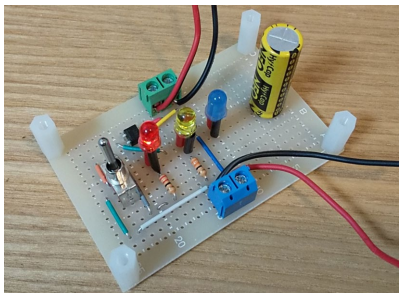

図 2　充電教材の基盤

表１　STEM 関連教科に関する意識尺度いた事前、事後調査の結果の比較

項目	事前				事後				p	
	Mean	SD	肯定群	否定群	Mean	SD	肯定群	否定群		
問題解決力の自己認識	2.986	1.070	107	67	3.086	1.108	117	57	0.314	n.s.
技術的問題解決への関心	3.741	0.901	35	81	3.897	1.003	48	68	0.078	＋
科学的問題解決への関心	3.299	1.057	87	87	3.500	1.076	103	71	0.087	＋
数学的問題解決の関心	3.207	1.041	49	38	3.321	1.077	50	37	1.000	n.s.
				n=29				n=29	$^{+}p<.10$	

て行った。これまでの技術科の授業で培ってきた「相手意識」を課題解決の手がかりとし，「端子をわかりやすくする」等の形状についての工夫,「電気がどれだけたまっているのかわかるようにする」等回路についての工夫等，多岐にわたるアイディアを１人１つ以上出した。授業の振り返りでは，21％の生徒が「小学生の願いを適えるためには回路や LED の知識が必要である」等，教科の学びの重要性について言及した。また，卒業前のわずかな時間も惜しんで理科室を訪れ，教材の完成に向けて勤しむ生徒たちの姿も見られた。

3.3 中統合度の STEM 実践②

技術の統合的な問題以外の場面でも教科内で, 中統合度の STEM が行えないかを検証した。松原，高阪(2017)は，中程度の STEM において，特に育成する資質・能力は教科等を横断する概念や汎用的スキル [6]だとしている。 STEM の概念に対して，米国の NGSS は“7 つの横断的な概念“[7]を提唱している。日本の学習内容にも応用が可能で, 高橋（2020）は，この概念を用いた理科の授業実践を報告している [8]。これに倣い，理科の「化学変化とイオン」において，水溶液を使った電池のしくみを学習した後,「身近なもので実用的な乾電池をつくろう」という題材設定を行った。

2021 年 5 月，3 年生 29 名を対象に実践を行った。電池づくりを進める中で，水溶液の代わりに小麦粉に食塩水等の電解質を練りこんで，電圧を発生させるグループが現れた。また，そのような追究の手がかりを共有する中で，電解質の種類や濃度は電池の性能に影響するのか，休み時間を惜しんで工夫をする生徒が現れた。一方で，金属の粉末を練りこみ，起電圧を下げてしまう等，見通しが持てずに追究を終えてしまう生徒もいた。

授業の前後で STEM 関連教科に関する意識尺度を用いた 5 件法による質問紙調査を行い，因子ごとに肯定群（4,5），否定群(1,2,3)にわけてフィッシャーの正確確率検定を行った（事前、事後共に n=29）。その結果,「技術的問題解決への関心」,「科学的問題解決への関心」の 2 つの因子において有意な傾向にある示唆を得た。（表１）。また，知識の定着について，乾電池づくりを経験しない他のクラスと定期テストの結果を比較しても差は見られなかった。一方で, 単元後, 今ある電池の課題を挙げて未来の電池を考えるよう問い，記述を求めたところ，27 名（欠席 3 名）中 20 名が「電圧が大きいが軽い電池が作れるように，材料を軽くしたり，凝縮したりして小型のものをつくる」等の提案をした。

４．考察

実践の結果, 低･中統合度の STEM が教科の時間内でも実践可能であることがわかった。また, そのような実践を行うことで, 従来の授業方法と差異なく知識の定着が行えた上で, 体験を基に世の中の技術の仕組みを科学的に説明できるようになったり，様々な問題解決方法の提案をしたり，知識の習得の意義を見出せるようになる生徒が現れることが確認できた。また，関連内容に対する問題解決への関心を高める効果の示唆が得られた。それを裏付けるように，時間を惜しんで課題解決に取り組む生徒の姿もみられた。一方で，実践 3.3 でみられたように，課題の難易度によっては追究をあきらめてしまう生徒の姿もみられた他，問題解決力の自己認識についても有意な変化が確認できなかった。

躓きを克服できずに，あきらめてしまう生徒とも共に追究を行うためには，一つの実践だけではなく，教科間のつながりを意識できる機会を意として設えたり，その生徒の学問領域ごとの興味や理解の程度を探ったりしながら，適切な難易度もしくは必要感の高い課題設定を行う必要があると考える。低統合度の STEM は教科横断の入り口として，中統合度の STEM は視野を広げ，複数の評価軸をもって課題解決を行うため機会の一つとして，生徒の実態に応じて配置することで, 問題解決の経験を重ねていけるのではないだろうか。

今後は，より事例を増やして効果の子細を検討すると共に，統合度ごとに必要な授業設計の要素を構造化し，提示できるように研究を進めていくことで，STEM の一般化に貢献し，生徒が自ら問題の解決を創造できる授業づくりを進めていきたいと考えている。

文献

1) 内閣府(2021) 第 6 期科学・技術イノベーション基本計画（答申素案）
2) 小島一生・今井照明（2015）宇宙開発技術を用いた中学生の技術的課題解決力育成を促すためＳＴＥＭ教育の試み，日本産業技術教育学会第 58 回全国大会要旨集
3) Vasquez Jo Anne(2015) STEM--Beyond the Acronym　Educational Leadership, 72 (4)10-15
4) Issei KOJIMA, Hiroyuki MURAMATSU, Mitsunori YATSUKA(2020). ‘Developing a Cognitive Scale for Ability to Solve Problems in STEM Related Subjects’,　科技與工程教育學刊　；　50 卷 1/2 期, 1-13
5) 胸組虎胤（2019） STEM 教育と STEAM 教育―歴史，定義，各門分野統合―，鳴門教育大学研究紀要 34
6) 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)
7) NGSS Hab Crosscutting Concepts
https://ngss.nsta.org/crosscuttingconceptsfull.aspx（2021/12/07）
8) 森健一郎，高橋弾（2020）STEAM 教育の「７つの横断的な概念」に着目した授業実践，日本科学教育学会年会論文集 44(0), 505-506