

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14119

研究課題名(和文)STEM教育における領域横断的な概念を扱うカリキュラムに関する基礎的研究

研究課題名(英文)A Fundamental Research about the Curriculums Dealing with the Cross-cutting Concepts in STEM Education

研究代表者

齊藤 智樹(Saito, Tomoki)

順天堂大学・国際教養学部・非常勤講師

研究者番号：90849613

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文): 本研究は、『米国の科学教育の歴史の中で、領域横断的な概念はどのような分析的な枠組みと紐付けられカリキュラム上で扱われてきたか』との研究課題に答えることをその目的とした。結果として、領域横断的な概念はそれを扱う児童生徒のあらわれを示す枠組みである「プロセス」や「態度」などとの関係が歴史を通じて積み上げられてきたことが見いだされた。結果としてSTEMの統合に関わる、児童生徒の15のあらわれと、12の動機が見いだされ、「学際的(Inter-disciplinary)な」STEM/STEAM教育において、何を教えることができるのかに、答えることとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

STEM/STEAM教育で何を教えるのか。この問いは、私たちSTEM/STEAM教育に関わる研究者が長らく答えることのできなかった問いであり、同時にSTEM/STEAM教育とは何なのかについて答えることを求める問いでもある。

本研究の示した児童生徒の15のあらわれと12の動機はこれに答えるものであり、STEM/STEAM教育において、教師らが明確な目的意識を持った教育活動を展開することにつながる。

同時に、従来具体的な目的・目標を立案することが難しかった総合的な学習や探究活動において、学習課題が明確化され、それを達成する児童生徒が増えることが期待される。

研究成果の概要(英文): The purpose of this study was to answer the question, "What analytical frameworks have been associated with cross-disciplinary concepts in the curriculum throughout the history of science education in the United States? A review of the literature throughout the history of science education in the U.S. revealed that cross-cutting concepts have been historically linked to "processes" or "attitudes," which are the frameworks that represent the students who are dealing with those concepts. As the result, student's 15 behaviors and 12 motivations for STEM integration were found, answering the question of what can be taught in an "inter-disciplinary" STEM/STEAM education.

研究分野：科学教育・教育工学

キーワード：STEM/STEAM教育 領域横断的な概念 構成概念 プロセス 動機 分析的な枠組み

## 1. 研究開始当初の背景

### 領域横断的な概念に関する背景

米国における最新の科学教育スタンダードである「次世代科学スタンダード」(Next Generation Science Standards: 以下 NGSS)において、領域横断的な概念(Crosscutting Concepts: 以下 CCCs)は、領域ごとの核となる概念(DCIs)、科学とエンジニアリングの体験的・経験的活動(SEPs)と併せて3つの次元(3D)の一つとして併記されている。過去のスタンダード等と比較すると、CCCsの位置づけが、教科内容(DCIs)と同等の1次元として扱われているところに大きな違いがある。このことは、STEM教育改革の進行する米国の科学教育において、CCCsがSEPsと併せて重要な役割を担っていることを意味し、実践レベルでも徐々に3Dラーニングモデルが展開され始めている。

しかしながら、米国においては、最初のスタンダードに当たる文書(AAAS,1989)から30年に渡って、CCCsがここまで強調され、学校での実践レベルに降りてくることはなかった。更にAAASが参照しているカリフォルニア大学バークリー校の研究者がこれらの概念を扱っていたカリキュラム改革時代にまで遡れば、1950~1970年代ごろからCCCsを扱うカリキュラムは存在するにも関わらず、その重要性が連邦レベルの科学教育改革のステージに上ってくることはなかったと言える。一方で、今回これだけ強調されるに至った背景には、ここまでの歴史の中で、CCCsをカリキュラムにおいて扱う下準備が整ってきたと考えることもできる。

#### NGSSにおける CCCs

1. パターン
2. 原因と結果：機序と説明
3. スケール、割合、量
4. システムとそのモデル
5. エネルギーと物質：  
流れ、サイクル、保存
6. 構造と機能
7. 安定性と変化

### 分析的な枠組みに関する背景

では、これまでのカリキュラムをどのように分析したら良いか。Finleyら(2011)は、比較的新しい学問分野であるEarth System Science(地球システム科学)のカリキュラム作成にあたって、その分析的な枠組みと、その下位に分析的な概念としてCCCsを扱っている。著者は、既にFinleyらの方法を踏襲して、同様に比較的新しい分野であった環境教育のスタンダードに見られる分析的な枠組みと、その下位でCCCsがどう扱われたのかをまとめてきた。

本研究では、これら先行研究における知見・方法を踏襲し、前述のカリフォルニア大学バークリー校及びその附属機関であるローレンス・ホール・オブ・サイエンス(日本で言う科学館のような教育研究組織)が作成してきたCCCsを扱うカリキュラム、及び1989年のAAAS以降の連邦レベルのスタンダードにおけるCCCsの扱いを、その作成段階の報告書等における議論にまで戻って改めて精査しながら、

- (1) CCCsが、どのような分析的な枠組みの中で扱われてきたのか、
- (2) その際、CCCsはどのような形で他の分析的な枠組みと紐付けられているのか、
- (3) 具体的な実践のレベルにおいて、CCCsと分析的な枠組みとの紐付けは、どのような教材、あるいは授業となつて実施されてきたのか、
- (4) そして、実際に日本の児童生徒に対して、紐付けを意識した教材を用いて授業を実施した場合、どのような効果が期待されるか。

といった研究課題に答えることを目指し、研究を進めることとした。

## 2. 研究の目的

前述の通り、CCCsは、過去のカリキュラムの中で十分に強調されてこなかったため、「時に明示的な指導なしに、生徒が身につけることを期待されてきた」(NGSS)。そのため、こうした概念は「特に能力の高い生徒にとっては思考の背景を支えるものとして機能してきたが、すべての児童生徒にとってそうになっていない」(NGSS)ものとなっている。公立学校での実施を検討した場合、一部の児童生徒にとっての利益ではなく、できるだけ多くの子供にとって効果的な教材として示される必要がある。そこで、本研究の最終的な目的は、CCCsがカリキュラムを構成する他の枠組みと、効果的に紐付けられることで、STEM学習の結節点として機能するようにすることである。

## 3. 研究の方法

研究課題(1)では、米国科学教育の歴史において領域横断的な文献を対象とし、歴史的アプローチから体系的なレビューにより、CCCsと併せてカリキュラムに内包される分析的な枠組みを抽出する。研究課題(2)及び(3)では、各カリキュラムにおいて、CCCsが、その他の枠組みとどのように「紐付け」られてきたのか、また付随して作成された授業計画や、具体的な実践記録から、これらの枠組みがどのように実践されてきたのか、こちらも体系的なレビュー及びインタビュー授業観察等から把握する。この段階からは、実践協力者及び研究協力者とともに、紐付けの把握、実践としての記録などが共有されるように進める。研究課題(4)については、先行研究を改めてレビューし、研究課題(2)、(3)において見出された紐付けが、先のカリキュラムやスタンダードにおいてどのように描かれていたのかについて、データをもって検討することを目指した。

#### 4. 研究成果

本研究の成果をまとめると、(1) 歴史的な CCCs の抽出、(2) CCCs を操作する児童生徒のあらかの抽出、(3) CCCs を操作する児童生徒のあらかの抽出に関わる構成概念の抽出、(4) (2) や (3) で見いだされた児童生徒のあらかの抽出や構成概念に基づいたカリキュラム・教育文書における CCCs 扱いの変遷という 4 つになる。以下、それぞれの要約を示す。

##### (1) 歴史的な領域横断的な概念の抽出について

本研究が参照してきたカリキュラム・教育文書においては、29 の概念について繰り返しの使用が認められ、このほかに 1 度きりで使用された概念が 18 あった。また、同じ概念を参照していたとしても、そこに貼られるラベルには変遷が見られた。例えば、モデルの概念について言えば、以下のような変遷がある。左列が本研究の参照した文献やそのシリーズであり、右がモデルの概念に貼られたラベルである。特に電磁気学関係で教えられていたモデルが、科学的理論に昇華し、また実践や検証とも関係づけられると同時に、システム概念と結びつく形で NGSS では扱われている。

表 1. NGSS につながるモデル概念の変遷

SCIS (1968)	Electricity, Gravitation	
SCIS (1974)	Models: Electric and Magnetic Interactions	
SCIS II (1978)	Modeling Systems	
SCIIS (1978)	Scientific Theories	
TMMW	Modeling	
TPE	Model	
GEMS シリーズ	Models and Simulations	
Educating Americans	Making Connections between theory and Practice, Building and Testing Models	
The engineering advisory committee	Modeling	
Panels for SFAA Social & Behavioral The Physical Sciences, Information Sciences and Engineering Technology Biological & Health Sciences	Electronics	
		Models (Physical Models, Conceptual Models, Mathematical Models)
		Models
		Evidence, models, and explanation
Next Generation Science Standards	System and system models	

##### (2) 領域横断的な概念にまつわる分析的な枠組みと児童生徒のあらかの抽出について

CCCs と関係する分析的な枠組みとしては、カリキュラム SCIS (Science Curriculum Improvement Study) の時代からプロセス、あるいはプロセススキルズがあった。そのため、CCCs は「プロセス指向の概念」と呼ばれ、いわゆる内容とは別にプロセスと関係する枠組みとして成立していることもあった。このことは、同じカリフォルニア大学のプロジェクトである GEMS においても同様で、Themes と呼ばれる枠組みに主に CCCs が収容される一方で、Skills としてプロセスを扱う枠組みが併存していた。あるいは、AAAS (1989, 1993) のように「内容」の一部として「共通する主題」という名を冠していたこともあった。あるいは、全米科学教育スタンダード (National Science Education Standards) のように「融合する概念とプロセス (Unifying Concepts and Processes)」というように、CCCs とプロセススキルズが一体となった枠組みで「内容」スタンダードの一部を構成することもあった。最新の NGSS においては、CCCs は単独で 3D 学習を構成する枠組みの一つとなっており、他の二つは「分野の核となる概念 (Disciplinary Core Ideas)」と「科学とエンジニアリングの体験的・経験的活動 (Science and Engineering Practices)」である。このとき、プロセスを含む枠組みは消えたように見えるが、NGSS における CCCs のスタンダードでは、期待される児童生徒のあらかの抽出がプロセススキルズを行使するような形で描かれていた。

このように、プロセス (すなわち児童生徒のあらかの抽出) と、CCCs の含まれる枠組みは、カリキュラムや教育文書のなかで変化している。一方で、「CCCs を児童生徒が操作する」という構造自体は変わりようがなく、児童生徒が主語 (S) となり、SVO の形式で描かれる姿は一貫している (図)。

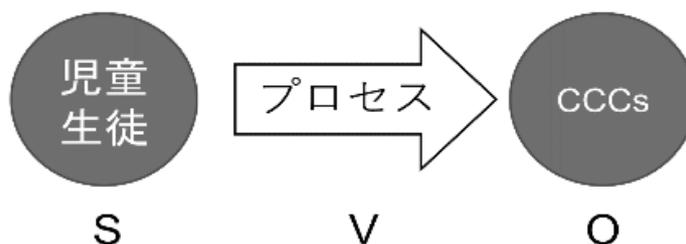


図 生徒が領域横断的な概念を操作する姿のイメージ

以下に、本研究から得られたプロセスを表すコードの一覧を示す（表 2）。これらは、先の図の矢印部分に相当し、文面では動詞か動名詞を用いて書かれている。

表 2 米国のカリキュラム・教育文書に示された CCCs を扱う児童生徒のあらわれ

Adaptation : 適応	Discussion : 議論	Investigation : 調査
Analysis : 分析	Engineering : エンジニアリング	Math : 算数
Application : 適用	Experiment : 実験	Observation : 観察
Assimilation : 熟達	Explanation : 説明	Questioning : 問い
Collaboration : 共同	Exploration : 探索	Understanding : 理解

本研究においてこのようなかたちでコードを抽出できたのは、GEMS. Benchmarks for Science Literacy (BSL). NGSS の 3 つであるから、これらは実質この 3 つから抽出された児童生徒のあらわれだということになる。各項での分析に示したとおり、これらは多くの動詞を含んでいるものもあれば、たった一つの動詞で描かれている場合もあった。実際に児童生徒の学習する姿を表すコードとして、どれが残されるべきかについては、実証的な研究を待つところである。

(3) 領域横断的な概念を操作する児童生徒のあらわれに関わる構成概念の抽出について

本研究から見いだされた CCCs にまつわる構成概念をまとめると、以下表 3 のように、12 の動機が見いだされた。

表 3. NGSS から見いだされた構成概念

動機	
課題を解決したい	関係性を表現したい
パターンを見出したい	予測したい
機能を知りたい	検証したい
システム（現象）を描写したい	改善・リエンジニアリングしたい
分析（並べ替え・分類）したい	自分の意見を支持、反駁したい
変化を説明したい	因果関係を提案したい

(4) (2) や (3) で見いだされた児童生徒のあらわれや構成概念に基づいたカリキュラム・教育文書における領域横断的な概念扱いの変遷について

本研究において調査の対象とした文献の一つである BSL と NGSS との間で、CCCs の扱いにどのような変化が見られたのかを分析している。量的な方法を用い、児童生徒のあらわれを示すコードのうち両文書に共通する 6 つのコードが、それぞれどの程度の頻度・割合で出現しているかを統計的に比較した。結果として両文書における CCCs とそれを扱う児童生徒のあらわれは、文書内ではほぼ差のない用いられ方をしている一方で、文書間では一部有意な差が見られた。

BSL に見られ、NGSS と共通している 4 つの CCCs である、「Constancy and Change と Stability and Change (恒常性・安定性と変化)」「Systems と Systems and System Models (システムとそのモデル)」「Scale と Scale, Proportion and Quantity (スケール・スケール、割合、量)」のうち、システムとそのモデルについては両文書に共通している概念であると同時に、有意な差をもって描かれることになった概念である。モデルにしても、システムにしても BSL から NGSS にかけて大きく変わった点としては、コード「観察 (Observation)」とともに描かれる場面が 0 となったことである (関連する動詞の使用数が 0)。逆に、コード「理解 (Understanding)」や「説明 (Explanation)」「調査 (Investigation)」として描写される場面が増えている。中でも「説明」にとして描かれる児童生徒のあらわれの増え方が大きい。

以上のように、本研究の成果は、CCCs に関連して児童生徒がどのようなあらわれをすると考えられるかについて、文献調査からその構造を整理したことが中心である。こうした結果を受けて、理科や関連する STEM 分野における教師は、自らの授業を構築するうえで、児童生徒にどんなあらわれを期待して授業を構築したら良いのか、より明確な目的意識をもって取り組むことが可能となる。学術的な問題としては、ここで見いだされた児童生徒のあらわれや、構成概念が弁別的な妥当性を持っているか、構成概念妥当性を検討することが挙げられる。また、小学校から高等学校まで、ある大学生までをも含めて、より広範囲な対象の実際のあらわれを観察した場合に、本研究が成果として挙げたリストは十分な物であるかについて、より積極的・実践的な検討が必要となる。本研究の成果における制約と、今後の課題としてここに示しておきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tomoki Saito	4. 巻 2
2. 論文標題 How STEM is integrated: A Methodological Approach	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EASE Letters	6. 最初と最後の頁 27-32
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 齊藤 智樹	4. 巻 44
2. 論文標題 STEM/STEAM 教育の構成概念	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本教育工学会論文誌	6. 最初と最後の頁 281 ~ 296
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.15077/jjet.45008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 齊藤智樹
2. 発表標題 STEM の統合とは何か-STEM 統合のあらわれ
3. 学会等名 日本科学教育学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoki Saito
2. 発表標題 How STEM is integrated: a methodological approach
3. 学会等名 2022 EASE International Conference（国際学会）
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 齊藤智樹
2. 発表標題 STEM教育における領域横断的な概念を扱うカリキュラムに関する基礎的研究
3. 学会等名 日本科学教育学会第46回年会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Tomoki Saito
2. 発表標題 An Essay on the Dimensional Structure of STEM Integration
3. 学会等名 日本科学教育学会研究会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 Tomoki Saito
2. 発表標題 Relationships Between Cross-cutting Concepts and Practices on the NGSS
3. 学会等名 Association for Science Teacher Education 2023 International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 齊藤智樹
2. 発表標題 STEM/STEAM はどこで統合されるか
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 Saito, T., Kimori, D., Meagher, T., Sato, M., and Shume, T.
2. 発表標題 Resiliocentric Engineering for E-STEM Education and How to Lead Students to Engage in the Activities
3. 学会等名 The 6th International Conference of STEM in Education (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoki Saito
2. 発表標題 A Development of E-STEAM Learning Module- Toward the Resilio-Centric Engineering Approach
3. 学会等名 日本エネルギー環境教育学会第15回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoki Saito
2. 発表標題 An Account of Cross-Cutting Concepts in the NGSS: Thorough Mixed Methods Analyses via Text Mining Approach
3. 学会等名 2022 Association for Science Teacher Education Annual International Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤智樹
2. 発表標題 STEM/STEAM 教育における基礎理論の綿密化と領域横断的な概念にまつわる構造
3. 学会等名 日本科学教育学会
4. 発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------