

学校における教育課程編成の実証的研究

報告書 4

諸外国の先進的な科学教育に関する基礎的研究

～科学的探究と STEM/STEAM を中心に～

令和4（2022）年3月

研究代表者 鈴木 敏之

(国立教育政策研究所 教育課程研究センター長)

はしがき

本報告書は、国立教育政策研究所のプロジェクト研究「学校における教育課程編成の実証的研究」（平成 29～令和 3 年度）における研究成果のうち、科学的リテラシーの育成を目指す諸外国の先進的な科学教育に関して、特に、科学的探究と STEM/STEAM 教育に関する取組を中心にまとめたものである。

新しい教育課程では、各学科に共通する教科「理数」が新設され、科目として「理数探究基礎」と「理数探究」が編成された。高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説理数編では、理数科について、「各学科に共通する教科として、数学と理科にわたる探究的科目を新設し、数学的な見方・考え方や理科の見方・考え方を組み合わせるなどして働かせ、探究の過程を通して、課題を解決する力などを育成することとした。この教科の考え方は、現在米国などで推進されている STEM（Science, Technology, Engineering and Mathematics）教育の考え方と同じ方向を向いているとも考えられる」と説明している。新共通教科「理数」の実施に向けて、諸外国における科学的探究や STEM 教育を中心とした科学教育の状況を把握し、そこから我が国の文脈に即した知見を得ることは喫緊の課題である。加えて、文部科学省では、STEM に加え、芸術、文化、生活、経済、法律、政治、倫理等を含めた広い範囲で A（Liberal Arts）を定義し、教科等横断的な学習を推進することが重要としている。このことを踏まえ、本調査研究では STEM を中心としつつも、A を意識しつつ、より広い範囲を射程に入れて研究を進めた。

本調査研究では、科学的探究について五か国・地域と国際バカロレアの科学カリキュラムを対象とし、中等教育段階の次世代の科学カリキュラムの在り方に関する基礎的な知見を得ることを目的とした。また、STEM/STEAM 教育については七か国・地域と国際バカロレアを対象とし、これらの国・地域等における STEM/STEAM に関する学習評価やこのような教育を進めるための教員支援のあり方について基礎的な知見を得ることを目的とした。なお、STEM/STEAM 教育を進めるための教員支援については、国内における実践事例も収集した。

科学的探究に関する調査研究では各国・地域等の科学教育を専門とする大学教員（所外委員）に協力をいただき、また、STEM/STEAM 教育に関する調査研究では各国・地域等における科学教育、数学教育、又は STEM/STEAM 教育を専門とする大学教員（所外委員）に協力をいただいた。国内の実践事例の収集においては、各事例の主な担当者に聞き取り調査に協力をいただいた。専門的な知見に基づく報告の提供や聞き取り調査への参加に対し、感謝申し上げたい。

諸外国の科学カリキュラムや STEM/STEAM 教育に関する報告における先進的な取組は、今後、我が国における新共通教科「理数」の実践や STEAM 等の教科等横断的な視点からの教育課程の編成において、貴重な手がかりとなり得るだろう。本報告書が、科学的な探究活動を実践する際の参考資料として活用されることを願うとともに、本研究の推進に御協力いただいた方々に心から感謝申し上げたい。

令和 4 年 3 月

研究代表者

国立教育政策研究所 教育課程研究センター長

鈴木 敏之

研究組織

(令和4年3月末日 現在)

【研究代表者】

鈴木 敏之 国立教育政策研究所 教育課程研究センター長

【研究副代表者】

猿田 祐嗣 国立教育政策研究所 教育課程研究センター基礎研究部長

(令和3年3月まで)

(令和3年4月から所外委員)

【所外委員】

磯崎 哲夫 広島大学 教授
山下 修一 千葉大学 教授
野添 生 宮崎大学 教授
岡本 紗知 大阪大学 准教授
高阪 将人 福井大学 准教授
高橋 一将 北海道教育大学 准教授
川上 貴 宇都宮大学 准教授
遠藤 優介 筑波大学 助教
大寫 竜午 千葉大学 助教
大谷 洋貴 日本女子大学 助教
黒田 友貴 静岡大学 特任助教

【所内委員】

白水 始 国立教育政策研究所 初等中等教育研究部 (副部長) 総括研究官
福本 徹 国立教育政策研究所 生涯学習政策研究部 総括研究官
萩原 康仁 国立教育政策研究所 教育課程研究センター基礎研究部 総括研究官
泉澤 潤一 国立教育政策研究所 教育課程研究センター基礎研究部 主任研究官
巽 好一郎 国立教育政策研究所 教育課程研究センター基礎研究部 研究員
大塚 尚子 国立教育政策研究所 国際研究・協力部 総括研究官
梅澤 希恵 国立教育政策研究所 国際研究・協力部 研究員

【事務局】

西野 真由美 国立教育政策研究所 教育課程研究センター基礎研究部 副部長
松原 憲治 国立教育政策研究所 教育課程研究センター基礎研究部 総括研究官
小坂 那緒子 国立教育政策研究所 教育課程研究センター基礎研究部 研究補助者

目 次

第1章 本報告書の概要	1
はじめに	1
調査研究の概要	3
調査結果の概要	7
第2章 諸外国の科学カリキュラムと科学的探究	17
イギリス	19
ドイツ	27
アメリカ合衆国	37
カナダ	47
シンガポール	55
国際バカロレア	61
第3章 STEM/STEAM に関する学習評価と教員支援	71
第1節 諸外国における STEM/STEAM に関する学習評価と教員支援	71
イギリス	73
ドイツ	79
アメリカ合衆国	85
カナダ	91
シンガポール	97
オーストラリア	103
ニュージーランド	111
国際バカロレア	117
第2節 我が国における STEM/STEAM 教育の推進に向けた教員支援の事例	123
事例1 静岡大学 STEM アカデミー	125
事例2 東京学芸大こども未来研究所 STEAM 教育プロジェクト	129
事例3 東京大学生産技術研究所次世代育成オフィス (ONG)	131

第1章 本報告書の概要

はじめに

現在実施されている小学校から高等学校までの学習指導要領（改訂版）では、「探究」がキーワードとなっている。とりわけ、高等学校では「探究」が重視されている。例えば、新しい教科として「理数探究」が開設され、従前の「総合的な学習の時間」は「総合的な探究の時間」に変更された。もともと理科教育では、欧米諸国の教育の現代化運動の影響を受けた昭和40年代に改訂された小学校から高等学校までの学習指導要領で、観察や実験を含む探究活動（小学校の理科教育では、伝統的に「問題解決」という表現）の重要性が示された。それ以降、科学的な探究活動がより強調され実践されてきている。ここで重要なのは、「探求」ではなく、「探究」である。理科教育では、伝統的に「探究」が用いられており、「探究」とは、英語では inquiry (enquiry) や investigation などが該当し、その意味は狭義の観察や実験などから、広義には問題の把握からその解決、そして意思決定に至るまでのプロセスを含む活動を意味している。今日では、これまでに学んできた知識や獲得した技能（スキル）をネットワーク化して、観察や実験等を実施して、日常生活の文脈や社会的文脈で生起する問題に対応することが探究活動を通じた学びと捉える方が良いであろう。さらに、問題の把握、仮説の設定、解決する多様な活動と考察といった一連の方法の視座だけではなく、学習者の認知的スキルと非認知的スキルの視座から、探究の過程における学習者による内化と外化の往還や協働的な学びにおける個と集団（グループやクラス）の関係に着目することも今後重要となる。この非認知的スキルを重視する背景の一つに、経済協力開発機構（OECD, 2015）の考え方がある。経済協力開発機構は、個人のウェルビーイング（well-being）と社会の進歩を想定した資質・能力（OECD は、知識、スキル、態度及び価値観を含むコンピテンシーと表現）育成のためのプロジェクトを展開しているが、そこではこれまで重視されてきた認知的スキル以外にも社会・情動的スキル（social and emotional skills）の育成が掲げられており、探究を通じた学びでは、この社会・情動的スキルの育成も重要となる。

他方、教育の世界的な潮流の一つに STEM/STEAM（Science, Technology, Engineering, and Mathematics） /（Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics）教育がある（以下、STEM とする）。21 世紀になると連合王国（イギリス）やアメリカ合衆国では政府による STEM 教育に関する政策声明等が明らかにされ、日本においても STEM 教育の重要性が認識され、官民を問わず多様な取組が始められている。この背景には、次の二つの観点がある。すなわち、世界的な国家としての地位確保や国際的な経済競争、SDGs（Sustainable Development Goals）の基盤となる科学・技術力の維持向上に必要な理工系の人材確保の観点と、これからの社会で活躍する人たちにとって必要不可欠となるであろう STEM リテラシー育成の観点である。つまり、前者は for excellence で、後者は for all の観点である。ただ、世界的に見て、STEM の統一された定義は必ずしも存在はしていない。また、A を入れる場合は、Arts であるけれども、芸術（例えば、音楽や美術）という狭義の意味よりも、人文的教養あるいは科学・工学的教養以外のすべての

教養という広義の意味で解釈する方が良いであろう。STEM 教育は、限られた教科（例えば、数学や理科）だけではなく、それぞれの教科の本質を明確にした上で、教科横断的・総合的に取り組むことが重要である（磯崎・磯崎, 2021）。

では、この探究とSTEM教育は、どのような関係にあるのだろうか。理科教育における探究活動とSTEM教育には、ある共通する関係がある。それは、両者の目的や方法である。まず、そのプロセスは、問題の把握と認識から始まり、学んだ知識や獲得したスキルをネットワーク化あるいは結びつけ、多様な方法（観察や実験、調査や論証活動等）を駆使し、問題を解決し、新たな知識やスキルを獲得する。そして、最終的に根拠に基づいて日常生活の文脈や社会的文脈で生起する問題に対して解決を試み、意思決定ができることである。この過程で、学習者は、内化と外化の往還をし、個人はもとより他者と協働的に問題の解決に取り組んだりすることを通して、社会的・情動的スキルをも育成することになる。このような資質・能力を身につけることが、その目的である。理科教育の科学的な探究活動は、理科という限られた教科であるけれども、STEM教育では、数学や理科、技術だけではなく、人文科学に関わる教科や他の領域・活動とも連携しながら実施することが求められる。いずれにしても、STEMという新たな教科・領域あるいは活動を新設することも一つのあり方であり、総合的な学習（探究）の時間を活用することも可能である。しかしながら、関連する教科がそれぞれの本質を明確にした上で、forexcellenceとforallの二つの観点を調整して、必要に応じて学外の機関や地域社会と連携し、学校全体としてSTEM教育をどう取り組むかが肝要であろう。

本報告書は、科学的な探究活動に関する諸外国の先進的な取組とSTEM教育の動向が報告され、日本におけるSTEM教育の取組についても紹介されており、学校におけるこれからの実践に向けての貴重な資料となるであろう。ただし、日本型のSTEM教育を構築するには、今後は日本の教育の歴史的な文脈も考慮する必要があることを付言しておく。

広島大学大学院人間社会科学研究科
教授 磯崎哲夫

文献

磯崎哲夫・磯崎尚子 (2021). 日本型STEM教育の構築に向けての理論的研究—比較教育学的視座からの分析を通して—, 科学教育研究, 45 卷 2 号, pp. 142-154.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2015). *Skills for social progress: The power of social and emotional skills*. Paris, France: OECD publishing.

調査研究の概要

本報告書は、諸外国の次世代の科学カリキュラムについて、特に科学的探究に焦点を当てた調査研究と、諸外国における STEM/STEAM 教育について、特に学習評価と教員支援の体制に関する調査研究を中心にまとめたものである。

諸外国の科学カリキュラムに関する調査研究の主な目的は、中等教育段階の次世代の科学カリキュラムの在り方に関する基礎的な知見を得ることである。調査対象の国・地域等は、イギリス、ドイツ、アメリカ合衆国（以下、本章の本文中で米国とする）、カナダ、シンガポール、国際バカロレア（以下、IB とする）の五か国・地域と国際的なカリキュラムとした。イギリスについてはイングランド、カナダについてはブリティッシュコロンビア州（以下、BC 州とする）を中心にまとめている。調査対象の学校段階は、後期中等教育段階を中心としつつ、特徴的なものについては前期中等教育段階の情報も含めた。本調査研究では、まず、これらの国・地域等における先進的な科学カリキュラムに関して、内容構成、学習方法、学ぶ文脈等の観点から特徴的な部分を整理した。次に、各国・地域等の科学カリキュラムにおいて科学的探究がどのように示されているのかをまとめた。また、可能な範囲で、各国・地域等における特徴的な教科書等の記述や学習活動についても事例を収集した。これらの情報を踏まえて、今後の我が国における科学的な探究活動に関する示唆を加えた。示唆を含む各報告は、それぞれの国・地域等の担当者が作成した。第2章にこれらの報告を掲載している。なお、各国・地域等の報告は、原稿作成時期（令和元年度）の情報を基にしている。

諸外国における STEM/STEAM 教育に関する調査研究の主な目的は、諸外国における STEM/STEAM に関する学習評価と STEM/STEAM 教育を推進するための教員支援のあり方に関する基礎的な知見を得ることである。我が国では STEM/STEAM の視点からの授業実践に関する取組は広がりを見せているが、その学習評価に関しては研究等による知見の蓄積が期待されている段階と言える。また、STEM/STEAM 教育では複数の教科・領域や多様なリソースを扱うため、新たな視点から教員支援のあり方に関する研究が必要である。調査対象の国・地域等は、イギリス、ドイツ、米国、カナダ、シンガポール、オーストラリア、ニュージーランド、IB の七か国・地域と国際的なカリキュラムとした。イギリスについてはイングランド、カナダについてはオンタリオ州及びBC州を中心にまとめている。調査対象の学校段階は、後期中等教育段階を中心としつつ、特徴的なものについては前期中等教育段階の情報も含めた。本調査研究では、これらの国・地域等について、学校における STEM/STEAM に関連する学習評価や、大学等への進学におけるそれらの活用等に関する情報を収集した。また、可能な範囲で、プラットフォームやSTEM教育センター等の教員支援についても事例を収集した。これらの情報を踏まえて、今後の我が国における STEM/STEAM に関する学習活動や教員支援について示唆を加えた。示唆を含む各報告は、それぞれの国・地域等の担当者が作成した。第3章にこれらの報告を掲載している。

さらに、本調査研究では STEM/STEAM 教育の推進に関して、国内における教員支援についても事例を収集し、特徴的な取組を整理した。事例は、静岡 STEM アカデミー、東京学芸大こども未来研究所

STEAM 教育プロジェクト、東京大学 生産技術研究所 次世代育成オフィス (ONG) の三件である。本報告については事務局による作成であるが、各事例の主な実施担当者に協力を得て、内容の確認と取組の力点等に関する聞き取り調査を行った。

なお、本調査研究では、各調査項目について網羅的に情報を収集したものではなく、特徴的な取組を中心にまとめたものである。新型コロナウイルス感染症拡大の影響もあり、諸外国での現地調査は困難であった。情報収集は各担当者の専門的知見に基づくが、多くの場合、文献やWEB サイトで入手できる情報を活用したものである。今後の継続的な調査研究によって、より広範囲の情報収集を行うとともに、状況に応じて現地調査を実施し、調査研究を進めることが必要であろう。

諸外国の科学カリキュラムに関する調査研究での各国・地域等の担当者は、以下のとおりである。

イギリス	野添 生
ドイツ	遠藤 優介
アメリカ合衆国	高橋 一将
カナダ	山下 修一
シンガポール	大畠 竜午
国際バカロレア	高阪 将人

*各国・地域等の報告は原稿作成時期（令和元年度）の情報を基にする。

諸外国の STEM/STEAM 教育に関する調査研究での各国・地域等の担当者は、以下のとおりである。

イギリス	野添 生
ドイツ	遠藤 優介
アメリカ合衆国	黒田 友貴
カナダ	岡本 紗知
シンガポール	大畠 竜午
オーストラリア	川上 貴
ニュージーランド	大谷 洋貴
国際バカロレア	高阪 将人
(国内事例)	小坂 那緒子

*各国・地域等の報告は原稿作成時期（令和3年度）の情報を基にする。

教員支援に関する国内事例の調査では聞き取り（インタビュー）調査を行った。聞き取り調査の協力者は、以下のとおりである。

聞き取り 実施日	事例	調査協力者	所属等
令和3年 9月16日	静岡 STEM アカデミー	熊野善介	静岡大学教育学部 特任教授
令和3年 10月6日	東京学芸大こども未来研究所 STEAM 教育プロジェクト	大谷忠	東京学芸大学大学院 教授 東京学芸大こども未来研究所 理事長
		金子嘉宏	東京学芸大学 教育インキュベーションセンター 教授 東京学芸大こども未来研究所 理事
		原口るみ	東京学芸大学大学院 特任准教授 東京学芸大こども未来研究所 専門研究員
令和3年 10月14日	東京大学生産技術研究所 次世代育成オフィス Office for the Next Generation (ONG)	大島まり	東京大学生産技術研究所 教授 次世代育成オフィス 室長
		川越至桜	東京大学生産技術研究所 准教授 次世代育成オフィス 室員
		中井紗織	東京大学生産技術研究所 学術専門職員 次世代育成オフィス 室員

調査結果の概要

1. 諸外国の科学カリキュラムにおける内容構成, 学習方法, 学ぶ文脈等

諸外国の科学カリキュラムに関する調査研究の主な目的は、中等教育段階の次世代の科学カリキュラムの在り方に関する基礎的な知見を得ることであった。以下、調査対象の国・地域に関する各報告を基に、調査結果の概要を示す。ここで、イギリスについてはイングランド、カナダについてはBC州に関する調査結果が中心である。各国・地域等の調査結果の詳細は、第2章に示している。

(1) 諸外国の科学に関する教育課程の基準

調査対象の国・地域等における科学に関する教育課程の基準は表1のとおりである。ドイツでは前期中等教育はKMK教育スタンダード、後期中等教育はアビトゥーア試験における統一的試験要求(EPA)である。米国の次世代科学スタンダード(NGSS)については、全米科学教師連盟(NSTA)の2021年の報告によると、20州の教育課程がNGSSに準拠している。IBの中等教育プログラム(MYP)は11~16歳を対象とし、ディプロマプログラム(DP)は16~19歳を対象とする。

表1 調査対象の国・地域等における科学に関する教育課程の基準

国・地域等	イギリス (イングランド)	ドイツ	米国	カナダ (BC州)	シンガ ポール	IB
教育課程の基準	ナショナル・カリキュラム	KMK教育スタンダード (前期中等教育) アビトゥーア試験における統一的試験要求(EPA)* (後期中等教育)	次世代科学スタンダード(NGSS)	科学カリキュラム	ナショナル・カリキュラム	中等教育プログラム(MYP)理科 ディプロマプログラム(DP)理科

* 本調査研究における原稿作成(令和元年度)後、後期中等教育対象のスタンダードが令和2年6月に公表された。

(2) 科学カリキュラムの構成

調査対象の国・地域等について、科学に関する教育課程の基準で示された科学カリキュラムの主要な構成要素を表2にまとめる。米国(NGSS)やカナダ(BC州)の科学カリキュラムのように、内容と方法に関する側面を持つ場合と、シンガポールのそれのように「知識、理解、応用」、「スキル、プロセス」、「倫理、態度」といった、内容や方法に加えて、態度に関する側面が設定されたものに整理できる。

表2 科学カリキュラムにおける構成要素の概要

国・地域等	イギリス (イングランド)	ドイツ	米国 (NGSS)	カナダ (BC州)	シンガポール	IB
構成要素	<ul style="list-style-type: none"> 科学的知識と概念理解 科学の本質、プロセス、方法 	<ul style="list-style-type: none"> 専門知識 専門の方法 コミュニケーション 省察 (EPA(化学)) 	<ul style="list-style-type: none"> 学問上の中心的な考え (DCIs) 分野横断的概念 (CCs) 科学と工学の実践(SEPs) 	<ul style="list-style-type: none"> 内容 ビッグアイデア カリキュラーコンピテンシー 	<ul style="list-style-type: none"> 知識、理解、応用 スキル、プロセス 倫理、態度 	<ul style="list-style-type: none"> 知識と理解 探究と計画 手法と評価 科学的影響の振り返り (MYP理科の目標)

(3) 科学カリキュラムの構造化

米国の NGSS は三つの次元、カナダ (BC 州) の科学カリキュラムは Know-Do-Understand モデルによって構造化されている。これらの科学カリキュラムは内容と方法に関する側面を持つが、内容については、領域固有で中核的な内容知識を含む概念と、教科や領域を横断する概念 (Cross-cutting Concepts) に整理することができる (表3)。前者については、その学問分野や領域における内容や考え方の核となる概念である。後者については、複数の領域を横断して適応可能な概念であり、パターンやシステムが例と言える。なお、ドイツにおいても、不可欠な中心的テーマや内容を示す「中核カリキュラム」の必要性が指摘され、導入が始まっている。

表3 科学カリキュラムの構造化

		米国 (NGSS)		カナダ (BC 州)	
		構成要素	例	構成要素	例
内容	中核的な内容知識を含む概念	学問上の中心的な考え Disciplinary Core Ideas	<ul style="list-style-type: none"> 分子から生命体まで：構造とプロセス、 遺伝：形質の遺伝と変異 	【Know】 内容 Content 【Understand】 ビッグアイデア Big Ideas	<ul style="list-style-type: none"> 化学反応における原子の再配置 (G10) 化学反応中のエネルギーの変化 (G10) エネルギーの変化は化学プロセスで原子の再配置が起きるときに必要となる (G10)
	教科や領域を横断する概念	分野横断的概念 Cross-cutting Concepts	<ul style="list-style-type: none"> パターン、因果関係、尺度・比率・量、システムとそのモデル等 	分野横断的概念 Cross-cutting Concepts	<ul style="list-style-type: none"> 因果 (G3), 順序 (G4), システム (G5), 変化 (G6), 進化 (G7), 物質とエネルギー (G8), 相互作用 (G9)
方法		科学との工学の実践 Science and Engineering Practices	<ul style="list-style-type: none"> (科学の) 問いの導出と (工学の) 問題の同定 モデルの開発と使用 調査の計画と実施 	【Do】 カリキュラー コンピテンシー Curricular Competencies	<ul style="list-style-type: none"> 質問し、予測すること 計画し、実施すること データと情報を処理し、分析すること等

注：ここでの整理は、米国 (NGSS) とカナダ (BC 州) のカリキュラムにおける内容や方法の側面が直接対応していることを示すものではない。

(4) 学習方法と学ぶ文脈

イギリス（イングランド）では体験的な活動の中で協働的な相互作用による学習（practical work）が重視されている。「科学の知識」の理解にとどまらず、専門家の議論がもたらす社会的な含意を大まかに理解できる市民の育成に向けて、知識・技能を実社会の文脈において活用し、実践することまでを射程にしている。ドイツでは教育スタンダードは学習方法を標準化するものではない立場がある一方、学習における文脈が重要視されてもいる。ここで扱われる文脈は身の回りの日常生活や科学が関連する社会問題等がある。米国（NGSS）では科学カリキュラムの構成要素の一つが科学と工学の実践であり、科学者と工学者が用いる過程が重視されている。シンガポールでは科学的探究が強調されており、知識の伝達からの脱却に加えて、科学的探究の成果の一方的な伝達からの脱却についても求められている。IB ではグローバルな文脈で概念的な理解を重視しており、教師と生徒が探究のテーマを明らかにして探究の問いを用いる。

(5) 他教科との関連

諸外国の科学カリキュラム等では、他教科の関連を重視したものがある。

米国（NGSS）は数学のスタンダードの内容との関連を明記するなど、他教科のスタンダードとの関連を意識している。カナダ（BC州）におけるカリキュラーコンピテンシーに詳細（elaborations）として位置付く分野横断的概念は、他の教科を横断して応用されることが意図されている。イギリス（イングランド）では全ての教科を通して育成される資質・能力として「言語とリテラシー」と「数学的基礎能力と数学」が設定されており、特に、後期中等教育段階の科学では「数学的基礎能力と数学」との関連を重視している。

(6) 科学の本質（NOS）

諸外国の科学カリキュラム等では、事実や法則といった科学の内容知識ではなく科学についての知識等を含む科学の本質（Nature of Science, 以下 NOS とする）を重視したものがある。

イギリス（イングランド）では、「科学の知識」の理解にとどまらず、専門家の議論がもたらす社会的な含意を大まかに理解できる市民の育成に向けて、知識・技能を実社会の文脈において活用し、実践することまでを射程に置いて「科学についての知識」も学習する。米国（NGSS）では、NOS に関する理解として、「科学的調査は、多様な方法を用いる」や「科学的知識は、実証的証拠に基づいている」等の8項目を挙げている。シンガポールでは、「科学における努力」の領域で、科学の内容に加えて、「科学についての内容」も扱われる。

2. 諸外国の科学カリキュラム等における科学的探究について

(1) 科学的探究で扱われる内容

イギリス（イングランド）では科学的取組という領域において、探究の進め方や研究倫理に関する内容が初等教育段階から中等教育段階（KS 1 から A レベル）の全学年で示されている。科学的取組の項目は、学年が上がるにつれて高度になるように整理・配列されている。科学的取組では「実際の科学と幅広い社会的文脈の双方でリスクを認識し評価すること（KS 4）」といった科学と社会の関係について理解を深め

ることも含まれている。ドイツでは、科学的探究関連のコンピテンシーとして、観察、問いの設定、仮説の設定、データの収集・処理といった科学的探究スキルの習得に関わるものや、科学的探究そのものの計画・立案、実施やそして評価に関わるもの、科学的探究におけるモデルの形成・利用に関わるもの等がある。米国におけるハイスクールの補完的な探究学習プログラムである AP Capstone Diploma Program のコースには AP Seminar と AP Research がある。AP Seminar では探究過程とその実践方法を学ぶことが中心であり、論文や研究調査の読解や芸術的な作品とパフォーマンスの経験などがある。AP Research では、生徒が各自の興味・関心を基に研究課題を設定し、探究する方法を決め、研究を進め、その成果を論文や発表等で報告することが求められている。IB の中等教育プログラム (MYP) 理科では、科学的探究が中心に位置付けられている。目標の一つである「B 探究と計画」において、科学的探究に関して生徒ができるようになることを目指す項目を四つ挙げている (例 i. 科学的調査に基づいて検証される問題または疑問を説明すること, ii. 検証可能な仮説を定式化し、科学的合理性をもって説明すること等)。

(2) 探究のレベルや内容とのバランス

ドイツでは、科学的探究関連のコンピテンシーを、後期中等教育の生物では「教科固有のコンピテンシー」、「自然科学のコンピテンシー」、「一般のコンピテンシー」の三つに分けており、教科固有の視点と教科横断的な視点への意識が見てとれる。科学的探究関連のコンピテンシーについては、内容知識を含まない形で記述される場合があり、これに対しては「内容の過小評価」といった批判もある。カナダ (BC 州) の科学カリキュラムでは、探究活動は大きな役割を持つ一方、「Know-Do-Understand」モデルにおいて内容 (content) やビッグアイデアが示されており、概念的理解も重視されている。シンガポールでは、探究が強調されているが、自由度の高い探究活動のみが奨励されているわけではなく、生徒主導の探究と教師主導の探究の二つのアプローチ間にある多様な指導方法による経験が大事とされている。科学的探究のプロセスとして、問題の設定場面、実験活動で得べき証拠の決定場面、実験結果の説明場面、実験結果の説明の評価場面、自分自身の説明の伝達と正当化の場面の五つが設定されている。それぞれについて生徒に与える自由度が四段階に分けて示されており、これらから生徒に期待する主体性や生徒に与える自由度を明確に設定し、メリハリのある授業の計画が期待されている。

(3) 科学的探究に関する評価

イギリス (イングランド) では、科学的取組の評価に関して、実験方法を改善するといった問題が用いられている。また、物質の特性等の情報を基に、実世界の課題について判断したり、結論を導き出したりする問題がある。ドイツにおいては、大学入学資格を取得できるアビトゥーア試験において、筆記試験だけでなく口述試験によっても科学的探究関連のコンピテンシーを評価しようとしている。口述試験の課題 (化学) は、実際に器具や試薬が提供され、提示された課題に対して、受験者が実験を計画・実践したり、その結果を説明したりするといった一連の探究の実施において、個々のコンピテンシーを評価しようとしている。米国における AP Seminar と AP Research では、生徒の研究課題を規定していないが、評価においては、発表、報告書、論文に含めなければならない項目を細かく規定している。質問応答や口頭試問等では、生徒が自分の研究方法を説明できるか、また、自分の研究についてのどの程度理解しているかを判断するといった内容が中心となる。シンガポールの大学入試等に利用される試験 (GCEA レベル) の物理では、「理解を伴った知識」、「情報の操作、活用、評価」、「実験スキルと探究」

の三つの試験内容領域がある。「実験スキルと探究」の回答形式は実技であり、物理に対する配点割合は20%である。評価の観点には、「計画」、「操作、測定、観察」、「データや観察結果の提示」、「分析、結論、評価」の四点である。IBのディプロマプログラム(DP)では、科学的探究である「個人研究」は内部評価によって実施され、生徒のレポートを「主体的な取組」、「探究」、「分析」、「評価」、「コミュニケーション」の五つの評価規準を用いて評価する。生徒は一つの研究について約10時間かけて取り組む。

3. 諸外国におけるSTEM/STEAMに関する学習評価と教員支援

諸外国におけるSTEM/STEAM教育に関する調査研究の主な目的は、諸外国におけるSTEM/STEAMに関する学習評価とSTEM/STEAM教育を推進するための教員支援のあり方に関する基礎的な知見を得ることであった。調査対象としたイギリス、ドイツ、米国、カナダ、シンガポール、オーストラリア、ニュージーランド、IBからの報告を基に、調査結果の概要を次ページからの一覧表にまとめる。一覧表では、特に、各国・地域等におけるSTEM/STEAMの特徴、STEM/STEAMに関する学習評価、大学入学等への利用、教員/学校支援の取組の四点について整理している。ここで、イギリスについてはイングランド、カナダについてはオンタリオ州及びBC州に関する調査結果が中心である。各国・地域等の調査結果の詳細は、第3章に示している。

国名	イギリス (イングランド)	ドイツ	米国	カナダ (オンタリオ州, BC州)
STEM/STEAM の特徴	<p>-経済成長の鍵を握る人材育成としての側面が強く、科学を中心とした結び付きを意識。近年は技術やエンジニアリングとの連携の重要性が指摘されはじめている。</p> <p>-科学関係の進路選択をしない生徒との関わりが薄く、教育政策として位置付けるまでに至っていない。</p> <p>-STEMはナショナル・カリキュラムに公式に位置付けておらず、実際の学校教育ではクラブ活動やサマースクール等のインフォーマルな形で実施。</p>	<p>-数学 (Mathematik), 情報科学 (Informatik), 自然科学 (Naturwissenschaften) 及び技術 (Technik) それぞれの頭文字をとった「MINT」がSTEMに相当する用語として普及。</p> <p>-MINT という合科的な独立の教科はない。</p> <p>-連邦教育研究省はMINTアクションプランを発表し、約5,500万ユーロを投じて「子供と若者のためのMINT教育」「MINT専門家」「MINTにおける女子や女性の機会」「社会におけるMINT」を中心にMINT教育を強化する方向。</p>	<p>-STEM教育法(2015)では、S/T/E/Mに加えてcomputer scienceを含む。</p> <p>-「STEM to STEAM Act of 2017」では、創造性とイノベーションの促進のためにSTEM教育にArtとDesignの概念を統合。</p> <p>-予算拠出のための法整備がなされるが、国レベルでの明確なSTEM/STEAM教育の定義や共通見解は見られず、実践者それぞれの考え方で取り組んでいる。</p>	<p>-オンタリオ州では「教科横断型の統合学習」の一つとしてSTEM教育が位置付けられ、実世界の文脈で教科を応用することを強調。その際、各教科に特有の概念、プロセス、考え方を統合、応用することを目指す。</p> <p>-トランスファラブルスキルの習得等、関連分野における人材育成を重視。</p> <p>-BC州のカリキュラムではSTEM教育の用語は使われない。</p> <p>-STEAMについては、必須プログラムというより、学校独自の特色として位置付けられる傾向にある。</p>
STEM/STEAM に関する 学習評価	<p>-各教科内で評価。</p> <p>-使用している教科書によって、STEM/STEAMに関するテーマが教科内の学習で取り扱われることもあるが、あくまでも各STEM教科の指標・基準に沿って評価が行われているため、STEM/STEAM学習や活動に対する教科横断的な評価指標や基準は規定されていない。</p>	<p>-各教科内で評価。</p> <p>-MINT関連教科に共通する横断的なコンピテンシーが具体的に示されているわけではない。</p> <p>-教科どうしの関連にかかわる要素は各教科で獲得が目指される個々のコンピテンシーレベルに見いだされ、評価の対象となっている。</p>	<p>-教科横断的なスキル等についての評価を一部の地域で開発中。</p> <p>-ミネソタ州では、科学と工学の側面を含むスタンダードに基づき、授業コンテンツの開発と評価手法を検討中。</p>	<p>-各教科内で評価。</p> <p>-一部、教科間のつながりを評価。</p> <p>-STEMに特化した評価枠組みは存在しない。</p> <p>-オンタリオ州の教科「科学と技術」の評価項目には、教科間のつながりや実社会との関連付けについて評価される項目を含む。</p> <p>-BC州の教科「応用デザイン・技能・技術」では評価枠組みにEngineeringのプロセスが含まれる。</p>

国名	シンガポール	オーストラリア	ニュージーランド	IB
STEM/STEAMの特徴	<p>-STEM教育により、STEMの専門家、技術者、理解のある市民といった人材育成を重視。</p> <p>-前期中等教育科学シラバスの科学の目標の一つが「生徒が将来の学習や仕事のために、STEMに取り組み追求するための力強い科学の基礎を提供すること」。</p> <p>-STEM教育は、現実世界において問題解決を行い、学習に文脈を与えると捉えられている。</p>	<p>-統合的なSTEM教育、あるいは複数のSTEM系教科によるプログラム。</p> <p>-共通課題（common student task）を設定し、既存の教科の中でSTEM教育とのつながりやSTEM系教科どうしのつながりを重視。</p> <p>-ナショナル・カリキュラムでは、エンジニアリングを科学、技術、数学を貫く領域として捉え、STEMの learning context を提供するものと位置付ける。</p> <p>-STEM教育やSTEM関係の職業への女性の参画の向上に力点がある。</p>	<p>-STEM教育の推進によって、民族・人種やジェンダーの不平等の是正につなげる意図。</p> <p>-ナショナル・カリキュラムにSTEMの記載はない。</p> <p>-STEMは四つの学習分野の総称として用いられる。</p> <p>-統合的なSTEM教育も認知されている。</p>	<p>-16歳～19歳対象のディプロマプログラム（DP）においてSTEM系教科の教科等横断的な取組が様々なレベルで実施される。</p> <p>-プログラム全体でSTEM/STEAMが実施されていると捉えることが可能。</p>
STEM/STEAMに関する学習評価	<p>-各教科内で評価。</p> <p>-前期中等教育学校で開設可能な応用学習プログラム（ALP）の内容領域の一つとしてSTEMが位置付けられている（他の内容領域：言語、人文社会科学、ビジネス・起業精神）。</p> <p>-中等教育資格試験において、ALPは評価対象でない。</p>	<p>-ACARA STEM Connections プロジェクトでは、教科内での評価と、教科を横断した評価を意図。</p> <p>-各教科において学習目標の到達度を評価。科学、技術、数学に共通する内容（概念）として六つの「STEMの次元」を設定。</p> <p>-評価する汎用的な能力を教師が選択する。これらの能力に評定をつけるかどうかは、教師の判断に委ねられている。</p>	<p>-各教科内で評価。</p> <p>-総合的なSTEM教育の実施は各学校の裁量であり、教科横断的な指導はカリキュラム文書で推奨されている。</p> <p>-中等教育修了の国家資格制度（NCEA）の存在もあり、中等教育段階で積極的に実施されているとは言えない。</p>	<p>-DPの評価は理科、数学、芸術、学際的な科目「環境システムと社会」や知の理論と課題論文を含む。</p> <p>-形式的評価では指導と学習の両方に指針を与える。</p> <p>-DPでは外部評価と内部評価があり、モデレーションを受ける。</p>

国名	イギリス (イングランド)	ドイツ	米国	カナダ (オンタリオ州, BC州)
大学入学等におけるSTEM/STEAMの学習評価の利用	<p>-入学試験においてSTEM/STEAM 学習や活動は特に扱われていない。</p> <p>-GCSE 試験, AS レベル, A レベルの試験では、一部において教科横断型のスキルを取り入れた評価の義務付けあり。</p>	<p>-MINT 関連のコンテスストへの参加・貢献が評価の対象となる可能性がある。</p> <p>-大学によっては、アビトゥーア試験の成績に加えてMINT-EC 証明書の取得が考慮される場合がある。</p> <p>-MINT-EC 証明書は、MINT に関する優れた実績を継続的に収めた生徒に対し、申請に基づき授与されるもので、各州文部大臣会議等広く承認されている。</p> <p>-MINT-EC 証明書取得者に、奨学金を給付する大学あり。</p>	<p>-STEM/STEAM といった統合的な試験教科はないが、試験だけではない多面的な評価を念頭においたIB やアドバンスト・ブレイスメント (AP) の活用の広がりがある。</p> <p>-科目別試験 SAT Subject Tests とエッセイ試験 SAT Essay の廃止が2021年1月に発表された。</p> <p>-2007年の「America COMPETES Act」でSTEM 教科の AP や IB の促進や教員拡充などが明文化されている。</p>	<p>-入学試験ではなく、大学による、高校の成績を基にした書類審査によって判断される。</p> <p>-S/T/E/A/M に該当する教科が要件の場合は、これらの教科ごとの成績が入学の判断材料となる。</p> <p>-エッセイ等で高校でのSTEM 関連の活動実績や経験を語ることも可能 (入学要件ではない)。</p>
教員/学校支援の取組	<p>-National STEM Learning Centre (非営利機関): 教員と学校を支援するプラットフォームであり、STEM 系教科を対象とした(教師の)継続的な専門的成長 (CPD) を大規模に実施。</p> <p>-勤務先の学校が教員の参加費を支給する制度が確立。</p>	<p>-連邦ネットワークイニシアチブ MINT-EC (NPO 法人): 数学・自然科学・技術の面で卓越した後期中等教育段階の学校 (ギムナジウム) どうしをつなぎ、MINT 教育で優れた学校をMINT-EC 校と認定 (2021年12月現在339校)。</p> <p>-MINT-Allianz: オンラインによるMINT の学習機会を提供。連邦教育研究省及び各州文部大臣会議のMINT ワーキンググループ主導により、約50のMINT 関係組織が協力して立ち上げられた。</p>	<p>-国立科学財団 (NSF) が全米規模でSTEM 教育インフラのネットワーク化プロジェクトを実施。</p>	<p>-Teacher-librarian: 探究型学習ユニットの計画や、新しいテクノロジーを統合したカリキュラム開発をクラス担任と共同して行う。大学におけるディプロマプログラム等で体系的にトレーニングされる。</p>

国名	シンガポール	オーストラリア	ニュージーランド	IB
大学入学等における STEM/STEAM の学習評価の利用	<p>-科学諸科目の中等教育修了資格試験要領（GCSE-Aレベル：後期中等教育の最後の年に受験）に STEM の文言はない。</p> <p>-応用科目のコンピュータ科学、電子工学、運動とスポーツ科学、演劇は中等教育資格試験に含まれる。</p>	<p>-高校の成績と高校卒業時に各州で実施される統一卒業試験の結果で入学判定。</p> <p>-高校（第 11 学年、第 12 学年）での STEM 系教科(科学、技術、数学)の学習や活動の評価は、大学進学の見積り材料の一部。</p>	<p>-入学試験はなく、NCEA の成績等で大学入学資格を取得。</p> <p>-総合的な STEM 教育の学習や活動は、直接的には NCEA の単位取得に寄与しない。</p>	<p>-IBDP のスコアを標準化したり、他の既存の試験等と組み合わせたりして、大学入学試験で活用される（国によって扱いは異なる）。</p> <p>-評価は理科、数学、芸術等の 6 科目に加えて、知の理論と課題論文も点数化される。</p>
教員/学校支援の取組	<p>-STEM Inc.：前期中等教育段階における STEM ALP を支援。シンガポール科学館の基に設立され、ものづくり文化（maker culture）を重視。</p> <p>-ALP に取り組む学校は、実施に係る経費について教育省から予算がつく。前期中等教育学校全 101 校（国立）のうち、70 校近くが ALP を実施。</p> <p>-産業パートナーシッププログラム：企業等が学校に資金援助、助言、職場訪問、インターンシップ、ワークショップ等を実施。</p>	<p>-オーストラリア教育・技術・雇用省（DESE）のサイトで、STEM 教育を推進するための 16 個の教員支援の取組を紹介。</p> <p>-Digital Technologies Hub：新教科「技術（technology）」について教師、子供、家庭を対象に支援。非営利企業によって開発・運営され、他教科とのつながりも意識。オーストラリア政府の助成あり。</p> <p>-STEM Professionals in schools：オーストラリア連邦科学産業研究機構による STEM 専門家と教師のパートナーシッププログラム。オーストラリア政府の助成あり。</p> <p>-STAR portal：STEM 教育の実践を一元管理する全国規模のポータルサイトが 2017 年から稼働中。</p>	<p>-STEM Online NZ：学校と教師の支援を目的とする無料のインタラクティブなオンライン教育及び学習リソース。オークランド大学によって提供される。</p>	<p>-IB 会員向けのウェブサイト（プログラム・リソース・センター）：出版物を無料提供。</p>

第2章 諸外国の科学カリキュラムと科学的探究

諸外国の科学カリキュラムに関する調査研究の主な目的は、中等教育段階の次世代の科学カリキュラムの在り方に関する基礎的な知見を得ることであった。以下、調査対象としたイギリス、ドイツ、アメリカ合衆国、カナダ、シンガポール、国際バカロレアの担当者からの各報告を示す。イギリスについてはイングランド、カナダについてはブリティッシュコロンビア州を中心にまとめている。調査対象の学校段階は、後期中等教育段階を中心としつつ、特徴的なものについては前期中等教育段階の情報も含めた。本調査研究では、これらの国・地域等における先進的な科学カリキュラムに関して、内容構成、学習方法、学ぶ文脈等の観点から特徴的な部分を整理しつつ、各国・地域等の科学カリキュラムにおいて科学的探究がどのように示されているのかをまとめている。また、可能な範囲で、各国・地域等における特徴的な教科書等の記述や学習活動についても事例を収集した。これらの情報を踏まえて、今後の我が国における科学的な探究活動に関する示唆を加えた。示唆を含む各報告は、それぞれの国・地域等の担当者が作成したものである。なお、国・地域等の報告は原稿作成時期（令和元年度）の情報を基にしたものである。各国・地域等の報告における担当者は以下のとおりである。

- | | | |
|---|---------|-------|
| 1 | イギリス | 野添 生 |
| 2 | ドイツ | 遠藤 優介 |
| 3 | アメリカ合衆国 | 高橋 一将 |
| 4 | カナダ | 山下 修一 |
| 5 | シンガポール | 大嶋 竜午 |
| 6 | 国際バカロレア | 高阪 将人 |

イギリス（イングランド）

1. はじめに

2014年9月から現行版が実施されているイギリスのナショナル・カリキュラム（National Curriculum：以下、NCとする）は、教養ある市民になるために必要となる本質的な知識を提供することが総則の目標において明記されており、四つの学年区分（キー・ステージ：以下、KSとする）に分けられた12教科の中で具体的に示されている。全ての教科を通して育成される資質・能力として、「言語とリテラシー（Language and literacy）」と「数学的基礎能力と数学（Numeracy and mathematics）」の二つが明示されており、これらの資質・能力はNC全体を成功に導くための前提条件あるいは必要不可欠な基盤として位置付けられている。とりわけ、後期中等教育段階にあたるKS4（2年：14～16歳）とGCE・Aレベル（2年：16～18歳）の科学においては、「数学的基礎能力と数学」との関連が顕著に示されており、数学的スキルは数学の学習だけでなく、科学の文脈でも組み込まれるべきであることが明示されている。また、KS4やAレベル修了時に受験する資格試験にも一定量の数学的事項を取り入れることが義務付けられている。

NC科学では、育成すべき資質・能力として「科学的知識と概念理解（Scientific knowledge and conceptual understanding）」や「科学の本質、プロセス、方法（The nature, processes and methods of science）」などが明示されている。「科学的知識と概念理解」は学習プログラムにおいて、その配列が記載されており、次のKSに着実に進級するためにも表面上の不安定な理解ではなく、知識や概念の確実な理解が強く求められている。また、専門用語の正しい使用や数学的知識の応用、科学の社会的・経済的影響についても言及されており、生徒たちの科学へのモチベーションを最大限に高めるためにも、教師が様々な文脈を使うことを推奨している。「科学の本質、プロセス、方法」は、KS1からKS4の各段階における科学的取組（Working scientifically）で示されている。具体的には、実験の計画や制御に関する有意義な議論に従事するために必要な科学についての十分な理解が求められており、学年が上がるにつれてより一層充実したものになることが期待されている。

2. 先進的な科学カリキュラムと科学的探究

1) 科学カリキュラムの構成原理

(1) 目的・目標

KS4/GCSE

質の高い科学教育は世界を理解するための基礎を築き、また、科学という学問は未来の世界の繁栄に極めて重要であるため、全ての生徒に、科学に関する知識、方法、プロセス、応用の本質的な側面が教えられるべきであるという目的の下、次の目標が掲げられている。

- ・生物学，化学，物理学の特有分野を通して，科学的知識や概念理解を深める。
- ・生徒を取り巻く世界の科学的な疑問を解決する様々な科学的探究活動を通して，科学の本質，プロセス，方法に関する理解を深める。
- ・現在から将来に向けた科学の利用や影響を理解するために必要となる科学的知識を身に付ける。

GCE・AS/A Level

目的・目標として，以下のように記述されている（GCE・AS/A レベルの各試験委員会（資格付与団体）に求められている）。

- ・科目の様々な領域や，それらの互いの関係性に関する必要な知識と理解を育成する。
- ・科学的方法の正しいスキルや知識等について理解を深め，実践する。
- ・様々な実践的，数学的，問題解決的スキルに関する能力や自信を育成する。
- ・科目に関連する研究や職業への興味も含めた関心と熱意を高める。
- ・科学的諸問題について社会がどのように意思決定を行うか，また，経済・社会の発展のために科学はどのように貢献できるかについて理解する。

（２）内容構成

学習内容の構成は，**科学的取組**と，いわゆる**生物・化学・物理の教科内容 (Subject content)**の大きく二つに区分されるが，これらは常に関連付けながら学習していくことが求められている。つまり，教師は科学的探究の重要部分に焦点を当てながら，生物，化学，物理の内容に組み込む形で教えることが求められており，そのような学習活動を通して，生徒は関連する科学的問題を解決するための様々なアプローチの仕方を学ぶ。

（３）学習方法

科学教育における正統的なアプローチとして，体験的な活動の中で協働的な相互作用による学習（practical work）が行われている。そこでは，教師からの一方向的な指示によって「活動させる」のではなく，生徒が問題意識をもって主体的に学習に向き合えるよう工夫がなされており，単に「個人として知る」というプロセスではなく，「学習者同士で対話しながら協働的な相互作用を通して自らの理解を広げ深める」というプロセスを通して自らの理解を広げ深めていく。

（４）学ぶ文脈

自然の事物・現象に関する知識・技能について，その意味や理由なども含めて理解するといった学究的な「科学の知識」にとどまらず，科学に対する眼識を有し，専門家の議論がもたらす社会的な含意を大まかに理解できる市民を育成するため，習得した知識・技能を実社会・実生活の文脈において活用，実践することまでを射程に入れながら「科学についての知識」も学んでいく。

２）科学的探究

（１）科学カリキュラム上の科学的探究の位置付け

KS1 から A レベルを通して設けられている**科学的取組**という領域において，探究の進め方に関する基礎的な知識・技能や研究倫理に関する基本的な理解等の内容が示されて

いる。この**科学的取組**は、生徒たちが実験計画等の高度な議論に従事できるよう、KSが上がるにつれてより一層充実したものになることが期待されている。特にKS3以降は、項目別に具体的な事項が挙げられており、生物、化学、物理の学習内容に統合して組み込む形で、科学的探究の重要部分に焦点を当てながら教えることが求められている（各試験委員会（資格付与団体）に求められている）。以下に、項目と具体的な事項数を示す。

表 1：KS4 と A レベルにおける**科学的取組**の項目と事項数

KS4/GCSE	GCE・AS/A Level	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 科学的思考の発展 (6 事項) ・ 実験スキルや方策 (7 事項) ・ 分析と評価 (2 事項) ・ 語彙, 単位, 記号, 命名法 (6 事項) 	筆記試験による間接的評価	教師による直接的評価
	・ 自立思考 (2 事項)	・ 自立思考 (1 事項)
	・ 科学的方法と実践の利用と応用 (4 事項)	・ 科学的方法と実践の利用と応用 (6 事項)
	・ 実用的な文脈における数学的基礎能力と数学的概念の応用 (3 事項)	・ 研究調査と引用 (2 事項)
	・ 実験機器と装置 (1 事項)	・ 実験機器と装置 (1 事項)

(2) 科学的探究と内容的知識のバランス (評価を含む)

KS4/GCSE

総合的科学 (Combined Science: Double award qualification)

学校では少なくとも 16 以上の実験や観察といった実践的な活動を行うことが義務付けられており、また、Practical Work に関する知識やスキルが GCSE 試験の 15% を占めることが各試験委員会（資格付与団体）には義務付けられている。

生物, 化学, 物理 (Single Science: Single award qualification)

学校では少なくとも 8 以上の実験や観察といった実践的な活動を行うことが義務付けられており、また、Practical Work に関する知識やスキルが GCSE 試験の 15% を占めることが各試験委員会（資格付与団体）には義務付けられている。

GCE・AS/A Level

生物, 化学, 物理 (AS and A Level)

AS レベル, A レベル共に、少なくとも 12 以上の実験や観察といった実践的活動を行うことが義務付けられており、そこで育成された実践的スキルは、筆記試験による間接的な評価と、教師による直接的な評価の両方が義務付けられている。

3) 教科書の事例

(1) 探究の進め方等に関する基礎的な知識・技能

探究の進め方等に関する基礎的な知識・技能は、主に**科学的取組**の中で明記されている。例えば、OCR A (Gateway) Combined Science の教科書では、「どのように科学者は問いに答えるのか?」というトピックにおいて、科学者が問いに答えるには幾つかのステ

ージ（興味を持って観察し、解決すべき問いに気づく；科学的問いを立てる；仮説を基に予想を立てる；実験や観察などを行い、予想を確かめるための（科学的）根拠を集める；（科学的）根拠を分析する；等）があり、これらのサイクルを通して、既に知られている科学的知識が蓄積・更新されていくと説明している（図1参照）。同時に、科学者が必ずしもこれらの段階をたどる訳ではないことが説明されており、科学的探究は流動的であることも付言されている。また、「科学的問いとは何か？」「仮説とは何か？」といった内容も詳細に扱われており、一連の科学的探究に必要な知識・技能の育成が図られている。

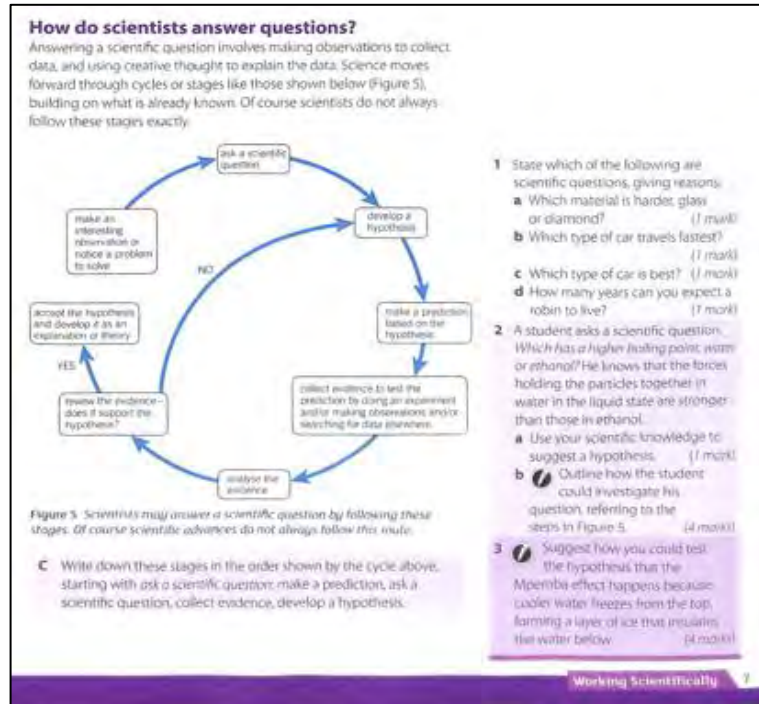


図1：OCR A (Gateway) Combined Science の教科書例

(出典：OCR Gateway Chemistry for GCSE Combined Science, Oxford

University Press, p.7, 2016.)

(2) 研究倫理に関する基本的な理解

研究倫理に関する基本的な理解は主に科学的取組の中で扱われているが、その扱いは試験委員会（資格付与団体）により、様々である。例えば、OCR B (21st century science) の教科書では、「科学についての考え (Ideas about Science)」という単元が設定され、科学的な解釈がどのように発展してきたかについての考えや、科学技術が社会に与えた影響などを学習する。具体的には、空気中の窒素からアンモニアを合成するハーバー法を開発したフリッツ・ハーバー (1868-1934) の

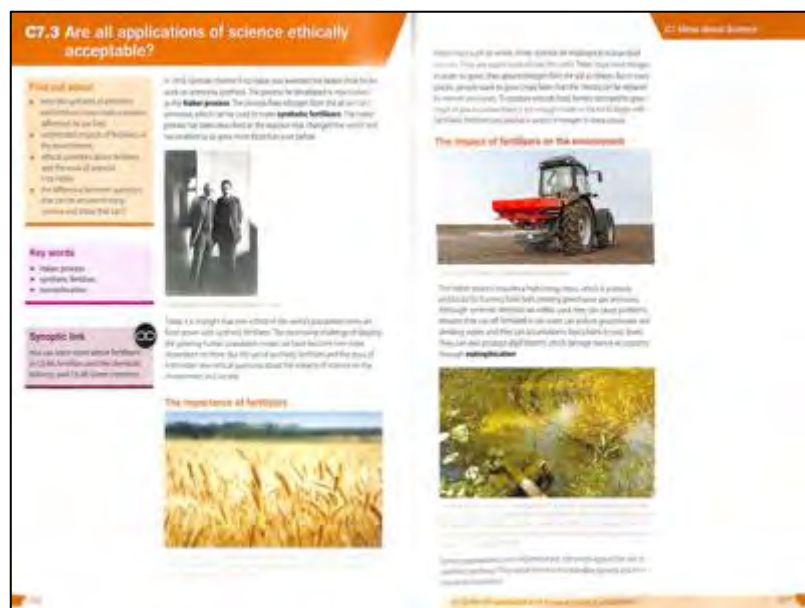


図2：OCR B (21st century science) Chemistry の教科書例

(出典：Twenty first century science GCSE Chemistry, Oxford University

Press, pp.276-277, 2016.)

半生をたどり、科学が有する力と限界を正しく認識し、そこから生じてくる倫理的問題を熟慮することや科学技術は社会と区分されないことを学ぶ（図2参照）。

（3）数学的基礎能力と数学的概念の応用

試験委員会（資格付与団体）が実施するKS4のGCSE試験、及びASレベル、Aレベルの試験において、下表に示す数学的スキルの評価が義務付けられている。そのため、各教科書では、科学の文脈で必要となる数学的スキルが整理・記載されている。

表2：試験で義務づけられている数学的スキルの評価の割合

KS4/GCSE 試験	GCE・AS/A Level 試験
総合的科学 (Double award qualification) 全体の20パーセント以上 (内訳は生物：化学：物理が1：2：3の割合) 生物, 化学, 物理 (Single award qualification) 生物：全体の10パーセント以上 化学：全体の20パーセント以上 物理：全体の30パーセント以上	生物, 化学, 物理 (ASLevel, A Level 共に) 生物：全体の10パーセント以上 化学：全体の20パーセント以上 物理：全体の40パーセント以上

例えば、AQA (Trilogy) の教科書では、データを処理する際に必要となる有効数字や平均値、度数分布や棒グラフに関する知識や概念を数学的スキルとして学習する。(図3参照) 有効数字の学習では、小数点以下の桁数と有効数字の桁数は一致しないことや、有効数字の異なる数値間の計算などを学習していく。また、度数分布や棒グラフの学習では、質的データの場合と量的データの場合の双方を例に挙げながら、対比的に学習していく。具体的には、質的データは数的データではないため、棒グラフで表記する際はそれぞれの間隔を開けておくのに対して、量的データは連続した数的データであるため、棒グラフで表記する際は間隔を空けないことや、度数分布表での表し方や数値の意味などを学習する。

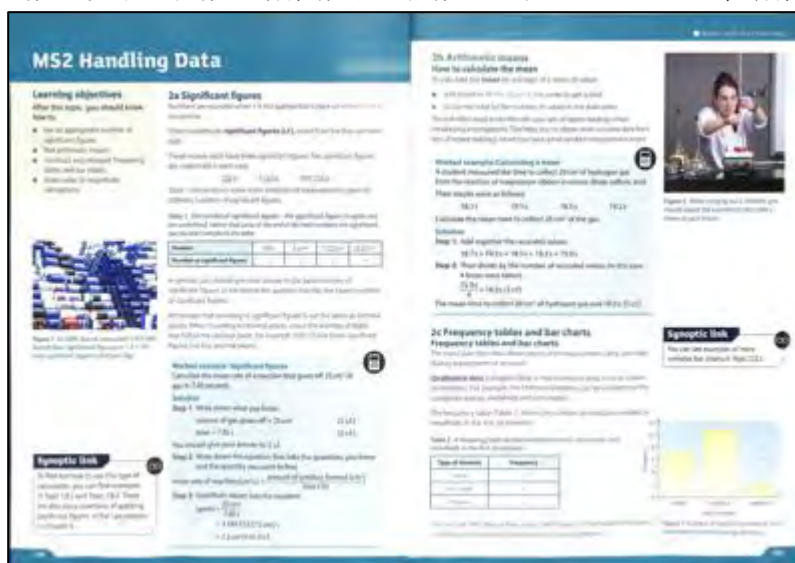


図3：AQA (Trilogy) Chemistry の教科書例

(出典：AQA Chemistry for GCSE Combined Science: Trilogy, Oxford University Press, pp.188-189, 2016.)

4) 評価（試験）の具体例

科学的取組で学習した内容は、GCSE 試験の記述問題で実際に評価されていることを

確認できる。例えば、OCR A (Gateway) Combined Science の GCSE 試験では、チオ硫酸ナトリウム水溶液と塩酸の反応速度に関する実験を例に挙げて、「実験手順を改善するために情報や考えを分析すること」を評価している（図 4 参照）。この反応が進むと、硫黄が遊離して白濁してくるため、三角フラスコの下に×印がやがて見えなくなる。問題では、生徒が溶液の温度の違いによって反応速度がどのように異なるかを調べるために行った実験手順を示した上で、この実験方法をどのように改善すべきかが問われている。模範解答としては、正確な温度を測定するために塩酸との混合溶液の温度を測定することや、正確な反応時間を測定するために、三角フラスコを×印の上に置いて混合させることといった解答が求められている。

This question is about rates of reaction.

A student investigates the reaction between sodium thiosulfate solution and hydrochloric acid at different temperatures.

(a) Look at how the student does the experiment.

1. He measures 50 cm³ of sodium thiosulfate solution into the conical flask. He heats the solution to the required temperature. He records the temperature.
2. He takes the flask off the tripod and gauze and places it on the bench.
3. He adds 5 cm³ of hydrochloric acid and then places the flask on the cross.
4. He measures the time for the cross to disappear.

How should the student improve his method?
Explain your answer.

.....
.....
.....

[2]

図 4：OCR A (Gateway) Combined Science の GCSE 試験例
(出典：GCSE (9-1) Combined Science (Chemistry) A (Gateway Science) J250/10 Paper 10 (Higher Tier) Sample Question Paper, Oxford Cambridge and RSA, p.10, 2018.)

3. 我が国における理数探究等の科学的な探究活動への示唆

イギリスでは、探究の進め方等に関する基礎的な知識・技能や研究倫理に関する基本的な理解などの内容からなる科学的取組が、KS1 から A レベル（初等教育段階から中等教育段階の全学年）を通して設けられている。この科学的取組は明確化した項目で示されており、学年が上がるにつれて高度化したものとなるように整理・配列されている。これらの項目は単独で教えられるのではなく、関連する教科内容に組み込まれた形で全体のバランスを考慮しながら教えられており、理科カリキュラム構想を策定する上で参考となる。

我が国の理数探究においては、探究の過程を通して身に付ける六つの知識及び技能（探究の意義についての理解、探究の過程についての理解、研究倫理についての理解、観察、実験、調査等についての基本的な技能、事象を分析するための基本的な技能、探究した結果をまとめ、発表するための基本的な技能）や三つの思考力、判断力、表現力等（課題を設定するための基礎的な力、数学的な手法や科学的な手法などを用いて、探究の過程を遂行する力、探究した結果をまとめ、適切に表現する力）が整理されている。これらの内容

は、イギリスの**科学的取組**で整理されている項目とほぼ重なっているが、例えば、「実際の科学と幅広い社会的文脈の双方でリスクを認識し評価すること (KS4)」といった、我が国の学習指導要領やその解説ではあまり明示されない内容もイギリスの**科学的取組**には明確に含まれている。つまり、科学は社会とどのように関わりながら発展してきたのかといった「科学の営み」を学習することを通して、科学と社会の関係についての理解を深めることも、イギリスでは育成すべき知識及び技能と認識されている点は特筆に値するであろう。また、理数探究においては、数学的な見方・考え方や理科の見方・考え方を豊かな発想で活用したり、組み合わせたりしながら探究することが求められている。今後、具現化に向けた教材や授業の開発に関する実践研究が進められていく中で、イギリスの科学的探究に必要な数学的スキルを整理・明確化させた上で学習が展開していく特徴は、教授方略の一つの形として示唆に富んでいると考える。

最後に、**科学的取組**の評価に関しては、具体例で示したように提示された実験方法を改善するといった問題が、他の各試験委員会（資格付与団体）でも一般的に確認できる。他にも、物質の特性（強度、腐食耐久性、密度、電気伝導性、原価）の一覧表を基に、どの材質がガーデンチェアを作る上で最も適しているかを理由を含めて記述する問題など、科学的な情報や考えを基に判断したり、結論を導き出すといった問題などもある。このような観察・実験を中心とした科学的探究で身に付けた力を多角的に評価しようとするイギリスの視点は、科学的な探究活動の評価面を考える上での一つの手掛かりとなるであろう。

【註】

- 1) イギリスとは主としてイングランドを指しているが、連合王国の構成体であるウェールズ、北アイルランド及びスコットランドの地域にまで言及する場合は適宜それを示した。

【引用・参考文献】

Borley, M., Harden, H., Hulme, P. G., Palmer, E., Tiernan, A., Warren, D., & Dunlop, L. (2016) *Twenty first century science GCSE Chemistry*, Oxford: Oxford University Press.

Department for Education (2014a). *GCE AS and A level subject content for biology, chemistry, physics and psychology*.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/593849/Science_AS_and_level_formatted.pdf

Department for Education (2014b). *National curriculum in England: Science programmes of study -key stages 4*.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/381380/Science_KS4_PoS_7_November_2014.pdf

Department for Education (2015a). *GCSE subject content: Biology, Chemistry and Physics*.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/593831/GCSE_single_science_formatted.pdf

Department for Education (2015b). *GCSE subject content: Combined science*.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/593774/Combined_science_G

CSE_formatted.pdf

Office of Qualifications and Examinations Regulation (2015a). *GCSE Subject Level Conditions and Requirements for Combined Science*.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/600866/gcse-subject-level-conditions-and-requirements-for-combined-science.pdf

Office of Qualifications and Examinations Regulation (2015b). *GCSE Subject Level Conditions and Requirements for Single Science (Biology, Chemistry, Physics)*.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/600867/gcse-subject-level-conditions-and-requirements-for-single-science.pdf

Office of Qualifications and Examinations Regulation (2015c). *GCSE Subject Level Guidance for Combined Science*. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/443984/gcse-9-to-1-subject-level-guidance-for-combined-science.pdf

Office of Qualifications and Examinations Regulation (2015d). *GCSE Subject Level Guidance for Single Science (Biology, Chemistry, Physics)*.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/443983/gcse-9-to-1-subject-level-guidance-for-single-science.pdf

Office of Qualifications and Examinations Regulation (2015e). *GCE Subject Level Guidance for Science (Biology, Chemistry, Physics)*.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/447167/2015-07-20-gce-subject-level-guidance-for-science.pdf

Office of Qualifications and Examinations Regulation (2016). *GCE Subject Level Conditions and Requirements for Science (Biology, Chemistry, Physics) and Certificate Requirements*.

https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/600864/gce-subject-level-conditions-and-requirements-for-science.pdf

Office of Qualifications and Examinations Regulation (2017). *GCSE (9 to 1) Qualification Level Conditions and Requirements*. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/622387/gcse-9-to-1-qualification-level-conditions-and-requirements-june-2017.pdf

Oxford Cambridge and RSA (2018). *GCSE (9-1) Combined Science (Chemistry) A (Gateway Science) J250/10 Paper 10 (Higher Tier) Sample Question Paper*. <https://www.ocr.org.uk/Images/234656-unit-j250-10-chemistry-higher-tier-paper-10-sample-assessment-material.pdf>

Ryan, L., & Peacock, R. (2016). *AQA Chemistry for GCSE Combined Science: Trilogy*, Oxford: Oxford University Press.

Saunders, N. (2016) *OCR Gateway Chemistry for GCSE Combined Science*, Oxford: Oxford University Press.

(野添 生)

ドイツ

1. はじめに

2000 年前後に実施された TIMSS や PISA といった国際学力調査での低調な結果を受け、それ以降、教育の質保証を目指した「アウトプット統制重視」とも言える教育改革が、国を挙げて展開されてきた。学校教育の範疇^{はんちゆう}に焦点化すれば、こうした改革の核心は、「コンピテンシー (Kompetenz)」という新たな能力概念を取り入れた常設各州文部大臣会議(以下、KMK と表記)による「教育スタンダード (Bildungsstandards)」の策定と、それを受けた各州でのカリキュラム改訂にあるとみてよい。特に、州の「文化高権 (Kulturhoheit)」^りの原則下にあったドイツにおいて、KMK 教育スタンダードのような連邦統一的な基準が導入されたことは、教育政策史上画期的な事柄として多くの耳目を集めることとなったのである(大高, 2010 ; 151)。

教育改革の文脈で語られる「コンピテンシー」については、OECD-DeSeCo でコンピテンシー概念の提起を担当した Weinert の定義に基づく理解が定着しており(吉田, 2013 ; 44), それは認知的能力や技能に加え、動機や意欲, 社会性をも含む極めて包括的な能力概念として捉えられている。さらに言えば、コンピテンシーは一般的・教科横断的な能力としての側面を有しつつも、一方ではその基盤となる各教科・専門領域と強く結び付けられているものとされ、何よりもまず教科内で当該概念を具体化、運用化していく必要性が強調されている(Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2003 ; 75)。

このような立場に鑑み、先に述べた KMK 教育スタンダードはいくつかの主要教科ごとに策定がなされている。そこでは、「一般的な陶冶目標を取り上げ、特定の学年段階までに、本質的な内容に即して、生徒たちにいかなるコンピテンシーを獲得させるべきかを定める(KMK, 2005a ; 9)」とあるように、各教科の目的・目標を踏まえつつ、特定の学年段階修了時に生徒に求められるコンピテンシーが具体的に示されるに至っている。以下で述べる科学教育領域の改革動向も、基本的にはこうした教育改革全体の流れの中に位置付けられ、展開されてきたと言ってよいだろう。

2. 先進的な科学カリキュラムと科学的探究

1) 科学カリキュラムの構成原理

ここでは、国レベルの科学カリキュラム基準に相当するものとして、科学系教科(物理、化学及び生物)の KMK 教育スタンダード〔前期中等教育修了段階〕とアビトゥーア試験における統一的試験要求(以下、EPA と表記)〔後期中等教育修了段階〕を取り上げ、その内実と構成原理を探ることとする。これら両者はいずれも 2004 年に策定、改訂がなされたものである。なお、アビトゥーア試験は、大学入学資格取得に向けた最終試験であり、主な対象がギムナジウム上級段階進学者に限定されていることに留意されたい。

(1) 目的・目標

物理、化学及び生物の KMK 教育スタンダードでは、その冒頭に共通して科学教育の目的・目標観が表明されている。一部引用すれば、「科学教育は、個人が技術の発展や科学研究についての社会的コミュニケーションや世論の形成に積極的に関与することを可能にし、…(中略)…科学の基礎教育の目標は、現象を知ることができるようにすること、科学の言語や歴史を理解すること、科学の成果についてコミュニケーションすること、並びに科学に特有な認識獲得の方法とその限界について吟味することである。…(中略)…さらに、科学の基礎教育は、科学・技術の職業領域へのひとつの方向づけを提供し、職業に関連した学習の基礎を造るものである (KMK, 2005b,c,d ; 6)」といった内容である。これらをみてもわかるように、包含される目的・目標の要素は実に多様で幅広い。Köller (2007 ; 19) によれば、上述のような科学教育の目的・目標観は、科学的リテラシーをめぐる国際的な議論にも依拠しているという。

こうした目的・目標観を基底にしつつ、生徒が獲得すべきコンピテンシーの具体化に向け、物理、化学及び生物に共通する枠組みとして四つのコンピテンシー領域が設定されている。それはすなわち「専門知識 (Fachwissen)」、「認識獲得 (Erkenntnisgewinnung)」、「コミュニケーション (Kommunikation)」及び「評価 (Bewertung)」である。これら4領域の内、「専門知識」は「内容の次元 (inhaltliche Dimension)」、残り三つは「行動の次元 (Handlungsdimension)」にかかわる領域として区分されている (KMK, 2005b,c,d)。そして、領域ごとに「生徒は…する」という形で、生徒が獲得すべき個々のコンピテンシー(複数個)が明示されるに至っている。

加えて、上記四つのコンピテンシー領域は、若干の名称変更があるものの、基本的に後期中等教育修了段階の EPA においても設定されている (KMK, 2004a,b,c)。表 1 は、化学を例に、KMK 教育スタンダードと EPA で設定されたコンピテンシー領域の対応関係をまとめたものである。これらを踏まえると、中等教育段階全体を通して、一貫したコンピテンシーの獲得・育成が企図されていることが窺える。

表 1 化学の KMK 教育スタンダードと EPA におけるコンピテンシー領域の対応

KMK 教育スタンダード	EPA
【専門知識】: 化学に関する現象, 概念, 法則性を知り, 基本概念を整理する。	【専門知識 (Fachkenntnisse)】: 化学の知識を活用する。
【認識獲得】: 実験的方法や他の探究方法, 並びにモデルを利用する。	【専門的方法 (Fachmethoden)】: 化学の認識方法を利用する。
【コミュニケーション】: 事実に即し, かつ専門的に情報を解釈し, 交換する。	【コミュニケーション (Kommunikation)】: 化学の中でそして化学についてコミュニケーションする。
【評価】: 様々な文脈において, 化学に関する状況を認識し, 評価する。	【省察 (Reflexion)】: 化学の関連について省察する。

(出典: KMK, 2005c ; 7 及び KMK, 2004b ; 5-6 をもとに筆者作成)

ただし、領域ごと(表 1)に明示される個々のコンピテンシーは、あくまで特定の学年段階修了時において獲得が期待されるものであり、そこに到達するまでの細かなコンピテンシーの段階(レベル)やその育成プロセスを描出することは、KMK 教育スタンダード及び EPA ではなされていない。

(2) 内容構成

科学系教科の KMK 教育スタンダード及び EPA では、教科内容を構造化するためのいくつかの「基本概念 (Basiskonzept)」が示されている。一方で、扱うべき個々の学習内容 (配列を含む) に関しては、ことさら詳細な規定はなされていない。これら学習内容の側面は、専ら州ごとの科学カリキュラムの中で具現化が図られることとなるが、そこでは従来のように学習内容を網羅的に示すのではなく、獲得すべきコンピテンシーを記述しつつ不可欠な中心的テーマや内容を示す「中核カリキュラム (Kerncurriculum)」の必要性が指摘され (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2003 ; 97), 実際の導入もなされている。

(3) 学習方法

「教育スタンダードは、学校の教授・学習プロセスを標準化するものではない (KMK, 2005a ; 11)」という立場から、コンピテンシーの獲得に向けていかなる学習方法を用いるべきかについては明確な規定がなされておらず、多様な学習への取組が想定される。ただそのような中で、「内容及び行動に関連付けられたコンピテンシーは、文脈においてのみ獲得される (KMK, 2005c ; 8)」とあるように、コンピテンシーの獲得に向けた学習の鍵を握るものとして、「文脈 (Kontext)」が重要視されている。

(4) 学ぶ文脈

こうした文脈について、例えば科学系教科の KMK 教育スタンダードに提示されている範例的な課題事例をみると、それらは身の回りの日常生活や科学が関連する社会問題のような文脈に沿った構成となっている。なお、州によっては学習内容を扱う際の具体的な文脈を科学カリキュラムに明示しているケースもあり、日常的な文脈、社会的な文脈、歴史的な文脈等、多様な文脈が取り上げられている (遠藤, 2014 ; 176)。

いずれにせよ、以上を端的にまとめれば、包括的な科学教育の目的・目標観に照らしながら、生徒が獲得すべき科学のコンピテンシー、すなわちアウトプット面の描出により力点を置くような科学カリキュラム構成が、ひとつの特徴として見いだされよう。

2) 科学的探究

主として科学的探究関連のコンピテンシーについては、KMK 教育スタンダードでは「認識獲得」、EPA では「専門の方法」の各コンピテンシー領域において具体的に示されている。先述の通り、KMK 教育スタンダード及び EPA では、コンピテンシーの領域が各々四つ設定されているが、上記両領域はいずれもその中のひとつであり、他の領域と並び科学教育を通じて生徒たちが獲得すべきコンピテンシーとして、明確に位置付けられているのである。

それでは、科学的探究関連のコンピテンシーとしてどのようなものが挙げられているのだろうか。化学を例として、少し詳しく見てみよう。表 2 は、化学の KMK 教育スタンダードの「認識獲得」領域、及び EPA の「専門の方法」領域において示されたコンピテンシーを抜粋したものである。

表2 化学の KMK 教育スタンダードの「認識獲得」領域及び EPA の「専門の方法」領域に示された科学的探究関連のコンピテンシー

KMK 教育スタンダード【認識獲得】	EPA【専門の方法】
<ul style="list-style-type: none"> ・化学の知識や、とりわけ化学実験を通じた探究によって回答され得るような問いを認識したり、生み出したりする。 ・予想や仮説を検証するために適切な探究を計画する。 ・定性実験や簡単な定量実験、並びに他の探究を実施し、それを記録する。 ・実験の際に、安全及び環境の視点に留意する。 ・探究を行う際、特に化学実験の中で関連するデータを収集、もしくは調査する。 ・収集もしくは調査したデータから、傾向や構造、関連を見だし、それを説明し、適切な結論を導き出す。 ・化学的な問いを扱うために、適切なモデル（例えば、原子モデル、元素の周期表）を利用する。 ・社会の発展と化学的認識との結び付きに関する代表例を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> ・自主的に化学実験を計画し、実施し、観察し、記述し、そして評価することができる。 ・化学の事態を記述し、説明するために適切なモデルを活用する。 ・粒子レベルで化学反応を解釈する。 ・仮説を立て、予想を記述し、これを実験的に検証することができる。 ・数学的方法や範例的な化学の課題を解決するための援助を活用する。 ・測定、モデル形成、計算もしくはシミュレーションのためにコンピューターを利用する。

(出典：KMK, 2005c ; 12 及び KMK, 2004b ; 5 をもとに筆者作成)

表2を見ると、コンピテンシーの内実は観察、問いの設定、仮説の設定、データの収集・処理といった個々の科学的探究スキルの習得にかかわるものから、科学的探究そのものの計画・立案、実施そして評価にかかわるもの、科学的探究におけるモデルの形成・利用にかかわるもの等に至るまで、広範な射程を有していることがわかる。なお、EPA 生物に限っては、当該コンピテンシー領域を、「教科固有のコンピテンシー」、「自然科学のコンピテンシー」及び「一般のコンピテンシー」の三つに分けて個々のコンピテンシーを記述しており (KMK, 2004a ; 6-7), 教科 (学問領域) 固有の視点と教科 (学問領域) 横断的な視点の双方を顧慮しながら、探究にかかわるコンピテンシーの描出がなされている様子がうかがえる。

ここで、今一度表2に目を向けると、例えば「予想や仮説を検証するために適切な探究を計画する」のように、ここに挙げられている科学的探究関連のコンピテンシーのほとんどは、化学 (科学) の内容知識を含まない形で記述されている。Schecker (2012 ; 229) も指摘するように、この背景には「認識獲得」領域を含め、プロセス (行動) 関連のコンピテンシーは内容から切り離され得るという前提、つまり実験を計画し、実施し、結果を記録する能力は様々な内容領域で養われ、活用されるものであるため、内容は交換可能であるという考え方がある。3. でも再度言及するが、こうした傾向には一方では「内容の過小評価」として批判が向けられている (Fischler, 2011 ; 31-32)。

さて、ここまで述べてきた科学的探究関連のコンピテンシーについては、獲得・育成状況の評価に向けた連邦レベルの取組も行われている。その代表例とも言えるのが、フンボルト大学に設立された「教育制度における質的開発のための研究所 (以下、IQB と表記)」による「前期中等教育段階の科学教育スタンダードの評価 (以下、ESNaS と表記)」プロジェクト (2007 年開始) である。

ESNaS プロジェクトでは、KMK 教育スタンダードの達成状況 (「専門知識」領域と「認

識獲得」領域)を検証するため、課題(筆記式)の開発とそれを用いた調査の実施、さらには調査データに基づく実証的なコンピテンシー段階モデルの開発がなされてきた。特筆すべきは、調査データに裏打ちされる形で五つのコンピテンシーの段階(I~V;IIIがKMK教育スタンダードの水準に相当し、Vが最高段階)を記述するとともに、各段階に対応する課題例を合わせて提示し、生徒のコンピテンシーの獲得・育成状況を捉える枠組みを提供している点である。化学の「認識獲得」領域についてみれば、以下の図1のようなコンピテンシーの段階、及び課題例が示されるに至っている(IQB, 2013; 30, 45-46)。

<p>段階Ⅰ：検証可能な問いを認識し、簡単な実験装置やモデルを知っている。</p> <p>段階Ⅱ：簡単なモデルを利用し、科学の認識獲得をめぐる個々のステップを用いる。</p> <p>段階Ⅲ：簡単な専門との関連において、認識獲得に向けた科学の方法並びにモデルを用いる。</p> <p>段階Ⅳ：複雑な関連において、認識獲得に向けた科学の方法(実験やモデル)を、根拠を持って選択し、利用する。</p> <p>段階Ⅴ：実験やモデルの可能性と限界を顧慮する。</p>	<p>【段階Ⅳの課題例】</p> <p>温度と反応速度：</p> <p>化学の授業では、反応物(出発物質)の温度が反応速度に影響を及ぼすかどうかという問いが解明されるべきである。</p> <p>この問いに答えるためには、以下に示す実験 V₁-V₄ の内のどれが適切であろうか。正しい組み合わせにチェックをつけなさい。</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>実験</th> <th>亜鉛粉末の質量</th> <th>塩酸の体積</th> <th>塩酸の温度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">□</td> <td rowspan="2">V₁</td> <td>5 g</td> <td>10 mL</td> <td>30℃</td> </tr> <tr> <td>5 g</td> <td>10 mL</td> <td>50℃</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">□</td> <td rowspan="2">V₂</td> <td>5 g</td> <td>10 mL</td> <td>30℃</td> </tr> <tr> <td>10 g</td> <td>5 mL</td> <td>50℃</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">□</td> <td rowspan="2">V₃</td> <td>10 g</td> <td>10 mL</td> <td>30℃</td> </tr> <tr> <td>10 g</td> <td>10 mL</td> <td>30℃</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">□</td> <td rowspan="2">V₄</td> <td>10 g</td> <td>10 mL</td> <td>30℃</td> </tr> <tr> <td>5 g</td> <td>10 mL</td> <td>50℃</td> </tr> </tbody> </table>		実験	亜鉛粉末の質量	塩酸の体積	塩酸の温度	□	V ₁	5 g	10 mL	30℃	5 g	10 mL	50℃	□	V ₂	5 g	10 mL	30℃	10 g	5 mL	50℃	□	V ₃	10 g	10 mL	30℃	10 g	10 mL	30℃	□	V ₄	10 g	10 mL	30℃	5 g	10 mL	50℃
	実験	亜鉛粉末の質量	塩酸の体積	塩酸の温度																																		
□	V ₁	5 g	10 mL	30℃																																		
		5 g	10 mL	50℃																																		
□	V ₂	5 g	10 mL	30℃																																		
		10 g	5 mL	50℃																																		
□	V ₃	10 g	10 mL	30℃																																		
		10 g	10 mL	30℃																																		
□	V ₄	10 g	10 mL	30℃																																		
		5 g	10 mL	50℃																																		

図1 「認識獲得」領域のコンピテンシーの段階と対応する課題例

(出典：IQB, 2013; 30, 45-46 をもとに筆者作成)

こうした筆記式の課題への取組を通して科学的探究関連のコンピテンシーの獲得・育成状況を評価しようとする向きがある一方、アビトゥーア試験では、筆記試験だけでなく口述試験の形態においてもその評価が企図されている。科学系教科に関して言えば、筆記試験にせよ口述試験にせよ、そこでの評価対象は「専門の方法」領域を含むコンピテンシー4領域全てに及んでいなければならない(KMK, 2004b; 15, 19)、そうした観点からの課題作成が求められている。また、とりわけ化学の口述試験では、コンピテンシー4領域に加えて、評価の際に考慮すべき規準として①化学の知識や技能の範囲と質、②事実に即し矛盾のない表現の構成、③説明の分かりやすさ、プレゼンテーション方法の適切な使用、④本質的なものを強調し、言葉で分かりやすくかつ論理的に解決策を発表することができる能力、⑤化学の問題に対する理解、並びに関連を認識し表現したり、化学的事態を判断したり、質問や異議に柔軟に対応したり、しかるべき支援を取り上げたりする能力、⑥試験過程における自主性と創造性、が挙げられている(KMK, 2004b; 20)。具体的な口述試験の課題例としては、図2のようなものが示されており、課題に関連する基礎的な資料(図やグラフを含む)、受験者が取り組むべき課題、前提となる授業、使用可能な器具・試薬が提示されるような構成となっている。

これら課題例について、科学的探究関連のコンピテンシー(「専門の方法」領域)の評価という観点から特徴的なのは、実際に器具や試薬を提供し、受験者が実験を計画・実施し

資料 1 :

化学実験室において、pH メーター用の電極は緩衝液を用いて校正される。これに関して、メーカーからは、例えば pH の値が 4.01, 6.87 及び 9.18 の緩衝液が推奨される。

- ・ pH 値と酸化還元電位の測定のための電極に関する取扱説明書からの一部抜粋

校正 :

- 緩衝液の温度を pH メーター側で合わせる。
- 電極の内部液部分からキャップを取り外す。電極を蒸留水で洗う。
- 中性点近くの pH (pH 6.87) 値である緩衝液に電極を浸し、調整つまみでゼロ点 (ΔpH) を示すようにする。
- 電極を蒸留水で洗い、別の緩衝液、例えば 4.01 (もしくは 9.18) のものに浸し、調整つまみで勾配値 (mV/pH) を示すようにする。これによって、pH メーターは電極機能を適合させている...

資料 2 : 呼吸のスキーム (図は割愛) **資料 3 :** 様々な緩衝液 (グラフは割愛)

課題設定

1. 必要な pH 値での校正を行うために 2 つの緩衝液を調製し、それらの緩衝効果を検証しなさい。
そのために、以下から自由に試薬を選択することができる：
酢酸 (1 mol/L)、酢酸ナトリウム溶液 (1 mol/L)、リン酸二水素ナトリウム溶液 (1 mol/L)、リン酸水素ナトリウム溶液 (1 mol/L)、水酸化ナトリウム溶液 (0.1 mol/L)、塩酸 (0.1 mol/L)、アンモニア水 (1 mol/L)、塩化アンモニウム溶液 (1 mol/L)、万能指示薬
やり方を計画し、化学反応式を用いて結果を説明しなさい。
2. 血液中における緩衝システムの意義を解説しなさい。

注**前提となる授業**

緩衝液、プロトン解離平衡、平衡定数、緩衝効果、緩衝能、緩衝液の調製とその緩衝効果の調査、自然界と技術における緩衝液の意義、弱酸と強塩基による滴定、滴定曲線の解釈

提供されている器具・試薬

器具：試験管、試験管立て、半微小滴定装置、ビーカー、メスシリンダー

試薬：酢酸 (1 mol/L)、酢酸ナトリウム溶液 (1 mol/L)、水酸化ナトリウム溶液 (0.1 mol/L)、塩酸 (0.1 mol/L)、アンモニア水 (1 mol/L)、塩化アンモニウム溶液 (1 mol/L)、万能指示薬

図 2 化学のアビトゥーア試験 (口述試験) の課題例「緩衝システム」

(出典：KMK, 2004b ; 55-58 をもとに筆者作成)

たり、その結果を説明したりするような、課題に応じた一連の探究を行う中で、個々のコンピテンシーを評価しようとしている点である。もっとも、例えば受験者自身が問いを設定する等、科学的探究のプロセスにおける全ての場面が課題例に反映されているわけではない。しかしながら、実験の計画・実施をはじめ実際の科学的探究には不可欠でありつつも、筆記試験だけでは捉えることが困難であるようなコンピテンシーを評価するという意味では、上記口述試験のあり様は注目されよう。

3) 教科書の例

ここでは、Klett 社が発行するギムナジウム上級段階の導入段階 (Einführungsphase : 日本の高等学校第 1 ~ 2 学年相当) 対象の生物教科書 *NATURA Biologie für Gymnasien* を取り上げ、科学的探究に関する指導事例の特徴の一端を探ってみたい。

当該教科書では、冒頭部に小単元「生物学における研究方法」が独立して置かれ、「生物学者はどのようにして探究するのか?」、「どのようにして学問的なデータを評価するのか?」、「モデルはどのような意義を有しているのか?」という各テーマの下、専ら科学的探究の方法に関する内容が扱われている。最初のテーマ「生物学者はどのようにして探究するのか?」では、科学の認識を獲得する (科学的探究) プロセスが図示され (図 3)、イネ科植物の生長についての探究を例にした、プロセスの各場面 (問いの設定、仮説の設定等) の解説を通して、科学的探究の全体的な進め方に関する理解を図るような構成となっ

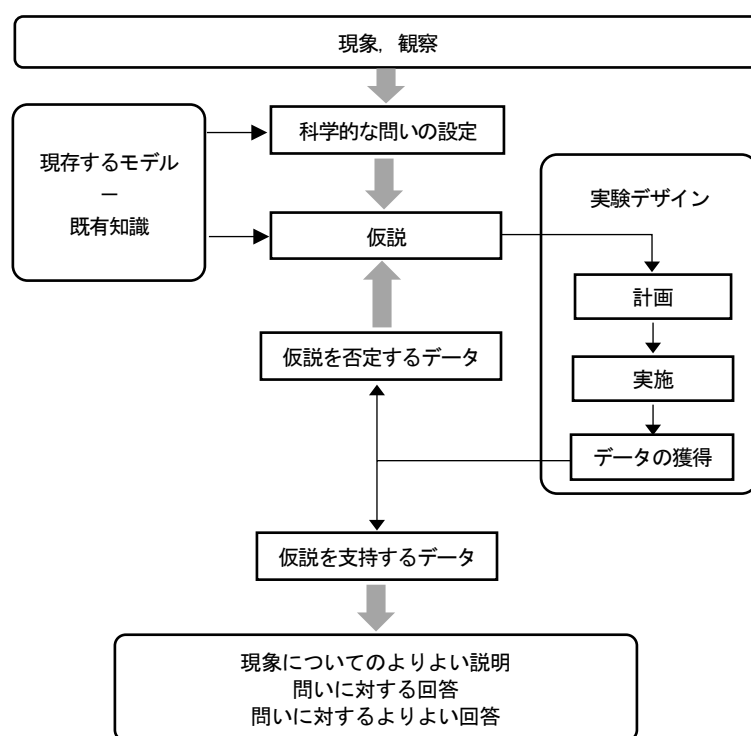


図3 科学的探究のプロセス

(出典 : Bickel, H., Bokelmann, I. & Schäfer, M., 2014 ; 4)

ている。また、「どのようにして学問的なデータを評価するのか？」では、グラフの書き方やグラフの評価、散布図や棒グラフ、円グラフといったグラフの種類等、主として得られた結果（データ）を表現するためのグラフに関する解説が、そして「モデルはどのような意義を有しているのか？」では、生物学におけるモデルの役割や種類、モデルが有する限界性等に関する解説が、それぞれなされている。教科書中にはこれらの解説に加え、例えば「なぜ科学的な問いは実験によってしか答えられないかを説明しなさい」のような小課題も付されており、それらに取り組むことでより理解を深められるようになっている。

むしろ、後続の単元にも、教科生物の専門的内容に即しながら科学的探究の個々のスキルを習得する機会が少なからず埋め込まれている。とは言い、どちらかと言えば科学的探究のプロセスそのものを意識的に対象化して学び、それらについての理解を図るような独立した単元が明確に設けられていることは注目に値しよう。

3. 我が国における理数探究等の科学的な探究活動への示唆

以上の議論を踏まえ、今後我が国の高等学校における理数探究基礎及び理数探究の本格実施に向けて示唆を与え得る点をいくつか挙げ、吟味することとしたい。

第一に、科学的探究とはどういったものなのか、またそれをどのように進めていけばよいのか等々に関する理解、すなわち科学的探究それ自体を対象とするような科学的探究についてのメタ的な理解を、明示的に図る必要性である。これらは、いわゆる「科学の本質 (Nature of Science : NOS)」や「科学的探究の本質 (Nature of Scientific Inquiry : NOSI)」と

呼ばれる内容の理解，と言い換えても差し支えあるまい。科学的探究に取り組む上では，個々の探究スキルを身に付けることもさることながら，実際にどのようなプロセスで探究を進めていくか，その道筋を描くことも極めて重要になる。したがって，Klett社の生物教科書のように，基本的な科学的探究のプロセスを冒頭に図示することは，これから科学的探究に取り組んでいこうとする生徒たちに，その大まかな流れのイメージを掴ませるといふ点で，有効な手立てのひとつと言えよう。しかしながら一方，図3のような科学的探究プロセスの図式は，実際にはもっと複雑で多様性ある科学的探究活動の様相をかなり単純化して表している側面があるし，現代科学論の知見と必ずしも相容れない部分もある。もっとも，高等学校における理数探究基礎や理数探究で，それら事項についての理解まで求めるべきか否かという議論は別途要するところであるが，科学的探究の指導に携わる教師側にとっては，少なからず留意せねばならない視点であると考えられる。

第二に，上記第一の点と若干かかわって，教科領域固有の内容知識と科学的探究関連のコンピテンシー（資質・能力）との関係性である。先にも述べたように，ドイツにおいて，科学的探究関連のコンピテンシーは専ら教科の内容知識とは切り離された形でその記述がなされていた。確かに，例えば化学のKMK教育スタンダードにおける「予想や仮説を検証するために適切な探究を計画する」というコンピテンシーは，教科化学で扱ういずれの内容をとってみても，共通して当てはまるものかもしれない。とは言え，そこには「内容の過小評価」（Fischler, 2011 ; 31-32）という批判が向けられていたし，探究の中で用いる実験手法について考えてみれば，滴定による濃度決定の手法と有機化合物の構造決定の手法が異なるように，それらは化学の内容領域ごとに一定の固有性が存在し，決して一様ではない。ましてや，物理や生物との比較ともなれば，同じ科学系教科であったとしてもその手法の違いはなおさらである。Schecker (2012 ; 229) も，「現象，概念そして実験手法が高度になればなるほど，内容とコンピテンシーを切り離すことはますます困難になる」ことを指摘している。別の見方をすれば，そうした内容知識との不可分性は，科学的探究のあり様が内容領域に応じて様々変化し得ることを示していると考えられる。このことは，一方では理数探究において，どのようなテーマ（内容）の科学的探究を行うかにより，例えば実験計画を立案するにしても求められる資質・能力には質的な差異が存在する可能性を示し，また他方ではそうした差異が想定される中で，生徒の科学的探究に対する取組をどのように評価していくのかという論点を提供するものと言える。

第三に，段階モデルの開発及びそれらと課題例との対応付けを通じた，科学的探究関連のコンピテンシーの獲得・育成状況を評価する枠組みの構築である。ドイツの事例にあるように，コンピテンシーの各段階と具体的な課題例（筆記式）とを対応付けるという構図は，課題の達成具合から比較的容易に科学的探究関連のコンピテンシーの獲得・育成状況を評価・判断し得るといふ利点があるし，生徒自身あるいは教師（授業）へのフィードバックにも活用し得るものと考えられる。だが，そこには問題も残されている。課題例に関して言えば，その蓄積がなされる一方で，およそ筆記式だけでは捉えきれない科学的探究関連のコンピテンシー（例えば，観察・実験の実施にかかわるもの等）に対応するような課題例は，開発が進んでいないという（IQB, 2013 ; 14）。アビトゥーア試験における口述

試験の課題例は、この点を補完し得るという意味では示唆に富むものと言えようが、試験という性格上、例えば問いを自分自身で設定するような科学的探究の場面を課題に反映させることの困難性も窺える。また、ESNaS プロジェクトにせよアビトゥーア試験の口述試験にせよ、そこで行われる評価は、生徒たちが通常の授業内で取り組む科学的探究とは別立てでの実施が想定されるものであり、授業での科学的探究を通して得られた成果やそのプロセスを直接の対象とするものではないことに留意しておかねばならない。いずれにせよ、確かにそうした限定つきではあるのだが、理数探究における科学的探究活動の評価の在り方を検討するに際して、上記ドイツの取り組みはひとつの参考となる視点を提供してくれるものである。

附記：本調査研究における原稿作成（令和元年度）後、後期中等教育対象のスタンダードが令和2年6月に公表されている。

【註】

- 1) ドイツにおいて、教育、学術、文化に関する権限は、基本的に連邦政府ではなく各州が有するものとされており、これを州の「文化高権」という（高谷，2016；166）。

【引用・参考文献】

- Bickel, H., Bokelmann, I. & Schäfer, M.(2014) : *NATURA Biologie für Gymnasien, Einführungsphase*, Stuttgart, Ernst Klett.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung(Hrsg.)(2003) : *Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards. Eine Expertise*.
- 遠藤優介(2014) : 「ドイツにおけるコンピテンシー指向の科学カリキュラム編成の特質—化学のコンピテンシー領域を中心として—」『理科教育学研究』, 第 55 巻, 第 2 号, pp.169-179.
- Fischler, H.(2011) : *Didaktik—An Appropriate Framework for the Professional Work of Science Teachers?*, Gunstone, R., Corrigan, D. & Dillon, J.(Eds.), *The Professional Knowledge Base of Science Teaching*, Springer, pp.31-50.
- IQB(2013) : *Kompetenzstufenmodelle zu den Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss, Kompetenzbereiche „Fachwissen“ und „Erkenntnisgewinnung“*. Retrieved April 12, 2019, from <https://www.iqb.hu-berlin.de/bista/ksm>
- KMK(2005a) : *Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz, Erläuterungen zur Konzeption und Entwicklung*, Luchterhand.
- KMK(2005b) : *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*, Luchterhand.
- KMK(2005c) : *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*, Luchterhand.
- KMK(2005d) : *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*, Luchterhand.
- KMK(2004a) : *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie*. Retrieved April 12, 2019, from https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Biologie.pdf

- KMK(2004b) : *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie*. Retrieved April 12, 2019, from https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Chemie.pdf
- KMK(2004c) : *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik*. Retrieved April 12, 2019, from https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Physik.pdf
- Köller, O.(2007) : Bildungsstandards, einheitliche Prüfungsanforderungen und Qualitätssicherung in der Sekundarstufe II , Benner, D. (Hrsg.), *Bildungsstandards. Instrumente zur Qualitätssicherung im Bildungswesen. Chancen und Grenzen—Beispiele und Perspektiven*, Schöningh, S.13-28.
- 大高泉(2010) : 「ドイツ—PISA ショック後の教育改革と連邦科学教育スタンダードの導入—」橋本健夫・鶴岡義彦・川上昭吾編著『現代理科教育改革の特色とその具現化』, 東洋館出版社, pp.150-157。
- Schecker, H.(2012) : Standards, Competencies and Outcomes. A Critical View, Bernholt, S., Neumann, K. & Nentwig, P.(Eds.), *Make it tangible. Learning outcomes in science education*, Waxmann, pp.219-234.
- 高谷亜由子(2016) : 「ドイツ」文部科学省『諸外国の初等中等教育』, 明石書店, pp.163-215。
- 吉田成章(2013) : 「ドイツにおけるコンピテンシー志向の授業論に関する一考察」広島大学大学院教育学研究科教育学教室編『教育科学』, 第 29 号, pp.44-67。

(遠藤 優介)

アメリカ合衆国

1. はじめに

アメリカでは科学スタンダードが改訂され、*Next Generation Science Standards: For States, By States* (NGSS Lead States, 2013a, 以降, NGSS とする) が示された。これは前年に発表の、今後の科学教育の在り方を眺望した *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (NRC, 2012, 以降, *Framework* とする) に基づく。*Framework* に示されたハイスクール (我が国の高等学校に相当し, 最終学年は第 12 学年) 卒業までに全ての生徒が達成すべき目標は以下の 5 点である。

- 科学の素晴らしさと面白さの理解
- 関係する論争の公開討論に参加するために十分な科学と工学の知識の獲得
- 日常生活に関わる科学と技術の情報の注意深い消費者になること
- 学校外で科学を学び続けることができるようになること
- 科学, 工学, そして技術に関する職業を含む (しかしこれらに限定されないが), 就職のためのスキルの獲得 (NRC, 2012, p. 1)

上記のように, *Framework* では科学, 工学, そして技術が重要な役割を担う社会に積極的に加わり, その中で自ら考え判断し, 生きていくための資質・能力の獲得が意図されている。

2. 先進的な科学カリキュラムと科学的探究

1) 科学カリキュラムの構成原理

Framework で示された科学カリキュラムは, 生徒の到達状況を示した期待される学習成果 (Performance Expectations, 以降, PEs とする) を定め, それを科学と工学の実践 (Science and Engineering Practice, 以降, SEPs とする), 学問上の中心的な考え (Disciplinary Core Ideas, 以降, DCIs とする), そして, 分野横断的概念 (Crosscutting Concepts, 以降, CCs とする) の 3 次元で構築する構造となっている。SEPs は, 科学者と工学者が実際に用いる以下の 8 種類の特色ある過程からなる実践である。

1. (科学における) 問いの導出と (工学における) 問題の同定
2. モデルの開発と使用
3. 調査の計画と実施
4. データの分析と解釈
5. 数学と計算論的思考の活用
6. (科学における) 説明の構築と (工学における) 解決策の設計
7. 証拠に基づく論証 (Argument) への参加
8. 情報の収集, 評価, そして交流

(NRC, 2012, p. 42)

DCIs は、物理科学、生命科学、地球と宇宙科学、そして、工学、技術及び応用科学の4分野ごとに示されており、各分野の中心的な考えと、それを構成する考えから組織されている。生命科学を例に挙げれば、中心的な考えは、「LS1 分子から生命体まで：構造とプロセス」、「LS2 生態系：相互作用、エネルギー、そして、ダイナミクス」、「LS3 遺伝：形質の遺伝と変異」、そして、「LS4 生物の進化：共通性と多様性」である。そして、LS3 を構成する考えには、「LS3.A：形質の遺伝」と「LS3.B：形質の変異」がある。

CCs は全分野の内容を思考する際に関連する概念であり、「パターン」、「因果関係：仕組みと説明」、「尺度、比率、量」、「システムとそのモデル」、「エネルギーと物質：流れ、循環、保存」、「構造と機能」、そして、「安定と変化」である。

さらに、NGSS には二つの重要な構成要素がある。1点目は科学の本質についての理解であり、2点目は他教科のスタンダードとの関連である。1点目について、NGSS では以下の8項目が科学の本質に関する理解として挙げられており、上から4項目は SEPs に関係し、下の4項目は CCs に関係している。

1. 科学的調査は、多様な方法を用いる。
2. 科学的知識は、実証的証拠に基づいている。
3. 科学的知識は、新しい証拠を考慮した修正に開かれている。
4. 科学におけるモデル、法則、メカニズム、そして理論は、自然現象を説明している。
5. 科学は、一つの知る方法である。
6. 科学的知識は、自然のシステム内に秩序と一貫性を前提としている。
7. 科学は、人間による試みである。
8. 科学は、自然及び物質的な世界についての問いに取り組んでいる。

(NGSS Lead States, 2013b, p. 97)

これらの理解は NGSS において関連する SEPs や CCs と合わせて示されている。2点目に関して、NGSS 発表前の2010年に国語 (English Language Arts/Literacy) と数学の全米規模のスタンダードとして『共通コア州スタンダード (Common Core State Standards)』¹⁾が示されていたため、NGSS は各 PEs に対応する『共通コア州スタンダード』の内容との関連を明記している。

NGSS では、PEs とそれに関連する各次元の内容を示した学習目標セットが、DCIs に沿った配列と学習トピックに沿った配列の2種類の方法で示されている。いずれにしても、PEs は、K (幼稚園) から第5学年までは学年ごとに示され、それ以降はミドルスクール (我が国の中学校に相当) とハイスクールの校種でそれぞれまとめて示されている。学習目標セットの例示として、後述の教科書紹介でも扱うハイスクールの生物を対象とした HS-LS3-2 を表1に示す。HS-LS3-2 で目指される生徒の実現状況と、それに関連する SEPs 「証拠に基づく論証への参加」、DCIs 「LS3.B：形質の変異」、そして、CCs 「因果関係」の内容を示している。HS-LS3-2 では、科学の本質の理解は扱われていなかったが、扱われる場合は、前述した科学の本質の理解の8項目の内容が、関連する SEPs あるいは CCs の説明に続いて同じ欄内に示される。他の DCIs や『共通コア州スタンダード』とのつながりも明記

されている。

表1 ハイスクールの生物を対象としたPEsと各次元

HS-LS3-2 遺伝：形質の遺伝と変異		
理解を証明する生徒ができること： HS-LS3-2. 遺伝する遺伝的変異は、(1) 減数分裂によって生じる新しい遺伝子の組合せ、(2) 複製の間に生じる生存能力のあるエラー (Viable Errors)、そして/あるいは、(3) 環境的要因によって引き起こされる突然変異、によって生じうるという、証拠に基づく主張を組み立てて擁護する。		
[説明文：変異が生じる方法に対する論証を支持するためのデータの活用が重視される。][評価の境界：評価は、減数分裂の段階やそのプロセスの特定の段階に関する生化学的仕組みを含まない。]		
上記のPEは、NRCのK-12学年の科学教育フレームワークの以下の要素から開発された：		
<p style="text-align: center;">SEPs</p> <p>証拠に基づく論証への参加</p> <p>第9-12学年の証拠に基づく論証への参加は、K-第8学年までの経験を基礎とし、自然界と設計された世界についての主張と説明を擁護及び批判するために、適切で十分な証拠と科学的推論を活用することへと進んでいく。</p> <ul style="list-style-type: none"> 科学的知識と生徒が得た証拠を反映する、自然界についての証拠に基づく主張を組み立て、擁護する。 	<p style="text-align: center;">DCIs</p> <p>LS3.B：形質の変異</p> <ul style="list-style-type: none"> 有性生殖では、減数分裂（細胞分裂）の過程で、染色体はその一部を交換する。それにより、新しい遺伝子の組み合わせを生み出し、ひいては、更なる遺伝的変異を生み出す。DNAの複製は、しっかりと制御され非常に正確であるけれども、エラーは起こり、突然変異を生じさせる。そして、それは遺伝的変異の源にもなる。環境的要因もまた遺伝子に突然変異を引き起こし、生存能力のある突然変異は遺伝していく。 環境的要因は、また、形質の発現に影響を与え、したがって、集団内の形質の発現可能性に影響する。それゆえ、観察される形質の変異と分布は、遺伝的要因と環境的要因の両方に依存している。 	<p style="text-align: center;">CCs</p> <p>因果関係</p> <ul style="list-style-type: none"> 実証的な証拠は、原因と相関の識別と、特定の因果関係についての主張のために必要である。
この学年帯で他のDCIsとのつながり：なし		
学年帯を越えたDCIsの相互関係： MS.LS3.A; MS.LS3.B		
共通コア州スタンダード (CCSS)：国語と数学の関連するPEs		
<i>ELA/Literacy</i>		
RST.11-12.1 著者が意図した重要な区別やその記述における欠落部や矛盾に注意を払いながら、科学及び専門的な文章の分析を支持するために、特定の文章による根拠を引用する。(HS-LS3-2)		
WHST.9-12.1 分野特有の内容に焦点化した論証を書く。(HS-LS3-2)		
<i>Mathematics</i>		
MP.2 抽象的にそして定量的に推論する。(HS-LS3-2)		

出典：NGSS. (n.d.). Search Performance Expectations retrieved March 14, 2019 from <https://www.nextgenscience.org/pe/hs-ls3-2-heredity-inheritance-and-variation-traits>

2) 科学的探究

(1) 科学カリキュラム上の科学的探究の位置づけ

Bybee (2013)によれば、科学的探究は「科学的実践の一つの様式 (Form)」(p. 41)になるという。前述のように、SEPsは科学教育を構成する3次元の一つとして位置付けられている。Framework (NRC, 2012, p. 42)において、児童・生徒がSEPsに取り組むことで理解することが期待されている内容をまとめると以下の4点になる。

- 科学者による科学的知識の生産方法と過程
- 工学者が行っている実践
- 科学と工学の関連
- 科学と工学における重要な概念や考え

このように、児童・生徒は、SEPs への取組を通して、科学的知識の獲得だけでなく、科学についての理解も深めていくことが意図されている。

前述した NGSS の 8 種類の過程をとる SEPs の理論的根拠として、科学者と工学者が日々行っている実践のモデルがある (NRC, 2012, p. 45; Osborne, 2011, 2014)。このモデルは、「評価」を中心に据えた、「調査」と「説明と解決策の考案」の 3 領域で実践を表現している。中心にある「評価」は、残りの 2 領域を仲介したり、あるいはそれらの領域内で実践されたりする。各領域の関連を科学の典型的な探究過程で考えるならば、例えば、科学者は、自然現象に対する問いを立て、実験を計画して実施し、データを得る（「調査」の領域）。その結果を批判的に考察し、得られた結果や既存の科学的理論に基づいて論証を組み立てる（「評価」の領域）。そして、立てた問いに対する説明を提案する（「説明と解決策の考案」の領域）。「評価」において、科学者はデータが不十分だと判断した場合、「調査」に戻り、新たな実験を計画・実施したりもする。モデルの考案者である Osborne は、「実践への転換のための議論の一つは、批判と評価の高次のスキルを科学の指導と学びの中心に位置付けること」(Osborne, 2014, p. 183) と論じ、科学の学びにおいても「評価」の領域が重要であることを指摘している。

「評価」の領域に該当する SEPs に「証拠に基づく論証への参加」がある (Osborne, 2011, pp. 99-100)。NGSS におけるハイスクール段階終了時に生徒が習得すべきこの実践の内容は以下のとおりである。

- 現代で受け入れられている説明、新しい証拠、限界 (例えば、トレードオフ)、制限事項、そして倫理的な問題に照らして、競合する論証や設計解を比較し、評価する。
- 論証の利点を特定するために、現代において受け入れられている説明や解決策の背後にある主張、証拠、そして／あるいは、推論を評価する。
- 推論と証拠をよく調べ、考えと結論に異議を申し立て、多様な視点に対してよく考えて対応し、矛盾を解消するために必要な更なる情報を見いだすことによって、丁寧な態度で、科学的な論証に対して批判を示したり、批判を受け取ったりする。
- データと証拠に基づいた口頭と書面での論証、あるいは、反論を構築、活用、そして／または、提示する。
- 科学的知識と生徒が得た証拠を反映する、自然界についての証拠あるいは設計解の有効性に基づく主張を組み立て、擁護する。
- 科学的な考えと原理、実証的な証拠、そして／あるいは、関連要因 (例えば、経済的、社会的、環境的、倫理的検討事項) に関する論理的な論証に基づいた、実社会の問題に対する競合する設計解を評価する。

(NGSS Lead States, 2013b, p. 63)

Framework と *NGSS* において、SEPs は独立して扱われるものではなく、関連する DCIs 及び CCs と密接に結び付けられている (NRC, 2012; NGSS Lead States, 2013b)。とりわけ、SEPs は DCIs の学びに不可欠な文脈であり (NGSS Lead States, 2013b, p. 48)、DCIs のような科学的 content もまた、生徒が SEPs そのものについて学び、そして、実践を実行する能力を身に付けるために不可欠な文脈となっている (NRC, 2012, p. 218)。例えば、SEPs 「証拠に基づく論証への参加」は、ハイスクールの生物の DCIs では、「LS2.C: 生態系, ダイナミクス, 作用, そして, 復元力」, 「LS2.D: 社会的相互作用と集団行動」, 「LS3.B: 形質の変異」, そして「LS4.C: 適応」と連動して PEs を構成している。表 1 は、「証拠に基づく論証への参加」に関連する「LS3.B: 形質の変異」の詳細な内容を正に示している。

(2) AP プログラムにおける科学的探究

アメリカにおける科学的探究について特徴的なカリキュラムは、College Board が提供する Advanced Placement Program (以降、AP プログラムとする) にも見いだすことができる。AP プログラムは、ハイスクールの生徒がそれぞれの学校で大学レベルの授業を受けることを可能にし、試験の成績によって大学進学時に単位認定を可能にするプログラムである (The College Board, 2016, p.1)。科学的探究にも関連できる、ハイスクールの補完的な探究学習プログラムとして AP Capstone Diploma Program があり、AP Seminar と AP Research の 2 コースから成る。AP Seminar を履修してから、AP Research の受講が可能になる (The College Board, 2017, p. 8)。

各コースのシラバスはハイスクールの教師が作成し、College Board に承認を受ける (The College Board, 2016, p. 10; The College Board, 2017, p. 9)。AP Seminar は探究過程の理解とその実践方法を学ぶことが中心で、シラバスに含まれるものには、「論文や研究調査の読解」, 「基礎的な文章, 文語調の文章, そして, 哲学的な文章の読解」, 「演説, 番組, そして/あるいは, 個人的談話の視聴」, 「芸術的な作品とパフォーマンスの経験」がある (The College Board, 2016, p. 10)。AP Research は各自で定めた探究を実践することが中心で、生徒は各自の興味・関心に即した研究課題を自ら定め、探究方法を決め、自分で研究を進めていき、研究成果を論文や発表・質疑で報告することが求められる (The College Board, 2016, p. 9)。

3) ハイスクールにおける科学的探究の事例

(1) ハイスクールの生物教科書における科学と工学の実践

Pearson 社のハイスクールの科学教科書は 2012 年において最も高いシェアを占め、同社のハイスクールの生物を対象とした *Biology* は最も使用されている教科書の一つに挙げられている (Banilower et al. , 2013, pp. 93-94)。よって、NGSS に準拠した同社の最新のハイスクールの生物教科書である *Miller & Levine Biology* (Miller & Levine, 2019a, 2019b) に着目した。

Miller & Levine Biology は、「単元 1 生命の本質」, 「単元 2 生態学」, 「単元 3 細胞」, 「単元 4 遺伝学」, 「単元 5 進化」, そして、「単元 6 生命の多様性」から構成される。本稿では、単元 1 の「第 1 章 生物学の科学」における SEPs の説明と、単元 4 の「第 13 章

DNA」の「レッスン 13.3 DNA の複製」における探究活動を紹介する。この活動は、SEPs の「証拠に基づく論証への参加」に対応している (Miller & Levine, 2019b, p. TE44)。

単元 1 の第 1 章の「レッスン 1.1 科学とは何か？」では、科学の目的や方法論などが説明される。方法論に関する本文において *Framework* と *NGSS* で示された SEPs のいくつかに関する説明があり、例えば、SEPs の「調査の計画と実施」には制御された実験をどのように計画するのかについての説明 (Miller & Levine, 2019a, p. 12) が該当する。続く「レッスン 1.2 文脈における科学」では、科学のプロセスが図などを用いて説明され、*Science and Engineering Practices* と題したセクションで SEPs が扱われる (Miller & Levine, 2019a, pp. 20-21)。科学的探究と工学による設計の類似性が示され、「モデルの開発と活用」、「数学と計算論的思考の活用」、「説明の構築と解決策の設計」、そして、「証拠に基づく論証への参加」が文章で説明される。「証拠に基づく論証への参加」は「説明の構築と解決策の設計」に続く段階であり、科学の領域では、提案した説明の妥当性を他者に納得してもらうために、批判を受け入れたり、それに答えたりする活動であると述べられており、工学の領域では、設計解の妥当性の擁護と評価という観点から説明されている (Miller & Levine, 2019a, p. 21)。章末評価には、選択式と記述式の簡単な問題群が用意されている。24 問目が「証拠に基づく論証への参加」に関係し、生徒にウィルスが生物と非生物の中間的な存在であることを支持する根拠を記述するよう求めている (Miller & Levine, 2019a, p. 37)。生徒は「レッスン 1.3 生命のパターン」でウィルスについて学んでおり、これらの知識を主張の根拠として示すことになる。

単元 4 の「レッスン 13.3 DNA の複製」が扱う PEs は、表 1 の HS-LS3-2 である。このレッスンの学習目標は、DNA の複製過程と原核生物と真核生物におけるその過程の違いを理解することである (Miller & Levine, 2019b, p. 424)。レッスンの学習内容を概説すると、DNA の二重らせん構造と塩基の相補性が扱われ、続いて、複製元の DNA の 1 本鎖の塩基配列を鋳型とした DNA ポリメラーゼによる DNA の複製が説明される。これらの知識を学んだ後で、オープンエンドの探究活動である「Quick Lab DNA の複製をモデル化しよう」が実施される。この活動の後には、原核生物と真核生物の DNA の複製過程がそれぞれ説明される。

「Quick Lab DNA の複製をモデル化しよう」(Miller & Levine, 2019a, p. 426) は、SEPs 「証拠に基づく論証への参加」の「科学的知識と生徒が得た証拠を反映する、自然界についての証拠に基づく主張を組み立て、擁護する。」(NGSS Lead States, 2013a, p. 113) に対応している。本活動は、DNA の複製を表すモデルを作る活動と、それを使った思考活動で構成されている。最初の活動では、生徒は、色紙を使って、糖、塩基、リン酸からなる DNA の 1 本鎖を作成する。それをクラスメイトと交換し、交換した鎖の塩基配列に合致する DNA の 1 本鎖を作成する。これに続く思考活動は、「モデルの活用」、「モデルの評価」、そして、「主張の擁護」に分かれ、それぞれで生徒への問いが設けられている。「モデルの活用」の問いは、モデルと実際の DNA の複製の対応関係を考えさせ、「モデルの評価」の問いは、より正確に DNA の複製を再現するためのモデルの改善点を考えさせる。「主張の擁護」の問いは、「DNA 複製の間に生じるエラーは、どのように遺伝的変異を導きうるか？自分の

答えを支持するために、モデルを活用しなさい。」(Miller & Levine, 2019a, p. 426) である。オープンエンドな活動のため、教師用指導書には「モデルの評価」と「主張の擁護」の問いの解答例は示されてあるものの評価基準などはない。「主張の擁護」の解答例では、生徒は、DNA の複製を再現したモデルを使って、複製の際に元の DNA には存在しない塩基が付加されてしまったり、誤って別の塩基が付加されてしまったりすることなどを説明するよう期待されている (Miller & Levine, 2019b, p. 426)。

(2) AP プログラムにおける科学的探究の評価の実際

AP seminar と AP research の評価方法をまとめると、以下の表 2 になる。

表 2 AP seminar と AP research の評価方法

AP Seminar	AP Research
<ul style="list-style-type: none"> • 20% : チームでプロジェクトを実施し、個人の研究報告書の提出とチームでの発表・質問応答 • 35% : 個人研究に基づくエッセイ執筆と発表・質問応答 • 45% : 試験 	<ul style="list-style-type: none"> • 75% : 学術論文の執筆 • 25% : 発表と口頭試問

※筆者が The College Board (2016, pp. 36-45) と The College Board (2017, pp. 47-53) からまとめた。

AP Seminar はチームや個人の活動評価と試験による総合評価であり、AP Research は研究成果物による総括評価となっている。AP Seminar の評価は、表 2 の 3 観点からなされるが、本稿では「試験」を除く 2 観点を説明する (The College Board, 2016, pp. 36-43)。チーム活動では、生徒は 3～5 名で研究あるいはプロジェクトを実施し、その結果をまとめて発表する。チームで研究課題を決めた後で、個人でその課題について調査を行い、結果を 1200 字 (英語) の報告書にまとめる。各班員の報告書を統合して、追加の調査も行いつつ、チームで研究発表を行う。発表時間は 8～10 分間であり、証拠に基づいた主張を組み立てることが求められる。発表後、教師は、各班員に 1 問ずつ質問をする。質問事項は、生徒の共同研究経験の振り返りに関することと決められている。いくつかの質問例が示されているが、具体的な質問内容は教師に委ねられている。質問例の中には、「あなたの班が明らかにした解決策あるいは結論に対する最も強力な反論は何だったか？ そして、それはなぜか？」(The College Board, 2016, p. 39) などがある。個人研究では、生徒は、College Board が定めたテキストの読解を出発点として個人で研究を始める。その結果をまとめ、2000 字 (英語) のエッセイを執筆する。そして、6～8 分間で各自の研究を発表する。ここでも、生徒は証拠に基づいた論証を行うことが期待されている。発表後、教師は、2 点の質問をする。それぞれの質問事項は決められており、1 問は生徒の自分の研究の振り返りに関すること、そして、1 問は生徒の論証を発展させる内容である。これらの質問事項に沿った質問例がいくつか示されているが、具体的な質問内容は教師に委ねられている。後者の質問事項に関する質問例には、例えば、「あなたの研究から、どんな更なる問いが生まれた

か？なぜこれらの問いは重要か？」(The College Board, 2016, p. 43)がある。

AP Research の評価は、「学術論文の執筆」と「発表と口頭試問」で構成されている (The College Board, 2017, pp. 47-53)。生徒は個人の興味・関心に基づき研究を行い、4000~5000字(英語)の学術論文にまとめる。どのような学問領域の研究であっても、生徒は「導入」、「方法、過程、あるいはアプローチ」、「結果、製品、あるいは発見」、「議論、分析、そして／あるいは評価」、「結論と今後の課題」、そして、「文献一覧」を論文の内容に含めなければならない。執筆を終えると、生徒は15~20分間の研究発表と口頭試問を受ける。口頭試問では、担当教員を含む3名の評価者から計3~4問の質問を受ける。3名の評価者のうち1名は担当教員でなければならず、残りの2名は生徒の研究領域に精通する専門家であることが望まれている。AP Seminar の場合とは異なり、評価者は指定された質問群から質問を選択しなければならず、その質問群は生徒にも事前に知らされている。評価者は、生徒の研究過程に関する質問群から1問、生徒の自身の研究についての理解に関する質問群から1問、そして、探究過程の振り返りに関する質問群から1問を選択する。4問目の内容は、評価者らに委ねられている。例えば、二つ目の質問群には、「あなたの研究において基礎となる論証／考えは何だったか？この論証／考えは、どのように研究の主目的と関連するか？」(The College Board, 2017, p. 53)がある。

3. 我が国における理数探究等の科学的な探究活動への示唆

示唆1：科学的探究についての理解の促進

我が国の理数科は、探究の基礎を学ぶ理数探究基礎と、それを生かして主体的に探究を行う理数探究で構成されている。両科目に共通し、生徒は探究の意義と過程について理解することが期待されている(文部科学省, 2018)。つまり、教師は、探究とは何かを生徒に指導していくことが求められている。

Framework でも SEPs それ自体について理解することが重視されていた(NRC, 2012, p. 42)。Bybee (2013, pp. 55-56) は、理科授業の視点から SEPs の位置付けを論じ、SEPs が理科授業の学習目標となっているのか、それとも、生徒の行う活動内容となっているのかを区別することが重要であると指摘した。前者であれば、実践は、生徒が授業を終えて習得する知識と能力となり、後者であれば、授業中に生徒が経験する活動となる。教科書の事例をこの視点から解釈すると、単元1の事例は、SEPs を生徒の習得する知識として扱った場合であり、単元4の事例は、SEPs を DNA の複製について生徒が理解を深めるための活動として扱った場合であると考えられる。したがって、分析した教科書では、SEPs は、科学的知識の学習開始前の教科書冒頭で生徒が習得すべき知識として扱われて、それ以降では、科学的知識の獲得を促進するための活動としても位置付けられていることがわかる。

以上のアメリカの事例を参考にすると、我が国で教師が科学的探究について指導する方法として、例えば、科学的探究についての理解を学習のねらいに据えた授業を理数探究基礎と理数探究のカリキュラム冒頭に設定することが考えられる。そのような授業では、教師と生徒が『高等学校学習指導要領解説理数編』(文部科学省, 2018)で示された理科の探究の図2 (p. 13)を検討することを通じて、探究とはどのような活動であり、どのような

方法が用いられているのかについて共通理解を図っていくこともできる。

示唆 2：科学的探究を展開する文脈に適切な科学的内容の検討

理数探究基礎と理数探究は、生徒が身に付けるべき資質・能力と課題例（理数探究に関しては事例集も）を示すにとどまっている。理数探究では生徒の主体的な課題設定が求められる一方で、理数探究基礎では、教師が課題をいくつか例示して、生徒に選択させることも認められている。担当教師は、生徒の扱う課題とそこで育成が期待できる科学的探究の資質・能力を考慮しながら、生徒主体の科学的探究を支援していくことが求められている。

一方で、*Framework* と *NGSS* では、実践と科学的内容との明確なつながりが示された。SEPs「証拠に基づく論証への参加」は、特定の生物的内容と関連し、ハイスクールの生物のPEsを構成した。*Framework* と *NGSS*に見られるSEPsとDCIsのつながりは、我が国の理数探究基礎と理数探究において、生徒がどのような科学的内容の文脈でどのような科学的探究を展開することができるかを検討する際の有益な参考資料となる。同時に、我が国にはスーパーサイエンスハイスクールでの実践例が数多く蓄積されており、これらの実践例もまた、科学的探究活動とその文脈の関連を考慮するための重要な資料となる。

示唆 3：科学的探究における論証活動の継続的な指導

理科の探究の過程は、「課題の把握」、「課題の探究」、「課題の解決」に分けられ、全体を通して意見交換や議論、そして研究発表などの対話的な学びが意識されている（文部科学省, 2018, p. 13）。最後の「課題の解決」は、得られた結果や収集した情報に基づく考察や推論を行い、それを発表したりする場面である。「課題の解決」のこれらの活動は、前述したハイスクールにおけるSEPs「証拠に基づく論証への参加」の内容と類似した部分を有している。例えば、証拠に基づく主張をすることや、論証に対して批判したり、批判を受けたりすることである。

このSEPsは、実践に基づく科学の学びにおいて中心的な活動として位置付けられ（Osborne, 2014, p. 183）、この実践の重要性の理解と実践に必要な資質・能力は、生徒による継続したこの実践への参加を通して育成されると言われている（Osborne, 2011, p. 100）。つまり、「課題の解決」の場面に求められる生徒の資質・能力は、探究の終わりに1度だけこの場面を設けることで育成できるものではなく、本事例にあるような簡単な論証活動なども適宜行わせることで継続的に育成されるものである可能性がある。そのためには、ハイスクールの生物だけでなく各APプログラムのコースでもこの実践が取り込まれていたように、従来の理科の各科目と連携して論証活動を扱っていくことが重要になってくる。

示唆 4：オープンエンドな科学的探究の評価の視点

探究の基礎を学ぶ理数探究基礎と生徒の主体的な探究を促す理数探究では、科目の意図する探究のレベルは異なっている。また、これらの科目は生徒の研究課題を規定していないため、生徒の研究対象や研究手法も多様になることが予想される。教師が直面するであろう困難は、不均一な探究によって生じる多種多様な生徒の成果をどのように評価するのかである。

AP Seminar と AP Research も類似したカリキュラム構成原理に基づいて設計されてお

り、AP Seminar は生徒が研究の基礎を学ぶことをねらいとし、AP Research はそれを応用した生徒による自主的な探究活動の実施をねらいとしていた。これらは、理数探究基礎と理数探究と同じように、生徒の研究課題を規定していない。その代わりに、評価では、生徒が発表や報告書、あるいは学術論文に含めなければならない項目を細かく規定していた。また、質問応答や口頭試問の質問事項・内容は、それぞれの研究結果の良し悪しではなく、生徒が自分の研究方法を説明できるかどうかを問うていたり、どれほど自分の研究について理解しているかを判断したりする内容が中心であった。このような科学的探究の結果ではなく、その過程や研究対象についての生徒の理解の側面から彼らの成長を評価する姿勢は、我が国の理数探究基礎や理数探究の評価においても参考にできる点である。

【註】

- 1) 国語と数学の『共通コア州スタンダード (Common Core State Standards)』は、
<http://www.corestandards.org/>から入手できる。

【引用・参考文献】

- Banilower, E. R., Smith, P. S., Weiss, I. R., Malzahn, K. A., Campbell, K. M., & Weis, A. M. (2013). *Report of the 2012 national survey of science and mathematics education*. Chapel Hill, NC: Horizon Research, Inc.
- Bybee, R. W. (2013). *Translating the NGSS for classroom instruction*. Arlington, VA: NSTA press.
- Miller, K. R. & Levine, J. S. (2019a). *Miller & Levine Biology*. Pearson Education.
- Miller, K. R. & Levine, J. S. (2019b). *Miller & Levine Biology teacher edition*. Pearson Education.
- 文部科学省. (2018). 高等学校学習指導要領解説理数編. Retrieved April 10, 2019 from http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2019/03/28/1407073_12_1_1_1.pdf
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013a). *Next generation science standards: For states, by states volume 1*. Washington, DC: The National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013b). *Next generation science standards: For states, by states volume 2*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Osborne, J. (2011). Science teaching methods: A rationale for practices. *School Science Review*, 93(343), 93-103.
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196.
- The College Board. (2016). *AP seminar course and exam description part of the AP capstone program*. New York, NY: CollegeBoard.
- The College Board. (2017). *AP research course and exam description part of the AP capstone program*. New York, NY: CollegeBoard.

(高橋 一将)

カナダ

1. はじめに

カナダでは、州ごとに学習指導要領が作成されており、本報告では The University of British Columbia (UBC)がある British Columbia (BC)州の科学カリキュラムについて報告する。

2015年にカナダの15歳約20,000人の生徒が参加したOECDの国際学習到達度調査(PISA)では、科学的リテラシーは世界的に上位に位置し、BC州はカナダの中でもアルバータ州に次ぐ2位で、日本と同程度であった(CMEC, 2016)。

BC州では、世界の中でも最も良い教育システムを提供しているという自負があるが、急速に変化する世界に対応するために変革が求められている。BC州は、2010年からK-12カリキュラム改革に取り組み、2016年からK-9、2017年からG10-12の新カリキュラムが実施されている。新カリキュラムの特徴は、読み書きと計算能力を基礎としながらも、「コミュニケーション・思考・個人と社会」をコア・コンピテンシーとして、本質的な学習を通して深い学びを実現しようとしており、日本の学習指導要領にも通じるところがある。

2. 先進的な科学カリキュラムと科学的探究

1) 科学カリキュラムの構成原理

BC州の新カリキュラムは、「Know-Do-Understand」モデルを採用し、個々のニーズに柔軟に対応した個別最適化学習が強調され、学習意欲を喚起し、変化の速い技術革新にも対応できる学習者の育成を目指している。

具体的な「Know-Do-Understand」モデルは、
図1のように、

- Content (Know) :
各学年の詳細な本質的な内容や知識
- Curricular Competencies (Do) :
コア・コンピテンシーと連動したスキルとストラテジー、生徒が育む過程
- Big Ideas (Understand) :
学習範囲で理解すべき原理原則、重要な概念

からなり、深い学びを支援しようとしている。



図1 「Know-Do-Understand」モデル

(出典 <https://curriculum.gov.bc.ca/rethinking-curriculum>)

Content, Curricular Competencies, Big Ideas は相互に関連し合っているが、以下にそれぞれの例を挙げる。

・ Content :

Web 上には、各学年の詳細な内容や知識が示されており、分野横断的概念についても説明させることを含んでいる(表 1)。Grade 3 では、生物多様性、物質、エネルギー、地形の学習において、分野横断別概念の因果に焦点がある。この分野横断別概念は、例えば、数学科、英語科、社会科の学習における因果関係(Cause and effect)に拡張されることが期待される。この説明活動が、科学的探究や概念の深い理解を手助けするとしている。

表 1 各学年の分野横断的概念

Kindergarten	パターン Patterns
G 1	形と機能 Form and function
G 2	循環 Cycles
G 3	因果 Cause and effect
G 4	順序 Order
G 5	システム Systems
G 6	変化 Change
G 7	進化 Evolution
G 8	物質とエネルギー Matter and energy
G 9	相互作用 Interactions

・ Curricular Competencies :

科学することを強調しながら、以下の 6 点(表 2 : Grade 3 の例)を通じて生徒の科学的手法を育むことを目指している。

表 2 Grade 3 の Curricular Competencies の例

質問し、予測すること Questioning and predicting	自然界に関する好奇心を示す 身近な文脈における物や出来事を観察する 科学的に調査できる親しみのある物や出来事に関する質問を特定する 既有知識に基づく予測する
計画し、操作すること Planning and conducting	質問の回答を見つけるために探究する計画の方法を提案する 実験を行う方法を決める際に、倫理上の責任に配慮する 適宜正式な測定とデジタル技術を用いて、観察と測定をするための適切なツールを安全に使用する 地域の環境で生物や非生物を観測する 簡単なデータを収集する
データと情報を処理し、分析すること Processing and analyzing data and information	地域の環境を体験して解釈する 情報源としての先住民の見方と知識を特定する 図面か提供された表を使用することでデータと情報を分類して並べる データを示したり、簡単なパターンと傾向を示したりするために、表や簡単な棒グラフまたは他の形式を使用する

	知見のための示唆できる可能な理由や予測の結果を比べる
評価すること Evaluating	結果と既存知識に基づく簡単な推論する 調査が公正な試験であったのかを振り返る 証拠の理解と評価を示す いくつかの簡単な行動の環境への影響を特定する
適用し、革新すること Applying and innovation	個人的か協力的なアプローチで、自己、他者、学校及び近隣の保 全に貢献する プロジェクトを協働設計する 新しい状況に学習を適用する 問題解決の際、新しいか洗練された考えを生み出して紹介する
コミュニケーションす ること Communicating	ダイアグラムや簡単なレポートのように様々な方法で考えと知 見を表明して伝える 個人的か共有された経験を表現して振り返る

各学年のコア・コンピテンシー「コミュニケーション・思考・個人と社会」は、表3の
ように示されている。

表3 各学年のコア・コンピテンシー

	K	G 4	G 8	G 12
思考 Thinking	身の回りに好 奇心と不思議 さに驚嘆する 感性を示せる	自然界に好奇心 を示せる	科学の話題や個 人的な問題に関 する持続した好 奇心を示せる	科学の話題や個 人的、ローカル、グ ローバルな問題に関 する持続した知的好奇 心を示せる
コミュニケー ション Communication	観察したこと と自分の考え を口頭で共有 できる	適宜デジタル技 術を使用して、 ダイアグラムや 簡単なレポート などで考えと知 見を表現して伝 えられる	適宜科学用語や 表現、デジタル 技術を使用し て、自分の考え、 知見、問題の解 決策を伝えられ る	適宜科学用語・慣例・ 表現を使用して、特 定の目的や聴衆に向 かって、証拠ベース の議論を展開しなが ら、科学的な考え・ 情報・提案を伝えら れる
個人と社会 Personal and Social	個人的なアプ プローチで、自 己・家族・教 室・学校の保 全活動に参加 できる	個人的・協働的 なアプローチ で、個人・他者・ 学校・近所の保 全活動に貢献で きる	個人的・協働的 なアプローチ で、自己・他者・ コミュニティ・ 世界の保全に貢 献できる	個別的・協働的なア プローチで、自己・ 他者・コミュニティ・ 世界の保全に貢献で きる

・ Big Ideas :

各単元で理解すべき原理原則、重要な概念を提示して、学習の流れを示している。例え
ば化学分野の Big Ideas では、表4のように身近な材料と人間との関わりから、分子レベル
の物質の振る舞いまでの理解を求めている。

「Know-Do-Understand」モデルでは、各学年の具体的な内容や知識・能力目標・理解す
べきことを示しているが、教師側でも生徒側でも柔軟に選択でき、教師が独自に開発する
ことも可能である。

表4 化学分野の Big Ideas の例

K	人間は身近な物体を通して毎日物質と関わっている
G 3	すべての物質は粒子からできている
G 6	身近な物体は混合物であることが多い
G 8	物質の振る舞いは分子運動論や原子論で説明される
G 10	エネルギーの変化は化学プロセスで原子の再配置が起きる時に必要となる
G 12	反応体は反応するために衝突しなければならず、反応速度は周囲の状況に依存する

2) 評価システム

評価とカリキュラムは相互に関連付けられ、カリキュラムは教室での教え方と評価の観点を与える学習スタンダードを設定している。評価は、教師が生徒の学習の必要性を特定し、コンピテンシー獲得を測定する多様な方法やツールが含まれている。例えば、K-9 の理科の評価規準は表5のようになっている。

表5 K-9の理科の評価規準

	K	G 1-2	G 3-4	G5-6	G7-8	G9
質問	<ul style="list-style-type: none"> •身近な文脈における物や出来事について観察できる •観察と質問を形成する好奇心を使用できる 	<ul style="list-style-type: none"> •身近な文脈における物や出来事について観察記録が作成できる •観察と自分の質問を形成する好奇心を使用できる •観測に基づいて予想できる 	<ul style="list-style-type: none"> •身近な文脈における物や出来事について観察記録が作成できる •調査可能な観察について質問できる •既有知識に基づいて予想できる 	<ul style="list-style-type: none"> •身近でない文脈における物や出来事についても観察記録が作成できる •科学的探究につながる観察について質問できる •科学的探究について予想できる 	<ul style="list-style-type: none"> •正確で厳密な観察記録が作成できる •科学的探究につながる観察について質問できる •科学的探究について予想できる •仮説を定式化できる 	<ul style="list-style-type: none"> •正確で厳密な観察記録が作成できる •科学的探究を通じて答えることができる •実証可能な質問ができる •成果を得るための多様な予想ができる •多様な仮説を定式化できる
手順と証拠	<ul style="list-style-type: none"> •安全に材料を使用できる •簡単なデータを集められる 	<ul style="list-style-type: none"> •観測に基づく予測できる •簡単なデータ(測定値と観察)を集めて、組織化できる •データが多様な資源から来ていると認められる 	<ul style="list-style-type: none"> •安全に調査を行う方法を提案できる •簡単なデータを集めて、分類して、区別できる •データが多様な資源から来ていると認められる 	<ul style="list-style-type: none"> •安全にそれら自身の探究を行うために適切な方法、材料、サポートを選択できる •一つの変数を変えて調査できる •様々な方法でデータを選んで、測定して、記録できる •多様な資源からのデータを集めて、組織化できる 	<ul style="list-style-type: none"> •安全にそれら自身の探究を行うために適切な方法、材料、サポートを選択できる •変数を測定し、コントロールできる •様々な道具を使用することで、正確にデータを集めて、記録できる •多様な資源からのデータを見つけて、使用できる 	<ul style="list-style-type: none"> •安全に信頼できるデータを集めるのに、様々な調査方法と材料を計画して、使用できる •従属・独立変数を使用した実験ができる •様々な道具を使用することで正確にデータを集めて、記録できる •信頼できるデータを見つけて、使用できる

3) 実践例

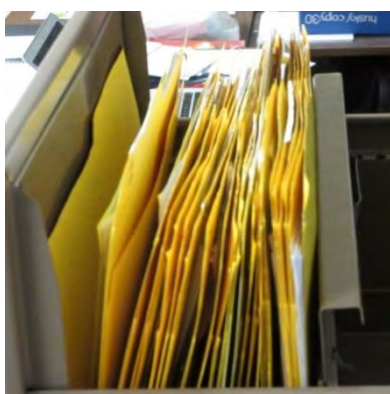
BC州で視察した理科授業の多くは、質問できる能力を育てているので、日本と比べると生徒との対話が重視されていた。授業展開は教師の裁量によるところが多く、教師が独自の教材を準備したり、教師独自の展開になったりしていた。ここでは、リッチモンド市のR.C. Palmer 中等学校 (<http://palmer.sd38.bc.ca/>) の Liang 教諭の 2018 年 11 月 29 日に実施された G9 の 26 人 (数学と理科は先取り学習で G10 の内容(Sandner, 2008)を学習している)の「化学」の授業を紹介する (<https://classwithliang.wordpress.com/>)。なお、Liang 教諭は、日本のインターナショナルスクールで教えた経験がある。

・授業の情報

13:30-13:50 教師が次回の発熱反応の実験のデザインを各グループで検討することについて説明した。実験は、少なくとも三つの変数とそれぞれに対して2回以上試してみることで、実験したら結果を他のグループと結果を共有することを条件にして、各グループで検討した。

13:50-14:40 <グループワーク>配布されたワークシートを参考に、各グループ2~3人で、使用できる実験道具を操作しながら次回の発熱反応の実験のデザインについて考えた。英語では十分に表現できない生徒については、積極的にアナロジーや絵を使って表現させていた。

14:40-14:50 ポートフォリオに記入(次回の実験に必要な道具があれば書いておく)、宿題を確認(休んだ生徒のために HP でも宿題について確認できるようになっている)した。授業後には、教師はポートフォリオで生徒の理解状況をチェックし、多様な生徒がいるので、必要ならば前の段階に戻って復習させていた。



Essential Learning Outcomes (ELOs) Students must be able to:	Activities Completed	Passes Required
1. Gather and evaluate information collected from different sources in an original written report.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2
2. Think, create and interpret experiments using the necessary scientific and/or technical skills.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2
3. Communicate the results of experiments in a formal form.	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2
4. Develop models and logical solutions to solve scientific problems.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2
5. Produce and defend the validity of claims, models and analogies.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2
6. Communicate scientific concepts in a visual form.	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	2
7. Prepare and study for a closed book test.	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	4

教室の後方には、個々の生徒の宿題の提出状況、評価の一覧表が掲示されていた。出欠状況などは、BC州共通の成績マネジメントシステムを利用していた。



3. 我が国における理数探究等の科学的な探究活動への示唆

1) 科学カリキュラム上の科学的探究の位置付け

BC州の新カリキュラムは、基本的には科学的探究に基づいているが、「Know-Do-Understand」モデルは、最新の学習科学などの知見を活かして各学年の具体的な内容や知識・能力目標・理解すべきことを示している。特に、表2の Curricular Competencies (Do)のように科学的手法を育む過程6点が示され、Grade 3でも「倫理上の責任に配慮する」「環境への影響を特定する」「保全に貢献する」といったことが明示されている。

2) 科学的探究と内容的知識のバランス

探究活動は、科学カリキュラムで中心的な役割を果たしているが、「Know-Do-Understand」モデルでは、詳細な Content (Know), Curricular Competencies (Do), Big Ideas (Understand)が示され、表5のように具体的な到達目標が示されている。科学的探究を通じて、実証可能な質問ができる能力、安全に実験を計画して変数を使用した実験を遂行して正確な記録ができるようになることが求められている。視察した理科授業でも、少なくとも三つの変数とそれぞれに対して2回以上試行することを条件にした実験計画を考えさせていた。ただし、科学用語や安全確保や実験道具の使い方などについて学ぶ場合は、探究活動は必ずしも効率的でないと例示されている。

3) 科学的探究の実際

リッチモンド市では、中等学校の各クラスの人数は30人以下になっている。科学的探究を展開するには、各クラスの人数を30人以下にすることが望ましいだろう。

BC州の科学カリキュラムでは、適用と革新(Applying and innovation)が組み込まれ、問題解決の際に新しい考えを生み出して紹介する場面がある。参観した授業でも、生徒が実験のデザインを新たに考えて生み出そうとしているが、その場合には生徒が考えた実験に必要な道具などを準備する必要がある。リッチモンド市では、理科支援員が隔日で各学校に派遣され、紙に書いて置いておけば次回までに道具を準備してもらえる。そのため、参観した授業のように生徒がポートフォリオに次回の実験に必要な道具を書いておけば、教師が見て理科支援員に道具などの準備を依頼できる。リッチモンド市以外では、探究活動を進める上で、実験準備・後片付けなどのサポートが課題となっており、結局実験パッケー

ジを使った従来通りの理科実験になっていることが多いという。科学的探究を展開するには、実験準備・後片付けなどのサポートしてくれる支援員が必要だろう。

参観した Liang 教諭は、科学的探究活動と学習内容の知識獲得のバランスをとるために、ポートフォリオで生徒の理解状況をチェックし、小テストなどを積み重ねて必要ならば前の段階に戻って復習させている。BC 州で視察した他の理科授業には見られないきめの細かい指導となっていた。このきめの細かい指導は、Liang 教諭が日本で教えた経験から学んだことで、日本の理科授業で日々行われている細やかな指導は残しつつ、探究活動に取り組みさせることが必要だろう。カナダの大学入試では、高等学校の成績が合否判定の材料になるため、大学進学希望の生徒は探究の授業に真剣に取り組んでいた。

BC 州の新カリキュラムの課題については、分野横断的概念について説明させようとしても、数学・英語・社会などと連絡を取り合って連携するのは難しい状況になっていること。Big Ideas で理解すべきことが示されてはいるが、Idea が大き過ぎたり、一般的過ぎたりして意味をなさない場合もあり、現場にはもっと詳細で具体的なものが求められていることなどが挙げられよう。

【註】

- 1) BC のカリキュラムの詳細は、<https://curriculum.gov.bc.ca/curriculum/science> 「Know-Do-Understand」モデルの詳細は、<https://reflectionsinthewhy.wordpress.com/2016/10/21/bcs-curriculum-know-do-understand-model/> に掲載されている(2019.1.23)。

【引用・参考文献】

- BC Ministry of Education (2015). BC Education Plan - Focus on Learning. Retrieved January 23, 2019 from https://cep.org.au/wp-content/uploads/2020/07/british_columbia_education_plan_2015.pdf
- CMEC (2016). Measuring up: Canadian Results of the OECD PISA Study. Retrieved January 23, 2019 from <https://www.cmec.ca/publications/lists/publications/attachments/365/pisa2015-cdnreport-en.pdf>
- Sandner, L., et al. (2008). BC Science 10, McGraw-Hill Ryerson, Edvantage Press.

(山下 修一)

シンガポール

1. はじめに

シンガポールのカリキュラムには、全教育段階を通じて育成を図るための生徒像として、以下のことが示されている（池田充裕，2012，170-171）。

- ・自信のある個人：自律的で、批判精神を持ち、効果的に人と交流することができる。
- ・自己学習者：自身の学びを問い直し、省察し、責任を持つ。
- ・活動的な貢献者：革新的で、率先して行動を起こし、リスクに挑み、他人を超えるように努力する。
- ・思いやりのある市民：世界や地域の問題に関して、市民として強い責任感を抱き、他者の生活改善のために積極的に活動する。

シンガポールでは、1997年以降、生徒の能力や意欲が重視されるようになった（松尾知明，2015，188-189）。例えば、2005年には「少なく教え、多くを学ぶ」という政策が掲げられ、教育内容の10%から20%を削減し、その分、教育の質の向上が目指された。

国際調査において、科学学習の高い到達度を示してきたシンガポールは、現代的課題に対応するために、生徒の能力の育成に重点を移行させている。シンガポールにおける科学教育の方向性、及びその具体を見ていく。

なお、シンガポールは、子供の学習到達度等に応じた複線型の教育システムを採用しており、選択したコースに応じて履修期間も異なる。本小論では、6年間の初等教育後の4年間の中等教育・快速コース、及びそれに続く2年間の中等後教育（post secondary education）・ジュニアカレッジの科学カリキュラムに主に焦点を当てる。ジュニアカレッジに進学するのは、生徒全体の約3割程度であり、ジュニアカレッジには大学準備教育としての側面がある。ナショナル・カリキュラムに基づいて授業はなされるものの、日本の高等学校で使用されるような教科書は存在しない等、日本の高等学校とは異なる部分があることに気をつけたい。

2. 先進的な科学カリキュラムと科学的探究

1) 科学カリキュラムの構成原理

初等及び中等科学カリキュラムの枠組みの中心には、「科学的探究の精神の涵養」が位置付けられている（Ministry of Education, Singapore, 2012, 1）。そして、科学の実践に不可欠な要素として、(a)知識、理解、応用、(b)スキル、プロセス、(c)倫理、態度の三つの領域が設定されている。科学の教授学習活動において、生徒は探究者として、そして教師は探究のリーダーとしての役割が期待されている。

(1) 内容構成

中等教育科学シラバスには、全ての学習単元において、期待される学習成果（学習内容）

が、(a)知識、理解、応用、(b)スキル、プロセス、(c)倫理、態度ごとに具体的に記載されている。子供は、探究活動を通じて、知識、理解、応用、スキル、プロセス、倫理、態度を習得することにより、科学的探究者として成長することが求められていると言える。

中等後教育段階の科学には、物理、化学、生物の3科目がある。それぞれのシラバスの導入部分には、科学の実践という項目が立てられ、当該科目の学習の枠組みが示されている。科学の実践を組織する三つの要素として、科学的知識の性質を理解すること、科学的探究スキルを発揮すること、科学と社会を関連付けること、が求められており、中等教育科学における構造と類似している。その一方で、科学的探究は、科学の実践の一部とされ、科学的知識の性質の理解や科学と社会を関連付ける能力が求められるなど、初等・中等教育科学カリキュラムと比べて、科学のメタ理解、あるいは科学のメタ理解を通じた科学実践に重点が移行していると言える。

① 知識・理解・応用

異なる内容領域間のつながりを子供が正しく理解できるように、個々の学習内容が、テーマに基づいて構成されている。具体的には、中等教育段階では、多様性、システム、エネルギー、相互作用の四つのテーマである。そのため、例えば、生物領域の「人間の消化器系」と物理領域の「電気システム」が、システムという一つのテーマに含まれる場合がある。このような構成をとるねらいは、異なるテーマやトピックス間のつながりを生徒に味わわせ、そして科学的な考えを統合させることにある (Ministry of Education, Singapore, 2012, 6-7)。これらのテーマに加えて、科学についての知識を取り扱う領域として、「科学における努力」がある。このように、科学の内容に加え、科学の性質などの「科学についての内容」も取り扱われている。

② スキルとプロセス

シラバスでは、スキルとプロセスが区別されて記載されている。プロセスは、いくつかのスキルの利用が必要とされる複雑な操作とされる。具体的に取り扱われるプロセスは、中等教育段階では、創造的な問題解決、意思決定、探究活動の計画の三つである。中等教育段階で具体的に取り扱われるスキルは、仮説の設定、多様な可能性の検討、予想、観察、実験器具の利用、比較、分類、推論、分析、評価、コミュニケーションという初等教育段階で取り扱われる11のスキルに加え、問いの生成、問題の精緻化、正当化の計14のスキルである。

これらのスキルは、表1の通り、事象等への関わりの段階、証拠の獲得と提示の段階、推論の段階という三つに整理されている (Ministry of Education, Singapore, 2012, 7)。このように大まかな探究活動の流れに沿ってスキル等は示されているが、実際の探究活動では多様な順番で進むことが付記されている。コミュニケーションスキルだけは、三つの段階全てにおいて求められている。また、プロセスも三つの段階全てにまたがる形で示されており、「プロセス=探究活動の流れ」では無く、「プロセス=探究活動の性質」として捉えられていることが窺える。

中等教育科学シラバスには、それぞれのスキルが明示的に指導されるよう、注意が払われなければならないとされている。「実験活動を経験さえすれば、認知的スキルが学習され

る」と捉える暗黙的なアプローチとは異なる。

表1 スキルとプロセス

	事象等への関わり	証拠の獲得と提示	推論
スキル	<ul style="list-style-type: none"> ・問題の提示 ・仮説の設定 ・問題の把握 ・多様な可能性の検討 ・予想 	<ul style="list-style-type: none"> ・観察 ・実験機器の利用 	<ul style="list-style-type: none"> ・比較 ・分類 ・推論 ・分析 ・評価 ・正当化
コミュニケーション			
プロセス	創造的な問題解決, 探究活動の計画, 意思決定		
探究の不可欠な特徴	問う	証明する	関係を説明する
コミュニケーション			

③ 倫理と態度

シラバスには、初等及び中等教育段階ともに、好奇心、創造性、客観性、誠実さ、オープンマインド、忍耐力、責任（生命倫理、環境倫理）の七つが記載されている。

ジュニアカレッジの科学カリキュラムには、倫理と態度に関する内容は、教授学習内容としては載っていない。ただし、科目のねらいとして、「21世紀に求められる様々な課題に十分対応できるような科学的リテラシーを備えた生徒の育成」が掲げられており、個々の倫理や態度の習得ではなく、社会で活躍するための総合的な態度や能力の育成が目指されていると言えよう。

（2）学習方法

中等教育段階における科学の教授学習で強調されていることは、探究である。そのため、科学における事実や科学的探究の成果を一方向的に伝達するだけの指導からの脱却が求められている（Ministry of Education, Singapore, 2012, 12）。その一方で、科学的探究の成果が科学者によってどのようにもたらされたのか学ぶ必要や、日常生活や社会、環境に関連のある知識や諸問題を問う機会、証拠の収集や利用に積極的に関わる機会、科学的知識に基づいた説明を構成及び伝達する機会が子供に提供される必要が指摘されている。子供が能動的に学ぶことが指向されているのである。

（3）学ぶ文脈

中等教育科学シラバスには、探究の文脈として、日常生活における科学、社会における科学、環境における科学の三つが示されている。これら三つの内容を文脈として、科学、及び科学の性質などを学ぶことが意図されている。

2) 科学的探究

シンガポールのカリキュラムでは、探究が強調されているものの、生徒が学習活動を主導するような自由度の高い探究活動のみが奨励されているわけではない。むしろ、中等教

育科学シラバスでは、「すべての科学学習の内容は、生徒の主体的な探究を通じて教えられるべきである」ことを、探究学習についての教師のミスコンセプションとして断じているのである（Ministry of Education, Singapore, 2012, 16）。逆に、教師主導による探究活動を、科学概念の学習に焦点化しやすいと評価し、生徒主導による探究と教師主導による探究の二つのアプローチ間に存在する多様な指導方法による経験が、生徒に恩恵をもたらすと見なされている。また、学習活動が手作業を伴えば（ハンズオン）良いのではなく、子供の情意的な意味合いにおいて探究的でなければならないとされている。この点において、真に探究的な活動の実施が求められていると言える。

教師主導と生徒主導の2種類の探究活動の長所をうまく組み合わせて指導方法を考案することが求められ、それを支援するためのルーブリックがシラバスに記載されている（Ministry of Education, Singapore, 2012, 12-13）。このルーブリックでは、主要な科学的探究プロセスとして、問題の設定場面、実験活動で得るべき証拠の決定場面、実験結果の説明場面、実験結果の説明の評価場面、自分自身の説明の伝達と正当化の場面、の五つが設定され、それぞれにおいて子供に与える自由度（子供への要求の程度）が4段階に分けられて表示されている。教師は、このルーブリックを参考にして、生徒に期待する主体性、生徒に与える自由度（要求の程度）、授業を通じて育む資質・能力を明確に設定し、メリハリのある授業を計画することが求められていると言える。

3) 科学的探究能力の評価

中等後教育であるジュニアカレッジの生徒は、GCE A (Advanced) レベルの試験を受け、その結果は大学入試等に利用される。科学に関しては、物理、化学、生物の内容領域があり、それらはさらに、レベルの低い方から H1, H2, H3 の三つのレベルに分けられる。そのため、H1 物理、H2 物理、H3 物理というように、レベルごとに科目及び試験がある。一般的に、理系の生徒であれば、H2 の科目を履修し、それを履修した生徒の内、一部の優秀な生徒が H3 の科目を履修することになる。シンガポール試験評価局（Singapore Examinations and Assessment Board）から、科目ごとの試験内容の範囲や規定が記述されたシラバスが示されている。ここでは、H2 物理に記載された内容を中心に検討する。

H2 物理の試験内容領域は、A「理解を伴った知識」、B「情報の操作、活用、評価」、C「実験スキルと探究」の三つである。「情報の操作、活用、評価」には、「多様な情報源から情報を探し出し、選択し、構成し、提示する」など 10 の項目が、具体的な試験内容として含まれている。これらについて、試験において「予想しなさい」、「提案しなさい」、「推論しなさい」、「計算しなさい」、「決定しなさい」という用語を用いて質問されることが、記されている。「実験スキルと探究」には、「安全で効果的に、実験を操作し、器具及び物質を扱う能力、実験手順に従う能力」など五つの項目が含まれている。

試験の構成は、表 2 のとおりである（Singapore Examinations and Assessment Board, 2017, 8）。評価内容 C「実験スキルと探究」は、試験 4 で評価される。試験 1 から試験 4 の点数は、配点割合に応じて補正され、合計点が算出される。例えば、試験 4 の点数は 55 点であるが、H2 物理における試験 4 の配点割合は 20%なので、H2 物理の合計得点に換算すると、

試験4の1点は合計得点における約0.36点に相当する。試験4での評価の観点は、「計画」、「操作、測定、観察」、「データや観察結果の提示」、「分析、結論、評価」の4点である。「計画」の配点割合が5%、その他の観点はそれぞれ15%である。「データや観察結果の提示」と「分析、結論、評価」に関しては、実験器具の操作などの実技を伴わない問いも含まれる。これら四つの観点には、それぞれ三つから五つの具体的なスキルが示されている。

表2 試験の構成

種類	回答形式	時間	配点割合 (%)	点数
1	選択肢	1時間	15	30
2	短文回答	2時間	30	80
3	長文回答	2時間	35	80
4	実技	2時間30分	20	55

3. 教科書の事例

科学シラバスを構成する「知識・理解・応用」に、科学の性質（nature of science）の教授が含まれている。このように、「科学について」の内容が、教授学習内容としてシラバスに明確に位置付けられていることが分かる。

教科書には、「科学における努力」という単元が、教科書の最初の部分に記載されている。例えば、Hodder Education の All About Science for lower secondary Volume A では、29ページがこの単元に充てられている(Dr. Rex M Heyworth, 2017, 2-31)。この単元では、科学とは何か、科学の影響と限界、科学的な態度や方法などが網羅され、科学の方法について、自覚的に教授学習する構成となっている。

科学の内容に関する指導の部分にも、科学の方法が内容領域として取り扱われる様子を窺うことができる。例えば、蒸発の学習内容において、欄外の「考えてみよう!」という部分に、下記のような記述がある(Dr. Rex M Heyworth, 2017, 93)。

1. 炎は蒸発に不可欠だろうか? [分析]
2. 砂糖が含まれている水溶液を加熱するときに、ブンスバーナーで直接蒸発皿を加熱しない理由を挙げてみよう。[推論]
3. 海水の蒸発物から得られる塩は、砂など不純物が混じっている。不純物の混じらない塩を得るために、砂はどのように取り除かれるのだろうか? [多様な可能性の検討]

1から3までは、蒸発及びそれに関連した内容についての理解の確認や、思考の促進として活用できるものである。ただ、それぞれの問いの最後に、分析、推論、可能性の検討というように、それぞれの内容がどのようなスキルと関連しているのか明示することで、自分たちの活動をメタ的に理解することを可能にする。このように、科学の方法に関する内容を明示的に指導している点において、科学の内容と同じように、科学の方法が、内容

領域として扱われていることが窺える。

4. 我が国における理数探究等の科学的な探究活動への示唆

1) 大学入試への活用

探究活動の評価を、大学入試の一部として活用することである。これにより、科学的探究あるいは科学の方法を「習得すべき内容」として、生徒に捉えられることが期待でき、科学の方法に関する学習の促進、ひいては科学的探究能力の向上が期待できる。また、科学的探究活動に取り組むことが、大学入試の勉強にとって無駄ではないと認識されることで、生徒の科学的探究活動を促進する環境が整うことを期待できる。

2) 科学の方法に関する明示的教授

生徒に実験活動に取り組みさせるだけではなく、科学の性質を明示的に指導することが考えられる。これは、科学の性質についての指導とも言い換えることができるかもしれない。科学的探究プロセスや個々の科学的スキルの理解の向上が、総合的な実践能力の向上につながることを期待するものである。

3) 探究活動において生徒に評価、判断、決定させる要素の限定

生徒が探究的に学ぶためには、生徒自身による当該探究活動に対する傾倒が必要となるだろう。そのため、教師から与えられた実験手順に従わせる学習活動のみとせず、実験活動やデータに関して生徒自身に評価、判断、決定させる学習活動が重要になる。その一方で、それら全てを生徒に要求することは、難しい。個々の探究活動において生徒に評価、判断、決定させる要素を限定し授業を構成することで、多様なレベルの探究活動を生徒に提供可能になると考えられる。

【引用・参考文献】

池田充裕（2012年），第4章シンガポール：将来を見据えた教育，経済協力開発機構（OECD）編者，渡辺良監訳，『PISA から見る，できる国・頑張る国2-未来志向の教育を目指す：日本』，明石書店，170-172頁。

松尾知明（2015）『21世紀型スキルとは何か』，明石書店。

Ministry of Education, Singapore (2012). *Science Syllabus (Lower Secondary – Express Course, Normal (Academic) Course)*, <https://www.moe.gov.sg/-/media/files/secondary/syllabuses/science/science-lower-secondary-2013.pdf>

Singapore Examinations and Assessment Board (2017). *Physics: Singapore-Cambridge General Certificate of Education Advanced Level Higher 2 (2019) (Syllabus 9749)*, <https://documents.pub/reader/full/9749-y19-sy-physics-h2-for-2019-seab-home-physics-gce-advanced-level-h2-syllabus>

Dr. Rex M Heyworth (2017). *All About Science for lower secondary Volume A*, Hodder Education Singapore.

（大嶋 竜午）

国際バカロレア

1. はじめに

国際バカロレア(以下 IB とする)は 1968 年に創設されたディプロマプログラム(DP)から始まり、高度でバランスが取れた教育を提供し大学への入学資格として国際的に認められることで、世界のどのような場所や文化圏においても継続して受講可能な教育プログラムとして考案された(国際バカロレア機構, 2017)。正式な国際バカロレア試験の開始時点に発行された政策文書では、「全人」の形成(formation of the whole man)を目的とすることが強調されていた(福田, 2015)。

その後、国際バカロレア試験を目指す教育が普及するにつれて、国際バカロレアには大学入学直前の 2 年間だけでなく、そこにたどり着くまでの長期的なカリキュラムが、国際学校の教師たちによる「国際学校カリキュラム・プロジェクト(ISCP)」によって整備されることになる(福田, 2015)。1994 年には 11~16 歳対象の「国際バカロレア中等教育プログラム」(MYP)を、そして 1997 年に 3~12 歳対象の「国際バカロレア初等教育プログラム」(PYP)を設置し、国際教育に取り組む 3 歳から 19 歳までの幼児及び児童生徒を対象とした一貫プログラムを確立した(国際バカロレア機構, 2017)。

IB は、多様な文化の理解と尊重の精神を通じて、より良い、より平和な世界を築くことに貢献する、探究心、知識、思いやりに富んだ若者の育成を目的としている(国際バカロレア機構, 2017)。そこでは、表 1 に示す国際バカロレアが価値を置く 10 の学習者像が示されており、「全人」の形成が目的とされている。

表 1 国際バカロレアの学習者像

<p>探究する人 私たちは、好奇心を育み、探究し研究するスキルを身につけます。ひとりで学んだり、他の人々と共に学んだりします。熱意をもって学び、学ぶ喜びを生涯を通じてもち続けます。</p>	<p>心を開く人 私たちは、自己の文化と個人的な経験の真価を正しく受け止めると同時に、他の人々の価値観や伝統の真価もまた正しく受け止めます。多様な視点を求め、価値を見だし、その経験を糧に成長しようと努めます。</p>
<p>知識のある人 私たちは、概念的な理解を深めて活用し、幅広い分野の知識を探究します。地域社会やグローバル社会における重要な課題や考えに取り組みます。</p>	<p>思いやりのある人 私たちは、思いやりと共感、そして尊重の精神を示します。人の役に立ち、他の人々の生活や私たちを取り巻く世界を良くするために行動します。</p>
<p>考える人 私たちは、複雑な問題を分析し、責任ある行動をとるために、批判的かつ創造的に考えるスキルを活用します。率先して理性的で倫理的な判断を下します。</p>	<p>挑戦する人 私たちは、不確実な事態に対し、熟慮と決断力をもって向き合います。ひとりで、または協力して新しい考えや方法を探究します。挑戦と変化に機知に富んだ方法で快活に取り組みます。</p>
<p>コミュニケーションができる人 私たちは、複数の言語やさまざまな方法を用いて、自信をもって創造的に自分自身を表現します。他の人々や他の集団のものの方目に注意深く耳を傾け、効果的に協力し合います。</p>	<p>バランスのとれた人 私たちは、自分自身や他の人々の幸福にとって、私たちの生を構成する知性、身体、心のバランスをとることが大切だと理解しています。また、私たちが他の人々や、私たちが住むこの世界と相互に依存していることを認識しています。</p>
<p>信念をもつ人 私たちは、誠実かつ正直に、公正な考えと強い正義感をもって行動します。そして、あらゆる人々があつての尊厳と権利を尊重して行動します。私たちは、自分自身の行動とそれに伴う結果に責任をもちます。</p>	<p>振り返りができる人 私たちは、世界について、そして自分の考えや経験について、深く考察します。自分自身の学びと成長を促すため、自分の長所と短所を理解するように努めます。</p>

出典: 国際バカロレア機構(2017, pp.4-5)

2. 先進的な科学カリキュラムと科学的探究

1) 科学カリキュラムの構成原理

各教育段階におけるプログラムは全て、国際的な視野と IB の学習者像を育むという共通の目標で支えられつつ、それぞれに独自のアイデンティティと発達段階に応じた要素をもっている(国際バカロレア機構, 2017)。各プログラムの特徴は表 2 のようにまとめられている(福田, 2015)。ここでは、各プログラムによって異なったカリキュラムの類型が用いられており、教育段階に上がるにつれてカリキュラムの統合の度合いが弱まっていく。PYP では従来の教科の枠組みを超えた学習を展開し、MYP では PYP の教科横断的テーマを更に発展させてグローバルな文脈を探究し、DP では六つの教科と三つの「コア」の必修要件で構成されている(国際バカロレア機構, 2017)。この絶妙な組合せによって、子供たちを考え行動する社会の活動主体として成長させ、生涯学習に向けて専門分野への扉を開いている(福田, 2015)。

表 2 国際バカロレア・カリキュラムにおける各プログラムの特徴

カリキュラム名称	カリキュラムの特徴	教科以外のコースないし活動
初等教育プログラム(PYP)	コア・カリキュラム 探究の単元	発表会
中等教育プログラム(MYP)	クロス・カリキュラム	パーソナル・プロジェクト
ディプロマプログラム(DP)	教科カリキュラム 知の理論	課題論文(EE) 創造・行動・奉仕(CAS)

出典: 福田(2015)を参考に筆者作成

国際バカロレアが掲げる目標を達成するために、六つの「指導方法」と五つの「学習の方法」が定められている(国際バカロレア機構, 2017)。六つの「指導方法」として、探究を基盤とした指導、概念理解に重点を置いた指導、地域的な文脈とグローバルな文脈において展開される指導、効果的なチームワークと協働を重視する指導、学習への障壁を取り除くデザイン、評価を取り入れた指導が、「学習の方法」として、思考スキル、リサーチスキル、コミュニケーションスキル、社会性スキル、自己管理スキルが規定されている。さらに、これらスキル領域は個別のカテゴリーと提示されているが、お互いに密接なつながりを持ち、重複した部分があり、相互に関係していると見なすべきであるとされている(国際バカロレア機構, 2017)。

(1) MYP 理科

5 年間の MYP において、最初の 3 年間は八つの教科(言語と文学、言語の習得、個人と社会、理科、数学、美術、体育、デザイン)の枠を超えて扱うことができ、複数の教科を統合したり、第二言語以外は学期ごとに学ぶ教科を変えたりすることもできるが、1 教科につき年間最低でも 50 時間以上の学習時間が必要である(石村, 2018)。後半の 2 年間では、8 教科のうち 6 教科を選択すればよく、1 教科の年間学習時間は 70 時間以上となる(石村, 2018)。

① 目的・目標

MYP 理科においては、次のような生徒の行動を奨励し支援することが目指されている。科学とその意味するものを理解し正しく認識すること、科学を利益と限界を伴った人間の試みとみなすこと、疑問を抱き、問題を解決し、説明を構築し、議論を判断する、分析的で探究的かつ柔軟な思考を養うこと、調査を計画・実施し、証拠を評価し、結論に達するスキルを養うこと、効果的に協働しコミュニケーションをとる必要性を意識すること、実世界における多様な文脈で言語スキルと知識を活用すること、生物環境と非生物環境に対して敏感になること、学習経験を振り返り、確かな情報に基づく選択をすること(国際バカロレア機構, 2018a)。さらに目標として、A 知識と理解, B 探究と計画, C 手法と評価, D 科学的影響の振り返りの4側面から規定されている。

② 内容構成

MYP では教科や科目ごと、またそれらを横断して考える「広い考え方(big idea)」として重要概念が規定されており(表 3 参照)、理科においては変化、関係性、及び体系が扱われる(国際バカロレア機構, 2018a)。これは普遍的原則または観念で、その重要性は特定の起源、対象、または時間を超越するものであり、生徒が個人的、地域的、そしてグローバルな重要性をもつ課題やアイデアを探究するときの媒体になり、科学の本質を掘り下げる手段を提供する(国際バカロレア機構, 2018a)。さらに理科の学習分野に基づいた関連概念として、バランス、条件、結果、発展、エネルギー、環境、証拠・根拠、形式、機能、相互作用、モデル、運動、パターン、転移、変換が定められている(国際バカロレア機構, 2018a)。

表 3 MYP の重要概念

美的感性	変化	コミュニケーション	共同体
つながり	創造性	文化	発展
形式	グローバルなかかわり	アイデンティティー	論理
観点	関係性	体系	時間、場所、空間

出典: 国際バカロレア機構(2018a, p.22)

③ 学習方法・文脈

ここでは、グローバルな文脈で概念的な理解を育てることによって、科学における持続的な探究を構築する(国際バカロレア機構, 2018a)。教師及び生徒は、教科を詳しく掘り下げるために、探究のテーマを明らかにし、探究の問いを用い、生徒はこの探究を通して、教科の、そして学際的な ATL(学習のアプローチ)の特定のスキルを習得することになる(国際バカロレア機構, 2018a)。

(2) DP 理科

2年間の DP において、生徒は6科目(言語と文学、言語の習得、個人と社会、理科、数学、芸術)とカリキュラムの中核を成す「コア」(必要要件)を履修することが求められている(国際バカロレア機構, 2020)。ほとんどの教科には上級レベル(HL)と標準レベル(SL)があり、HLを3~4教科選択しなければならない(石村, 2018)。また、HLは2年間で240時間、

SL は 150 時間の授業が必要となる(石村, 2018)。

DP 理科では、「科学の本質」のテーマを中心としながら、生徒が以下を身に付けることが目指される(国際バカロレア機構, 2015a)。

- ① 刺激的でチャレンジに満ちた機会を通じて、グローバルな文脈における科学研究とその創造性について理解する。
- ② 科学技術の特徴付ける知識体系、方法、及び手法を習得する。
- ③ 科学技術の特徴付ける知識体系、方法、および手法を応用し活用する。
- ④ 科学情報を分析、評価、統合する能力を身に付ける。
- ⑤ 科学活動の中で、効果的な協働及びコミュニケーションの必要性と価値に対して批判的意識を身に付ける。
- ⑥ 実験及び研究に関する科学的スキルを身に付ける。スキルには、現在、利用可能な技術を活用することを含む。
- ⑦ 科学を学ぶことを通じて 21 世紀のコミュニケーションスキルを身に付け、応用する。
- ⑧ 科学技術を用いることの倫理的影響について、グローバルな社会の一員として批判的な意識をもつ。
- ⑨ 科学技術の可能性とその限界についての理解を深める。
- ⑩ 科学の学問分野間の関係性と他の知識分野への影響についての理解を深める。

ここでは、科目全体を通して実験を重視することが期待されており(国際バカロレア機構, 2015a)、科学の本質をテーマとして、物理、化学、生物の知識と理解を身に付けることが目指されている(国際バカロレア機構, 2015b)。さらに、「知の理論」(TOK)と呼ばれるコースでは、知識の本質、そして、私たちが「知っている」と主張することについてどのように知るのかを探究し、自分なりのものの見方や他人との違いを自覚しながら、知るプロセスが学習されることになる(国際バカロレア機構, 2015a)。

このように、MYP の理科では科学的探究が中心に位置づいており、科学的探究を通して DP の「生物」、「化学」、「物理」に取り組む上での必要な思考方法、一連のスキルとプロセスを養う(国際バカロレア機構, 2018a)。さらに DP では科学の本質をテーマとして、物理、化学、生物の知識と理解を身につけ、「IB の学習者像」に示されている人物像へと生徒が成長することが目指される。

2) 科学的探究

(1) MYP 理科

MYP 理科では、科学的探究が中心に位置づいており、四つの目標の一つとして「B 探究と計画」が定められている。そこでは、生徒が以下のことができるようになることが目指されている(国際バカロレア機構, 2018a)。

- i. 科学的調査に基づいて検証される問題または疑問を説明すること
- ii. 検証可能な仮説を定式化し、科学的合理性をもって説明すること
- iii. 変数の操作方法を説明し、どのようにしてデータを収集するかを説明すること
- iv. 科学的調査を計画すること

さらに、目標 B(探究と計画)及び目標 C(処理と評価)によって代表される、探究・計画・処理・評価の四つの領域間の動的な関係性を示す、科学的プロセスが示されている(図 1)。

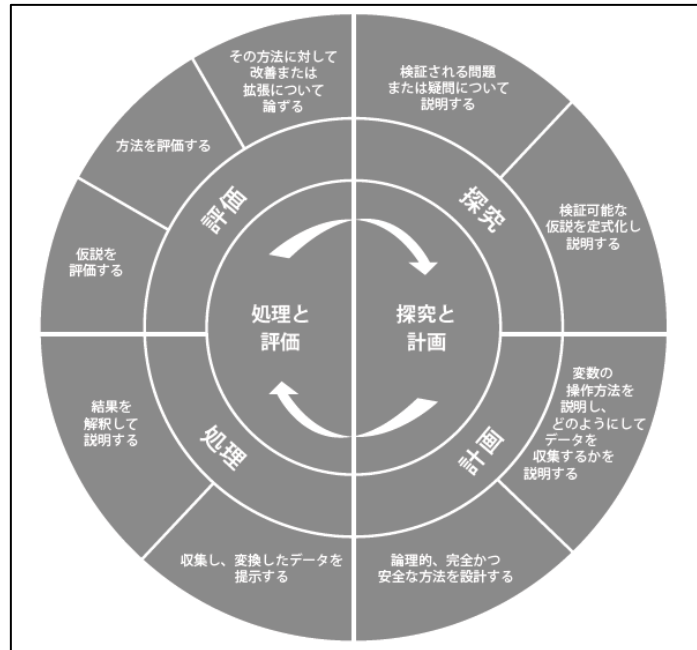


図 1 MYP 理科における科学的プロセス

出典：国際バカロレア機構(2018a, p.15)

また探究のテーマ例として、表 4 に示す内容が考えられる。この探究を通して「学習のアプローチ」(ATL)のスキルを習得し実践する。ATL スキルは MYP の全ての教科に関連するものであるが、とりわけ理科において重要となる指標として、思考スキル：科学的調査から得られたデータを解釈する、社会的スキル：実験方法の設計に関するフィードバックを与える訓練をする、コミュニケーションスキル：目的と聞き手に応じてデータの適切な視覚的表現を用いる、自己管理スキル：実験観察レポートで適切に情報を構造化する、リサーチスキル：科学的研究と関連するモラル、倫理、社会、経済、政治、文化、または環境の要素と関連付けることが挙げられる(国際バカロレア機構, 2018a)。

表 4 MYP 理科における探究のテーマ

探究テーマ	「重要概念」、関連概念、グローバルな文脈	可能なトピックや研究領域
生物学的な進化の技術的な革新がもたらす変化による結果を社会は考慮しなければならない。	<ul style="list-style-type: none"> 変化 結果、機能 科学技術と技術の革新(生物学的進化) 	生物学：バイオテクノロジー 物理化学：ナノテクノロジー
先駆的な発見は、従来の英知に疑問を投げかけ、理解をさらに深めるための道を与えます。	<ul style="list-style-type: none"> 変化 証拠、発展、パターン 空間的・時間的位置づけ—発見と転機(進化、制約、順応) 	化学：周期表(傾向、族、周期) 科学の性質と科学について知るための方法 (ways of knowing)
物質とエネルギーを変換する革新的な装置は、人間の需要と欲求を満たします。	<ul style="list-style-type: none"> 創造性 形態、機能、変換 個人的および文化的な表現(起業家精神、慣習、能力) 	物理学：波としての熱、光、音(電磁スペクトル、画像化、応用)

出典：国際バカロレア機構(2018a, pp.25-26)を参考に筆者作成

MYP の評価は A 知識と理解, B 探究と計画, C 手法と評価, D 科学的影響の振り返りの四つの評価規準に基づいており, MYP の各年に少なくとも 2 回, 四つの全ての評価規準の全てのストランドを評価しなければならない(国際バカロレア機構, 2018a)。それぞれの評価規準には八つの到達レベルがあり, 各レベルの説明を踏まえ, 教師は生徒の進歩と達成度について「ベストフィット」の判断を行う(国際バカロレア機構, 2018a)。例えば, 第 5 年次の B 探究と計画に関して表 5 のように示されている。

表 5 第 5 年次理科 探究と計画の評価規準

第 5 学年終了時に, 生徒は, 以下のことができるようになるべきです。 i. 科学的調査によって検証される問題または疑問を説明すること ii. 検証可能な仮説を定式化し, 科学的合理性をもって説明すること iii. 変数の操作方法を説明し, どのようにしてデータを収集するかを説明すること iv. 科学的調査を設計(実験デザイン)すること	
到達レベル	レベルの説明
0	生徒は, 以下の説明に述べられたいずれの基準にも達していない。
1-2	生徒は以下のことができる。 i. 科学的調査によって検証される問題または疑問を 述べる こと ii. 検証可能な仮説の 概要を述べる こと iii. 変数について 概要を述べる こと iv. 方法を ある程度設計 すること
3-4	生徒は以下のことができる。 i. 科学的調査によって検証される問題または疑問の 概要を述べる こと ii. 科学的合理性に基づいて 検証可能な仮説を 定式化 すること iii. 変数操作方法的 概要を述べ , どのようにして 関連データ を収集するかについての 概要を述べる こと iv. 材料および設備を選択 するうえでの 安全な方法を設計 すること
5-6	生徒は以下のことができる。 i. 科学的調査によって検証される問題または疑問を 詳しく述べる こと ii. 科学的合理性に基づいて 検証可能な仮説を 定式化し説明 すること iii. 変数の操作方法を 詳しく述べ , どのようにして 十分な関連データ を収集するかを 詳しく述べる こと iv. 適切な材料および設備を選択 するうえでの 完全かつ安全な方法を設計 すること
7-8	生徒は以下のことができる。 i. 科学的調査によって検証される問題または疑問を 説明 すること ii. 正確な科学的合理性に基づいて 検証可能な仮説を 定式化し説明 すること iii. 変数の操作方法を 説明 し, どのようにして 十分な関連データ を収集するかを 説明 すること iv. 適切な材料および設備を選択 する 論理的で完全かつ安全な方法を設計 すること

出典：国際バカロレア機構(2018a, p.44)を参考に筆者作成

(2) DP 理科

DP では「科学の本質」が指導や学習の中に統合的に組み込まれている。そのため、「指導の手引き」におけるシラバスにおいて, サブトピックごとに「科学の本質」(NOS)との関わりの欄があり, どのように「科学の本質」を捉え, 学習内容と結び付けるのかの例が示さ

れている(国際バカロレア機構, 2015b)。さらに, 「科学の本質」は「知の理論」(TOK)が扱う知識の領域のうち, 「自然科学」と呼ばれる領域の対象となる(国際バカロレア機構, 2015b)。DP 物理「測定と不確かさ」におけるシラバスの例を図2に示す。

【学習のポイント】1948年以降、科学技術の世界標準語として定められた国際単位系（S I）が、測定の表記に望ましい単位系として使用されている。

1.1 物理における測定	
「科学の本質」(NOS)との関わり 共通の用語——18世紀以降、さまざまな分野で研究を行う科学者の国際協力や、実験結果の再現と比較を容易にすることをめざし、測定のための標準化された単位系の規定が模索されてきた。(1.6) 計測機器の改善——原子時計に使われるセシウム133の遷移などに見られる計測方法や機器の進歩は、より精密な標準単位の定義につながっている。(1.8) 確実性——厳密に「正確」な事実を見つけることが科学者の目標として捉えられがちだが、いかなる測定においても不確かさの存在は避けられないものである。(3.6)	
理解 <ul style="list-style-type: none"> ・ S Iの基本単位と組立単位 ・ 科学的表記法とS I接頭語 ・ 有効数字 ・ 桁数(オーダー) ・ 見積もりをする 知識・スキルの活用 <ul style="list-style-type: none"> ・ 測定、計算結果、生および加工後データすべてにおいて、S I単位系を正確に使う。 ・ 科学的表記法とS I接頭語を使う。 ・ 比率や値の見積もりおよび比較や近い桁(オーダー)への近似をする。 ・ 見積もりをする際、適切な有効数字に数値を丸める。 	国際的な視野 <ul style="list-style-type: none"> ・ 科学における協働作業は、データの表現方法の標準化により、言語の違いや国境をこえ、真に国際的な活動となり得る。 「知の理論」(TOK) <ul style="list-style-type: none"> ・ 科学で使われる共通言語に影響を与えてきたものは何だろうか。標準化された共通の測定方法をもつことは、物理学の知識の共有を可能にすることにどの程度、貢献しているだろうか。 自然や人間生活との関わり <ul style="list-style-type: none"> ・ このトピックは履修開始時に扱うどのような単元にも組み入れることができる。また、すべての学習項目において重要となる。 ・ 他の「理科」(グループ4)科目すべてにおいて応用がきくスキルである。 ・ 「数学スタディーズSL」1.2~1.4

図2 DP 物理のシラバスの例

出典：国際バカロレア機構(2015a, p.35)

評価では上述した「科学の本質」が重視され、生徒が以下の評価目標を身に付けることが目指される(国際バカロレア機構, 2015a)。

1. 以下の知識と理解を示すことができる。
 - a. 事実, 概念, 用語
 - b. 方法論と手法
 - c. 科学情報の伝達
2. 以下を応用することができる。
 - a. 事実, 概念, 用語
 - b. 方法論と手法
 - c. 科学情報の伝達の方法
3. 以下を公式化, 分析, 評価することができる。
 - a. 仮説, 研究課題と予測
 - b. 方法論と技法
 - c. 一次データと二次データ
 - d. 科学的説明
4. 洞察力があり倫理に適った研究を行うのに必要とされる適切な研究スキル, 実験スキル, 人間性の側面に関連したパーソナルスキルを示すことができる。

ここでは, 学校外で実施される外部評価(80%), 及び内部評価(20%)の両方が実施され, 科学的探究である「個人研究」は内部評価によって実施される(国際バカロレア機構, 2015a)。

内部評価課題では、一つの科学的研究に約 10 時間かけて取り組み、研究は約 6～12 ページのレポートにまとめられる。そのレポートを、「主体的な取組(8%)」「探究(25%)」「分析(25%)」「評価(25%)」「コミュニケーション(17%)」の五つの評価規準を用いて評価する。例えば、探究の評価規準では、「研究の背景となる科学的文脈を設定できたか」「明確で焦点を絞った研究課題を提示できたか」「DP のレベルに適切な概念と手法を用いているか」のそれぞれについてどの程度できたか評価される(国際バカロレア機構, 2015a)。その評価規準を表 6 に示す。

表 6 DP における探究の評価規準

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	研究トピックが特定され、ある程度、関連性のある研究課題が 提示されているが、焦点が絞られていない 。 研究の背景となる情報が 表面的 、または関連性が限定的なため、研究の文脈についての理解を助けるものになっていない。 研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素がほとんど考慮されていない。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに非常に限られた程度にしか適切でない。 研究方法に関連する 重要な安全性、倫理、または環境の問題への意識が限定的であることがうかがえる。*
3～4	研究トピックが特定され、関連性のある研究課題が提示されているが、研究課題の焦点は十分には絞られていない。 研究の背景となる情報は概ね適切で関連性があり、研究の文脈についての理解を助けるものとなっている。 研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素の一部だけを考慮している。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに概ね適切であるが限定的である。 研究方法に関連する 重要な安全性、倫理、または環境の問題をある程度意識していることがうかがえる。*
5～6	研究トピックが特定され、関連性のある研究課題が明確に提示されている。研究課題は、十分に焦点が絞られている。 研究の背景となる情報は、十分に適切で関連性があり、研究の文脈についての理解を高めるものとなっている。 研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素のすべて、またはほとんどすべてを考慮している。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに非常に適切である。 研究方法に関連する 重要な安全性、倫理、または環境の問題を完全に意識していることがうかがえる。*

*この指標は、該当する場合にのみ適用します。

出典：国際バカロレア機構(2015a, pp.148-149)

(3) 生徒用解説書の事例

国際バカロレア機構が出版している MYP 理科の生徒用解説書(Clark, Mindorff, Pak & Lelievre, 2015)における科学的探究について取り上げる。上述の通り、MYP では科学的探究が中心に位置付いているため、その解説書においても科学的探究を重視する構成となっている。全 16 の章から構成されており、第 1 章に国際バカロレアの概要として重要概念

や学習のアプローチ(ALT)などの説明があり、第2章～4章までは理科において扱われる重要概念である体系、変化、関係性が取り上げられている。その後、第5章～16章までは理科における関連概念であるエネルギー、証拠、変換、モデル、相互作用、結果、形式、運動、機能、パターン、環境、バランスが取り上げられている。各章の最初のページには探究の課題、スキル、重要語、指示用語が記載されている。その後概念を探究するための活動が掲載されている。

例えば、第2章の変化では、理科における変化とは何か？、理科において変化を探究する際に何を重視するか？という探究課題に取り組むことになる(図3)。その後、物理変化と化学変化、グローバルサイクルでの変化、異なった電力消費における原因の分析、予防原則に関する活動を通して、重要概念を探究する(図4)。

CHAPTER 3 Introducing key concept 2: change

HIGHER QUESTIONS

- What is change in the context of science?
- What do we focus on when inquiring into change in science?

SKILLS

ATL

- Listen actively to other perspectives and ideas.
- Inquire in different contexts to gain a different perspective.
- Practise visible thinking strategies and techniques.
- Collect and analyse data to identify solutions and make informed decisions.

Scientific method

- Interpret the relationship between two variables.
- Distinguish between correlation and cause and effect.
- Analyse information to draw justifiable conclusions.
- Make connections between relevant information to draw conclusions.
- Make connections between scientific research and related moral, ethical, social, economic, political or environmental factors.

Introducing change

Ring around the rosy
A pocketful of posies
Ashes, ashes
We all fall down

The nursery rhyme above may be familiar to you (perhaps with slightly different words) as it is often sung by young children in playgrounds and classrooms. The song might bring fun and laughter today, but the story behind it is much more serious.

There is nothing permanent except change.

Classify arrange or order by class or category.

Describe give a detailed account or picture of a situation, event, person or process.

Discuss offer a considered and balanced review that includes a range of arguments, factors or hypotheses. Opinions or conclusions should be presented clearly and supported by appropriate evidence.

Evaluate make an appraisal by weighing up the strengths and limitations.

Suggest propose a solution, hypothesis or other possible answer.

図3 解説書の例①

Activity 1 Physical and chemical changes

Change	Physical or chemical?	Reversible or irreversible?
Popping popcorn		
Melting butter for popcorn		
Exploding fireworks		
Rusting an old bicycle		
Frying an egg		
Breaking glass		
Burning paper		
Freezing ice cubes		

Questions

- In small groups, **classify** each of the above changes into one of two categories—physical change or chemical change. **Talk through your reasoning** with each other.
- In your groups, **discuss** whether each change is reversible or irreversible. **Describe** any pattern you can identify in the list.

GLOBAL CONTEXTS
Scientific and technical innovation

ATL SKILLS
Social
Listen actively to other perspectives and ideas.

TIP
Rats carry fleas, which feed on their blood. If the rat is infected with the plague, some bacteria pass onto the feeding flea. When that flea bites another rat or a human, it often regurgitates plague-infected blood into the wound. This infers the second rat or human with the plague.

For many centuries, one of the biggest questions about the plague was: Where is it coming from? The mystery continued until eventually the source was identified as a bacterium called *Yersinia pestis*. This bacterium is able to infect rats and humans. *Y. pestis* in the blood of infected rodents can be transferred by fleas that feed on the blood of both rodents and humans.

But there are not enough rats and fleas to explain how the plague bacterium *Y. pestis* suddenly became one of the most deadly organisms known to humans.

図4 解説書の例②

3. 我が国における理数探究等の科学的な探究活動への示唆

1) 教育課程全体を通じた「探究する人」の育成

教育課程全体を通して10の学習者像を育むことが目指されており、その一つとして「探究する人」が挙げられている。そのため、国際バカロレアの各プログラムにおいて探究が重要視されており、教育段階に応じたカリキュラム統合の度合いが用いられている。また、MYPにおいては教科横断的なテーマを発展させてグローバルな文脈で、DPにおいては六つの教科と三つの「コア」を通して、探究に取り組むことになる。そのため、MYPでは学問分野や教科の学習、学問分野の枠を超えた学習や教科横断的な学習にも関連した重要概念が示されている。理科の重要概念は体系、変化、関係性であり、数学の重要概念は形式、論理、関係性である。理科における関係性とは、観察または実験を通して変数間に見られ

るつながりを示す(国際バカロレア機構,2018a)。数学では,さまざまな量や性質,概念の間の相互のつながりを関係性という概念として捉える(国際バカロレア機構,2018b)。そのため,関係性という共通する重要概念を両教科で扱うことで,教科横断的な学習を行う際の各教科の特徴について明確化することができる。

2) 科学的探究の評価

MYP においては,探究と計画の評価規準が定められており,それに基づきパフォーマンス評価やポートフォリオ評価が実施されている。また,DP の理科においては,探究的な学習の成果をまとめたレポートが五つの評価規準を用いて評価される。そのため,理数探究の成果として,レポートを作成し,評価規準に基づき評価を行うことが考えられる。また,評価規準の作成において,国際バカロレアの MYP 理科及び DP 理科における評価規準が有用な示唆を与えてくれる。

【引用・参考文献】

Clark, F. Mindorff, D. Pak, R. & Lelievre, B. (2015). *Science a practical guide student book*, Hauge: International Baccalaureate Organization.

福田誠治(2015). 国際バカロレアとこれからの大学入試改革. 垂紀書房.

石村清則(2018). 国際バカロレアの概要, 岩崎久美子 編, 国際バカロレアの挑戦 グローバル時代の世界標準プログラム. 明石書店.

国際バカロレア機構(2020). ディプロマプログラム(DP) DP : 原則から実践へ. 国際バカロレア機構.

国際バカロレア機構(2015a). ディプロマプログラム(DP)「物理」指導の手引き. 国際バカロレア機構.

国際バカロレア機構(2015b). ディプロマプログラム(DP)「物理」教師用参考資料. 国際バカロレア機構.

国際バカロレア機構(2017). IB の一貫教育プログラム 国際バカロレア(IB)の教育とは?. 国際バカロレア機構.

国際バカロレア機構(2018a). 中等教育プログラム「理科」指導の手引き. 国際バカロレア機構.

国際バカロレア機構(2018b). 中等教育プログラム「数学」指導の手引き. 国際バカロレア機構.

(高阪 将人)

第3章 STEM/STEAMに関する学習評価と教員支援

第1節 諸外国におけるSTEM/STEAMに関する学習評価と教員支援

諸外国におけるSTEM/STEAM教育に関する調査研究の主な目的は、諸外国におけるSTEM/STEAMに関する学習評価とSTEM/STEAM教育を推進するための教員支援のあり方に関する基礎的な知見を得ることであった。以下、調査対象としたイギリス、ドイツ、アメリカ合衆国、カナダ、シンガポール、オーストラリア、ニュージーランド、国際バカロレアの担当者からの各報告を示す。イギリスについてはイングランド、カナダについてはオンタリオ州及びブリティッシュコロンビア州を中心にまとめている。調査対象の学校段階は、後期中等教育段階を中心としつつ、特徴的なものについては前期中等教育段階の情報も含めた。本調査研究では、これらの国・地域等について、学校におけるSTEM/STEAMに関連する学習評価や、大学等への進学におけるそれらの活用等に関する情報を収集している。また、可能な範囲で、プラットフォームやSTEM教育センター等の教員支援についても事例を収集した。これらの情報を踏まえて、今後の我が国におけるSTEM/STEAMに関する学習活動や教員支援について示唆を加えた。示唆を含む各報告は、それぞれの国・地域等の担当者が作成したものである。なお、国・地域等の報告は原稿作成時期（令和3年度）の情報を基にしたものである。

各国・地域等の報告における担当者は以下のとおりである。

1	イギリス	野添 生
2	ドイツ	遠藤 優介
3	アメリカ合衆国	黒田 友貴
4	カナダ	岡本 紗知
5	シンガポール	大寫 竜午
6	オーストラリア	川上 貴
7	ニュージーランド	大谷 洋貴
8	国際バカロレア	高阪 将人

イギリス（イングランド）

1. はじめに

イギリス¹⁾の STEM 教育は、ロバーツ卿による報告書“*SET for success: The supply of people with science, technology, engineering and mathematics skills*”²⁾を嚆矢としており、これは科学や工業の産業力向上により経済発展を成し遂げるために、初等中等教育から高等教育、雇用や研究開発に至るまで広範に渡るフェーズを包括した勧告であった（野添・高橋，2018；磯崎・磯崎，2021）。この勧告では、科学、技術、エンジニアリング、数学に同じ比重が掛けられていたわけではなく、あくまでも科学を中心として、その他の分野との連携・協力をどのように進めていくのかが論じられ、例えば、学校教育のカリキュラムに関する文脈上では、主として科学と数学の連携に焦点が当てられていた（Roberts, 2002 : 35-36）。後に公的機関から報告書や指針等が打ち出されていくものの、この傾向は現在に至るまでイギリスの STEM 教育に根強く残っている。

イギリスにおいて公的機関が STEM を定義している文書は少なく、2011 年に出された教育省の報告書“*The STEM cohesion programme*”では、以下のように定義されている。

STEM とは、科学、技術、エンジニアリング、数学の頭文字である。政府の STEM プログラムは、21 世紀の労働力に必要なスキルを企業主に提供し、また、科学に基づく研究開発の先導としてイギリスの地位を保持するため、若者の STEM スキルを向上させることを目的としている。若者が STEM へ従事することを喚起させるために、多くの機関が様々な取り組みを行っている。（DfE, 2011）

つまり、イギリスにおける STEM とは経済成長の鍵を握る人材育成としての側面が強く、教育機関外の取組も積極的に行われており、科学を中心とした結び付きが意識されていた。現行版のナショナル・カリキュラム（National Curriculum : 以下、NC とする）において、既存の STEM 系教科である「科学」「デザイン・技術」「数学」の目的や目標に関する記述を分析³⁾したところ、各教科の「学習の目的」では各学問領域の特徴が明確に定義されており、いずれの領域においても、それぞれの教科の特性に応じた問題解決が掲げられている。また、「科学」以外の教科においては他教科（STEM 教科）間の関係性や連携が明示されている。

以上より、イギリスの STEM 教育の歴史的展開を紐解けば、黎明期から 4 領域全てに重点が置かれていたわけではなく、科学と数学の二つの領域に主軸が置かれてきた経緯があるものの、近年は技術やエンジニアリングとの連携の重要性も指摘され始めている。しかしながら、STEM/STEAM を教育政策として位置付けるまでには至っておらず、Wong, Dillon and King (2016) は、現在のイギリスの STEM 教育の主眼が物理や数学の科目選択者数を

増加させることに傾きつつあり、科学関係の進路を選択しない大多数の生徒に目が向けられていないことに警鐘を鳴らしており、STEM を教育政策として位置付けるのであれば、Science education for all の視座に立った改革が必要であると指摘している。

2. STEM/STEAM に関する学習評価

1) 学校における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

中等教育段階におけるイギリスの STEM/STEAM 学習は、NC の教科として公式には位置付けておらず、実際の学校教育ではクラブ活動やサマースクール等のインフォーマルな形で実施されている。使用している教科書によって、STEM/STEAM に関するテーマが教科内の学習で取り扱われることもあるが、あくまでも各既存教科の指標・基準に沿って評価が行われているため、STEM/STEAM 学習や活動に対する教科横断的な評価指標や基準は規定されていない。各 STEM 教科の評価は、5 歳から 16 歳までの義務教育段階において四つの学年区分（キー・ステージ Key Stage：以下、KS とする）の修了時にテスト形式で実施される。具体的には KS1～3 修了時のナショナルテスト、KS4 修了時の中等教育修了一般資格 GCSE（General Certificate of Secondary Education）試験、さらに大学進学を予定している場合は 16 歳から 18 歳までの後期中等教育段階 GCE・AS/A レベル（General Certificate of Education Advanced Level）資格試験により評価される。例えば、STEM 教科の一つである科学の GCSE 試験や GCE・AS/A レベル資格試験では、下記の評価目標や重み付けが規定されている。

表 1：KS4/GCSE 試験における科学の評価目標と配分

	評価目標	配分
1	以下の知識や理解を説明，表現すること ・ 科学的概念 ・ 科学的技能や方法	40%
2	以下の知識や理解を応用すること ・ 科学的概念 ・ 科学的探究や技能，方法	40%
3	以下のことを行うために情報や考えを分析すること ・ 解釈，評価 ・ 判断し，結論を導き出す ・ 実験方法を開発，改善する	20%

表 2：GCE・AS/A Level 試験における科学の評価目標と配分

	評価目標	配分	
		AS	A level
1	科学的な概念やプロセス，技能や方法に関する知識や理解を説明，表現すること	35-40 %	30-35 %
2	以下の状況で科学的な概念やプロセス，技能や方法に関する知識や理解を応用すること ・ 理論的な文脈 ・ 実践的な文脈 ・ 質的データを扱う場合	40-45 %	40-45 %

	・量的データを扱う場合		
3	以下のことを行うために、諸問題に関する科学的情報や考え、証拠を分析、解釈、評価すること ・判断し、結論に到達する ・実践的な設計や方法を開発、改善する	20-25 %	25-30 %

2) 大学等への進学における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

イギリスの大学等への進学において、STEM/STEAM に関する高校での活動が実績として扱われる事例を確認することはできず、入学試験においても STEM/STEAM 学習や活動は特に扱われていないが、試験委員会（資格付与団体）が実施する KS4 の GCSE 試験、及び AS レベル、A レベルの試験においては、一部において教科横断型のスキルを取り入れた評価が義務付けられている。例えば、科学は下表に示す基準に基づいた数学的スキルを取り入れた試験が実施され、科学の成績として評価されている。ただし、これらは STEM/STEAM の文脈ではなく、NC 全ての教科を通した資質・能力「数学的基礎能力と数学 (Numeracy and mathematics)」の育成を意図したものであることは付言しておきたい。

表 3：科学の試験で義務付けられている数学的スキルの評価の割合

KS4/GCSE 試験	GCE・AS/A Level 試験
総合的科学 (Double award qualification) 全体の 20 パーセント以上 (内訳は生物：化学：物理が 1：2：3 の割合)	生物，化学，物理 (ASLevel, A Level 共に) 生物：全体の 10 パーセント以上 化学：全体の 20 パーセント以上 物理：全体の 40 パーセント以上
生物，化学，物理 (Single award qualification) 生物：全体の 10 パーセント以上 化学：全体の 20 パーセント以上 物理：全体の 30 パーセント以上	

3) 我が国の STEM/STEAM 等の教科等横断的な学習における評価への示唆

評価の問題は生徒の進路への直接的な影響はもとより、教科の目的・目標論といった教科の本質論にも深く関わってくる。また、評価の公平性を担保するためには客観的な指標や基準が必要であるが、イギリスにおいてその拠り所はあくまでも教科が基盤となっている。つまり、STEAM 等の教科等横断的な学習活動を奨励する一方で、評価は内容の系統性が確立された「教科・科目」に基づいて行う評価方式は現実的な運営という観点において参考となるであろう。

3. STEM/STEAM 教育を進めるための教員支援の取組

1) 教員／学校への支援の例とその支援体制

イギリスではヨーク大学キャンパス内にある National STEM Learning Centre が国内の教師や学校を支援するプラットフォームとして重要な役割を果たしている。同センターは、全ての学校や大学において必要としている教師や児童生徒が STEM 教育にアクセスできる

ように、あらゆるサポートを提供することを目的として設立され、政府、慈善団体、イギリス国内外の企業からの資金援助により運営されている非営利機関である。このセンターの特筆すべき特徴として挙げられるものが、STEM 教科を対象とした教員研修プログラム「(教師の) 継続的な専門的成長 (Continuing Professional Development: CPD)」の企画・提供である。CPD はオンライン型、オンデマンド型はもとより、対面型も用意されており、研修プログラムの期間は1日から数日間(対面型の場合、宿泊・食事も含む)まで多岐にわたっている。講師は主に同センターの職員やイギリス国内の大学教員が担当し、2020-2021年に提供されたCPDは延べ34,000日以上でSTEM教師の質的向上が図られている(STEM Learning, 2021)。イギリスにおいて、CPDはSTEM学習活動を展開している教師に直接的な影響を与えるだけでなく、その後教える児童生徒に対しても間接的な影響を及ぼすと考えられており、その経済効果も具体的に試算されている。例えば、科学のCPD活動による推定利益はKS2(7~11歳)のCPD活動で5,190万ポンド(約78億円)、KS4(14~16歳)のCPD活動で9,460万ポンド(約142億円)、GCE・Aレベル(16~18歳)のCPD活動で2億1,380万ポンド(約321億円)と報告されている(Lawton et al., 2021)。同センターで提供されているCPDは基本的に有料ではあるが、イギリス国内の現職教員には勤務している学校等から補助金等が支給される制度が確立されている。

また、右に示す同センターのWebサイト(<https://www.stem.org.uk>)ではSTEM教科のリソースや教材をデジタルアーカイブとして児童生徒や教師にオンラインで提供している。14,000を超える無料のSTEM関係のリソースライブラリーからは毎年160万ダウンロードされている(STEM Learning, 2021)。また、イギリス国内のSTEM/STEAMの優れた実践事例を紹介・表彰する催事や、児童生徒が参加するSTEM/STEAMに関するイベントの開催・運営など、STEM/STEAM教育の振興において同センターが中心的な役割を果たしている。他にも、STEMスキルを必要とする職業などの情報提供を積極的に行い、キャリアサポートの側面も担っている。



図1: National STEM Learning CentreのWebサイト
(出典: <https://www.stem.org.uk>)

2) 我が国の教員支援への示唆

我が国においても、例えば経済産業省のSTEAMライブラリー事業は学習者・教師・研究者・企業が双方向に交わるプラットフォームを見据えたSTEAM教材のデジタルコンテンツライブラリーの拡充が図られている。その一方で、わが国における教師のCPDは、独立行政法人教職員支援機構や各都道府県が設置・運営する教育研修センターを中心に文部科学省が上位管轄省庁として、その役割を担っており、基盤整備も含めて長年の蓄積があ

る。イギリスにおける STEM 教育プラットフォームは、STEM 教材リソースの提供や生徒のキャリアサポートだけでなく、STEM 学習を展開する教員研修にも焦点が当てられていたことは示唆に富んでいる。わが国においても点在する各機能を省庁や機構の垣根を越えて統合することで、日本の STEAM 教育プラットフォームがより一層充実したものになることを期待したい。

【註】

- 1) イギリスとは主としてイングランドを指しているが、連合王国の構成体であるウェールズ、北アイルランド及びスコットランドの地域にまで言及する場合は適宜それを示した。
- 2) SET とは Science, Engineering and Technology (including mathematics)の頭文字で、(数学を含んだ) 科学、エンジニアリング、技術であるが、報告書のサブタイトルからは、ロバーツ卿が STEM という用語を認識していたことがうかがえる。
- 3) NC (現行版) における STEM 教科の目的を以下に示す。

表 4 : National Curriculum における STEM 教科の目的

科学(S) NC 科学	技術(T) NC デザイン・技術	工学(E)	数学(M) NC 数学
<p>学習の目的 質の高い科学教育は生物・化学・物理といった特有の分野を通して、世界を理解するための基盤を提供する。科学は私たちの生活を変化させてきており、未来の世界的な繁栄にとっても極めて重要である。したがって、全ての子どもたちは、科学に関する知識、方法、プロセス、応用の本質的な側面を教えられるべきである。鍵となる基礎的な知識・概念の構築を通して、子どもたちは合理的に説明できる力の認識や、自然現象に関する高揚感や好奇心の発達が促されるべきである。また、何が起きているのか説明したり、物事がどのように作用するのか予想したり、原因を分析するのに科学がどのように利用されるのかという理解が促進されるべきである。(DfE, 2015)</p>	<p>学習の目的 デザイン・技術は、厳密かつ実践的で、感動を与える教科である。創造性と想像力を使って、子どもたちは自分や他者のニーズ、欲求や価値観を考慮して、さまざまな文脈の中で真の問題を解決する製品を設計し、製作する。彼らは幅広い教科の知識を身につけ、<u>数学、科学、工学、プログラミング、美術のような分野を利用する。</u>子どもたちは危険を冒す方法を学び、才能豊かで革新的で進歩した能力のある市民になる。過去と現在のデザイン・技術の評価を通して、彼らは日々の生活や幅広い世界に対するデザイン・技術の影響についての鑑識的理解を深める。質の高いデザイン・技術教育は、国家の創造性や文化、富や幸福に対してきわめて重要な貢献をしている。(DfE, 2013)</p>	<p>学習の目的 数学は、数世紀にわたり創造的で相互に深く連結・発展させてきた分野であり、歴史上最も魅力ある様々な問題に対する解決法を提供してきた。<u>数学は日常生活に必要不可欠であり、科学や技術、工学にとっても重要である。</u>また、金融リテラシーや大抵の雇用形態にとっても必要である。したがって、質の高い数学教育は、世界を理解するための基礎や数学的に判断する能力、数学が持つ力や美に関する正しい認識、数学に対する楽しさや好奇心を提供する。(DfE, 2014)</p>	

(波線は筆者による)

【引用・参考文献】

Department for Education (2011). *The STEM cohesion programme: final report.*

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/182142/DFE-RR147.pdf

- Department for Education (2013). *National curriculum in England: design and technology programmes of study*.
<https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-design-and-technology-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-design-and-technology-programmes-of-study>
- Department for Education (2014). *National curriculum in England: mathematics programmes of study*.
<https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-mathematics-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-mathematics-programmes-of-study>
- Department for Education (2015). *National curriculum in England: science programmes of study*.
<https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-science-programmes-of-study>
- 磯崎哲夫・磯崎尚子 (2021). 日本型 STEM 教育の構築に向けての理論的研究-比較教育学的視座からの分析を通して-, 科学教育研究, 45, 2, pp.142-154.
- Lawton, R., Dallas, E., Talwar, R., Santangelo, N., & Atkinson, N.M. (2021). *Valuing the impact of Science CPD*. London: Simetrica-Jacobs Ltd.
- 野添生・高橋一将 (2018). イギリスの中等教育段階における STEM 教育の理論的検討-歴史的展開とナショナル・カリキュラムの分析を通して-, 日本科学教育学会年会論文集, 42, pp.529-530.
- Office of Qualifications and Examinations Regulation (2015a). *GCSE Subject Level Conditions and Requirements for Combined Science*.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/600866/gcse-subject-level-conditions-and-requirements-for-combined-science.pdf
- Office of Qualifications and Examinations Regulation (2015b). *GCSE Subject Level Conditions and Requirements for Single Science (Biology, Chemistry, Physics)*.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/600867/gcse-subject-level-conditions-and-requirements-for-single-science.pdf
- Office of Qualifications and Examinations Regulation (2016). *GCE Subject Level Conditions and Requirements for Science (Biology, Chemistry, Physics) and Certificate Requirements*.
https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/600864/gce-subject-level-conditions-and-requirements-for-science.pdf
- Roberts, G. (2002). *SET for success: The supply of people with science, technology, engineering and mathematics skills*. London: UK Government.
- STEM Learning (2021). *Impact Reeport 2021*.
<https://www.stem.org.uk/sites/default/files/pages/downloads/STEM%20Learning%20-%20Impact%20Report%202021%20%28Digital%29.pdf>
- Wong, V., Dillon, J., & King, H.(2016). STEM in England: meanings and motivations in the policy arena. *International Journal of Science Education*, 38, 15, 2346-2366.

(野添 生)

ドイツ

1. はじめに

ドイツでは、一般に英語圏の STEM に相当する用語として「MINT」が普及している¹⁾。これは、数学 (Mathematik)、情報科学 (Informatik)、自然科学 (Naturwissenschaften) 及び技術 (Technik) それぞれの頭文字をとった略語であり、四つの学問・職業領域を包括した名称とされる (BMBF, 2019 ; 4)。もっとも、学校教育の範疇においては MINT という新しい合科的な独立の教科が存在するわけではなく、既存の MINT 関連教科の授業によりしっかりと取り組むことが中核とされる面もあるが (吉岡, 2018 ; 176)、いずれにせよ学校内外を問わず、また官・民様々なイニシアチブによって MINT 教育に関する試みが多層的に展開されていると見てよい。

ドイツにおいて、こうした MINT 教育が促進される主な背景としては、グローバル化が進む世界における競争力の向上、MINT 関連で新たに成立してきたディシプリンや職業像への対応、MINT 分野における専門家や働き手 (特に若者・女性人材) の確保・育成、国際学力調査 (PISA や TIMSS) における理数系能力の低調さへの対応、などが挙げられる (BMBF, 2019 ; 4, 遠藤, 2018 ; 167-168, 吉岡, 2018 ; 176)。近年の MINT 教育に関する一連の取組は、ドイツにおける MINT 分野の進学・卒業者の割合が OECD の国際比較でトップに位置したように一定の成果が認められる反面、若者の MINT 分野への関心が持続しないことや女性が十分活躍できていないといった諸課題が、引き続き指摘されている (BMBF, 2019 ; 5)。こうした状況を受け、連邦教育研究省 (BMBF) は、2019 年に MINT アクションプラン「MINT と共に未来へ! (Mit MINT in die Zukunft!)」を発表し、2022 年までに約 5,500 万ユーロを投じて四つの行動領域、すなわち「子どもと若者のための MINT 教育」「MINT 専門家」「MINT における女子や女性の機会」「社会における MINT」を中心に MINT 教育を強化していく方向性を示している (BMBF, 2019)。

2. STEM/STEAM に関する学習評価

1) 学校における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

MINT 教育促進の流れがある一方、先にも触れたように、学校の教科として MINT という一つの独立した教科が設けられているわけではない。MINT に関する学習評価は、基本的に関連する各教科²⁾内で行われることとなる。何をもって MINT の学習と見なすかについては、少なからず議論の余地が残されるところではあるが、ここでは教科横断的な要素にも着目しつつ、ノルトライン・ヴェストファーレン (NRW) 州の教育課程基準としての「中核ルールプラン (Kernlehrplan)」を例に³⁾、学習評価のあり様を探ることとする。なお、後続の 2) とのつながりに鑑み、学校段階としてはギムナジウム上級段階 (後期中等教育) に焦点化して見ていく。

(1) 評価の目的

各教科における学習評価について、一方では総括的評価の意味合いで、到達目標として示されるコンピテンシー (Kompetenz) の獲得状況の検証、最終的な成績評価が、他方では形成的評価の意味合いで、適切なフィードバックをもとに教師・生徒が自身の授業ないし学習活動を見直し、より実り豊かなものへと改善していくための評価が、それぞれ求められている。特に、前者に関して言えば、ギムナジウム上級段階の最後2年間の成績は一般大学入学資格 (アビトゥーア) の取得に直結するものであるため⁴⁾、NRW州の省令 (APO-GOST) に則った厳格な運用がなされることとなる。

(2) 評価する能力 (コンピテンシー)

生徒の何を評価するのか、その中心となるのは到達目標として教科ごとに示されるコンピテンシーである。MINT 関連教科各々の中核ルールプランにおいては、教科横断的なコンピテンシーの重要性への言及がありつつも (z.B. Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2014a ; 9-10), MINT 関連教科に共通する横断的なコンピテンシーが具体的に示されているわけではない。

その一方、各教科で獲得が目指される個々のコンピテンシーに目を向けると、他教科と関連する要素を含むものが散見される。例えば、自然科学3教科 (物理, 化学, 生物) の中核ルールプランにあっては、「専門知識とのかかわり」「認識獲得」「コミュニケーション」「評価」という四つのコンピテンシー領域が設定されており、「認識獲得」領域では「モデルを開発し、理論モデル、数学的モデリング、思考実験、シミュレーションを用いて、物理的・技術的プロセスを説明または予測する (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2014b ; 23)」といった数学との関連が窺えるコンピテンシーが挙げられている。

このように、MINT 関連教科全体にまたがって規定されるコンピテンシーは確認できないが、教科どうしの関連にかかわる要素は各教科で獲得が目指される個々のコンピテンシーレベルに見いだされ、評価の対象となっている。

(3) 評価の方法

評価を行うに際しては、前述の四つのコンピテンシー領域すべてを適切に見取ることが求められる。したがって、筆記や口述、あるいは実技による様々な方法が想定されており、特に筆記や口述はアビトゥーア試験の実施形態に向けた準備という意味合いも含んでいる

(Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2014a ; 50-51)。化学の中核ルールプランでは、評価に用い得る課題形式の一例として、表現課題、実験課題、測定やデータに関する課題、理論やモデルに関する課題、調査課題、文書化課題 (ポートフォリオなど)、プレゼンテーション課題、評価課題 (意思決定が関係するものなど) が挙げられ (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2014a ; 52-53), 多様な方法を駆使しながらコンピテンシーの獲得状況を総合的に評価していく姿勢が窺える。

2) 大学等への進学における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

(1) 大学入学試験における STEM/STEAM の扱い

ドイツでは、ギムナジウム上級段階を修了しアビトゥーアを取得すれば、原則として希望する大学に進学できる制度となっており、大学ごとの入試は実施されない。アビトゥーア取得に向けて実施されるアビトゥーア試験は、一般に5教科で構成され、筆記試験と口述試験(筆記は3教科以上、口述は1教科以上)から成るが(高谷, 2016; 203), MINT という一つの独立した教科枠として試験が行われる仕組みにはなっていない。試験は、あくまで、数学、物理、化学、生物といった教科ごとである。

ただし、州によっては課外の学習活動の成果(besondere Lernleistung)を試験1教科分に置き換える、あるいは試験の一部を補完する措置が取られる場合がある(高谷, 2016; 203)。NRW州では、これら課外の学習活動の成果の根拠になり得る例として、ドイツ国内で最も有名とされる MINT 関連のコンテスト「青少年研究コンテスト(Jugend forscht)」への参加・貢献という記載が中核ルールプランの中に見られ(Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2014a; 58), その成果が評価の対象となる可能性を有している。

(2) 大学への進学における STEM/STEAM に関する高校での活動の実績等の扱い

中等教育段階(特に後期中等)における生徒の MINT に関する実績を、客観的に証明する取組の例として、ここでは MINT-EC(詳細は3.を参照)による「MINT-EC 証明書(MINT-EC-Zertifikat)」を取り上げてみよう。この取組は2014年から開始され、各州文部大臣会議(KMK)やドイツ大学学長会議(HRK)、ドイツ経営者団体連盟(BDA)などによって承認されている(MINT-EC, 2020; 7)。

MINT-EC 証明書は、MINT に関する優れた実績を継続的に収めた生徒に対し、申請に基づきアビトゥーア証明書と一緒に授与される(MINT-EC, 2020; 9)。授与機関として認められた MINT-EC 校は、生徒が申請時に提出した書類(コンテストの証明書といった実績を証明する資料など)を授与指針に沿って審査し、基準⁵⁾を満たした場合に MINT-EC 証明書を発行することとなる。

先述のように、ドイツではアビトゥーアを取得することで、希望する大学への進学が原則可能となるが、定員を超過する場合など一部の学修課程では入学制限(Numerus Clausus)が導入され、アビトゥーア試験の成績などをもとに選考が行われる。大学によっては、入学者を決定する際に MINT-EC 証明書の取得が考慮されるという(Gymnasium Horkesgath, 2021)。また、MINT-EC 証明書取得者に対し、奨学金を給付する大学もある。実際、ドレスデン工科大学は、所在地であるザクセン州の MINT-EC 校の MINT-EC 証明書取得者向けの奨学金として、2019/2020年度、月額300ユーロを5名に給付している(MINT-EC, 2021b)。

3) 我が国の STEAM 等の教科等横断的な学習における評価への示唆

以上を踏まえ、我が国への示唆について二、三考察してみたい。

MINT に関する学習評価は、教育課程基準のレベルにおいて言えば、MINT という用語

を構成する各教科の枠組みでの実施が基本線にあると捉えられる。各教科で獲得を目指すコンピテンシーには、他教科と関連する要素を含むものも見受けられたわけだが、MINT 全体としてねらうコンピテンシーの明確な存在は確認できなかった。やはり生徒の何を評価するかという点とかかわって、教科横断的な学習を通してどのような資質・能力を育むのか、各教科で育まれる資質・能力とどういった関係性にあるのか、まずもってその十分な検討が求められるように思われる。また、それらの評価は言うまでもなく単一の評価方法で達成し得るものではない。本章のドイツの事例に限ったことではないが、各教科の特性にも鑑みつつ、様々な評価方法を組合せ駆使しながら学習の成果を見取っていくことが、変わらず肝要になると考えられる。さらに、(2) で紹介した MINT-EC 証明書のように、学校外での活動を含めた MINT に関する実績を、一定程度共通性を持った枠組みで評価する取組は、比較的信頼性の高い証明書としての活用可能性に加え、MINT 活動に対する生徒のモチベーションを高める観点からも特筆されるものであろう。

3. STEM/STEAM 教育を進めるための教員支援の取組

1) 教員／学校への支援の例とその支援体制

<例 1> MINT-EC

MINT-EC は、2000 年に設立された NPO 法人で、数学・自然科学・技術の面で卓越した後期中等教育段階の学校（ギムナジウム）どうしをつなぐ連邦ネットワークイニシアチブである。これらを支援する主な組織は、ドイツ金属・電子産業経営者連盟（Gesamtmittel）やシーメンス財団（Siemens Stiftung）であり、さらに 2009 年から各州文部大臣会議の後援を受けるに至っている。

MINT-EC は、MINT 教育で優れた学校を MINT-EC 校と認定してネットワークを構築し、そこに参加する生徒や教師、管理職への支援を行っている。2021 年 12 月現在、MINT-EC 校の数は 339 校（生徒数 36 万人、教師数 2.95 万人）にのぼる（MINT-EC, 2021a）。学校に提供される支援の内容は、かなり多岐に及ぶ。いくつか例を挙げれば、学校・大学・研究機関・企業との協働による生徒向け研究イベントの開催、生徒と教師が参加する MINT-EC 首都フォーラム（MINT400）の開催、各種コンテストの開催、教科教員研修の実施、MINT-EC 卒業生ネットワークの構築、等々である（MINT-EC, 2021a）。また、ホームページが充実しており、生徒、教師、管理職といった対象ごと、関連情報の入手が容易である。さらに、管理職・教師が質の高い学校づくりや魅力ある MINT 授業づくりをしていくための支援コンテンツとして、これまでの取組で得られた成果をまとめた刊行物をホームページ上で公開している。

このように、MINT-EC は様々な支援を教員／学校側に講じているわけであるが、それは必ずしもすべてが一方向的なものではない。前述の MINT-EC 証明書をめぐる取組を例にとると、授与指針の検討などを行うワーキンググループは MINT-EC 校の教師で構成されており（MINT-EC, 2020 ; 5）、一定の協働関係も窺うことができる。

＜例 2＞ MINT-Allianz

教員／学校への支援という面ではいささか間接的になるが、オンラインによる MINT の学習機会を提供する協働事業として、MINT-Allianz が挙げられる。これは、COVID-19 パンデミック下の 2020 年春、連邦教育研究省及び各州文部大臣会議の MINT ワーキンググループ主導により、約 50 の MINT 関係組織が協力して立ち上げたもので、学校閉鎖時における家庭での MINT 教育に向けた多様なオンラインサービスを提供している（BMBF, 2021）。各オンラインサービスの情報は、連邦教育研究省のホームページ上でまとめられており、そこから希望するサービスを選んでアクセスすることができるようになっている。特に、学校での MINT 学習の歩みを止めず、その機会を保証する試みとしては教員／学校支援の一端と捉え得るものと考えられるし、連邦教育研究省や各州文部大臣会議、多彩な MINT 教育イニシアチブが協力して取り組んでいる点は注目に値しよう。

2) 我が国の教員支援への示唆

MINT-EC のように、教員／学校支援を目的としたイニシアチブが産業界・経済界ベースで起こり、その後、教育界から各州文部大臣会議が後援に入って体制が拡充されていく様子は興味深い。いずれにしても、産業・経済・教育の各界が乗り入れる形で、官・民を巻き込みながら MINT を展開する教員／学校を総体的に支援する体制は、一つのモデルとして参考になり得よう。また、そうした支援体制の中では、教員／学校どうしの「ネットワーク化」が鍵になっていると捉えられる。連邦教育研究省の MINT アクションプランにおいても、地域レベルでの MINT プログラムの充実ぶりに対し、連邦レベルでのそれらの少なさが問題視され、MINT-E-プラットフォームとネットワークセンターの設立がうたわれている（BMBF, 2019 ; 22）。むろん、ネットワーク化だけが問題になるわけではないが、教員／学校どうし、更には教員／学校を他の様々なイニシアチブとつなぐ組織の存在は、優れた教育実践の成果を共有したり、教育資源を有効に活用したり、あるいは新しいものを共創していく、そうした可能性を拓き得るものであることを、ドイツの事例は示しているように思われる。

【註】

- 1) ただし、STEM における Engineering が MINT では Informatik になっているなど、必ずしも完全に一致しているわけではない。なお、STEAM の Arts に相当する Kunst の頭文字を含めた「MINKT」という用語も、わずかながら見られる。
- 2) 州によって教科の名称に差異があるため一概には言えないが、例えば NRW 州のギムナジウム上級段階では、生物、化学、栄養学、情報科学、数学、物理、技術が MINT 関連教科（MINT-Fächer）として位置付けられている（Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2014 ; 5）。
- 3) ドイツにおいて、教育、学術、文化に関する権限は、基本的に連邦政府ではなく各州が有するものとされており、これを州の「文化高権（Kulturhoheit）」という（高谷, 2016 ; 166）。当該原則により、教育課程基準も州ごとに作成される。

- 4) アビトゥーアは、ギムナジウム上級段階最後の2年間の成績（600点満点）と、アビトゥーア試験の成績（300点満点）を総合判定し、各々1/3以上の成績を収めることで取得となる（高谷，2016；203）。
- 5) 三つの要求領域として「Ⅰ．教科コンピテンシー」「Ⅱ．専門学問的ワーク」「Ⅲ．追加のMINT活動」があり、各要求領域は1～3（3が最高）のレベルで判定される。すべての要求領域でレベル1以上を満たした場合に、証明書が授与される（MINT-EC，2020；9）。

【引用・参考文献】

- BMBF（2021）．*MINT-Allianz*. Retrieved December 2, 2021, from https://www.bildung-forschung.digital/digitalezukunft/de/bildung/mint-allianz/mint-allianz_node.html;jsessionid=052365EDF4F291B42B22FE000F6AC402.live471
- BMBF（2019）．*Mit MINT in die Zukunft! Der MINT-Aktionsplan des BMBF*. Retrieved December 2, 2021, from https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/mint-aktionsplan2.pdf;jsessionid=D1BB5B7C7BD1E47D291290CA45D4C006.live721?__blob=publicationFile&v=1
- 遠藤優介（2018）「ドイツにおけるMINT教育の諸相—MINT関連教育政策の動向と中等化学教育の内容構成を中心に—」『教科と内容構成新ビジョンの解明—米国・欧州STEM・リテラシー教育との比較より—平成27年度～平成29年度科学研究費補助金（基盤研究B）最終報告書（研究代表者：長洲南海男）』，167-174.
- Gymnasium Horkesgath（2021）．*Informationen zum MINT-EC-Zertifikat*. Retrieved December 2, 2021, from <https://gymnasium-horkesgath.de/mint-profil/>
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen（2014a）．*Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen Chemie*. Retrieved December 2, 2021, from https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/151/KLP_GOSt_Chemie.pdf
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen（2014b）．*Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen Physik*. Retrieved December 2, 2021, from https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/160/KLP_GOSt_Physik.pdf
- MINT-EC（2021a）．*MINT-EC - Das nationale Excellence-Schulnetzwerk*. Retrieved December 2, 2021, from <https://www.mint-ec.de/mint-ec/ueber-uns/>
- MINT-EC（2021b）．*MINT-EC-Zertifikat: Vorteile bei Bewerbungen an der Hochschule Heilbronn und der TU Dresden*. Retrieved December 2, 2021, from <https://www.mint-ec.de/aktuelles/blog/mint-ec-zertifikat-vorteile-bei-bewerbungen-an-der-hochschule-heilbronn-und-der-tu-dresden/>
- MINT-EC（2020）．*Das MINT-EC-Zertifikat – Die Würdigung besonderer Leistungen im MINT-Bereich, 3. Auflage*. Retrieved December 2, 2021, from https://www.mint-ec.de/fileadmin/user_upload/MINT-EC-Zertifikat_Handbuch_2021.pdf
- 高谷亜由子（2016）「ドイツ」文部科学省『諸外国の初等中等教育』，明石書店，163-215.
- 吉岡亮衛（2018）「ドイツのMINT教育」『教科と内容構成新ビジョンの解明—米国・欧州STEM・リテラシー教育との比較より—平成27年度～平成29年度科学研究費補助金（基盤研究B）最終報告書（研究代表者：長洲南海男）』，175-191.

（遠藤 優介）

アメリカ合衆国

1. はじめに

アメリカ合衆国（以後、米国）では、科学技術分野の略称として分野の頭文字を取った STEM という用語が用いられており、STEM 分野の発展は経済成長と密接に関係するものの一つとして考えられている。昨今の STEM 教育政策の振興の契機となった大統領科学技術諮問会議（President's Council of Advisors on Science and Technology : PCAST）の改革提言は、初等中等教育（PCAST, 2010）と高等教育（PCAST, 2012）に分けて発表された。当時の米国は、1980 年以降最大級のマイナス成長を経験するなど経済成長政策が強く求められており、経済協力開発機構（Organisation for Economic Co-operation and Development : OECD）の PISA2012 では数学的リテラシーと科学的リテラシーは OECD 平均よりも得点が低く、読解力も 2 点だけ OECD 平均よりも高い（OECD, 2014）という状況にあったため、抜本的な改革の必要性が明らかになっていた。

そこで、より強力な STEM 教育拡充のために、「STEM Education Act of 2015（STEM 教育法）」が制定され、2018 年には STEM 教育戦略をとりまとめた「Charting a Course for Success: America's Strategy for STEM Education」が公表され、2019 年、2020 年にそれぞれ中間報告がなされている。この STEM 教育法では、予算の執行対象とする STEM 教育について定義が明文化されている。具体的には、教科と対象とする活動、推奨する方向性が示され、該当する学習として Science / Technology / Engineering / Mathematics に加えて、Computer Science が含まれており、学校外での学びを支援することを明文化している。加えて、STEM 教科のディシプリン（discipline）は単独から複数、統合されたものなど、必ずしも STEM 教科のすべてを統合した学習にすることを目指していないなどの特徴がある。

また、米国の初等中等教育にはナショナルカリキュラムが存在しないため、スタンダードなどの方針を提示して、それらを促進する活動に資金を援助する方法を中心に教育政策をマネジメントしている。STEM 教育政策の振興にあわせ、1996 年に発表された「National Science Education Standards」の改訂版に当たる「Next Generation Science Standards (NGSS)」が 2013 年に発表された。全米科学教師連盟（National Science Teaching Association : NSTA）によれば、現在では 20 州が NGSS に準拠し、24 州では NGSS とりまとめ議論の基盤となった「Framework for K-12 Science Education (NRC, 2012 ; 以後、フレームワーク)」をもとにスタンダードを作成しているとされ、この数値は全米の 71% に相当する (NSTA, 2021)。

全米研究評議会（National Research Council : NRC）は NGSS をとりまとめるに当たり、事前にフレームワークを公表したが、その作成に向けて、「Learning science in informal environments (NRC, 2009)」、「How students learn (NRC, 2005)」など、科学をはじめとする学習について複数の報告書をまとめている。さらに、NGSS は P21 (Partnership for 21st Century Skills) や ATC21S (Assessment and Teaching of Twenty-First Century Skills Project) が

とりまとめた 21 世紀型スキルを踏まえ、たうえで設計されており、科学と工学の実践 (Science and Engineering Practices)、領域横断概念 (Crosscutting Concepts)、領域コア概念 (Disciplinary Core Ideas) の 3 要素を基にした教育カリキュラムの設計を推奨している。加えて、2017 年には、「STEM Education Act of 2015」を改定し「STEM to STEAM Act of 2017」が制定された。しかし、教科の定義は変更されておらず、創造性とイノベーションを促進するために、STEM 教育に Art と Design の概念を統合したプログラムを開発し、トライアルや評価を行なうと明記された。一方、国レベルでの明確な STEM/STEAM 教育の定義や共通見解は明文化されず、多数の実践者が各々の考え方で取り組んでいるのが現状である。

2. STEM / STEAM に関する学習評価

1) 学校における STEM / STEAM 学習や活動に対する評価

米国では州や学校区、学校ごとにカリキュラムが大きく異なり、一元的に分析することが難しい側面がある。評価も同様であり、スタンダードやコンピテンシーモデル、推奨する達成水準等は明示されるが、評価方法の詳細まで詳細に管理されている事例は非常に少ない。そのため、本節では、フレームワークをもとに州独自のスタンダードを作成したミネソタ州の 2019 Minnesota Academic Standards in Science (以後、2019MASS) を取り上げる。

ミネソタ州では、現行の Minnesota Academic Standards in Science が 2009 年に取りまとめられ、2010 年に議会承認、2011 年から使用されているが、2013 年の NGSS の公表を受け、2018 年から 2019 年にかけて更新版が作成された。この更新版は 2024 年までに全面運用することを目指している。この 2019MASS では、フレームワークの要素をもとに、四つのストランド (Strands) と八つのサブストランド (Sub strands) が取りまとめられている。各サブストランドにはプラクティスをもとに一つ～二つのスタンダード (Standards) が設定されている。一つの場合は科学的側面のみ、二つの場合は科学と工学の側面の双方となっている。また、ベンチマーク (Benchmarks) はフレームワークの三つの要素 (3D) を組み合わせて、学習者が具体的にどのような知識やスキルを修得したかの達成度をまとめている。これらの情報は、該当する学習分野 (Content Area) の記述とともに一覧表になっている。

完全実施時のスタンダードの評価方法は、Science Minnesota Comprehensive Assessment III と Minnesota Test of Academic Skills III での試験成績を活用することが明記されている。教室内の評価は、2021 年に 3D formative assessments (フレームワークの三つの要素に関する形成的評価)、2022 年に common assessments (大規模な共通指標による評価) を開始する計画で、まさに、現在進行形で、授業コンテンツの開発と評価手法の検討が進められている。NGSS の公表から実際のカリキュラムへの活用まで、実に約 10 年の歳月を要している。

2) 大学等への進学における STEM / STEAM 学習や活動に対する評価

(1) 大学入学試験における STEM / STEAM の扱い

米国では、初等中等教育の多様性に応じて、高等教育の入試においても多面的な評価が活用されるが、学力水準の確認として民間団体の College Board (カレッジボード) が実施する SAT 試験や国際バカロレア (International Baccalaureate ; 以後、IB) などの科目履修履

歴が活用されている。これらはそれぞれ独立した教科（コース）単位で展開されており、STEM/STEAM といった統合的な試験教科はないが、試験だけではない多面的な評価を念頭においた IB やアドバンスト・プレースメントプログラム（Advanced Placement Program；以後、AP プログラム）の活用の広がりが大きくなっている。その一例が、2021 年 1 月に発表された、科目別試験 SAT Subject Tests の米国試験会場での即時廃止とエッセイ試験 SAT Essay の 2021 年 6 月試験以降の廃止である（College Board, 2021）。

AP プログラムは College Board が提供する大学初年次レベルのプログラムで、高校教師が実施する AP プログラムの授業と College Board が主催する AP 試験で構成されている。高校の単位認定や学習履歴としては、授業の成績が活用されることになるため、AP 試験のみの受験も可能であるが、一般的には課題や演習などの授業を履修したうえで受験する。AP プログラムは College Board が一元的にプログラムや試験を管理しており、また AP 試験での結果で一定の質が担保されていることから、地域差や各高校の授業の質などが問題となりにくく、試験成績に応じて、入学後に学士課程の単位として認定する大学も多い。IB と比べて、AP プログラムの評価は、AP 試験という筆記試験ベースの評価であるものの、授業内で多様な演習が取り入れられている。AP プログラムそのものは 50 年以上の歴史があり、STEM 教育とも関わりが深い 2007 年の「America COMPETES Act」においても STEM 教科の AP プログラムや IB の促進や教師拡充などが明文化されている。College Board は低所得者を含め AP プログラムの受講者が増加したことで、SAT Subject Tests の役目は終えたとしているが、2014 年に IB のディプロマ・プログラム（Diploma Program）に相当する AP Capstone Diploma Program が開始されるなど、試験で確認できる知識量よりも授業等を活用した学習経験に評価の重点が変わって来ていることがうかがえる。

（2）大学への進学における STEM/STEAM に関する高校での活動の実績等の扱い

米国の大学入試では、多面的な評価が活用されているため、高校での活動や正課外活動も評価の対象として取り扱われるが、その重要度は授業成績よりも低いとされている。全米大学進学カウンセリング協会（National Association for College Admission Counseling：NACAC）が毎年発行している「State of College Admission 2019」によれば、授業の成績（Grades in All Courses）や大学準備コースの成績（Grades in College Prep Courses）を非常に重視すると回答した大学は 70% を越えているが、正課外活動（Extracurricular Activities）やその記録を含むポートフォリオ（Portfolio）を非常に重視する大学は 6% となっている（NACAC, 2019）。もっとも、具体的な大学名は公開されていないが、一般に上位校になるほど受験生のレベルが上がり、授業等の成績では差がつかないため、成績以外の部分を実質的な判断材料とすることが多いと考えられ、積極的な STEM/STEAM 学習を高校で行なった生徒の評価として成績がどの程度まで機能しているかは十分に考慮すべき事項と言える。

一方、カウンセラーや教師の推薦書（Counselor Recommendation / Teacher Recommendation）はそれぞれ、15.1%、14.2% と一定の大学で強く活用されていることが分かる。さらに、カリキュラムの強さ（Strength of Curriculum）は 62.1% と授業等の成績に次ぐ高い数値となっている。このカリキュラムの強さは AP プログラムや IB などをはじめとする難易度の高いプログラムを履修してきたかどうかを示しており、AP プログラムの受講にはカウンセラ

一の判断が必要なことなどを考慮すれば、高校での学習履歴や活動が1割から2割程度の大学で重視されていると考えられる。加えて、この調査は専攻別では実施されていないため、全分野の傾向であり、STEM分野に特化したものではないことは留意が必要である。

大学入試において、APプログラムやIBなどの直接的な成績を重視する大学は少ないものの、APプログラムやIBの履修は大学初年次レベルの教育内容に適応できていることを示すものであり、かつその受講を判断するカウンセラーや教師の推薦書が一定程度重視されていることから、高校においてSTEM/STEAMに関する活動を行なうことが、多くの大学入試でプラスに評価されている可能性が十分にあると考えられる。

3) 我が国のSTEAM等の教科等横断的な学習における評価への示唆

ここまでの事例から、スタンダードをベースとした特色のある教育活動と基礎学力をはじめとするコンピテンシー養成を両立させ、かつ、それを支援する教師の能力開発も同時に取り組むことが教科等横断的な学習を発展させる上で重要な要素の1つと考えられる。

これまで、スーパーサイエンスハイスクール事業（SSH）をはじめとして様々な特色のある教育活動が展開されてきたが、あくまで指定された一部の高校での実施に留まっている。現在、SSHには学校間連携を強化することによる定常的な交流機会の創出や学校間のネットワーク拠点としての機能が期待されているが、これら実現のためには、教科等横断的な学習の多様性に富む性質を活かして、学校ごとの特色を出しつつ、より多様な教育活動が展開されることが必要となる。これを実現するためには、一部のSSH等のプログラムに対応できる能力のある一部の教師に任せるのではなく、どの学校の教師であっても対応できるようにすることが大切であり、全体の能力開発が欠かせない。また、STEAM等の学習内容が発展すると、教師にはより高い専門性が求められることになり、APプログラムをはじめとする大学初年次レベルの授業ができることを米国のように目指すとすれば、教員採用や養成、研修のあり方の抜本的な改革が必要となる。少なくとも、多様な評価や新しい技術に対応できること、教師自体が常に学び続けるマインドと行動が展開されるように支援することが重要と言える。

3. STEM/STEAM教育を進めるための教員支援の取組

1) 教員 / 学校への支援の例とその支援体制

米国の教育政策のマネジメントを考える場合、NRCやPCASTなどの提言やスタンダードなどの作成や法整備、国立科学財団（National Science Foundation；以後、NSF）等による資金援助などの多様な手法が挙げられるが、教師や学校などの教育現場への支援はNSF等の資金援助が中心となることが多い。ここでは、2016年から取り組んでいる全米規模でのSTEM教育インフラのネットワーキング化プロジェクトであるNSF INCLUDES（Inclusion Across the Nation of Communities of Learners of Underrepresented Discoverers in Engineering and Science）と当該事業によるアライアンス（Alliances）を取り上げる。

NSF INCLUDESは、STEM分野の米国の人口規模に対応するSTEM人材（労働力）を確保し、STEM分野での米国のリーダーシップを強化することを大きな目的として掲げ、①アラスカ先住民やアフリカ系アメリカ人、ヒスパニック系アメリカ人など歴史的にSTEM

分野に参画していない住民グループに加えて、経済的な不利益がある人々や障害者など幅広い人材に STEM への参画を呼びかけること、②組織間が連携することによる協働インフラ (Collaborative Infrastructure) の整備を重要視して政策が進められている。具体的には、①ビジョンの共有 (Shared Vision)、②パートナーシップ (Partnerships)、③目標と評価基準 (Goals and Metrics)、④リーダーシップとコミュニケーション (Leadership and Communication)、⑤拡張性と持続性、規模 (Expansion, Sustainability, and Scale) の 5 つが基本的な設計思想 (デザイン思想) として提示されている。また、2017 年に NSF がまとめた「NSF's 10 Big Ideas」の一つであり、2019 年には単年度で 1 プロジェクト当たり約 3000 万米ドルもの資金が投資されている。

具体的には、2016 年と 2017 年に 70 ものパイロット事業を展開し、その評価を基に 2018 年から本格的な事業展開を行なっている。NSF INCLUDES では特定のプログラムを支援しているが、国家的な包括した展開を目指しているため、採択されたアライアンスが拠点とする都市だけではなく、州やエリアを越えた大規模ネットワークの形成のための投資の意味合いも大きい。最終的には、STEM 企業を活性化させることを目的としているため、アライアンスでは民間企業、連邦政府機関、研究者コミュニティなど多様な参加者が協働している。さらに、NSF INCLUDES National Network のプロジェクトは、前述のアライアンスに加えて、デザイン開発のためのパイロット事業 (Design and Development Launch Pilots)、連携拠点 (Coordination Hub)、その他の NSF が出資するプロジェクト、STEM に関する連邦政府機関、STEM 人材 (労働力) を増やすために活動している人材を社会のあらゆるセクターから集めて参画させて展開するとされている。つまり、大規模ネットワークの構築のために、小規模なネットワークを多数作り、その拠点となるアライアンスや連携拠点到大規模な資金を投下している。特に、アライアンスの支援では、まとめて一定規模の金額を支援するのではなく、プロジェクトごとに資金を承認し、それらを合算することでより多くの資金を一つのアライアンスに集中させるだけではなく、分割することで大規模な活動であっても個別のマネジメントが機能するように工夫されている。

これまでのアライアンスの採択件数は、2018 年に 5 件、2019 年に 3 件、2021 年に 5 件の合計 13 件となっている。直近の公募資料 (協力協定部門) では、年間 100~200 万米ドル相当で 5 年間、実施初年度には約 300 万米ドルの資金提供が計画されており、5 年間総額で最大 1000 万米ドルの資金が一つのアライアンスに投資されることになっている。

2018 年に採択された 5 件のアライアンスによる成果は、2501 名の異なる学生・生徒・児童、親、教師、研究者、ステークホルダー、コミュニティが参画し、191 ものパートナーが参画したと報告されている。このパートナーの内訳は、教育機関が 36%、研究機関が 19%、政府機関が 18%、コミュニティが 15%、企業が 8%、学校や学区が 3%、その他が 1% となっており、多様な参画者が協働していること明確になっている。(NSF, 2020)

2) 我が国の教員支援への示唆

有機的なネットワークは単体で機能するのではなく、複合的な要素が相互に絡み合うことで機能するものである。国レベルの大規模なネットワークを構築する上で、小規模なネットワークを複数作成し、それらを束ねることは、より効果的なネットワークをインフラ

として構築するためには重要な点である。さらに、エリア等による区分ではなく、目的や活動内容ごとにアライアンスを構築し、それらを複合的に管理している点も特筆すべき点である。分野別の教師間のネットワークは従来からも学協会が担ってきた側面はあるが、目的別に再構築された活動が展開できる環境を整えることが必要な段階に来ているのではないか。また、1アライアンスに5年間で約1000万米ドル、事業全体で年間約3000万米ドルという予算規模も重要な要素である。形だけではないネットワークを構築するためには、プロフェッショナルな高度人材の参画が重要で、インフラという特性から初期投資も必要となる。教育資本は社会にとって高い重要性がある一方で、その構築と投資費用の回収には十分な時間を要する。より高い成果を得るためには、大規模な投資を多面的に展開し、ネットワークがエコシステムとして機能するように構築することが重要と言える。

【引用・参考文献】

College Board (2021) An Update on Reducing and Simplifying Demands on Students, 公開日 : 2021/01/19, Retrieved December 6, 2021, from <https://allaccess.collegeboard.org/update-reducing-and-simplifying-demands-students>

Organisation for Economic Cooperation and Development (2014) PISA 2012 Results: What Students Know and Can Do-Student Performance in Mathematics, Reading and Science-, OECD

President's Council of Advisors on Science and Technology (2010) Report to the President; Prepare and Inspire : K-12 Education in Science, Technology, Engineering and Math (STEM) for America's Future, PCAST
President's Council of Advisors on Science and Technology (2012) Report to the President; Engage to Excel: Producing One Million Additional College Graduates with Degrees in Science, Technology, Engineering, and Mathematics, PCAST

National Association for College Admission Counseling (2019) 2019 State of College Admission, National Association for College Admission Counseling

National Research Council (1996) National Science Education Standards, The National Academies Press

National Research Council (2005) How Students Learn, The National Academies Press

National Research Council (2009) Learning Science in Informal Environments: People, Places, and Pursuits, The National Academies Press

National Research Council (2012) A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas, The National Academies Press

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

National Science Teaching Association (2021) About the Next Generation Science Standards, Retrieved December 6, 2021, from <https://ngss.nsta.org/about.aspx>

National Science Foundation (2020) NSF INCLUDES Report to the Nation II: Building Connections, National Science Foundation

NSF INCLUDES National Network (2021) ABOUT US / WHO WE ARE, Retrieved December 6, 2021, from <https://www.includesnetwork.org/about-us/who-we-are>

(黒田 友貴)

カナダ

1. はじめに

カナダの教育は州により異なる。そこで本章では、人口の多いオンタリオ州及びブリティッシュコロンビア州（BC 州）を中心にまとめる。STEM/STEAM 教育だが、STEM という用語はオンタリオ州のカリキュラムで見られる。ここでは教科ごとのカリキュラムとは別に「教科横断型の統合学習」が設けられ、その一つとして「STEM 教育」が位置付けられる¹⁾。そして、S/T/E/M それぞれもしくは教科横断型カリキュラムや統合型の学習を通して、これら教科を実社会 (real-world) という文脈で応用することが強調される。例えば、各教科に特有の概念やプロセス、考え方を統合し、応用することで、実社会における課題に対する解決策を提案できるようになることを目指す。またその中で、今日のグローバル社会で需要の高いスキルであるトランスファラブルスキルの習得が期待される²⁾。日本では生徒の興味や関心に軸足を置く傾向にある STEM/STEAM 教育だが、カナダでは興味や関心が STEM/STEAM 教育の文脈で論じられることはなく、トランスファラブルスキルの習得からもわかるとおり、関連分野における人材育成に力点が置かれる³⁾。

STEM 関連のプログラムだが、その実施形態は各校が判断する。オンタリオ州では、教科別でも良いものの教科間のつながりを持たせることが求められ、2 教科以上を組み合わせたものや STEM 全てを包括的に組み合わせたものが推奨される。一方、BC 州のカリキュラムに STEM 教育の用語は登場しない。さらに STEAM に関しては、オンタリオ州と BC 州のカリキュラムのどちらにおいても言及されない。しかし、STEAM プログラムがカナダで全く見られないというわけではなく、学校や非営利団体によっては力を入れているケースもある。実際、BC 州の Elizabeth Buckley School (K-6) は、STEAM を初めて主な教育プログラムとして採用したことで知られ、その後、他州でも様々な学校で導入された。カナダ全体における STEAM の位置付けだが、小中高の必須プログラムというよりは、むしろ学校独自の特色として位置付けられる傾向にあり、S/T/E/A/M のどの側面に注目するかも大きく異なる⁴⁾。

2. STEM/STEAM に関する学習評価

1) 学校における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

(1) 評価の目的

オンタリオ州では各教科において総括的評価と形成的評価が共に求められ、生徒の学びを向上させるという共通する目的を持つ。違いとしては、前者が生徒の保護者や他の教師、他の教育機関などに生徒の到達目標に対する達成度を示すためにも用いられるのに対し、後者は各生徒の学習到達目標に照らし合わせた強みや弱みを把握し、教師が教室内における実践をより効果的なものに改善するためにも用いられる点である。また総括的評価と形

成的評価のための判断材料は多様である⁵⁾。

(2) 評価の方法

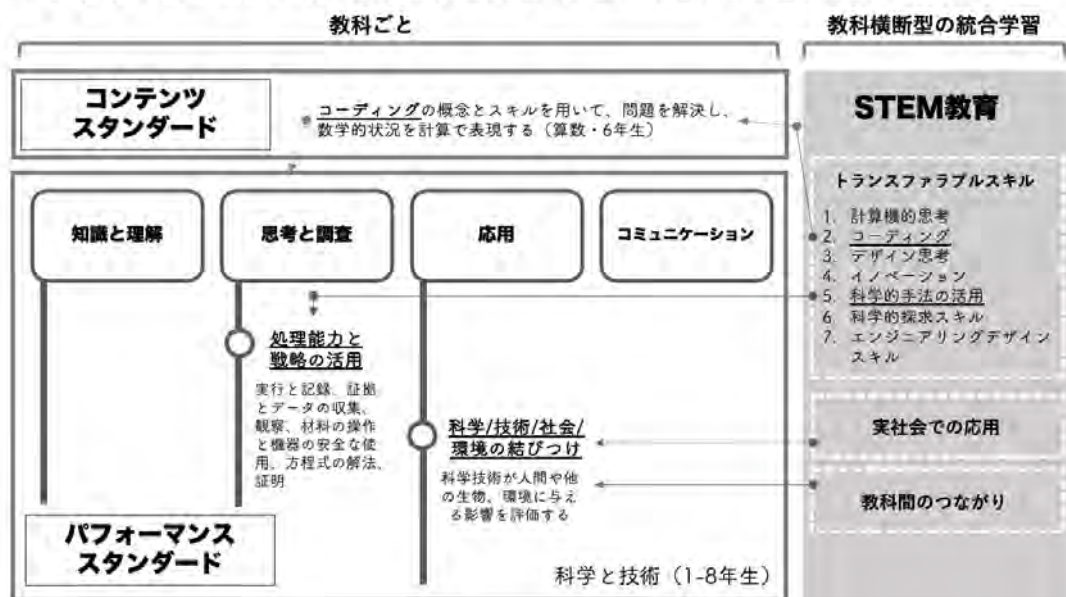
ここまでは州カリキュラムを中心にまとめてきたが、このままではその実態のイメージが湧きにくい。そこで現場の教師を対象にした調査研究から具体例を紹介する。Bertrand によるオンタリオ州の教師を対象とした STEAM 教育に関する研究によると、STEAM プログラムが数週間にわたって実施される場合、生徒は一つの作品を作るだけでなく、最終作品に至るまでのアイデアや設計図、プロトタイプ制作とその改善など、様々なステップを経る。そしてそれらは全て評価の対象となる。また教師は、作品制作プロセスにおける各生徒についての詳細なメモや写真を残しておき、これも評価に反映させる。さらに生徒自身が制作プロセスの動画を作成することもあり、この動画も評価対象となるとともに、プログラムの最終段階である発表会で用いられることもある⁶⁾。なおこの調査研究に参加した教師らは、「作品よりもプロセスをより重視する」という点で一致していた。

(3) 評価基準

STEM プログラムの教科横断的な実施が推奨されるものの、実際の評価は教科別に行われる。これは STEM に特化した評価枠組みが存在しないためである。そこで各教科の評価枠組みを精査した。なおオンタリオ州では、初等教育における「科学と技術」、「算数」の 2 教科、中等教育における「科学」、「技術教育」、「数学」の 3 教科が該当すると考えられる。一方、BC 州では、初等～中等教育を通して、「科学」、「応用デザイン・技能・技術 (applied design, skill, technology)」、「数学」の 3 教科が STEM に該当する。では、具体的には STEM 教育による成果はどう評価されるのだろうか。この質問に答えるのは非常に難しく、これは STEM 教育に何を求めるかが国により異なるためである。そのため、ここでは先に述べた「トランスファラブルスキル」、「実社会との関連付け」、「教科間のつながり」に焦点化して分析を進めた。

オンタリオ州の各教科の評価だが、これは各教科共通で、知識と理解 (knowledge and understanding)、思考と調査 (thinking and investigation)、コミュニケーション、応用の 4 項目に大別される。各項目は更に 2～4 のカテゴリに分けられ、いずれも 4 段階で評価される。「教科間のつながり」だが、科学と技術 (1～8 年生) では、応用の一つである「科学/技術/社会/環境を結び付ける」が該当する。またその具体例として、「科学技術が人間や他の生物、環境に与える影響を評価する」という記述もあることから、教科間のつながりのみならず実社会との関連付けも同時に評価されることがわかる⁷⁾。次に「トランスファラブルスキル」の評価についてだが、その例を示すと「コーディング」は算数 (6 年生) で「コーディングの概念とスキルを用いて、問題を解決し、数学的状況を計算で表現する」ことが求められ、「エンジニアリングデザイン」は、数学 (9 年生) で「現実の複雑な問題を解決するためにプロトタイプを作り、試験し、解決策を設計する際、エンジニアリングデザインを通して問題解決スキルと数学的モデリングを適用できる」ことが求められる。オンタリオ州における評価の具体例を次の図に示す。

オンタリオ州における STEM 教育の評価 (Assessment & Evaluation)



(4) 自己評価・ピア評価

生徒による自己評価やピア評価だが、オンタリオ州のカリキュラムには見られないものの、BC州では幅広く用いられる。近年、BC州では教室における評価(classroom assessment)に力を入れており、評価枠組みも導入された。これは K-12 を対象とする教科別の形成的評価であり、タスク型(全員が同じタスク)とコンピテンシー型(タスクは自由)に分けられる。その評価方法は、教師による活動中の観察や記録、タスクや自由課題を通してのコンピテンシー、教師・生徒・保護者による3者面談など非常に多彩だが、その中に自己評価及びピア評価が見られる。特に自己評価は、生徒自身の気づきや所有感(ownership)、愛着・思い入れ(engagement)につながると考えられている。

(5) Technology, Engineering, Art に関する評価

すでに述べたが、カナダでは STEAM/STEM が教科ごとに評価される。また Technology と Arts は教科として存在するが、Engineering は独立しては存在しない⁸⁾。そのため、Technology と Art は他の教科と同様の評価枠組みに基づき評価される。では Engineering は全く評価されないということになるのだろうか。この問いに答えるには、Technology と Engineering の違いに立ち返る必要がある。全米研究評議会(National Research Council)によると、エンジニアリングとは、人工物のデザインや創造についての知識であるとともに、問題解決のプロセスを指し、そこでは科学・数学の概念及び技術的ツール(technological tool)が用いられる。つまり STEM 教育においては、Engineering とはプロセスを指し、そこで用いられるのが Technology だと解釈することができる。実際、STEM プログラムでは、レーザー加工や 3D 印刷などを Technology として取り上げる一方、制作における「計画 → 設計 → プロトタイプ作成 → 試験」といった一連のプロセスを Engineering として位置付けることが多い。これがわかりやすく反映されるのが、BC州の「応用デザイン・技能・技術」

と呼ばれる教科である。州カリキュラムによると、K-12を通して学ぶこの教科では、ロボティクス、計算機的思考、デジタルリテラシー、食品研究、メディアアーツ、繊維、木工品などの非常に幅広いコンテンツを扱う。またその評価枠組みには、「応用デザイン」の下位評価項目として「アイデアを出す」「プロトタイプを制作する」「試運転をする」などが列記される。このことから、Engineering という独立した教科は存在しないものの、Engineering の真髄である「問題解決のプロセス」は K-12 カリキュラムの中に組み込まれており、他教科の評価枠組みの中で評価されることがわかる。

2) 大学等への進学における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

カナダの多くの大学では、学部に入學には書類審査のみが実施され、入學試験は存在しない。カナダ国内の生徒の場合、高校卒業が入學要件であり、高校の最終学年（もしくは最後の2年間）の成績を提出する。なお全ての教科の成績ではなく、大学や専攻により求められる教科は異なる。もし S/T/E/A/M に該当する教科が要件として求められる場合、前節で述べたとおり、STEM に関する評価が反映された教科ごとの成績が大学入學の判断材料として用いられることになる。さらに大学によってはエッセイやパーソナルプロファイルの提出が求められることもある。そのため、例えばエッセイなどで高校での STEM 関連の活動実績や経験を語ることは可能だが、入學要件として求められているわけではない。

3) 我が国の STEAM 等の教科等横断的な学習における評価への示唆

基本的に何らかのプロダクトを制作することの多い STEM/STEAM プログラムでは、制作のプロセスよりプロダクト重視につながりやすい。また実際に STEM/STEAM プログラムの実施となると、その盛りだくさんの内容から現場では時間との戦いになる。その結果、「quick demonstration project」のような、見た目がよく、あまり努力が求められないようなプロジェクトを実施しがちになる。しかし、このようなプロジェクトは避けるべきだとも指摘されている。先述の Bertrand の調査研究では、多くの教師が「作品よりもプロセスをより重視する」と回答したが、その背景には STEM/STEAM プログラムを通して、生徒が失敗を恐れない態度や忍耐強さを身に付けるべきだという考えがある。STEM/STEAM で何を評価するべきかが共有されていない場合、STEM/STEAM プログラムを実施することに固執するあまり、なぜ STEM/STEAM を導入したのかという原点が見失われる可能性があることには留意すべきであろう。

3. STEM/STEAM 教育を進めるための教員支援の取組

1) 教員／学校への支援の例とその支援体制

(1) Teacher-Librarian 制度（教員養成プログラム）

学校の STEM/STEAM プログラムで大きな役割を果たすのが Teacher-librarian と呼ばれる州資格を持つ教師である。実際、学校によっては STEM/STEAM プログラムは Teacher-librarian を中心に実施される。一般にラーニングコモンズとして位置付けられる学内図書館を切り盛りするのが Teacher-librarian だが、カナダではその役割が多岐に渡る。生徒の読

書支援のリソースの選択/管理という Teacher-librarian としての一般的な業務に加え、クラス担任との共同による探究型学習ユニットの計画や、情報リテラシーや新しいテクノロジーを統合したカリキュラム開発が求められる。Teacher-librarian の資格取得のためのディプロマプログラムやトレーニングコースが多くの州立大学で提供されており、教授法や教育的リーダーシップ、カリキュラムの開発設計、州カリキュラム・評価枠組みなどについて体系的に学ぶことができる。その履修には教員免許に加え数年の教員経験が求められ、多くの Teacher-librarian は、教育学の学士に加え図書館学の修士もしくは上記プログラム等のディプロマを持つ。

(2) Let's Talk Science (プラットフォーム)

Let's Talk Science は 1993 年にカナダのオンタリオ州で発足した慈善団体である。創立当初より、グローバル社会の中を生き抜くために STEM プログラムを通して想像力かつ批判的な思考力を備えた若者を育てることを目指している。提供するコンテンツは幅広く、学校や家庭向けのラーニングリソースからオンデマンド型ワークショップまでを網羅し、専門家を育てるためのプログラムも充実している。さらに 2021 年時点で 3,500 名を超えるボランティアを抱えており、人的ネットワークを構築する機会も提供している。特筆すべき点は、若者や教育者に向けたプログラムやリソースが無料で提供される点である。団体の運営は、カナダ政府や各州政府に加え Amgen や Bayer をはじめとする多くの民間企業が支援しており、中には 10 年以上に渡って貢献する企業も見られる。これら企業は、資金提供に加え、コンテストのジャッジやイベントの登壇者として専門家を派遣することで、運営面も支えるとともに、子供たちが専門家と接する機会を提供する⁹⁾。財政状況についてだが、2020 年度には約 8,500,000 カナダドルの収益を上げた。

2) 我が国の教員支援への示唆

STEM/STEAM プログラムの実施を負担に感じる教師はカナダでも少なくないが、その負担を軽減しているのが Teacher-Librarian 制度である。Teacher-librarian のような有資格者が STEM/STEAM プログラムを実施する場合、その質が保証されるとともに、教科教員やクラス担任の負担は大きく軽減される。特に STEM/STEAM に馴染みのない教師の場合、生徒とともに自身も学ぶことが可能になる。さらにプログラム参加後、担当教科へのアプローチが変わるなど、教科教育に還元できたと振り返る教師もいる。このことから Teacher-librarian が教師の学びのコミュニティの核となることで、望ましい学びの循環が生まれる可能性があることがわかる。

【註】

- 1) 他には金融リテラシーや先住民族教育がある。
- 2) オンタリオ州の STEM 教育におけるトランスファラブルスキル：計算機的思考、コーディング、デザイン思考、イノベーション、科学的手法の使用、科学的探求スキル、エンジニアリングデザインスキル

- 3) 生徒の興味や関心を喚起するための授業設計という観点から、デザインベースモデルや探究ベースモデルなどの教授モデルが活用されることはあるが、評価において生徒の興味や関心はその対象となることはない。
- 4) Arts をいかに STEM に組み込むかは学校により大きく異なる。Arts はビジュアルアート、音楽、演劇を含むことから、例えば数字や形、角度など数学の概念を音楽や演劇を用いて表現したり、幾何学・工学・デザインに基づいた彫刻の製作が行われたりする。
- 5) 総括的評価には、試験や課題のほかに教師による観察や生徒との会話などが判断材料として用いられ、その 70% が学期期間を通しての評価を、30%が期末期における評価を反映させるものとされる。さらに期末期の評価対象としては、試験、パフォーマンス、エッセイ、その他に適すと考えられる手法による評価のうち少なくとも一つが用いられる。一方の形成的評価だが、その方法は多様で、課題や発表、プロジェクト、パフォーマンス、試験などが対象となる。また教師は、記述型の形成的評価を生徒に提供することが求められる。
- 6) 教科横断型の STEAM プログラムでは、最終段階が発表であるケースは少なくない。発表はコミュニケーションの一部であり、評価対象として位置付けられている。
- 7) 同様の「つなげる (Making connections)」は他の教科でもよく見られる。例えば Computer Studies (Grade 10-12) では「様々な文脈の中および文脈間でつながりを持たせる」というカテゴリがあり、「コンピュータ研究と個人的な経験や機会、社会的・国際的な課題と展望の間、また科目間および分野間のつながり」という記述が添えられている。
- 8) オンタリオ州 (初等教育): 「科学と技術 (Science and Technology)」, 「算数」, 「芸術」; オンタリオ州 (中等教育): 「科学」 「技術教育」 「数学」 「芸術」; BC 州 (K-12): 「科学」, 「応用デザイン・技能・技術 (applied design, skill, technology)」, 「数学」 「芸術教育」
- 9) 2019-2020 年度は、32 企業が 200 名、計 300 時間に相当する人材を派遣した。

【引用・参考文献】

- Bertrand, M. G. (2019). STEAM education in Ontario, Canada: A case study on the curriculum and instructional models of Four K-8 STEAM Programs.
- BC's Curriculum, Retrieved August 12, 2021, from <https://curriculum.gov.bc.ca>
- Blikstein, P. (2014). Digital fabrication and 'making' in education. In FabLab (pp. 203-222). transcript-Verlag.
- Carol Koechlin & Anita Brooks Kirkland (2018), Exploring Teacher-Librarian Training in Canada, Leading Learning, Professional Learning, Teaching & Learning, Retrieved August 15, 2021, from <https://journal.canadianschoollibraries.ca/exploring-teacher-librarian-training-in-canada/>
- Curriculum and Resources (Ontario), Retrieved August 15, 2021, from <https://www.dcp.edu.gov.on.ca/en/>
- Let's Talk Science, Retrieved August 15, 2021, from <https://letstalkscience.ca>
- National Research Council. (2014). STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research. National Academies Press.

(岡本 紗知)

シンガポール

1. はじめに

シンガポールでは、STEM 教育に関する統一的なカリキュラム枠組みは確立されていないものの、STEM 教育に対する期待は大きい。Teo(2021)が、「STEM 関連能力の育成はシンガポールの経済成長の維持に必須なもの」という Lee Hsien Long 首相の見方を紹介しているように(Teo and Choy, 2021)、STEM 教育は、特に、経済や産業の発展において期待されている。具体的には、以下のような知的な人的資源が、STEM 教育により養成が期待されている(Teo and Choy, 2021)。

- ・STEM の専門家 (シンガポールの経済成長や国防に直接的に関わる研究やSTEM 関連製品の開発に取り組む)
- ・STEM の技術的労働者 (STEM 関連の職場において求められる技術力を有する)
- ・STEM に理解のある市民 (公共政策について情報に基づいた意思決定をすることができる、また自分自身及び家族を取り巻く世界について理解できる)

シンガポールにおける STEM 教育の中心は、前期中等教育段階である。2021 年前期中等教育科学シラバスにおいて、STEM という用語が登場した(Ministry of Education Singapore, 2020)。シラバスでは、科学教育の目的が二つ示され、その内一つが、「生徒が将来の学習や仕事のために、STEM に取り組み追究するための力強い科学の基礎を提供すること」となっており、仕事という用語と共に STEM について記述されている。科学教育のビジョンとして、「科学による鼓舞」、「科学者のような探究」、「科学を用いた革新」の三つが示されている。それらのうち、「科学を用いた革新」は、以下のように説明されている。

生徒は、日常生活における問題から、人類に影響を与えるような複雑な問題に至るまでの、現実世界の多様な問題に対する創造的な解決方法を考え出す能力が求められる。そのため、科学の成果を応用し、科学の可能性を経験する必要がある。生徒の豊かな学習経験が、STEM に関わる研究、革新、産業に貢献することができる。

シラバスでは科学の指導方法として、「科学の教授学習を支える真正な文脈の利用」が強調されている。「持続性」、「気候変動」、「健康管理」、「先端技術」が、STEM に関連した四つのグローバルなトピックとして示され、科学シラバスにおける学習テーマへの関連性を与える文脈として利用されるのである。

以上のように、シンガポールにおいて、STEM 教育は、将来の労働力の確保という点で、期待されていた。また、STEM 教育では、現実世界における問題解決を主に意図しており、それはまた、科学学習の真正な文脈作りとして捉えられていた。

2. STEM/STEAM に関する学習評価

1) 学校における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

(1) 目的

前期中等教育科学シラバスには、評価に関して次のような記述がある。

意味ある評価のために、教師は評価課題の作成において、日常生活、社会、環境における、科学に関わる現実世界の文脈を用いることができる。このことは、現実世界の文脈における科学的知識の活用を生徒に理解させたり、味わわせたりすることを支援する。

この記述は、評価における、現実世界の問題の活用という意義に関するものである。現実世界の問題を文脈として用いることは、「1.はじめに」で述べた、科学教育のビジョンとしての「科学を用いた革新」や、科学の指導法の「科学の教授学習を支える真正な文脈の利用」と符合するものである。このことから、通常の理科授業では難しかった、現実世界において生きて働く能力の評価という目的を見いだすことができる。

(2) 方法

2021 年及び 2022 年実施の、科学の中等教育修了資格試験要領（GCSE-O レベル：前期中等教育の最後の年に受験）には、STEM という用語は見られない(Singapore Examinations and Assessment Board, 2021)。この要領には、科学の評価内容として、A：理解を伴った知識、B：情報の処理と問題解決、C：実験スキルと探究の三つが示されている。試験の配点は、A：理解を伴った知識に関する問題に 50%（知識の再生のみの問題（20%）を含む）、B：情報の処理と問題解決に 50%である。C：実験スキルと探究は、筆記試験であり、10%から 20%の範囲において、点数が加算される。このように、探究的な要素は、評価において中心的ではないものの、自覚的に取り扱われている。

一方、STEM 教育が明記された教科として、2013 年から実施されている前期中等教育学校の応用学習プログラム (Applied Learning Programme, 以下 ALP) がある (小学校にも ALP はあり、2023 年には全小学校において ALP が導入される予定となっている) (Teo, 2019)。ALP は、必修ではなく、提供するかどうかは学校次第であり、人気教科の一つとされている。ALP の内容領域は、STEM (STEM ALP) の他に、言語、人文社会科学、ビジネス・起業精神がある。STEM ALP には、都市と都市テクノロジー、先端技術、交通手段の未来、健康と食品化学、持続性の五つのテーマが設定されている。ALP には、生徒が学術的知識とスキルを、現実世界に結び付けることを助ける目的がある。その目的の達成のため、生徒に、学術領域における学習の意味と価値を味わわせ、知識やスキルの習得について動機付けることがねらわれている。ただし、ALP は、中等教育修了資格試験において、評価対象の活動として位置付けられていない。

中等教育修了資格試験に含まれる応用教科としてコンピュータ科学、電子工学、運動とスポーツ科学、演劇がある。ただし、これらの試験要領において、STEM という用語は用いられていない。そのため、これら応用教科は、STEM 教育との内容的関わりはあるだろ

うが、STEM 教育という枠組みでは提供されていないことが窺える。

以上のように、STEM という用語は用いられないものの、既存教科に囚われない内容を取り扱う応用教科が存在している。また、STEM という用語が用いられる STEMALP では、中等教育修了資格試験の対象外である。シンガポール国立教育研究所 (NIE) の Tan (2017) は、STEM 教育に関して、教師のレディネス、カリキュラムの統合、評価の3点に関して、相当な困難があることを指摘している (Tan, Tm, 2017)。また、同じく NIE の Teo (2021) は、シンガポールにおける STEM 教育の課題の一つとして、STEM によって達成される生徒の姿が定まっていないことを挙げている (Teo and Choy, 2021)。このように STEM に関する取組は始まっているものの、未だ STEM 教育独自の目標や評価の方法は定まっていない状況と言える。

2) 大学等への進学における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

(1) 大学入学試験における STEM/STEAM の扱い

科学諸科目の中等教育修了資格試験要領 (GCSE-A レベル：後期中等教育の最後の年に受験) には、STEM の文言が見られない。すなわち、大学入学試験における STEM の扱いは大きくはない。NIE の Tan (2016) は、シンガポールの後期中等教育科学では、初等教育及び前期中等教育とは異なり、探究活動はあまり行われていないこと、そして高等教育での学習の準備が強調されていることを指摘している (Tan, Teo and Poon, 2016)。また、後期中等教育は、ALP を含まない。以上より、大学入学審査に必要な GCSE-A レベルのシラバスに基づいた教育を提供している学校では、科学の諸科目において、探究的な学習よりも、教師主導による基礎的知識の学習に重点が置かれ、STEM 教育はほとんど取り扱われていないことがうかがえる。

(2) 大学への進学における STEM/STEAM に関する高校での活動の実績等の扱い

(1) で述べたように、大学入学試験に関わる公的な試験において、STEM の活動や成績は、取り扱われてはいない。

一方、STEM の取り扱いは、様々なところで拡大している。Tang (2019) によれば、シンガポール・テクノロジー・デザイン大学 (Singapore University of Technology and Design) が 2009 年に設立され、デザインを中心とした学際的なカリキュラムを提供している。また、後期中等教育段階の職業教育機関である技術教育学院 (the Institute of Technical Education) は、大人を対象とした、短期 STEM 学習プログラムを提供している。このように、STEM 教育の潮流は、高等教育機関および成人教育にも波及している。さらに、STEM 関連教科で取り扱われる内容における学習ではないものの、後期中等教育には、情報を分析し、考えを明確かつ効果的に伝えることを可能にするスキルベースの教科として、General paper, Knowledge and Inquiry, Project Work という教科内容に縛られない学習活動が存在する。

3) 我が国の STEAM 等の教科等横断的な学習における評価への示唆

シンガポールにおいて、STEM は、科学の真正な学習や意義ある評価のための文脈設定としての役割が期待されていた。しかしながら、教科科学における STEM 学習によって達成される生徒の姿は定まっていない。また、STEM ALP は、公的試験の対象外とされている。このように、STEM 関連教科および STEM 学習プログラムにおける、生徒の STEM の学びに関する一般的評価方法は確立されていない。

以上を踏まえれば、STEM 教育の導入に際して、必ずしも STEM に特化した緻密な評価体制を整える必要はないことが示唆される。STEM の導入の目的を、各教科の真正な学習あるいは評価のためと捉え、理科等の既存教科における評価枠組みを用いて、可能な部分のみを評価することが可能である。

3. STEM/STEAM 教育を進めるための教員支援の取組

1) 教員／学校への支援の例とその支援体制

例 1 : STEM Inc.

STEM Inc は STEM; Innovation and Creativity, or Incorporation の略語であり、2014 年に、シンガポール科学館の基に設立された組織である(Teo and Choy, 2021)。幅広い学校段階へ学習プログラムを提供する中で、主に、前期中等教育段階における STEM ALP をサポートする役割がある。

提供される多様な学習プログラムは、前期中等教育学校の STEM ALP のカテゴリーに基づいて、都市と都市テクノロジー、先端技術、交通手段の未来、健康と食品化学、持続性の五つに分類される。これらのプログラムは、シンガポール科学館あるいは学校にて提供される。STEM Inc.が STEM カリキュラムの作成において重視するのは、もの作り文化 (maker culture) である。

ALP に取り組む学校は、ALP の実施に係る経費について教育省から予算がつけられる。現在、前期中等教育学校全 101 校 (国立) (2020 年) (Data. Gov. sg)のうち、70 校近くが STEM ALP に取り組んでいる(STEM Inc., Our schools)。

学校が STEM ALP に取り組み始める際の、STEM Inc.と教育省からの支援の流れは次の通りである(Teo and Choy, 2021)。第一に、学校は、STEM Inc.に支援を要請することで、教育省から 1 名と STEM Inc.からカリキュラム専門家 1 名が派遣され、学校や生徒のニーズに見合うように授業パッケージが編成される。第二に、STEM Inc.の STEM 教育者が学校に割り当てられ、3 年間にわたり当該学校における STEM ALP カリキュラムの開発、実施、改訂に係わる。この 3 年間にわたり、当該学校の教師は、STEM 教育に関する専門性を身に付けるために研修を受ける。また、STEM 教育者と共に STEM 授業を実施することによって、STEM のカリキュラム作成に関して経験を重ねる。STEM Inc.は、カリキュラムの支援に加えて、産業パートナーシッププログラム (IPP) を通じた学校と産業間におけるパートナーシップの締結を促進する (次の例 2 参照)。以上のように、STEM Inc.は教師の研修の運営、STEM コミュニティーの構築に加え、生徒の科学コンテストの組織を担う。このような継続的な支援により、STEM 教育が一過性の取組にならないようにしている。

例 2 : 産業パートナーシッププログラム (IPP)

IPP は、STEM Inc.のプログラムの一つであり、生徒が現実世界における STEM 関連の職業に触れ、産業の発展や挑戦についての洞察を得ることを目的としている(STEM Inc., About our industrial partnership programme)。また、生徒の親に対して、産業に対する間違った認識を正し、STEM の専門的職業のイメージを高める機会を提供するものとしている。

前期中等教育の 68 校、そして企業等の 37 の組織が IPP に参加している。学校を支援する組織の大多数は Google や Intel などの企業であるが、ナンヤン工科大学の機械工学・航空宇宙学部、科学技術研究庁、シンガポール・スポーツ研究所なども参加している(STEM Inc., STEM Industry Partners Matched with STEM Applied Learning Schools)。IPP では、企業等の各組織が、1 校から 3 校とパートナーシップを締結し、STEM ALP の活動を支援する。具体的な IPP の取組としては、資金援助の他に、教育プログラムに関する学校への助言、生徒、教師、親を対象とした職場訪問や社会科見学の実施、エンジニアや科学者に同行する仕事見学の提供、教師や生徒が産業における問題を解決するために協働するワークショップの実施、インターンの受け入れ、企業社会的責任プログラム活動の計画、STEM に関わる企業の専門家との 30 分間のオンライン交流など、多様である。

例 3 : Multi-centric Education, Research, and Industry STEM Center (meriSTEM@NIE)

meriSTEM@NIE は、シンガポール国立教育研究所 (NIE) に設立された組織である。meriSTEM@NIE のミッションは、研究、教育、アウトリーチにおける学問横断的パートナーシップを通じて、シンガポールにおける STEM リテラシーの質を向上させることである (Multi-centric Education)。具体的な取組は、主に、STEM 教育に関する研究及び、それに基づいた教員研修である。

2) 我が国の教員支援への示唆

シンガポールでは、meriSTEM@NIE が、STEM 教育における理論構築や教員研修という基礎部分を担い、STEM inc.が教育省と共に、資金と人材の両面において、学校の STEM 教育の実施に関して手厚くサポートをするという、教員支援の仕組みが整っていた。また、STEM 教育の実施において、企業等の資金と人材が活用されていた。STEM 教育の目的の一つとして、経済や産業の発展が明確に打ち出されており、企業等が STEM 教育の発展に貢献することが求められているのだろう。企業にとっては、将来的な人材確保という長期的なメリットに加え、親に対する企業イメージの向上といった短期的なメリットが設定されていることから、IPP に比較的参加しやすいのかもしれない。

日本においては、教師の働き方改革が求められており、STEM 教育導入による負担増はできるだけ避けることが望まれるだろう。シンガポールのような資金と人材による手厚いサポート体制がなければ、充実した学習活動の実現は難しい。STEM 教育実施において、企業等の短期的なメリットをも考慮することにより、学校外の力を活用し、多忙な教育現場においても、豊かな STEM 教育の構築が可能になることが示唆される。

【引用・参考文献】

- Data. Gov. sg (n.d.). Number of schools by level and type, Retrieved December, 2021, from https://data.gov.sg/dataset/number-of-schools-by-level-and-type?resource_id=2c9bd88d-c233-47d7-80f1-9883b402c56a
- Ministry of Education Singapore (2020). Science Syllabuses lower Secondary Express Course Normal (Academic) Course, Retrieved December, 2021, from <https://www.moe.gov.sg/-/media/files/secondary/syllabuses/science/2021-science-syllabus-lower-secondary.pdf?la=en&hash=5A2FDABB63C929FF42F96A0EC63BDCA8710B8AF1>
- Multi-centric Education, Research, and Industry STEM Centre (n.d.). About us, Retrieved December, 2021, from <https://nie.edu.sg/meristem>
- Singapore Examinations and Assessment Board, Science: Singapore-Cambridge General Certificate of Education Ordinary Level (2021). Retrieved December, 2021, from https://www.seab.gov.sg/docs/default-source/national-examinations/syllabus/olevel/2021syllabus/5076_y21_sy.pdf
- STEM Inc. (n.d.). Our schools, Retrieved December, 2021, from <https://www.science.edu.sg/stem-inc/schools/our-schools>
- STEM Inc. (n.d.). About our industrial partnership programme, Retrieved December, 2021, from <https://www.science.edu.sg/stem-inc/industrial-partnership-programme/about-our-industrial-partnership-programme>
- STEM Inc. (n.d.). STEM Industry Partners Matched with STEM Applied Learning Schools, Retrieved December, 2021, from <https://www.science.edu.sg/docs/default-source/scs-documents/steminc/ipp/stem-industry-partners-matched-with-stem-applied-learning-schools-jan-2018-1.pdf>
- Tan, K. C. D., Teo, T. W. and Poon, CL. (2016). Singapore Science Education, in Chiu, M-H (ed.) *Science Education Research and Practice in Asia*, Springer Science + Business Media Singapore.
- Tan, Tm (2017). Approaching STEM integration, *OER Knowledge bites*, 5, pp.13-14.
- Teo, T. and Choy, B. H. (2021). STEM Education in Singapore, in Tan, O. S. et al. (eds.) *Singapore Math and Science Education Innovation, Empowering Teaching and Learning through Policies and Practices: Singapore and International Perspectives 1*, Springer Nature Singapore.
- Teo, T. W. (2019). STEM Education Landscape: The Case of Singapore, *Journal of Physics*, Conf. Series 1340(2019)012002, Retrieved December, 2021, from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1340/1/012002/pdf>

(大寫 竜午)

オーストラリア

1. はじめに

オーストラリアにおける STEM 教育とは、「科学、技術、エンジニアリング、数学の四つの分野の教育を総称した言葉」であり、「STEM 関連分野への生徒の関心を高め、生徒の問題解決能力や批判的分析能力を向上させるための学際的な指導アプローチ」として捉えられている (Education Council, 2015)。2012 年にオーストラリア政府によって出された「MES (Mathematics, Engineering & Science in the National Interest) レポート」の中で、国の経済競争力を上げるために STEM 分野の重視が提言されたことを契機に、現在、オーストラリアでは、初等教育段階から高等教育段階に至るまで多様な STEM 教育プログラムが行われている。また、オーストラリアでの STEM 教育の重要性の高まりは、このような外的な要因だけでなく、OECD の PISA 調査における数学的リテラシーや科学的リテラシーの結果が下降傾向にあるといった内的な要因も関係している (山下・初田, 2021)。オーストラリアの STEM 教育の形態としては、国や州のカリキュラムに沿って行われたり、あるいは、カリキュラムに依存しない形で行われたり、統合的な STEM 教育、あるいは複数の STEM 系教科を組み合わせたプログラムの形で行われたりしている (Ellis & Williams, 2020)。

オーストラリアの STEM 教育の主な特徴としては 3 点挙げられる。第 1 に、国定カリキュラム (ACARA) のなかに、独立した教科としての STEM が設けられていないことから、共通課題を設定し、既存の教科の中で STEM 教育とのつながりや STEM 系教科どうしのつながりをつくることを重視している点である (ACARA, 2016a ; 山下・初田, 2021)。第 2 に、国定カリキュラムにおいては、STEM のエンジニアリングを科学、技術、数学を貫く領域として捉え、STEM の問題解決プロセスとして位置付けている点である (ACARA, 2016a)。第 3 に、STEM 教育や STEM 関係の職業における女性の参画の向上に力点を置いている点である (Australian Government, 2020)。

2. STEM/STEAM に関する学習評価

1) 学校における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

本稿では、オーストラリアのカリキュラムにおける STEM 系教科どうしのつながりの可能性を明らかにすることを目的とした「ACARA STEM Connections プロジェクト・レポート」の workbook (ACARA, 2016b) において意図されている評価の目的と方法についてみていく。本プロジェクトの評価の全体像を示したものが図 1 である。図 1 では、共通課題 (common student task) を中核に据えて、STEM 系教科の各教科の内容を評価する場合と教科の枠を超えて汎用的な能力を評価する場合が示されている。ここでいう共通課題とは、教科間の関連性が理解しやすい課題であり、必ずしも教科間で全く同一の課題に取り組む必要はなく、学校独自に定めた目的・テーマ (例えば、気候変動、公平性、国際化、持続

可能な生活)に照らし合わせて、各教科の教師が設計してもよいとしている (ACARA, 2016b, p.18)。汎用的な資質・能力の評価については、各教師が、設定した共通課題に関連する汎用的な能力(「リテラシー」、「ニューメラシー」、「ICT能力」、「批判的・創造的思考」)を選択し、それぞれで評価することが意図されている。学校独自の目標を立てる際には、プロジェクトリーダー、参加するクラスや教師、期間(授業数)を決めることが意図されており (ACARA, 2016b, p.10)、学校単位でSTEM教育を評価しようとしている点が特徴的である。

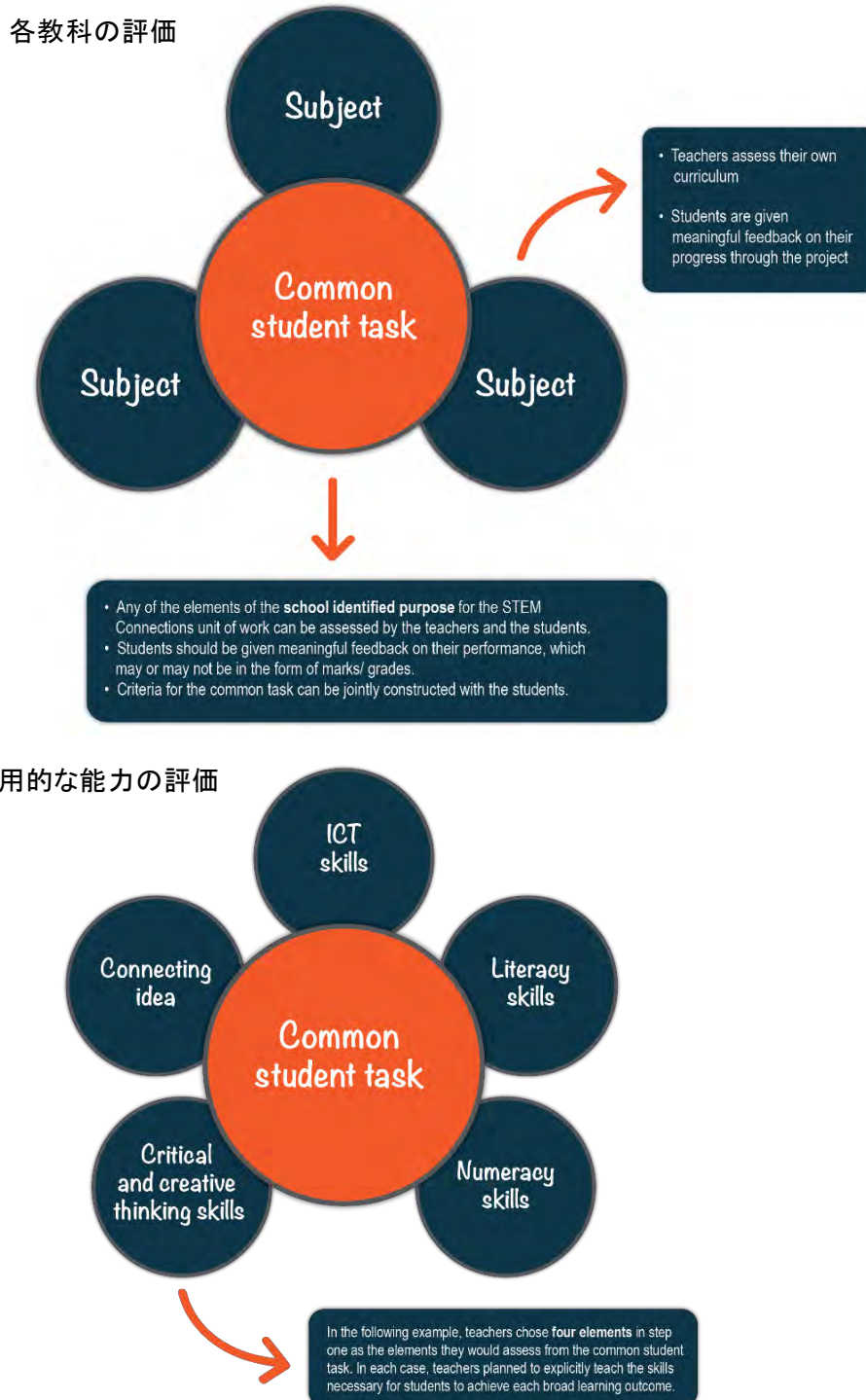


図1. STEM Connection プロジェクトにおける評価のイメージ (ACARA, 2016b, pp.19-20)

(1) 評価の目的

① 各教科の評価

教科間で共通課題を設定して、各教科において学習目標の到達度を評価する。ここでの教科とは、「科学」、「技術（テクノロジー）」、「数学」である。また、これらの教科間で関連するアイデアを「STEMの次元（STEM dimensions）」と呼び、「関係（Relationships）」、「パターン（Patterns）」、「構造と機能（Structure and function）」、「システム（Systems）」、「測定とデータ（Measurement and data）」、「モデルとモデリング（Models and modelling）」の六つが設定されている。プロジェクト・レポートに付いているチェックリストには、それぞれの次元の内容が、以下のように規定されており、前述の三つの教科のカリキュラムとの対応例も示されている。

関係：アイデア、物事、出来事がどのように互いに関連しているかを理解すること。この次元は、他の次元を支えるものである。

《カリキュラムとの対応例》

- ・科学「環境に及ぼす生き物の影響」（第7学年）
- ・技術「材料の特性や影響を理解するための調査の実施」、「家庭や個人のニーズに合った情報システム」（第3学年、第4学年）
- ・数学「変数を用いた現実世界の問題解決」（第8学年）

パターン：パターンを認識・記述・作成し、視覚化する能力。観察に基づいて予測を立てる能力。関連性を見て一般化する能力。

《カリキュラムとの対応例》

- ・科学「先住民の生活にみられる分類や推定などの科学的実践」（第4学年）
- ・技術「アイデアのメリット・デメリットの検討」（第7学年、第8学年）、「様々なパターンづくり」（基礎学年～第2学年）
- ・数学「分数や小数におけるパターンを探るための数直線や図の利用」（第5学年）

構造と機能：物体、システム、またはプロセスの物理的または抽象的な形態（下部構造、組織、階層を含む）が、その機能または目的にどのように関連しているかを理解すること。

《カリキュラムとの対応例》

- ・科学「生物の機能」（第3学年）
- ・技術「製品やシステムの特性や構造上の関係」（第3学年、第4学年）
- ・数学「角柱や角錐などの展開図」（第5学年）

システム：相互関係にある手順や要素（対象、プロセス、概念）がどのように組織化され、連携しているかを理解すること。また、これらのシステムの要素どうしの関連性を状況に応じて抽象化する能力。

《カリキュラムとの対応例》

- ・科学「天災の生態系への影響」（第9学年）
- ・技術「製品やシステムにみられる動きや力の影響」（第3学年、第4学年）、「経済的、環境的、または社会的な目的を達成するための情報システム」（第7学年、第8学年）
- ・数学「二つの数の組み合わせで表される分数の特徴」（第2学年）

測定とデータ：洞察をもたらす、理論の形成を可能にし、設計に影響を与える情報を収集し、分析する能力。

《カリキュラムとの対応例》

- ・科学「調査方法や機器が及ぼす収集データへの影響」（第7学年）
- ・技術「デザインや製作の際の正確さ」（第3学年，第4学年），「ソフトウェアを使用したデータの処理」（第5学年，第6学年）
- ・数学「積事象・和事象・余事象の確率的な問題設定」（第8学年）

モデルとモデリング：物体，システム，アイデアの仕組み，構造，関係性を記述・単純化・明確化・説明する表現。また，問題解決を促進する物理的，数学的，概念的なモデルを作成する能力。

《カリキュラムとの対応例》

- ・科学「太陽・地球・月の相対的な大きさや動きのモデル化」（第3学年）
- ・技術「おもちゃに用いられている力と材料の利用の考察」（第3学年，第4学年），「ストーリーボードやフローチャートの作成」（第5学年，第6学年）
- ・数学「ブロックやビーズなどのモデルを用いた推論」（第2学年）

② 汎用的な能力の評価

「リテラシー」，「ニューメラシー」，「ICT 能力」，「批判的・創造的思考」といった汎用的な能力の育成を評価する。なお，ACARA のカリキュラムの説明の中にも，各教科の内容とこれらの能力との対応付けが明示されている。

（2）評価の方法

① 各教科の評価

各教科の授業の中で評価を行う。評価方法としては，ポートフォリオ，レポート，プレゼンテーション，ブログ，質問紙などが挙げられている。子供に意味あるフィードバックを行うものとされている。

② 汎用的な能力の評価

各教科の教師は，共通課題において，「リテラシー」，「ニューメラシー」，「ICT 能力」，「批判的・創造的思考」の四つの汎用的な能力のどれを評価するかを選択する。こうした能力に評定をつけるかどうかは，教師の判断に委ねられている。具体的な評価方法は，以下の3点が紹介されている。

- ・各教科の教師が協力して共通の評価基準を設定し，教師が評価を行う。場合によっては，子供と一緒に評価基準を作ることも可能である。
- ・子供同士で相互評価を行う。
- ・子供による自己評価を行う。この場合，課題に内在する各教科を横断するアイデアに対する理解の深化，グループの一員としてのパフォーマンスなどを評価させる。

2）大学等への進学における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

オーストラリアでは大学入試はなく，国内の高校に在籍する生徒であれば，高校時の成

績と高校卒業時に各州で実施される統一卒業試験の結果が入学判定に使用される。また、海外の留学生であれば、国際バカロレアのディプロマプログラムのスコア、語学力の試験結果 (TOEFL または IELTS)、これまでの学歴によって審査されることがほとんどである。学歴や成績で入学基準に満たない場合は、ファウンデーションコース、ディプロマコースなどの進学準備コースに進学することになる。州によってカリキュラムの内容は異なるものの、高校段階 (第 11 学年, 第 12 学年) における STEM 系教科 (科学, 技術, 数学) の学習や活動の評価が、大学進学の評定材料の一部となっている。例えば、クイーンズランド州の「一般数学」の評価問題の中には、モデリングの問題も含まれている (QCAA, 2021)。

3) 我が国の STEAM 等の教科等横断的な学習における評価への示唆

独立した教科として STEM を設けず、科学, 技術, 数学といった教科の枠を維持した中で、各教科の評価と汎用的な能力の評価の二つの方向性から STEM の学習を評価しようとしている点は、我が国の学習指導要領の現状からみて参考になる。特筆すべきは、前述の六つの「STEM の次元」が、各教科の内容と紐付けされているだけでなく、汎用的な能力との対応も示されている点である。このことによって、教師のねらいに応じて、各教科の評価と汎用的能力の評価とを柔軟に使い分けたり、教科内容と汎用的能力の両方を関連付けながらバランスよく育成したりすることが可能になっている。また、学校単位で STEM 教育を評価しようとしている点も、我が国で重視されているカリキュラム・マネジメントの観点からみて参考になる。さらに、「STEM の次元」は、今後、我が国において、教科等横断的な学びにおける「見方・考え方」の在り方 (松原・高阪, 2021) を議論していく上でも示唆に富む。六つの「STEM の次元」と学習指導要領に示されている「理科の見方・考え方」、「技術の見方・考え方」、「数学的な見方・考え方」との関連性について考察していくことは、今後の重要な課題である。

3. STEM/STEAM 教育を進めるための教員支援の取組

1) 教員/学校への支援の例とその支援体制

オーストラリア教育・技能・雇用省 (DESE) のサイトには、STEM 教育を推進するための 16 個の教員支援のサイトが紹介されている。本稿では、その中から幾つかを紹介する。なお、以下の (1) と (2) は、DESE のサイトで紹介されているものである。

(1) Digital Technologies Hub (教科「技術」の実践を支援するためのポータルサイト) (<https://www.digitaltechnologieshub.edu.au/>)

国定カリキュラム (ACARA) において、基礎学年から第 10 学年まで教科「技術 (テクノロジー)」が新設されたことを受けて、教師、スクールリーダー、子供、家庭を対象として、教科「技術」に関する実践を紹介したり、支援したりするために開発されたポータルサイトである。本サイトは、2016 年から稼働しており、オーストラリア政府の助成 (210 万ドル: 約 2 億円) を受けて、非営利企業である「教育サービスオーストラリア (Education Services Australia)」が開発・運営している。サイトの開発には、デジタル技術の教師、学

術研究者，専門家団体など，幅広い専門家も携わっている。特に，教師を対象としたページには，教科「技術」のカリキュラムとの対応が分かるように，授業プラン，実践事例の動画，評価問題をつくるための資料などが載っている。また，STEM 教育の一環として，他教科とのつながりも意識されている。

（２）STEM Professionals in Schools（STEM 系教師と STEM 専門家との連携を支援するプログラム）（<https://www.csiro.au/en/Education/Programs/STEM-Professionals-in-Schools>）

STEM 専門家と教師を対象とした，オーストラリア最大のボランティアプログラムである。本プログラムは，オーストラリア政府の助成（480 万ドル：約 4 億円）を受けて，総合研究期間であるオーストラリア連邦科学産業研究機構（CSIRO）が実施している。また，本プログラムでは，STEM 専門家とオーストラリア国内の学校の STEM 系教師との間で，柔軟で継続的なパートナーシップを組み，STEM の教師教育を促進することをねらいとしている。そこでは，STEM 系教師と STEM 専門家を個別にマッチングし，様々な活動を通じて教師と子供の STEM スキル，知識，自信を高めるために支援を行っている。

（３）STARportal（STEM 活動の検索サイト）（<https://starportal.edu.au/>）

オーストラリアで初めて，全国の魅力的な STEM 教育の実践を一元管理するために開発されたナショナルポータルサイトである。本サイトは，2017 年から稼働しており，オーストラリア政府と複数の企業（証券取引所や銀行など）による助成によって開発・運営されており，オーストラリアのすべての家庭が，地域やオンラインで行われているあらゆる STEM アウトリーチ活動にアクセスできるようになっている。例えば，STEM 活動の検索ページを開くと，約 900 近くの活動が公開されており，「場所」，「開催時期」，「STEM 領域」，「活動範囲」（全国レベルか，ある特定の州レベルか，など）「活動形態」（コンペティションか，授業か，など），「対象年齢」などの項目から検索可能になっている。無料のものが多いが，中には有料のものもある。また，実践を提供するプロバイダーは，STARportal のチームだけでなく，企業や研究所など多岐に渡り，プロバイダーとして受理されるためのガイドラインも示されている。

2) 我が国の教員支援への示唆

政府の大規模な助成によって，STEM 系教師を支援するための様々なサイトやプログラムが開発され，STEM 教育の教材や授業プランなどが豊富に提供されている点は，今後，我が国でも目指していきたいところである。とりわけ，Digital Technologies Hub のように，取り上げている STEM の教材や活動とカリキュラムにおける各教科等の内容との対応を明示しておくことは，我が国でも，STEM 教育を学習指導要領の中で実践しやすい環境をつくるための支援として参考になる。また，学校現場で STEM 教育を根付かせていくために，STEM Professionals in Schools のように，STEM 教育の職能成長プログラムの実施体制を整備していくことも今後の重要な課題である。

【引用・参考文献】

- ACARA (2016a). *ACARA STEM connections project report*. Australian Curriculum Assessment and Reporting Authority. Retrieved October 21, 2021, from <https://www.australiancurriculum.edu.au/resources/stem/stem-report/>
- ACARA (2016b). *STEM Connections workbook*. Australian Curriculum Assessment and Reporting Authority. Retrieved October 21, 2021, from https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.australiancurriculum.edu.au%2Fmedia%2F3779%2Fstem-connections-workbook_final.docx&wdOrigin=BROWSELINK
- Australian Government (2020). *ADVANCING WOMEN IN STEM 2020 Action Plan*. Retrieved October 21, 2021, from <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/March%202020/document/advancing-women-in-stem-strategy-action-plan-2020-1.pdf>
- Education Council (2015). *National STEM school education strategy: A comprehensive plan for science, technology, engineering and mathematics education in Australia*. Retrieved October 21, 2021, from <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED581690.pdf>
- Ellis, D., Williams, P. J. (2020). STEM policy in Australia, In C. C. Johnson, M. J. Mohr-Schroeder, T. J. Moore, & L. D. English (Eds.), *Handbook of research on STEM education* (pp.428-442), New York: Routledge.
- 松原憲治・高阪将人 (2021). 我が国における教科等横断的な学びとしての STEM/STEAM 教育の意義 : 各教科等の「見方・考え方」と Big Ideas に注目して, 科学教育研究, 45, 2, 103-111.
- QCAA (2021). *General Mathematics General Senior Syllabus 2019 v1.2*. Retrieved November 26, 2021, from https://www.qcaa.qld.edu.au/downloads/senior-qce/mathematics/snr_maths_general_20_subj_rpt.pdf
- 山下修一・初田啓輔 (2021). ACARA STEM CONNECTIONS PROJECT から見たオーストラリアの STEM 教育の特徴, 日本科学教育学会第 45 回年会論文集, 277-280.

(川上 貴)

ニュージーランド

1. はじめに

近年、STEM 教育に力を入れている国の一つにニュージーランドがある。STEM 教育を推進することを通して、民族・人種やジェンダーにおける不平等 *inequity* を是正することを意図している (Buntting, Jones, McKinley, & Gan, 2013; Huddleston, 2017; McKinley, Gan, Buntting, & Jones, 2015)。こうした不平等は我が国ではあまり大きな話題になっていないように思われる。しかし、我が国でもすでに、外国にルーツのある子供たちは不平等に直面しており (日本学術会議地域研究委員会多文化共生分科会, 2020)、また、STEM に関連する理工学分野における女性比率の低さも周知のとおりである (日本学術会議第三部理工学ジェンダー・ダイバーシティ分科会, 2020)。ここでは、我が国の将来について考えるための材料の一つとして、ニュージーランドの STEM 教育に焦点を当ててみよう。

なお、STEM 教育という言葉は、ニュージーランドの現行カリキュラム (Ministry of Education, 2007) では使用されておらず、その定義もなされていない。Buntting et al. (2013) は、このことを踏まえ、「本報告書が貢献している広範なプロジェクトにおいては、STEM とは、科学、技術、工学、数学の分野での学習や仕事と定義され、後期中等教育や高等教育で特定の学問を学ぶ前の義務教育段階での学習も含まれる」(p.5) と述べている。更に続けて、学校教育段階では、STEM は科学、技術、数学という三つの個別の学習分野で記述されている、と説明している (ibid., p.5)。このようにニュージーランドでは、STEM 教育という言葉は四つの学習分野の総称として用いられることが一般的なようである (Granshaw, 2016)。これは Disciplinary な STEM 教育 (Vasquez, Sneider, & Comer, 2013) の形態と言える。それに対して、統合の度合いの高い Transdisciplinary な STEM 教育 (Vasquez et al., 2013) は、統合的な STEM 教育と呼ばれている (Granshaw & Hall, 2017, 2018)。

2. STEM に関する学習評価

1) 学校における STEM 学習や活動に対する評価

ニュージーランドでは、国家カリキュラムに我が国のそのような法的拘束力はなく、実質的なカリキュラムの作成主体は各学校にある。McKinley et al. (2015) や Granshaw & Hall (2017) は、STEM 教育に費やす時間や実施方法は各学校に委ねられるため、初等教育では教科横断的な STEM 教育が実施されることが多く、一方で中等教育では各分野を個別に学習することが多いと指摘している。この中等教育の学習形態はサイロアプローチと呼ばれている (Granshaw & Hall, 2017)。ニュージーランドでの学校における STEM 教育を取り巻く状況は、我が国と似ている部分がある。

統合的な STEM 教育について、Granshaw (2016) は、既存のカリキュラムの各分野に取って代わるものではないと述べながらも、生徒のための拡張的な学習機会を提供すること

のできる利点があることを指摘している。四つの分野から引き出される知識と思考様式を統合的に利用することは、子供たちの学習機会と経験を増加させ、各学習分野を主要なコンピテンシーに結び付けることを可能にする。統合的な STEM 教育の実施は各学校の裁量に任されているものの、教科横断的な指導をすることが望ましいということはカリキュラム文書 (Ministry of Education, 2007) で言及されていることでもある (Granshaw, 2016)。なお、中等教育において統合的な STEM 教育の価値が認識されながらもあまり実施されない理由の一つとして、Granshaw (2016) や Granshaw & Hall (2017, 2018) では、中等教育修了の国家資格制度(NCEA)の存在が指摘されている。これについては後述する。

ニュージーランド中等教育では統合的な STEM 教育が実施されにくい風土があり、各分野が個別に学習されるのが一般的である。統合的な STEM 教育の活動や評価の具体を述べることは困難である。そこでここでは、Granshaw & Hall (2017, 2018) によってデザインされた、技術を主要科目とした統合的な STEM 教育コースを事例的に取り上げたい。以下は Granshaw & Hall (2017, 2018) の記述の抜粋である。これがニュージーランドのどのレベルの高校でもなされ得るかなどは明らかではないが、ニュージーランドにおける STEM 教育の学習目標や評価枠組みを知るうえでの参考資料になるだろう。

コース名

数学と科学を用いた技術 —— デザインソリューションの開発

コース開発の目的・合理性の記述

このコースの目的はデザインと開発のプロジェクトに取り組む機会を高校生に提供することである。技術に関する理論的・実践的な知識を深め、問題解決や創造的なデザインのための教科横断的な学習の意義を強く認識させる。

コースの説明

このコースで生徒は、技術、数学、科学の教科知識とスキルを活用して統合することにより、デザインソリューションを開発する。応用に重点を置いているが、理論を考慮して使用材料の特性を理解することが求められる。ソリューションを作成するために関連するツール等に関連するスキルを発達させる必要がある。また生徒には、問題解決や体系的な調査に関連する研究や探究のプロセスを理解することが期待される。デザインの問題は、技術的・工学的な成果か概念的デザインのいずれかを含むソリューションを必要とすることが意図されている。デザインの問題が存在する文脈コンテキストの例には、建築、生物、化学、デジタル、電気、環境、海洋、機械、構造などがある。

学習目標

以下の能力を発揮すること：

- ・ 統合的な STEM の文脈でデザイン問題に対するソリューションを計画・開発する
- ・ 技術、数学、工学、科学などの知識の組合せによって学習を統合する
- ・ STEM 教科知識の統合がデザインと開発のプロセスを導く方法を批判的に省察する

指導と学習の方略

総合的な STEM コースに適した教科横断的な指導と学習の方略には、次のいくつかが含まれる：チームティーチング、伝統的な指導や発見学習の組合せ、生徒の集団作業とクラスメートへの進捗状況の報告、データベースのオンライン検索を含む体系的な研究の実行、オンライン教育プログラムの使用、関連する産業や専門職のゲストによるプレゼンテーション、自分のプロジェクトの関係者へのインタビュー。

評価の枠組み

貢献度の高い分野から選ばれた NCEA 達成基準に対して評価される。技術領域の技術実践ストランド内の一般達成基準のパフォーマンスに重点が置かれる。

デザインと開発のプロジェクトの場合、プロジェクト成果の選択、研究、デザイン、開

発に関する説明、分析、構築をまとめたポートフォリオの提出を求めることができる。作業の節目で生徒から報告を受ける必要がある。形成的評価と総括的評価の両方のために、生徒の進捗状況を定期的に監督・モニターすることが不可欠である。

評価には、貢献のあった授業科目の知識とスキルを生徒がどれだけ統合したのかに焦点を当てるべきである。生徒が行った重要な統合のつながりを教師が直接評価する。また生徒に、異なる知識分野をどのように統合したかについての考察文をポートフォリオに含めることを要求することもできる。

継続的かつエンドポイントでのコース評定

評定の焦点は以下のとおりである：コースの学習目標に関連した生徒の学習、生徒のコース経験、生徒の貢献に関する関係者の経験。

方略には以下が含まれる：生徒からのコース経験に関する定期的および終了時のフィードバック、価値がある・ないと思う経験やコースの特徴についての関係者へのインタビュー、生徒の作品の分析（知識とポートフォリオの正式な評価など）、教師チームによるペア評定と報告会。

2) 大学等への進学における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

(1) 大学入学試験における STEM/STEAM の扱い

ニュージーランドには大学入学試験はない。代わりに NCEA の成績等で大学入学資格を取得することができ、一方で高校を修了しても大学入学資格がない場合もある。大学への進学においては、大学入学資格につながる必要な単位を得なくてはならない。

NCEA の枠組みは現行カリキュラム (Ministry of Education, 2007) に準じている。Granshaw (2016) や Granshaw & Hall (2017, 2018) が指摘している問題は、統合的な STEM 教育を実施したとしても、それが NCEA の単位取得に直接寄与するわけではない点である。結局のところ、単位取得のために教師は既存の枠組み内での評価を利用せざるを得ない。McKinley et al. (2015) も、STEM 関連のコンテンツやスキルがそれとして評価されないことから、学校レベルでの実施方法に課題があることを指摘している。

(2) 大学への進学における STEM/STEAM に関する高校での活動の実績等の扱い

大学への進学において求められるのは、STEM に関する活動の経験ではなく、取得した NCEA の単位である。その経験が間接的に単位取得につながるかもしれないが、大学への進学に必要な NCEA Level 3 を達成するのに直接的に有効であるわけではない。Granshaw & Hall (2017) は、設計した上記のコースと NCEA 基準との適合性を検討しているが、Level 2 と 3 には部分的にしか対応できていないことを明らかにしている。このように、高校での STEM に関する活動の実績はほとんど評価されないと推察される。

3) 我が国の STEAM 等の教科等横断的な学習における評価への示唆

ニュージーランドには大学入学試験はないが、高校での STEM 教育を取り巻く環境は我が国と類似している。STEM 教育に取り組むことが大学等への進学に直接的には関与しない。このことが高校での STEM 教育の実現に対する大きな障壁となっている。Granshaw & Hall (2018) は、「教科横断的なコースデザインは、NCEA 基準のデザインと見直しに携わった人々の間では最優先事項ではなかった」(p.128) と述べ、カリキュラムを作成する文部省と NCEA を管理するニュージーランド資格局(NZQA)に原因があると指摘している。

我が国の場合で言えば、当たり前のことではあるが、学習指導要領等の作成に携わる文部科学省が理数探究のような教科横断的な科目を設定して充実させるとともに、それを大学入学試験で課すようになれば、STEM教育に着手する高校の増加が見込まれる。

また、Granshaw & Hall (2018) は、教師がより専門的な教科知識を持つ高校で統合的なSTEM教育を実現するために、一人ではなく複数の教師が協同でコースの設計・実施・評価に取り組むことや教師が様々な教育的アプローチを知っておくことが要求されることを指摘する。現職教育の方法としては、指導に関する知識や方略を教師同士で共有したり、外部の専門家からの学習機会を設けたりすることをあげている。さらに、生徒が実世界の文脈にアクセスできるよう、産業界などの外部コミュニティと連携する必要性をあげている。我が国でも、高校ではこうした異なる教科の教師との協同や知識の共有、外部の専門家やコミュニティとの連携はあまりなされていないように思われる。生徒に統合的なSTEM教育に取り組ませるために、まずは教師がどのように協同できるかを検討することが重要であるかもしれない。

これらはSTEM等の教科等横断的な学習における評価を検討する以前の、その実施に向けた示唆である。一方で、Granshaw & Hall (2018) によってデザインされた技術を主要教科とした統合的なSTEM教育コースの記述をみると、生徒のパフォーマンスをポートフォリオによって評価しようとしていることがわかる。我が国ではポートフォリオ評価が普及しているとは言い難いが、テストなどの学習成果よりも学習過程に焦点を当てるポートフォリオ評価は今後より強調されることが予期される評価方法と言ってよい。各学習分野での学習の過程や成果はその範囲内で評価可能だが、統合的なSTEM教育のような既存の教科の枠組みを超えた学習の過程と成果こそ、ポートフォリオに残す価値がある。ポートフォリオ評価の普及はSTEM教育推進の一因になり得るかもしれない。

3. STEM/STEAM教育を進めるための教員支援の取組

1) 教員／学校への支援の例とその支援体制

McKinley et al. (2015) によると、ニュージーランドではSTEMの各学習分野を指導する教師への資金援助はあるものの十分ではないという。また、専門的な学習の機会を求めている教師への支援として、「政府が資金を提供する初等科学教師フェローシップ、初等科学指導の新しい大学院コース、研究機関が運営するコース、初等科学教師会議などの、さまざまな取り組み」(p.209)が行われている。Granshaw & Hall (2018) があげている外部の専門家からの学習機会を設けることも教師への支援に当たる。

また、STEM教育の実施に関わって、大学や研究機関が提供しているSTEMアウトリーチプログラムを利用することができる。McKinley et al. (2015) によると、「これらのプログラムの目的は、生徒のSTEM教科に対する自信と実力を高め、これらの分野の更なる勉強やキャリアの機会に対する意識を高めることにある」(p.210)。例えば、オークランド大学が提供しているSTEM Online NZ (<https://www.stemonline.auckland.ac.nz/>) は、無料で利用できるインタラクティブなオンライン教育及び学習リソースであり、学校と教師を支援することを目的としている(図を参照)。掲載されているコンテンツは、オークランド大学の

専門家と中等学校の教師とが共同で開発したものである。NCEA 基準にも部分的に対応しており、下図のように各学習分野に対応したコンテンツが準備されている。

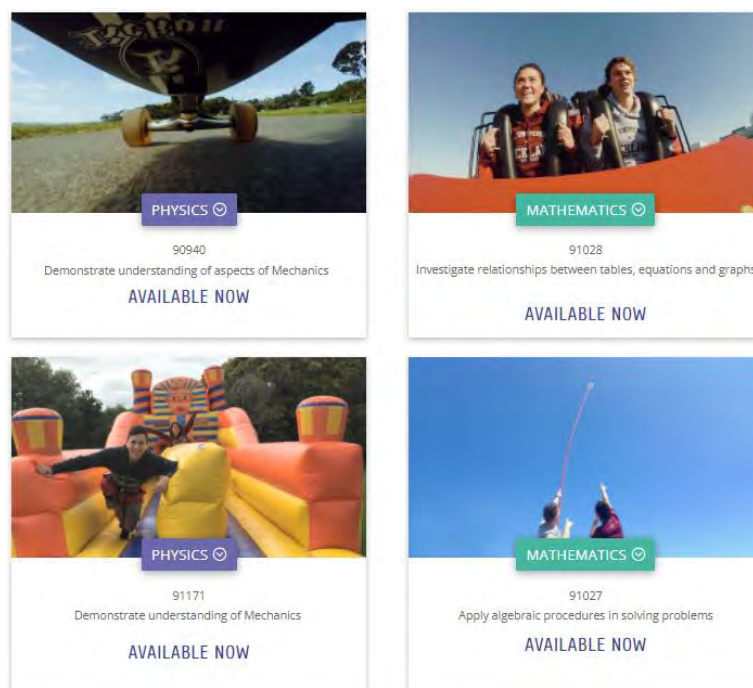


図. STEM Online NZ ウェブサイトのスクリーンショット (2021. 11. 18 最終確認)

また、研究機関が提供している STEM アウトリーチプログラムの例として、McKinley et al. (2015) は、オークランド大学の医学健康科学部に附設されているリギンズ研究所の LENSscience (Liggins Education Network for Science ; <https://www.lenscience.auckland.ac.nz/en.html>) をあげている。科学的リテラシーと健康リテラシーの向上を目的としており、そのために科学と学校のつながりをつくり、科学的思考のレンズを通して健康に基づく社会科学的問題を探究する機会を生徒に与えている。コンテンツは、研究所訪問や科学者との協働といった、体験的な探究の機会を提供するプログラムである。これらは Granshaw & Hall (2018) があげている産業界などの外部コミュニティとの連携に対応する。STEM 教育を実現するために、学校や教師だけの取組では限界がある。ニュージーランドでは、大学や研究機関が提供している STEM アウトリーチプログラムを有効に活用することで、STEM 教育に取り組みやすくしている。

2) 我が国の教員支援への示唆

McKinley et al. (2015) や Granshaw & Hall (2018) に基づけば、ニュージーランドにおける教員支援の方法には、資金援助、専門的な学習機会の提供、アウトリーチプログラムの提供の3つがある。我が国とニュージーランドとでは教員養成の制度が異なるものの、これらの試みは示唆的である。我が国でも現職教員が STEM 教育を知るために、資金援助を何らかの形で充実させていくことが重要であろう。しかし、McKinley et al. (2015) の評価と同様、予算が限られる中ではそのような支援だけでは十分でない。やはり制度的な研修

の機会を整備したり自主的な学習の機会を提供したりすることが求められる。根本的には教師の職務環境整備が求められるかもしれない。そうでなければ、複数の教師が協同で教科横断的な授業の設計・実施・評価に取り組むことは困難である。また、我が国でもニュージーランドと同様に、学習リソース（例えば、STEM ライブラリー；<https://www.steam-library.go.jp/>）がより充実するほど、実際に STEM 教育についての授業を設計して実施することがより容易になるだろう。

【引用・参考文献】

- Bunting, C., Jones, A., McKinley, L., & Gan, M. (2013). *Consultant Report Securing Australia's Future STEM: Country Comparisons: STEM initiatives and issues in New Zealand*. Report to the Australian Council of Learned Academies. Hamilton: University of Waikato. <https://acola.org/wp-content/uploads/2018/12/Consultant-Report-New-Zealand.pdf>.
- Granshaw, B. (2016). STEM education for the twenty-first century: A New Zealand perspective. *Australasian Journal of Technology Education*, 3. <http://dx.doi.org/10.15663/ajte.v3i1.43>
- Granshaw, B., & Hall, C. (2017). STEM education in New Zealand at the senior secondary level: Cross-curricula course design and assessment for NCEA. *Australasian Journal of Technology Education*, 4. <https://doi.org/10.15663/ajte.v4i1.55>
- Granshaw, B., & Hall, C. (2018). Considerations for developing integrated-STEM courses at the senior secondary school level in New Zealand. In N. Seery, J. Buckley, D. Canty, & J. Phelan (Eds.). *2018 PATT36 international conference proceedings: Research and practice in technology education: Perspectives on human capacity and development* (pp. 123-131), Westmeath, Ireland: Athlone Institute of Technology. Technology Education Research Group.
- Huddleston, K. (2017). Gender equity in STEM: Addressing the disparities. *Journal of Initial Teacher Inquiry*, 3, 24-27.
- McKinley, E., Gan, M., Bunting, C., & Jones, A. (2015). New Zealand: Towards inclusive STEM education for all students. In S. Freeman, S. Marginson, & R. Tyler (Eds.), *The age of STEM: Educational policy and practice across the world in science, technology, engineering and mathematics* (pp. 201-214). Oxon, England: Routledge.
- Ministry of Education. (2007). *The New Zealand Curriculum*. <https://nzcurriculum.tki.org.nz/content/download/1108/11989/file/NZ%20Curriculum%20Web.pdf>
- 日本学術会議地域研究委員会多文化共生分科会（2020）．外国人の子どもの教育を受ける権利と修学の保障 ——公立高校の「入口」から「出口」まで． <https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t289-4.pdf>
- 日本学術会議第三部理工学ジェンダー・ダイバーシティ分科会（2020）．理工学分野におけるジェンダーバランスの現状と課題. <https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-h200605.pdf>
- Vasquez, J., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3–8: integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth, NH: Heinemann.

（大谷 洋貴）

国際バカロレア

1. はじめに

国際バカロレア(以下、IB とする)のディプロマプログラム(以下、DP とする)は 16～19 歳を対象にしており、大学やその先の教育、そして将来選択する職業で必要とされる基本的なアカデミックスキルのほか、充実した目標ある人生を送るために必要な価値観や生活スキルを身に付けることを目指している(国際バカロレア機構, 2020)。DP では、2 年間の課程を通し、言語から計 2 科目(グループ 1 と 2)、「個人と社会」(グループ 3)から 1 科目、「理科」(グループ 4)から 1 科目、「数学」(グループ 5)から 1 科目、「芸術」(グループ 6)から 1 科目¹⁾の合計 6 科目²⁾と、カリキュラムの中核を成す「コア」を履修することが求められる(国際バカロレア機構, 2020)。

DP のカリキュラムにおいて、生徒は各科目をそれぞれ独立して学習するのではなく、学習する学問領域を相互に結び付けることが期待されており、同時並行的な学習の実施が望まれている(国際バカロレア機構, 2020)。また、科目の一つである「環境システムと社会」は、「個人と社会」(グループ 3)と「理科」(グループ 4)との学際的な科目となっている(国際バカロレア機構, 2020)。さらに、「理科」の科目³⁾を履修する全ての生徒は、「グループ 4 プロジェクト」という、「理科」の異なる科目の生徒と共通のトピックまたは問題の分析に協働で取り組む(国際バカロレア機構, 2015a)。一方、「コア」の一つである「知の理論」(TOK)では、様々な教科において、知識がどのようにして確立されるに至ったのかを考えるとともに、どの教科の間に共通点や相違点があるかを検討する(国際バカロレア機構, 2015b)。また、「課題論文」では、履修している DP 科目から 1 科目、もしくは世界を対象に学際的な研究を行う「ワールドスタディーズ」では 2 科目を選び、個人研究に取り組み、論文にまとめる(国際バカロレア機構, 2017a)。

したがって、STEM/STEAM を①少なくとも 2 教科・科目を扱い、②Engineering または Art の要素を扱い、③人材育成を重視するものと定義した場合、DP 全体において STEM/STEAM の要素が含まれていると言える。また、STEM/STEAM 教科に着目するならば、「理科」、「数学」、「芸術」のそれぞれの教科が該当し、さらに「理科」では異なる科目の生徒との協働が含まれている。また学際的な側面に着目するのならば、「環境システムと社会」、コアの「知の理論(TOR)」や「課題論文」の「ワールドスタディーズ」が挙げられる。このように IB では、教科等横断的な取り組みが様々なレベルにおいて実施されていることがその特徴であると言える。

2. STEM/STEAM に関する学習評価

1) 学校における STEM/STEAM 学習や活動に対する評価

(1) 目的

DP の評価では、カリキュラムの目標を支え、生徒に適切な学習を促すことを最も重要なねらいとしている(国際バカロレア機構, 2020)。IB が規定する評価には、「形成的評価」と「総括的評価」の 2 種類があり、「形成的評価」では、「指導」と「学習」の両方に指針を与え、「総括的評価」では、生徒のこれまでの学習を踏まえて、生徒の到達度を図ることが目的とされる(国際バカロレア機構, 2015a)。

また、イギリスや米国では、国内統一テストの得点と DP の得点が換算されて代用できたり、米国では DP の科目が大学の科目と二重単位になっていたりする(福田, 2015)。そのため、高大接続の側面も持ち合わせていると言える。

(2) 方法

DP 全体を通して STEM/STEAM の要素が含まれていると捉えた場合、その評価は 6 科目 7 点満点と「コア」3 点満点の合計 45 点満点で実施され、国際バカロレア資格の取得には 24 点以上を取得することが必要である(福田, 2015)。DP では、学校外で実施される IB による外部評価、及び内部評価の両方が実施され、外部評価のための提出課題は IB 試験官が採点し、内部評価のための評価課題は教師が採点し、IB によるモデレーション(評価の適正化)を受ける(国際バカロレア機構, 2015a)。

STEM/STEAM 教科に着目した場合、例えば教科「理科」の科目「生物」「化学」「物理」では、外部評価である試験問題 1(20%)、試験問題 2(40%)、試験問題 3(20%)と内部評価(20%)にて実施される(国際バカロレア機構, 2015a)。また、「理科」の科目を履修するすべての生徒が参加する「グループ 4 プロジェクト」では、全 10 時間の活動は「計画」「行動」「評価」の三つの段階に分けることができる(国際バカロレア機構, 2015a)。「評価」の段階には、2 時間程度が必要となり、生徒が、成功も失敗も含めて他の生徒と知見を共有することに力点が置かれおり、どのようにして知見を共有するかは、教師が決定しても、生徒自身が決定しても、あるいは両者が決定しても良いとされる(国際バカロレア機構, 2015a)。具体例として、プレゼンテーションを行うシンポジウムを開催することや、各班の活動をまとめた展示を見てまわる科学フェアの形式などが考えられ、保護者や教育委員会のメンバー、報道機関を招待することも考えられる(国際バカロレア機構, 2015a)。

学際的な側面に着目した場合、「環境システムと社会」では、内部評価及び外部評価を通じて、表 1 に示す評価目標が正式に評価される(International Baccalaureate, 2015)。この評価目標に基づき、表 2 に示すように、外部評価及び内部評価が行われる。また、「コア」の「TOK」の評価は外部評価である TOK エッセイ(67%)と、内部評価である TOK プレゼンテーション(33%)で実施される(国際バカロレア機構, 2015b)。「課題論文」は形成的評価(「計画及び進捗についての振り返りフォーム」と総括的評価(論文)の組み合わせで実施される(国際バカロレア機構, 2017a)。

表 1 「環境システムと社会」の評価目標

評価目標 1	評価目標 2	評価目標 3	評価目標 4
以下に関連する知識と理解を示すことができる。 ・事実, 概念 ・方法論と手法 ・価値観と態度	この知識と理解を以下の分析に応用することができる。 ・説明, 概念, 理論 ・データとモデル ・なじみのない文脈でのケーススタディ ・議論と価値観	必要に応じて以下を評価, 証明, 総合することができる。 ・説明, 理論, モデル ・議論と解決策の提案 ・フィールドワークと調査の方法 ・文化的な視点や価値観	以下を通して, ローカル及びグローバルレベルでの環境及び社会問題の調査に従事する。 ・政治的, 経済的, 社会的文脈の課題を評価する。 ・調査を行うために必要な適切な研究と実践的スキルを選択して適用する。 ・他者の文化的差異や価値観を認識し, 尊重することを示す, 協動的で革新的な解決策を提案する。

出典: International Baccalaureate (2015) を参考に筆者作成

表 2 2017 年第 1 回評価「環境システムと社会」の概要

評価要素		配点比率 (%)	概要
外部評価	試験問題 1	25	<ul style="list-style-type: none"> 生徒はこれまでに見たことのない特定のケーススタディに関連する様々な形式のデータを提供される。 質問はケーススタディのデータの分析と評価に基づいて行われる。 全ての問題は必修である。 評価目標 1, 2, 3 についての到達度が測られる。
	試験問題 2	50	<ul style="list-style-type: none"> A と B の二つのセクションから構成される。 セクション A(25 点)は, 短答式問題とデータに基づく問題で構成される。 セクション B(40 点)は, 四つの選択肢の中から二つの構造化されたエッセイ問題に答える。 評価目標 1, 2, 3 についての到達度が測られる。
内部評価		25	<ul style="list-style-type: none"> 個人研究 評価目標 1, 2, 3, 4 に対応する。

出典: International Baccalaureate (2015) を参考に筆者作成

(3) 評価基準等

DP 全体を通して STEM/STEAM の要素が含まれていると捉えた場合, 各科目において採点基準が定められている。また, 例えば, STEM/STEAM 教科である「生物」「化学」「物理」において, 外部評価にて実施される試験問題の答えは, 試験問題ごとに作成されたマークスキーム(採点基準)に基づいて採点される(国際バカロレア機構, 2015a)。内部評価は「主体的な取り組み(8%)」「探究(25%)」「分析(25%)」「評価(25%)」「コミュニケーション(17%)」の五つの評価規準を用いて実施される。また, 学際的な科目である「環境システムと社会」やコアの「TOK」や「課題論文」においても, それぞれ評価基準が設けられている。例えば, 「環境システムと社会」の試験問題 2 のセクション B の各エッセイの最後の部分は表 3 に示すマークバンド(評価基準)を用いて採点される(International Baccalaureate, 2015)

表3 「環境システムと社会」における試験問題2のセクションBエッセイの評価基準

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1-3	解答に以下が含まれる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ESSの課題や概念に関する知識と理解の最小限の証拠 ・質問の文脈との関連性が乏しい、断片的な知識の記述 ・ESS専門用語のいくつかの適切な使用 ・必要な例がない、あるいは説明や関連性が不十分な例 ・事例やアイデアの羅列に過ぎない表面的な分析 ・曖昧や証拠・論拠に基づかない判断・結論
4-6	解答に以下が含まれる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ESSの問題と概念について、適切な知識と理解を示すいくつかの証拠 ・質問の文脈に効果的にリンクした知識の記述 ・ESS専門用語の概ね適切な使用 ・必要に応じた関連する例の使用と、限定的な説明 ・ある程度のバランスを示した明確な分析 ・限られた証拠・論拠に基づく明確な判断・結論
7-9	解答に以下が含まれる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ESSの課題と概念に関する正確な知識と理解の十分な証拠 ・相互に、そして質問の文脈に効果的にリンクしている幅広い知識の記述 ・ESS専門用語の一貫した適切かつ正確な使用 ・必要に応じた適切でよく説明された例の効果的使用と、いくつかの独創性 ・徹底的で、バランスのとれた、洞察力のある分析 ・証拠や論拠に裏付けられ、批判的な考察を含む、明確な判断・結論

出典：International Baccalaureate(2015, p.76)を筆者翻訳

2) 大学等への進学におけるSTEM/STEAM学習や活動に対する評価

(1) 大学入学試験におけるSTEM/STEAMの扱い

DP全体を通してSTEM/STEAMの要素が含まれていると捉えた場合、各国によって取り扱いは異なるが、大学入学試験においてDPのスコアが活用されている。例えば、イギリスの場合、大学学士課程の入学手続きはUCAS(Universities and Colleges Admissions Service)と呼ばれる機関が一括して行っている(錦織, 2018)。UCASでは国内外の様々な資格を一元化したタリフ点(Tariff Points)という基準をもとに、入学資格の標準化を図っており、IBについてもUCASタリフ点が付与されており、国内の約150大学のうち105大学で受験資格として認められている(錦織, 2018)。また、アメリカの大学に入学するには出願期間内に志望理由やエッセイ、教師の推薦状、課外活動記録などの書類の他に、学校の成績表やSAT、ACTといった大学入試のための共通試験の点数、IBの予想点などを提出する(奥出, 2018)。IBは高校のカリキュラムとして最も難しいプログラムとして認知されている(奥出, 2018)。

(2) 大学への進学におけるSTEM/STEAMに関する高校での活動の実績等の扱い

DP全体を通してSTEM/STEAMの要素が含まれていると捉えた場合、その活動実績によってDPのスコアが加算されることは無い。また、各国における個別の活動の実績等の取扱いについては、他節を参照頂きたい。

3) 我が国の STEAM 等の教科等横断的な学習における評価への示唆

(1) 評価基準を用いた段階的な評価

オープンエンド型の課題では、評価基準を用いた段階的な評価が実施されており、どのような基準を満たすと特定のレベルに到達していると判断されるかが詳細に説明されている(国際バカロレア機構, 2015a)。そのため、生徒自身も到達すべき目標を把握し、学習に取り組むことができる。

(2) モデレーションによる評価の適正化

モデレーションを通して、校内の採点基準が一貫したものになるようにするだけでなく、全ての学校の採点結果が互いに一貫性のあるものとなる(国際バカロレア機構, 2017b)。我が国においても、ルーブリックの作成において、複数の評価者もしくは複数の評価チームが同じ作品例を評価し、その評定結果を比較・検討することによって、評価規準・基準についての共通理解を図り、解釈の仕方を調整する必要性が言われている(例えば、遠藤, 2015)、校内だけでなく、学校間においても基準の一貫性を目指す取組は特筆すべき点である。

3. STEM/STEAM 教育を進めるための教員支援の取組

1) 教員／学校への支援の例とその支援体制

IB では、専門職としての学びは、学校のサポートの下で行われる教師の継続的な努力として解釈され、「専門性を高める学びのコミュニティ」として捉えることが推奨されており、以下の特徴を持つことが期待されている(国際バカロレア機構, 2020)。

- ・ 「IB の使命」及び価値観と合致した学校の価値観及び使命が共有されている。
- ・ 改善に対して持続的かつ継続的に責任をもって取り組んでいる。
- ・ 協働の文化が実践に組み込まれている。互いに信頼し合い、挑戦し合うことが奨励され、また、教師は自身の実践方法をオープンな形で共有している。
- ・ 組織体制だけでなく学校文化を重視している。
- ・ 指導と学習に焦点を絞り、責任をもって取り組んでいる。
- ・ リーダーシップが学校のリーダーチームだけでなく教師にも共有及び分散されており、支援的な性質をもっている。学校に関わるすべての大人、そして生徒が、生涯にわたって学び続けることや「IB の学習者像」に責任をもって取り組み、模範を示している。学校全体が、改善に向けて継続的に現在の実践を振り返り、評価を行う「学習する組織」となっている。

また、IB は、学校及び教師の専門職としての学びを支援するため、以下のような教員研修の機会を提供している(国際バカロレア機構, 2020)。

- ・ DP をより良く理解し運営するために、教師及び学校管理職を支援するワークショップやカンファレンスなどのプログラム。
- ・ 4 種類の教員認定証の授与制度。
- ・ IB 会員向けの無料のすべての出版物が掲載されてあるウェブサイトである、プログ

ラム・リソース・センター。

- ・ 各地域組織における教員研修の機会。

このように、IBにおいては、IBや各地域、各学校において教員支援の取組が実施されていると言える。

2) 我が国の教員支援への示唆

「専門性を高める学びのコミュニティ」として学校を位置付けており、学び続ける教師や、教師の主体的な態度、協働的な教師の学びが目指されている。また、プログラム・リソース・センターのウェブサイトアクセスすることで、オンラインプラットフォームを活用した職能成長ができることも特筆すべき点である。

【註】

- 1) 芸術から1科目選ぶ代わりに、他のグループで2科目選択することもできる。
- 2) 科目として「工学」や「技術」は扱われていない。
- 3) 生物、化学、物理、コンピュータ科学、デザインテクノロジー、スポーツ・エクササイズ・健康科学、環境システム

【引用・参考文献】

- 遠藤貴広(2015). 学力評価の方法. 西岡加名恵・石井英真・田中耕治編, 新しい教育評価入門. 有斐閣コンパクト, pp.113-142.
- 福田誠治(2015). 国際バカロレアとこれからの大学入試改革. 垂紀書房.
- International Baccalaureate (2015). Environmental systems and societies guide. International Baccalaureate.
- 国際バカロレア機構(2015a). 「物理」指導の手引き. 国際バカロレア機構.
- 国際バカロレア機構(2015b). 「知の理論」(TOK)指導の手引き. 国際バカロレア機構.
- 国際バカロレア機構(2017a). 「課題論文」(EE)指導の手引き. 国際バカロレア機構.
- 国際バカロレア機構(2017b). ディプロマプログラム(DP)における評価の手順 2018年版. 国際バカロレア機構.
- 国際バカロレア機構(2020). DP:原則から実践へ. 国際バカロレア機構.
- 錦織嘉子(2018). イギリス: 公立学校における教育改革とIBディプロマの導入. 岩崎久美子編著, 国際バカロレアの挑戦 グローバル時代の世界標準プログラム. 明石書店, pp.41-72.
- 奥出桂子(2018). アメリカ: 公教育の質の保証について. 岩崎久美子編著, 国際バカロレアの挑戦 グローバル時代の世界標準プログラム. 明石書店, pp.73-90.

(高阪 将人)

第2節 我が国におけるSTEM/STEAM教育の推進に向けた教員支援の事例

本調査研究では、STEM/STEAM教育の推進に向けた教員支援に関して、国内の大学等が行う取組事例を三件収集し、特徴的な活動を整理した。

事例は以下のとおりである。

- ・静岡STEMアカデミー
- ・東京学芸大こども未来研究所 STEAM教育プロジェクト
- ・東京大学 生産技術研究所 次世代育成オフィス (ONG)

本報告の作成は事務局が行った。各事例については、主な実施担当者に内容の確認と取組の力点等に関する聞き取り（インタビュー）調査を実施した。聞き取り調査への参加及び連絡調整等への協力に対し、感謝申し上げたい。

聞き取り調査の実施日と調査協力者は、以下のとおりである。

聞き取り 実施日	事例	調査協力者	所属等
令和3年 9月16日	静岡STEMアカデミー	熊野善介	静岡大学教育学部 特任教授
令和3年 10月6日	東京学芸大こども未来研究所 STEAM教育プロジェクト	大谷忠	東京学芸大学大学院 教授 東京学芸大こども未来研究所 理事長
		金子嘉宏	東京学芸大学 教育インキュベーションセンター 教授 東京学芸大こども未来研究所 理事
		原口るみ	東京学芸大学大学院 特任准教授 東京学芸大こども未来研究所 専門研究員
令和3年 10月14日	東京大学生産技術研究所 次世代育成オフィス Office for the Next Generation (ONG)	大島まり	東京大学生産技術研究所 教授 次世代育成オフィス 室長
		川越至桜	東京大学生産技術研究所 准教授 次世代育成オフィス 室員
		中井紗織	東京大学生産技術研究所 学術専門職員 次世代育成オフィス 室員

事例 1

静岡 STEM アカデミー

静岡 STEM アカデミーは、2018 年に国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）の「ジュニアドクター育成塾」事業の支援を受けて発足した 5 年間のプログラムである。実施機関は静岡大学である。その目標は、科学的な活動や工学的な活動を埋め込んだ STEM 教育を展開しながら、児童生徒に自由研究を促し、研究活動にのめり込むことのできる人材育成を図ることである。創設の背景は以下であり、2020 年 11 月から発足した静岡大学 STEAM 教育研究所と 2021 年 6 月より特定非営利活動（NPO）法人が設立され、プログラムは JST からの支援終了後も継続されることが予定されている。

- 2012 年 フルブライトプログラムにより、静岡 STEM アカデミー実施主担当者となる研究者がアイオワ大学の客員研究員（Robert Yager 教授、科学教育センター）として 3 か月、米国における STEM 教育改革の調査を実施
- 2014 年 JST「次世代科学者養成プログラム」採択により、「静岡 STEM ジュニアプロジェクト」発足
- 2015 年 静岡大学の学長裁量経費による遂行
- 2016 年 JST「次世代科学者養成プログラム」採択
- 2017 年 静岡大学の学長裁量経費による遂行
- 2018 年 JST「ジュニアドクター育成塾」採択、「静岡 STEM アカデミー」発足
- 2020 年 静岡大学 STEAM 教育研究所 発足
- 2021 年 特定非営利活動法人「静岡 STEAM 教育推進センター」設立（内閣府認証）

静岡 STEM アカデミーでは、STAGE1.0、及び 1.5 として STEM 教材を使用した活動や児童生徒の自由研究を発展させる活動が、浜松、牧之原、静岡、三島等の教室で月 1 回程度展開される。その後に展開される STAGE2.0 では、静岡大学を始めとする専門研究機関において専門家の協力の下で、児童生徒が自由研究を発展させるという仕組みが取られている。2020 年度は、小学生・中学生合計 82 名の生徒の参加があり、そのうち 29 名が自由研究に関する賞を受賞した。

協力機関として、教育委員会（静岡県、静岡市、浜松市、三島市、沼津市、御前崎市、牧之原市）、学校（静岡県内の国公立私立小中学校、榛原高等学校、三島北高等学校）、科学館（静岡科学館る・く・る、浜松市防災学習センター、ディスカバリーパーク焼津天文館、藤枝市生涯学習センター、ふじのくに地球環境史ミュージアム、神奈川県立生命の星博物館）、浜松学院大学、公益財団法人山崎自然科学教育振興会といった数多くの機関が挙げられる。

実施機関である静岡大学のスタッフは静岡大学教員 6 名（専従者 2 名）と職員 4 名である。生徒の指導に当たるのは、スタッフであるシニアメンターと、スタッフとその他から

成るメンター及びサブメンターである。シニアメンター（1名）は、静岡大学教員であり、小学校校長と静岡科学館る・く・る館長の経験者である。メンターは、静岡大学教員（特任教授）、教育学部の修士及び博士課程の院生の一部が務め、サブメンターは、連携機関の中学校と高等学校の現職の教師（8名）や科学館館長・学芸員（6名）が務める。

静岡 STEM アカデミーの活動の特徴は、教員／学校支援の観点から、次の3点に整理できる。

1) 学校と大学・研究機関を繋ぐハブ拠点

シニアメンターを中心としたメンターらは、STAGE1.0 及び 1.5 では、受講者の自由研究指導を行うとともに、研究に関する個別の相談を受ける。STAGE2.0 では、指導を受ける日程調整や指導内容の記録作成を行い、受講者の疑問や要望を聞き、指導者（研究者）に伝えるという形で、受講生と研究者の間を繋ぐ。すなわち、静岡 STEM アカデミーは児童生徒が所属する学校と児童生徒が研究を行う大学・研究機関を繋ぐハブ拠点として機能する。シニアメンターは、長い教職経験に加えて、山崎自然科学教育振興会において児童生徒の研究評価や、静岡科学館る・く・るの館長として、児童生徒の探究活動の指導を行った経験がある。このような多様な経験は、学校と大学・専門機関の中継ぎを担う上で生かされる。

2) 教員養成機関・STEM リーダー教員育成機関

静岡 STEM アカデミーは、児童生徒を直接指導するメンターの役割を重要視し、メンターのスキルアップのためのメンター研修を多数開催している。2019年度は8回、2020年度は6回のメンター研修が行われた。メンター研修の形式は、STEM 教材を体験するワークショップ型のものや、STEM 学習の方法を学ぶ講話視聴型のものがある。講師は、ミネソタ大学 STEM 教育センター教授、静岡大学教員、大学院生（博士課程並びに修士課程）、シニアメンターなどが務める。また、特に生徒の活動に携わる経験の浅い教育学部の大学生や大学院生には、STAGE1.0 及び 1.5 における各活動前のシニアメンターの授業視聴や資料準備、活動中のシニアメンターとのやり取りを通して、児童生徒との関わり方や思考の発達段階について学ぶ機会を与える。これらの活動は、現職教員のメンターにとっては、STEM 教育が包含する新しい教育手法や概念を学び、現場で STEM 教育を牽引するリーダーとなるための研修の場として機能するとともに、教師志望の大学生・大学院生にとっては、STEM 教育（PBL 等）を取り入れた教授法を学習する場となっている。

3) STEM 教材の開発

静岡 STEM アカデミーは、風力発電機、MESH(SONY 製の光センサー等)、3D ペンなど多数の STEM 教材を導入および開発し、研修等で使用している。教材開発は、静岡 STEM アカデミー実施担当者、シニアメンターとメンターによる週1回程度の研究協議で行っている。そこでは、米国で開発された STEM 教材も参考にしつつ、日本の文脈に適応させて、独自の STEM 教材の開発を指向している。加えて、大学の研究教育活動に根差した

STEM 教材開発も行われている。静岡大学の講義「理科教育学演習 I と II」や STEM アカデミー実施主担当者の研究室における学部・修士卒業研究では、独自の日本型 STEM 学習教材を開発している (例えば、科学の祭典静岡大会に向けての教材の STEM 化, SDGs と STEM の融合教材, 糸電話教材の STEM 化, サイエンスジャーナルなどの科学的データを取得するソフトを使用した理科実験等)。さらに、博士課程の院生やメンターが開発した STEM 教材や研究論文 (英文・和文) が 30 本以上あり、それらの論文 (特に英文) が海外で多数引用されており、一程度の評価を受けている。このようにメンターらによる研究協議に加えて、大学の研究教育活動にも関連付けながら、STEM 教材が開発されている。

事例 2

東京学芸大こども未来研究所 STEAM 教育プロジェクト

東京学芸大こども未来研究所は、東京学芸大学の教育に関する実績を社会に発信する団体であり、2005年に設立された。2009年には特定非営利活動（NPO）法人として認証された。子供が健全に育つ環境の整備と学校内外の教育力の向上に寄与することを目的とする。活動は、①子供に関わる質の高い教育者（教育支援人材）を育成する人材育成、②子どもの遊びと学びを深めるコンテンツの開発、③ワークショップやイベントなどの企画・運営を通じた社会教育の三つを柱とする。活動の一つである STEAM 教育プロジェクトでは、体系的に STEAM 教育を推進することを目指し、共同研究、教材開発、教育普及支援、人材育成等を実施する。東京学芸大こども未来研究所の沿革は以下である。

- 2005年 おもちゃ王国と東京学芸大学が『学芸大こども未来プロジェクト』発足
- 2006年 東京学芸大学内にこどもモードハウス竣工
- 2007年 三市（小金井市、小平市、国分寺市）連携講座開始（16講座）
- 2007年 学生ボランティア「こどもモード」の組織化
- 2008年 文部科学省高齢者教育振興のため委託先として「教育サポーター推進事業」開始
戦略的大学連携支援事業『6大学連携教育支援人材事業』が文部科学省より採択
- 2009年 特定非営利活動法人化（内閣府認証）
- 2013年 STEM 教育プロジェクト発足
- 2021年 STEAM 教育プロジェクトに改名

STEAM 教育プロジェクト（以下、「プロジェクト」）の協力機関として、大学（東京学芸大学、立正大学、中国学園大学）、自治体（東京都、多摩市、小金井市、墨田区、世田谷区、印西市、延岡市）、企業（おもちゃ王国、サンヨープレジャー、ヴィットハート、おもちゃ総合研究所、アルー、ニチイ学館、アクセンチュア、ワオ・コーポレーション、アマゾンウェブサービス（AWS）、日本産業教育振興協同組合、ナリカ）などが挙げられる。大学外の企業、地域、行政と連携し、大学が研究開発したものを継続的に運用する組織である。

プロジェクトに関わるメンバーは専門研究員（2名）、研究員（1名）、STEAM インストラクター（3名）、事務職員（2名）といった名 8 の職員の他、アドバイザリーボードメンバー、学術フェロー、教育支援フェロー等として、東京学芸大学教員 3 名、その他の大学（中国学園大学、立正大学、帝京平成大学、相愛大学、明治学院大学、國學院大學）教員 6 名、小中高等学校教師 3 名、企業代表等 6 名である。

東京学芸大こども未来研究所 STEAM 教育プロジェクトの活動の特徴は、教員／学校支援の観点から、次の3点に整理できる。

1) 企業と大学・研究機関を繋ぐハブ拠点

こども未来研究所は、STEAM 教育の「社会に開かれた教育」という側面に着目し、企業と協力することで STEAM 教材の開発を多数行ってきた。なお、こども未来研究所における STEM と STEAM の用語については、A（芸術やリベラルアーツ）の視点からありたい姿を創造する場合には STEAM を用い、E の視点からあるべき姿を創造する場合には STEM を用いている。こども未来研究所は、例えば、小学生向け教材としては、協力企業のアクセントとデータサイエンスを軸とした STEM 教材を共同開発した。また、台湾の Gigo 社製のブロックおもちゃを活用したプログラミング教材「プログラミング未来」を協力企業と共同開発した。中学生向け教材では、技術科の学習活動に対応できる STEM 教材「Tech 未来」を協力企業と共同開発した(2021年12月現在373校で導入)。また、高校生の STEAM 教育推進のために「STEAM 教育のすすめ」といった啓発資料を協力企業とまとめた。このように教材の開発・流通・販売における障壁から開発協力が限定的となりがちな教員養成大学と多数の企業を繋ぎ、産学連携の要となり、新しい教材やパッケージを生み出す。

2) STEAM リーダー教員養成機関・STEAM インストラクター養成機関

こども未来研究所では、経済産業省の未来の教室実証事業である、現職の教職員向け STEAM 教育研修の開発に参加した。この経験を生かし、2020 年度には東京学芸大学における教員免許更新講習として STEAM 教員研修を行うなど、更に大規模な講習会を計画した。このような教員向け研修を通して、STEAM 教育における教員リーダーを育成している。また、教師が1)で開発した教材を授業で活用するための研修を行い、STEAM 教材を使える教師の育成を進めている。さらに、STEAM 教育のすそ野を広げるために、STEAM 教育を支援する人材育成のための一般市民向け講座も実施するなど、一般市民における STEAM インストラクター養成機関としての側面を持つ。例えばプログラミングによりおもちゃを作り課題解決する「STEM QUEST スタジアム」や Codolabo Studio で開催する STEM 教室における STEM インストラクター講座が挙げられる。

3) 教育現場への STEAM 教材の導入推進機関

こども未来研究所は、教育現場に STEAM 教育を円滑に導入するための活動を行う。まず国立大学附属学校への教材導入を進めている。他にも、開発した STEAM 教材を使用した活用力コンテストを生徒や教師、一般市民向けに実施する(2021年度64作品応募)など、教育現場への STEAM 教材の導入に取り組んできた。2020年には協力企業の支援を受け、14校の学校へ STEAM 教材を贈呈し、使用方法に関する研修を行った。STEAM 教育のコンテンツ開発とともに、現場への導入のための取組を行っている。

事例 3

東京大学生産技術研究所 次世代育成オフィス

Office for the Next Generation (ONG)

東京大学生産技術研究所は、15 大学院、10 学部、11 附置研究所、全学センター等から構成される東京大学の附置研究所であり、120 以上の研究室、1000 名以上の研究者が研究する国内最大規模の大学附属研究所である。次世代育成オフィスは、生産技術研究所が産業界と連携しながら次世代を担うイノベーティブな人材育成のための教育・アウトリーチ活動を行う上での、新しいモデルの創出及び推進を目的として 2011 年に生産技術研究所に設置された機関である。次世代育成オフィスの沿革は以下である。

- 1949 年 東京大学生産技術研究所 設立
- 1997 年 研究者によるアウトリーチ活動開始
- 2009 年 JST 次世代人材育成事業「未来の科学者養成講座」採択、実施機関
- 2011 年 次世代育成オフィス Office for the Next Generation (ONG) 設置
- 2019 年 JST 次世代人材育成事業「グローバルサイエンスキャンパス」採択、実施機関
- 2020 年 ONG STEAM STREAM (STEAM 教育に関連した映像教材を集めたサイト) 公開
経済産業省 STEAM ライブラリー構築事業 参画

協力機関としては、まず農学生命科学研究科などの東京大学内の研究科・研究所がある。ワークショップ開発では、日本航空株式会社 (JAL) や東京地下鉄株式会社との連携、国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) の次世代人材育成事業「グローバルサイエンスキャンパス」では、教育委員会 (東京都、神奈川県、横浜市、他 9 県、2 市) や企業 (キャタピラージャパン合同会社、株式会社関水金属(KATO)、日産自動車株式会社、日本アイ・ビー・エム株式会社、日本航空株式会社(JAL)、日本精工株式会社、JX 金属株式会社、東京地下鉄株式会社等) との連携がある。経済産業省 STEAM ライブラリーではブリタニカ・ジャパンとの連携、フォーラム等では経済産業省、文部科学省との連携がある。

室員である東京大学教員 7 名、職員 6 名が、生産技術研究所の 120 名以上の教員の事業への参画を取りまとめている。東京大学全体の研究者が参画するグローバルサイエンスキャンパスでは、主に教員 2 名が教育プログラムの設計を担った。また、生産技術研究所の大学院生・教職員の有志を中心とした「東大生研による Scientists for the Next Generation! (次世代の科学者を)」(SNG) や教員による研究グループ「循環する科学技術」(旧「知の社会浸透」ユニット ; Knowledge Dissemination Unit (KDU)) との連携がある。

次世代育成オフィスの活動の特徴は、教員／学校支援の観点から、次の3点に整理できる。

1) 学校と大学・研究機関を繋ぐハブ拠点

次世代育成オフィスは、学校の要請をもとに、希望に即した授業が展開できる教員を選定し、各学校への大学教員の出張授業や受入授業などを行う。出張授業は1997年より40回以上実施してきたが、次世代育成オフィスが設立された2011年以降は、全国22都道府県の中学校・高等学校や中等教育学校で115回の出張授業の実績がある。また、グローバルサイエンスキャンパスでは、教育プログラムの設計や実施を行っている。1期生として全国から集まった40名の中学生・高校生は、研究を始める前に研究に必要な基礎的な授業（数学、研究とは何か等）を受けた上で、各自の研究計画を立案し、発表会を行った。さらに選抜された15名は、東京大学の研究室で学校での学習内容を超えた研究に取り組んだ。授業や発表会の評価、研究指導は東京大学教員が行い、学生がTAやメンターとなった。次世代育成オフィスは、生徒と大学教員や学生の間を繋ぐ役割を担う。

2) 新規教材開発とその貸出やホームページでの掲載

次世代育成オフィスでは、独自の教材を開発し、学校現場への教材貸出や、ホームページへの教材掲載を行っている。経済産業省STEAMライブラリーにおいて、コンテンツ作成に参画し、15のコンテンツ（日本語版・英語版で計30コンテンツ）を作成した。貸出用教材は、飛行機の翼の形をデザインし、翼の周りの空気の流れをシミュレーションし、「力のつり合い」など物理の内容を学ぶ教材、金属などの材料を調べる教材、車輪のしくみを調べる教材の3種類があり、ワークシートや授業案が付されている。また、Webサイト「ONG STEAM STREAM」を開設し、「最先端の科学技術」をテーマにした動画や学習コンテンツ21種類を掲載している。

3) 先端技術や工学研究を知る機会の提供

次世代育成オフィスは企業と共に中学生・高校生向けに、工学研究・最先端科学技術の魅力を伝えるONG出張授業やワークショップを開催してきた。例えば、生徒が運航管理者の模擬体験などの活動を行うワークショップ（2021年度は中学生68名、高校生59名参加）や生徒が自動車研究開発・実証現場からの実演デモ中継に参加するワークショップ（2020年度は四つの高校から26名参加）を協力企業と共に作り上げた。また、女子中学生・高校生への理系進路選択支援に関するセミナーや、STEAM領域への女性進出を図るためのセミナーを研究者と実施した。このように、次世代育成オフィスでは、本物を体験する機会を提供するとともに、STEAMに関するキャリア教育にもつながる進路選択支援やロールモデルの提示を行っている。

まとめ～我が国における STEM/STEAM の実践に向けた教員支援に向けて～

事例 1 から事例 3 の活動において、共通して見られる特徴をまとめ、我が国で STEM/STEAM 教育を進めるための教員支援に関する示唆を得る。

まず、いずれの事例においても新規の教材・パッケージの開発が行われている。事例 1 では、先行して STEM/STEAM 教育を行っている米国の手法を設計上の参考とし、事例 2 では、開発教材の学校現場への円滑な導入を重視し、教員研修やコンテストなどの工夫が見られる。事例 3 では、開発教材をウェブサイト上で公開するなど、全国からの教材へのアクセスを容易にすることを実現している。このように根拠のある有用な教材を開発し、我が国全体で共有できるシステムを構築、運営すること、活用法の研修や指導案など、教材の活用の手助けを行うことが求められていると言える。

次に、学校と研究機関、企業、科学館といった機関同士の中継ぎの機能がある。このような中継ぎ機関は全国的に乏しく、地域ぐるみで学校を支えるために、中継ぎ機関を全国的に構築することは急務であると言える。事例 1 では、教育現場を知る教師や校長経験者、事例 2 では企業勤務経験者、事例 3 では最先端の研究をしている研究者が中継ぎを行っていた。中継ぎを担う専門機関には、繋ぐ相手先の事情に精通する者が必要であると言える。

また、STEAM 教師や STEAM インストラクター養成が共通して行われていた。領域を横断した学びの実現のため、教員養成を担う大学において、学科の授業内に STEAM の要素を導入すること、各教育委員会が主催する現職教員向けの研修において、STEAM 教育に係る要素を導入することが求められると言える。

【謝辞】

静岡 STEM アカデミー実施主担当者である静岡大学教育学部熊野善介特任教授には、静岡 STEM アカデミーによる教員／学校への支援の例とその支援体制に係る原稿（案）についてご確認をいただき、加えて貴重な議論の機会をいただきました。また、東京学芸大こども未来研究所理事長である東京学芸大学大学院大谷忠教授、理事である同大学教育インキュベーションセンター金子嘉宏教授、専門研究員である東京学芸大学大学院原口るみ特任准教授には、東京学芸大こども未来研究所 STEAM 教育プロジェクトによる教員／学校への支援の例とその支援体制に係る原稿（案）についてご確認をいただき、加えて貴重な議論の機会をいただきました。そして東京大学生産技術研究所次世代育成オフィス室長である大島まり教授、室員である川越至桜准教授と学術専門職員である中井紗織様には、次世代育成オフィスによる教員／学校への支援の例とその支援体制に係る原稿（案）についてご確認をいただき、加えて貴重な議論の機会をいただきました。この場をお借りして心より感謝申し上げます。

【引用・参考文献】

- 柏原寛, 大谷忠, 俵聡子, 黄川田勇太, 金子嘉宏, 杉森伸吉, 鉄矢悦朗, 松田恵示(2015) 技術科教材の開発を通じた産学連携による関係構築と課題, 東京学芸大学紀要. 総合教育科学系, 66(1), 211-219.
- 木村優里, 原口るみ, 後藤田洋介, 吉原久美子, 柏原寛, 大谷忠, 金子嘉宏(2017) 民間教育機関における STEM 教育推進のための教材開発と産学連携の取り組み, 東京学芸大学紀要, 自然科学系, 69, 249-256.
- 熊野善介(2021) 静岡 STEM アカデミー 令和2年度ジュニアドクター育成塾 報告書, Retrieved March 6, 2022, from <http://hdl.handle.net/10297/00028222>
- 熊野善介(2020) 静岡 STEM アカデミー 令和元年度ジュニアドクター育成塾 報告書, Retrieved March 6, 2022, from <http://hdl.handle.net/10297/00027418>
- 経済産業省 STEAM ライブラリー ver.1, Retrieved March 6, 2022, from <https://www.steam-library.go.jp/>
- こども未来研究所 STEAM 教育プロジェクト, Retrieved March 6, 2022, from <http://steam.codomode.org/>
- 静岡大学熊野研究室(2017)静岡 STEM アカデミー報告, Retrieved March 6, 2022, from http://edykuma12.ed.shizuoka.ac.jp/shizuoka_stem_academy/
- 東京大学生産技術研究所次世代育成オフィス 2020 年度, 2019 年度, 2018 年度 活動報告書.
- 東京大学生産技術研究所 次世代育成オフィスホームページ, Retrieved March 6, 2022, from <https://ong.iis.u-tokyo.ac.jp/>
- JST グローバルサイエンスキャンパス東京大学企画: イノベーションを創出するグローバル科学技術人材の育成プログラム, Retrieved March 6, 2022, from https://www.jst.go.jp/cpse/gsc/about/h31_gaiyou/h31_gaiyou_tokyo.pdf

(小坂 那緒子)

令和3年度 プロジェクト研究調査研究報告書

初等中等教育－048

学校における教育課程編成の実証的研究
報告書4

諸外国の先進的な科学教育に関する基礎的研究
～科学的探究と STEM/STEAM を中心に～

令和4（2022）年3月 第1刷発行

研究代表者 鈴木 敏之
（国立教育政策研究所 教育課程研究センター長）

発行者 国立教育政策研究所

住 所 100-8951 東京都千代田区霞が関3-2-2
