

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No.

26

October

2019

特集

STEM教育入門 I



Contents

表紙裏

巻頭言

SDGs と教育

東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授 味埜 俊

特集 | STEM 教育入門 I

- 2 **I** STEM 教育が目指すもの
～ STEM 教育のこれまでとこれから～
NPO 法人 CANVAS 理事長／慶應義塾大学 教授 石戸 奈々子
- 7 **II** 海外の STEM/STEAM 教育
教育テスト研究センター 連携研究員 谷内 正裕
小田 理代
- 12 **III** STEM 教育と新学習指導要領
日本 STEM 教育学会 会長 新井 健一

巻頭言

Kantougen



東京大学大学院新領域創成科学研究科
教授

味埜 俊 / みの たかし

1954 年東京都生まれ。1978 年東京大学工学部卒業，83 年同博士課程修了（工学博士）。1983 年東京大学工学部助手，以降，同講師，准教授，教授を経て 1999 年から現職。この間，タイ・アジア工科大学院，スウェーデン・チャルマルズ大学，オランダ・デルフト工科大学などで教員・研究員。排水処理に関わる微生物生態学を専門とし，微生物による排水からのリン除去の原理解明，生物学的排水処理の数学モデル構築，生物学的排水処理の分子生物学的解析などを手がけた。近年は，新領域創成科学研究科に「サステナビリティ学グローバルリーダー養成大学院プログラム・修士／博士課程」を設置するときの責任者を務め，日本の大学院レベルのサステナビリティ教育を牽引している。

17 連載 | ヒトの生物学を教えよう 第 15 回（最終回）

ゲノム編集とこれからの生物学

三田国際学園中学校・高等学校 教諭 大野 智久

20 連載 | 統計の見方・読み方・使い方 第 3 回

仮説検定の考え方 ～人類史の検証～

慶應義塾大学大学院健康マネジメント科 教授 渡辺 美智子

23 連載 | 物理法則の科学史 第 3 回

振り子の等時性

国立科学博物館理工学研究部 研究員 有賀 暢迪

26 教育に新しい風を |

細く長いこの道

福岡市民生事業連盟 統括施設長 植木 とみ子

28 広場 | 地域教育で活躍する人々 第 25 回

備前まなび塾+（プラス）の 学習支援をして

元備前市教育委員会 教育長／
備前まなび塾+学習支援者 土山 球一

裏表紙

知られざる女性数学者の素顔 | 第 6 回

ソフィ・ジェルマン

～ Nothing Stopped Sophie ～

サイエンスナビゲーター® 桜井 進

SDGsと教育

最近SDGs(エスディー・ジーズ)という言葉を目にする機会が増えたと思う。SDGsとはSustainable Development Goalsの略で、「持続可能な開発目標」などと訳される。2015年に国連で採択され、持続可能な社会の構築のために2030年までに実現を目指す17の目標(ゴール)を定めている。この17のゴールとしては、貧困撲滅、飢餓ゼロ、公平な教育機会、ジェンダーの平等、安全な水とトイレ、クリーンエネルギー、雇用機会と経済成長、インフラ整備と技術革新、人と国の平等、持続可能な都市づくり、持続可能な生産と消費、気候変動対策、海洋資源の保全と開発、陸上生態系の保全と利用、平和と公正、そして、パートナーシップの構築が掲げられている。さらに「No one left behind.(誰一人取り残さない)」という基本理念を定めることにより、世界中の誰もが開発から取り残されないようにすることを求め、また世界共通の目標として誰もが関わるべき今日の人類の課題を網羅しようとしている。日本政府も、また多くの企業も、SDGsの普及・啓発に取り組み始めた。

さて、このSDGsに具体的に取組もうとすると、すぐにいくつかの壁に突き当たる。まず、SDGsに関わる具体的な課題は見かけ上は17のゴールのどれかに分類されるとしても、実はその背景に複雑な状況が隠れているのが常である。ある課題(例えば、食糧問題あるいはエネルギー問題)に対処するために有効な革新的技術があったとしても、それを使う側の社会が経済的にその技術を受け入れることができなかったり、文化的に相容れなかったり、さらにその技術を使いこなすだけの成熟度がその社会に無かったりすると、どんなに優秀な技術であっても無いに等しいことになる。また、貧困とか飢餓とか、主として途上国のことと思われるゴールは日本からは遠く離れた所で起こっている問題であり、自分自身の課題として考えにくいという状況が生じる。しかし、これらが日本と無関係ではないことは少し想像力を働かせると見えてくる。例えば、バリューチェーンやサプライチェーンで繋がっている途上国で、劣悪な労働環境や理不尽な低賃金の上に成り立つシステムに日本が仮に依存していたとすると、そのようなシステムは倫理的に認めるべきではないであろう。

つまり、現代社会が直面するさまざまな課題を理解し対応策を探ろうとするときに、自分が本来持っている視点だけではなく、全く違う立場からの多様な視点を見つけられるか、つまり多様なフレーミングを取り入れることができるかが問われているということになる。そして、そのような能力をもつ人材を養成する使命を持っているのが教育だと思う。

私は、これまで20年間、「サステイナビリティ」を主要なテーマに掲げた教育プログラムの設計・運営・評価に関わってきた。2週間程度のサマースクールから始めて、現在は「サステイナビリティ学」の修士・博士の学位を授与する正規の大学院プログラムのコーディネータを務めている。そこでの教育において重視していることの 하나가、特定の文化の中で育ち個別の専門性の中で教育を受けてきたある個人に対して、どのようにして多様な見方を受け入れる態度を身につけさせるか、多様なフレーミングを身につけさせるかということである。この大学院プログラムには世界中のさまざまな国から、異なる専門分野出身の学生が集まってくる。そのような文化的にも学問領域的にも極めて多様な学生集団を作り、その中で互いに切磋琢磨させることは多様性の理解において重要な意味を持つであろう。では、具体的に彼らにどのように切磋琢磨させれば良いのであろうか。

自治体・企業・学校などがSDGsへの取り組みを紹介している記事をよく目にする。自分たちの活動がSDGsのどのゴールに対してどのような貢献をしているかが書かれているものが多い。もちろん、そのこと自体が悪いわけではないが、ここで思考停止してしまっただけでは自分たちのやっていることは何も変わらないのにSDGsに貢献しているのだという自己満足だけで終わってしまうことになる。自分のやっている活動を出発点にして、SDGsの多様なゴールとの結びつきを幅広く探してみよう。そうすると、今まで気づかなかったさまざまな事柄同士の繋がりが見えてきて、新しいフレームの取り方が見つかるかもしれない。そうやって見つけた方向に一步を踏み出して見ると、何か新しい行動に繋がることもあるだろう。そんなことを考えながら多様な学生たちとサステイナビリティに関わる課題に取り組んでいる。



I STEM教育が目指すもの
～STEM教育のこれまでとこれから～

NPO法人CANVAS理事長 慶應義塾大学教授

石戸 奈々子 / いしど ななこ

東京大学工学部卒業後、マサチューセッツ工科大学メディアラボ客員研究員を経て、NPO 法人 CANVAS、株式会社デジタルえほん、一般社団法人超教育協会等を設立、代表に就任。慶應義塾大学教授。総務省情報通信審議会委員など省庁の委員多数。NHK 中央放送番組審議会委員等を兼任。政策・メディア博士。著書に『プログラミング教育ってなに？親が知りたい45 のギモン』、『子どもの創造力スイッチ！』、『デジタル教育宣言』など。



1 ◆ 社会の変化

新しい技術の発明は社会を変化させてきた。18 世紀末の蒸気機関車の発明は第1次産業革命を起こし、世界に機械化、工業化の波を起こした。19 世紀後半には電力を用いた大量生産をもたらす第2次産業革命が、そして 20 世紀後半には、コンピュータ技術の発達により自動化を促す第3次産業革命が起こった。そしていま、AI、IoT 等の技術が牽引する第4次産業革命を迎えようとしている。これは、狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続く第5の文明刷新「Society 5.0」でもあるとされている。

技術の進化は、これからを生きるにあたり必要とされる力に変化をもたらす。それに伴い、学びの場も変化せざるを得ない。これまでの教育は、より多くの知識を得ることに評価の力点が置かれていた。均一化された知識を身につけた人材が求められるキャッチアップ型の工業型社会には効果的だった。しかし、経済がグローバル化し、大量の情報が国境を越えて行き交う情報社会になると、たとえ多くの知識を得たとしても、それはすぐに陳腐化してしまう。社会の構造が大きく変化する中で、情報技術を使いこなす、世界中の多様な価値観の人と協働し、新しい価値を創造する力が今まで以上に必要となった。

30 年間続いた「平成」は、情報技術の著しい発展によってより便利で快適な時代へと変貌を遂げた。第3次産業革命の時代だった。同時に、さまざまな秩序が崩れ、「いい学校」、「いい会社」という考えも持続性が失われた。すでに、国際間競争の激化や産業構造の変化は、新卒一括採用、年功序列、終身

雇用制度といったこれまでの日本型雇用システムの継続を難しくしている。しかしながら、これまでは「ムーアの法則」に代表されるように、変化は早いが法則がある、つまり未来が見通せる時代であった。

令和への改元とともに第4次産業革命、Society 5.0を迎えようとしている。これは、見通しのきかない、法則のない、変化に次ぐ変化の時代である。産業に留まらず社会・文化・暮らしの全場面に変革をもたらさる技術発展を前に、世界中で、これからの新しい時代をより良く生き、より良い社会にしていくなめに求められる資質・能力、それを育む学習環境について議論が改めて進んでいる。OECD は、今の時代を「VUCA (Volatility『不安定』, Uncertainty『不確実』, Complexity『複雑』, Ambiguity『曖昧』)」の時代と表現し、その時代において必要とされるコンピテンシーとして「変革を起こす力」を掲げている。

筆者は、予測できない未来を生きる子どもたちに求められるのは「変化に対応する力」だと考える。それは、答えが決まった提示される問題を効率的に解く力だけではなく、大量の情報の中から必要な情報を取捨選択し、自ら課題を設計する力、生涯に渡り学習し続ける力であると言える。

そして、その変革をもたらすのは言うまでもなく科学技術である。15 年に渡り、70 か国以上の世界の経営層を対象とした大規模調査「IBM グローバル経営層スタディ」によると、経営者は自社に影響を与える外部要因として 2012 年以降テクノロジーを第一位に挙げている (IBM, 2016)¹⁾。

そして、テクノロジーの影響は今後ますます大きくなると言える。1997 年から 90 か国以上の世界の CEO を対象として、世

界最大級の会計事務所であるPwCが実施してきた意識調査によると約64%のCEOがAIが世の中に与える影響はインターネット革命よりも大きいとしている(PwC, 2019)²⁾。

技術革新は社会を大きく変革させると同時に、雇用環境の変化ももたらす。ニューヨーク市立大学のキャシー・デビッドソン氏は、「子どもたち65%は将来、今は存在していない職業に就く」とし、オックスフォード大学のマイケル・オズボーン氏が発表した論文「雇用の未来」では、コンピュータによる自動化が進み、約半数の仕事が機械に代替されると予測されている。

2019年の世界時価総額ランキングでは上位10位のうちIT・通信企業が6社入っている。それは、多くの仕事なくなる一方で、新たな仕事が多数生まれることを意味する。これまでもなくなった職業の多くは新しい技術によって自動化され、代替されてきた。今後、あらゆる仕事が科学技術、特に先端IT技術とは無縁でいられない。

現に、私たちはすでに、AI、ロボット、ドローン、ビッグデータ、フィンテック、エデュテック、アグリテックなどSTEM(Science「科学」、Technology「技術」、Engineering「工学」、Mathematics「数学」の頭文字をとった言葉)に囲まれて生きている。すべての産業領域においてSTEM関連知識が必要とされる。そういった観点からSTEMの力は今まで以上に重要となる。

科学技術の発展は、社会及び経済発展の原動力であり、高度科学技術人材の育成と、すべての国民の基本的STEMリテラシーの向上は急務である。

2 ◆ 基礎教養としてのSTEMリテラシー

近年、STEM教育を推進する動きが世界中で加速している。STEM教育を理数系教育と捉えるならば、産業革命以降、労働人材確保とすべての国民の基礎リテラシーとして、常に重視されていた教育であり、今に始まったことではない。1957年、ソビエト連邦による人類初の人工衛星「スプートニク1号」の打ち上げに成功したことは、アメリカをはじめとする西側諸国に大きな衝撃を与えた。そのスプートニク・ショック以降、アメリカは科学技術教育に力を注ぐこととなる。日本もその影響を受け、1971年の学習指導要領改訂においては理数教育の充実が図られた。世界のSTEM教育を

先導するアメリカでは、2007年に米国競争力法が制定され、STEM教育拡充が掲げられたことがきっかけとなり、推進されることとなる。それは、スプートニク・ショック以来の科学教育大改革であるとされる。

今改めてSTEM教育に大きな注目が集まっている理由は第3次産業革命による「情報化」が定着したことと、第4次産業革命による「AI・IoT化」が始まったこと、その相乗であろう。情報化社会を生き抜く21世紀型スキルが強く求められることに加え、身の回りすべてがAIやIoTで運用・制御される世の中を展望して、誰もが基礎教養としてSTEMリテラシーを備えるべき必要性が格段に高まった。

アメリカが、2015年STEM教育法成立にあたりSTEM教育の定義を拡張し、コンピュータサイエンスを含めることを明示したこともそれを象徴していると言える。世界中でプログラミング教育重視の運動が起きた時期とSTEM教育ムーブメントの時期も一致していると言えるであろう。また、21世紀スキルの普及の時期とも関連が見られ、21世紀型スキルを踏まえたSTEM教育改革でもある。

つまり、STEM教育とは、情報化社会・知識基盤社会を生き抜く21世紀型スキルを育む学びと言える。そのため、イノベーションを創出するトップ人材、全産業のSTEM化に対応できるミドル人材、そして全国民のSTEMリテラシーの強化の総合的な施策が重要となる。

トップ層の対応としては、経済発展を支え国際競争力を発揮するための革新的なビジネスを創出するイノベーターが求められる。そのためには、経営者層のリテラシー強化、世界最先端の教育・研究機関整備、起業家創出等が必要とされる。

ミドル層の充実により全産業のSTEM化を強化するためには、リカレント教育、学び直しとしてのリテラシー強化、先端的STEM教育学部の強化が必要とされる。

Society 5.0時代を迎えるにあたり、すべての国民がSTEMの知識・スキルを身につけ、社会的課題に取り組む基礎教養としてのリテラシー強化としては、幼稚園小中高校段階からの教育強化や大学での全学的なSTEM分野における教育強化、またシニアなども含めた地域でのSTEM教育学習の場の強化が必要とされる。

すべての国民が「変化に対応する力」を得るためのSTEM教育なのである。

3 ◆ STEM教育とプログラミング教育

今議論となっている STEM 教育は従来の理数教育と何が違うのか？

STEM の各学問分野を超えて学際的に学ぶなかで、科学、技術、工学、数学の理解を深め、それら知識・技能を統合し活用する力を育み、課題解決力・批判的思考力・創造力といった 21 世紀スキルを育むのが Society5.0 時代の STEM 教育であると言える。

それが故に現在世界で議論されている STEM 教育とは、単に知識を獲得するだけではなく、「教科横断的・統合的な学び」であり、「課題解決型・プロジェクト型の学び」であり、「社会・世界と繋がった実践的な学び」という特徴が生まれてくる。

STEM 教育に関する取材や質問を受ける機会が増しているが、日本においては STEM 教育と言いながらもプログラミング教育の内容が聞かれることが多い。STEM 教育はプログラミング教育を内包するものであり、合致するものではないが、Society5.0 時代の STEM 教育の特徴は情報技術であるため、プログラミング教育ムーブメントと STEM 教育ムーブメントは密接な関係があると考えられる。特に日本のプログラミング教育の必修化は STEM 的であると考えられる。

プログラミング教育の必修化の背景は、AI、IoT 等の技術が牽引する第 5 の文明刷新「Society5.0」は、産業に留まらず社会・文化・暮らしの全場面に変革をもたらさうものであるからこそ、すべての人にとって重要な教育問題として議論されるようになったということが挙げられる。コンピュータがあらゆるモノ、分野、環境に溶け込み、定着し、私たちの生活・文化・社会・経済のあらゆる場面を支えているからこそ、プログラミングがすべての人に必要な基礎教養となったのだ。プログラミングを STEM に言い換えても同じことが言えるだろう。

そして、プログラミング教育は、体験を通じてコンピュータの特性を理解し、身近な生活でコンピュータが活用されていることを知り、問題の解決には必要な論理的・創造的な思考方法を育み、コンピュータをよりよい人生や社会づくりに生かそうとする態度を身につけることを目的としている。またプログラミングを学ぶ新しい教科ができるのではなく、各教科の単元の中にプログラミングが盛り込まれることで教科横断的なカリキュラムづくりが学校に求められている。教科横断的に作りながら

学習することで、断片的な知識を統合し活用する力を育むとともに、各教科科目の理解を深めることを目指している。また社会と連携・協働することによってプログラミング教育を通じた「社会に開かれた教育課程」が期待されている。

前述した「STEM 分野の知識・技能」、「それらを活用する力」、「論理的思考力・創造力といった 21 世紀型スキル」といった STEM 教育が育む力、そのための学びの手段としての「教科横断的・統合的」、「プロジェクト型」、「社会の文脈の中での実践的」といった共通項が見いだせるのではなかろうか。

諸外国の STEM 教育の推進においては、産学官連携、公教育と社会教育の連携が重視されていることが多く、プログラミング教育を通じた社会に開かれた教育課程を標榜している点と類似が見られる。

4 ◆ 世界の現状

STEM の動きを先導したのは米国である。STEM という言葉は、戦後間もなく設立され早くから科学教育の充実に取り組んできた国立科学財団 (NSF) から生まれたとされている。当初は SMET と言われ、1990 年代から科学リテラシー教育の底上げを目的に注目をされていたが、2001 年に呼称を STEM に変更。オバマ大統領以降、STEM としてさらに注目を集めることとなる。

2009 年 4 月オバマ大統領就任間もない頃、米国科学アカデミーの演説の中で、STEM 教育の重要性を強調し、「革新への教育」キャンペーンがスタートすることとなる。

2013 年には STEM 教育 5 年計画を発表し、2020 年までに初等・中等教育の優れた STEM 分野の教師を 10 万人養成、今後 10 年間で STEM 分野の大学卒業生を 100 万人増加等の具体的な目標を示し、年間 30 億ドルの予算を投じている。

さらに 2015 年には STEM 教育法が成立。前述の通り、STEM 教育の定義にコンピュータサイエンスを含めた。その後、2017 年に STEM 教育にアートやデザインを統合する法改正がなされ、STEM 法は STEAM 法に変化した。2013 年に MIT メディアラボ副所長、ロードアイランド・スクール・オブ・デザイン学長を歴任したジョン・マエダは「STEM から STEAM へ」を提唱してきたことが影響を与えている。

EU もまた、1990 年代から EU 全体レベルの科学教育の底上げを推進してきた。大学における STEM 関連分野の専攻や、

STEM 関連職の選択を奨励することを目的に STEM アクションプランが立てられた。EU における STEM プラットフォームである EU STEM Coalition を創設し、各国の STEM 教育のベストプラクティスの共有や産官学連携による加盟国の STEM 戦略構築の支援を行っている (EU, 2012) ^{*3}。

中国では、政府教育部が STEM 教育について 2015 年に初めて言及し、2016 年には「教育信息化第 13 回 5 年計画」で科目横断学習 (STEM 教育) を促進する方針を正式に発表。2017 年「義務教育小学校科学課程標準」改訂にあたって、STEM 教育の実践を義務局課程内に盛り込むことが決定したという (経済産業省, 2018) ^{*4}。中国は AI の教育利用を国家戦略に据えており、STEM 市場規模も急増中である。

シンガポールの STEM 教育は、シンガポール最大の科学館であるサイエンスセンターが中心になって推進している。サイエンスセンターは、シンガポール政府の協力のもと、中学校のすべての生徒たちに STEM プログラムを提供するための組織「STEM Inc.」を 2014 年に立ち上げ、小学校にも広がりつつあるという。教科ごとの縦割り学習ではなく、体験型学習が重視されており、社会全体での使われ方に即したカテゴリーの中で学習することになっている (文部科学省, 2018) ^{*5}。

どの国の政策にも共通しているのは、STEM 関連産業が、今後の国際競争力、経済的繁栄に密接であるという考え方。そしてまた STEM 産業の発展を見越した STEM 人材の育成が重要であるという認識も一致している。

5 ◆ 日本の今

日本も IT 人材不足の課題が掲げられて久しい。経済産業省は先端的な情報技術を担う人材が 2030 年に 55 万人不足する恐れがあるとの調査結果を示した (経済産業省, 2019) ^{*6}。

2019 年 3 月 29 日に政府は AI 戦略を発表した。AI 関連の人材の育成・確保が緊急的課題であるとし、STEAM 教育などの新たな手法の導入、実社会の課題解決的な学習を教科横断的に行うことが不可欠であるとしている (AI 戦略, 2019) ^{*7}。

そして、すべての高校卒業生の理数・データサイエンス・AI に関する基礎的なリテラシーの習得、約 25 万人 / 年のデータサイエンス・AI を応用できる人材の育成、約 2,000 人 / 年のデータサイエンス・AI を駆使してイノベーションを創出できる人材の

発掘・育成等の具体的な目標を掲げている。

高等教育以降における STEM 人材育成に関しては課題が残るものの、OECD が 3 年に 1 回実施している学習到達度調査 PISA の結果を見ると、日本は初等教育レベルでの理科教育は国際的にも上位に位置している。その一方で、科学に対する態度には課題があるといわざるを得ない。「科学の楽しさ」、「理科学習者としての自己効力感」は OECD 平均を大きく下回っている。また、30 歳時に科学関連の職業に就くことを期待している生徒の割合は、OECD 平均で 25% に対して日本は 18% となっている。

それら課題への対応としても STEM 教育は有効であり、文部科学省でも STEM 教育を筆頭に世界的に理数教育の充実や創造性の涵養が重視されており、それは我が国における探究的な学習の重視と方向性を同じくするものであると指摘している (文部科学省, 2016) ^{*8}。また、「Society 5.0 に向けた人材育成」においては「STEAM 教育」の重要性をうたっている (文部科学省, 2018) ^{*9}。

さらには、先進的な理数系教育を実践する高校を支援するスーパーサイエンスハイスクールや、科学的探究能力を有する傑出した国際的科学技術人材の育成を行う大学を支援する「グローバルサイエンスキャンパス」、国際科学オリンピック支援や、科学の甲子園の開催等、STEM 人材の育成に力を注いでいる。

文部科学省、総務省、経済産業省の 3 省を挙げての小学校段階からのプログラミング教育の推進、経済産業省の「未来の教室」事業も日本における STEM 教育の大きな推進力となるであろう。

社会教育分野においても STEM 教育の盛り上がりを見せている。プログラミング教育必修化を前に、全国にプログラミング教室が広がり、プログラミング教育市場は 2024 年に 257 億円まで拡大するという (船井総研, 2019) ^{*10}。最近ではプログラミング教育ではなく STEM 教育を標榜する教室も増えつつある。今年に入り、ソフトバンクグループが STEM 教育事業への新規参入を発表し、STEM 教育スクールを全国展開している。また NTT と吉本興業がクールジャパン機構から 100 億円の出資を得てスタートした教育コンテンツを世界展開するプラットフォーム「ラフ&ピース マザー」も STEM 教育を含め、21 世紀型の学びと遊びのコンテンツを展開することとなっている。本プラットフォームの主たるコンテンツとなるのがデジタル時代の創造力

や表現力を育む学びの場を産官学連携で推進してきた CANVAS である。CANVAS は 2002 年の設立時よりプログラミング教育等 STEM の知識・スキルを活用し、つくりながら学ぶカリキュラムを多く実践してきたが、2017 年より「STEAM KIDS」プロジェクトを改めて立ち上げ、展示やワークショップを通じて STEAM の普及に尽力している。

CANVAS は想像力・創造力を育むことを最も重視しており、そのため、STEM に Art を組み合わせた「STEAM 教育」を推進している。筆者も「STEM から STEAM へ」を提唱したジョン・マエダ先生のもとで学び、後に CANVAS を立ち上げたことも STEAM 教育を推進する所以である。

また、STEM 教育の実践が盛り上がりを見せる中で、日本において学術的な視点で調査研究を行い、より効果的な教育実践につなげていくための組織が日本にはないことを踏まえて、2017 年には日本 STEM 教育学会が立ち上がった。筆者も設立メンバー及び幹事として参画している。

6 ◆ おわりに

繰り返しになるが、Society5.0 時代の STEM 教育の最大の特徴は「情報技術」である。今後、日本において STEM 教育を推進するにあたり一番の課題はデジタル教育の環境整備であると言わざるを得ない。日本の学校情報化は途上国のままである。小学校のコンピュータは 5.6 人に一台。10 年前に 7 人に一台だったが、一人一台を目指すといいつながら進まない。アメリカは 10 年前に 3 人に一台、日本ほど遅れている国は知らない。

学校の中でも外でもコンピュータやインターネットを使う生徒の割合は、日本は OECD 最低。学校でコンピュータを使ってグループワークに取り組む生徒はノルウェー 82%、OECD 平均 45%、日本 7.4%。学校の課題のためにネットを使う生徒はオランダ 94%、平均 86%、日本 44%。

今後、STEM 教育を推進するにあたってすべきことは早急なデジタル教育の環境整備であると言わざるを得ないだろう。

また、諸外国が力強く次世代の教育システムを議論・導入する中で、日本も前述の教育インフラの整備と合わせて先端教育の開発にも尽力すべきであろう。AI、IoT、ブロックチェーン等、Society5.0 を代表する技術は、教科、試験、学校など、学び

の内容・環境・評価を問い直す変化をもたらす可能性がある。

教科面では AI が教科を横断する超個別学習を実現する。そのためのカリキュラム再編成も求められる。それは教科書検定や学習指導要領の内容や存在を問うことになり得る。

また、ブロックチェーンで学習履歴をすべて蓄積することで、試験をする必要がなくなる。入試の在り方を問うことになる。

そうした変化により、学年や学校など教育機関の枠を超える学習環境をデザインすることができるようになる。学校制度の在り方自体も問うことになり得る。

そこで、超教科・超試験・超学校を「実装」する産学連携プラットフォームを構築することを目指し、昨年、「超教育協会」を設立した。国内外の幼児教育、初等中等教育、大学教育、生涯学習を横断する教育機関と、民間企業の連合体により、世界最先端の学びの場を創出してはどうか。

STEM 教育が求める学習スタイルは、主体的学習の実現へとつながる。そして、それは生涯にわたり学び続ける姿勢へとつながる。それこそが Society5.0 時代に求められる「変化に対応する力」である。プログラミング教育も STEM 教育も、諸外国と比較して日本は遅れをとっている。Society5.0 を迎えるにあたり、改めて世界に先立ち教育をリデザインする必要があるのではないか。そしてそれは、すべての学習者を主体としたデザインであり、従来の学校の枠を取り払った学びの場「超教育」を構想する試みであると考えている。



参考・引用文献

- *1 IBM IBM Institute for Business Value, Redefining Competition 2016
- *2 PwC 第 22 回世界 CEO 意識調査 2019
- *3 EU STEM action plan 2012
- *4 経済産業省 「未来の教室」と EdTech 研究会 第 1 次提言 参考資料 2018
- *5 文部科学省 スーパーサイエンスハイスクール (SSH) 支援事業の今後の方向性等に関する有識者会議報告書 2018
- *6 経済産業省 I T 人材需給に関する調査 (概要) 2019
- *7 統合イノベーション戦略推進会議 AI 戦略 2019
- *8 文部科学省 幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について 2016
- *9 文部科学省 Society5.0 時代の人材育成 2018
- *10 船井総研 子ども向けプログラミング教育市場調査 2019

II 海外の STEM / STEAM 教育

教育テスト研究センター 連携研究員

谷内 正裕 / やち まさひろ

民間企業で研究企画や産学連携の推進を担当する傍ら、STEM 教育の普及活動に取り組む。米国駐在経験があり、創造的な学びを支援する技術に興味を持つ。博士（政策・メディア）。



教育テスト研究センター 連携研究員

小田 理代 / おだ みちよ

民間企業でプログラミング教育のカリキュラム開発などを行う傍ら、博士課程でプログラミング教育の海外動向などを研究している。



カリフォルニア州で見たSTEM/STEAM教育

1 ◆ STEAMが学校を変える

米国の北カリフォルニアに位置するサンノゼ空港から車で南に 30 分、シリコンバレーと呼ばれる地帯よりも少し南に位置する地域に、STEAM に積極的に取り組む小学校がある。STEAM とは STEM に Art（芸術）を加えた語で、カリフォルニア州では STEM よりも一般的に使われている。

学校見学のために校長室を訪問すると、早速校長先生に校庭へと案内された。雲一つなく、山の輪郭がくっきり見える澄んだ空気に囲まれ、全校生徒が集まっている。この小学校では毎日、全校朝礼が行われている。校長先生の挨拶と国歌斉唱の後、2年生が数名、先生に呼ばれて全校生徒の前に並んだ。一人一人さまざまなクラフト細工をつけたエプロンをつけている。実はこのエプロンは、理科の授業で学んだ体内の臓器の構造を、児童がクラフト細工を組み合わせで作ったものだそう。学級代表が、2年生は今日一日このエプロンを身につけているので、出会ったら体内の機能を見て学んでほしいと話した。

この学校が属する学区では、STEAM を積極的にカリキュラムに取り込むことで学校改革に取り組んでいる。訪問した小学校はその中でも最初に取り組み始めた学校である。STEAM を導入した 1 年目は、校長先生が学区の教員と全体像を描きながら 1 人で奮闘されていた。現在は学校内に STEAM 専任の教員が 1 人おり、教育委員会の STEAM 担当者と連携しながら、学級担任や専科教員の支援を行っている。この STEAM 専任の教員は昨年まで 2 年生の学級担任だったそう。だからこそ他の教員も、同僚に気軽に相談する感覚で授業の中に STEAM を取り込もうとしている。

カリフォルニア州のすべての学校が、この小学校のような体制が実現しているわけではない。米国は州ごとに教育制度が異なり、学区や学校ごとでもそれぞれの特色がある。ただ STEAM に積極的に取り組む学校では、専任の STEAM 教員が配置されている例が多いようだ。この学校は必ずしも予算が潤沢にある学校ではないが、STEAM をきっかけに学校全体を変革しようとする意気込みで、STEAM に予算を配分し、教員が取り組みやすい環境を整えている。

STEAM に力を入れているということは、授業はすべてタブレットで行い、プロジェクト学習用の教室が整備されているのではないかと想像されるかもしれない。しかし教室の中を見ると、私たちが想像する「教室」に近い環境が広がっている。

この学校の最年少学級、キンダーガーデンよりも 1 学年下の Transitional Kindergarten（年中）は、カリフォルニア州で幼少期の教育機会を提供するために最近導入された学年だ。この年中の授業でも STEAM が導入されていると校長先生から説明され、教室を訪れた。幼児たちは、幼稚園でよく見られる、お話を聞いたり、歌に合わせて体を動かしたりする活動に取り組んでいる。ただよくよく教員や幼児の声に耳を傾けると、表の見方を学んでいた、数感覚として桁数の大きい数を学んでいた、天気による周囲の環境の変化を学んでいた、リズムを通じてパターンやグルーピングを学び、ダンスで表現したりと、STEAM の要素がふんだんに盛り込まれている。

2 ◆ STEAMのAIは表現力

校長先生によれば、この周辺の地域は英語が母語でない家庭が多い。その子どもたちに対して、STEAM をきっかけに表

現できる機会を提供し、自信をつけさせようとしている。プレゼンテーション、ディベートのように、自己表現が重視されている米国において、得意な表現手段を持つことは重要である。たとえば語が得意でなくとも、音やリズム、絵や体の動きなどの表現で、誰もが積極的に活動に参加できる仕組みを作ろうとしているのである。

STEAM 専任の教員によれば、STEM はものの見方や考え方で、STEAM は表現だという。日本で STEM と聞くと、理数分野、プログラミング、ロボット、AI などのキーワードが挙がってくる。もちろんカリフォルニア州でも STEM が盛んになってから、学校にプログラミングが導入されたり、FabLab や Maker Space と呼ばれる工作機が置かれたものづくりのスペースを設置したりする学校が増えた。この小学校でも、日本の図工室や多目的室のような STEAM 向けに用意された部屋はあるが、STEAM を独立した教科としては教えていない。例えば国語の授業では小説文に登場する地域を Google Earth で探し、その画像を参考にしてその場面を絵で表現するなど、既存の科目と連動させている。

3 ◆ 地域の問題は子どもたちが解決

次に訪れた学校は、サンノゼ空港から車で西に 20 分行ったところにある、小中一貫校。地理的にシリコンバレーの真ん中あたりに位置するこの学校は、公立の学校にもかかわらず地域や保護者から多額の寄付があり、非常に裕福だ。先に訪問した小学校と同様にこの学校でも STEAM 専任の先生が小学校、中学校それぞれに 1 人ずついる。学校の事務局員が STEAM に取り組む授業現場をいくつか紹介してくれた。

教室の中に足を踏み入れると、児童はグループに分かれて意見を言い合っている。机はディスカッションしやすい班ごとに配置されているものの、特に目新しいテクノロジーに囲まれているわけではない。一般的に見られる普通の教室である。ここで小学校 3 年生が取り組む内容は、地域に住む高齢者の課題を見つけ、それを解決するためのロボットを作ることである。実際に地域の高齢者宅を訪問し、課題を見つけ出すところからスタートするそうだ。今回は児童が見つけた課題は、高齢になると握力が弱まり、瓶の蓋を開けるのが困難になること。この問題をチームで解決することになっていた。

4 ◆ 問題解決の材料の使い方を知るのも試行錯誤

使う材料はプログラミングできるレゴブロックのような一般的な教具だが、児童のようすを見ているとブロックを組み合わせて遊んでいるように見える。ここで行われているのは、Tinkering（ティンカリング、いじくりまわして修理すると訳される）。壊れた機械を分解し、どの部品がどのような役割を果たすか、いじくりまわしながら理解し、試行錯誤して組み立てる活動と言えば良いだろうか。教員から材料の使い方を教わるのではなく、どのようにその材料を使って、問題解決に使えるか、児童自身が「発見」することを目指している。材料の使い方を見つけ出したら、今度は設計、実装、評価を繰り返し、さまざまな大きさの瓶の蓋を開ける支援ができる「製品」を開発する。この開発した「製品」は実際に高齢者の元に届け、反応を聞きながら評価を行い、レポートにまとめていく。実際にクラウドファンディングして商品化を目指す例もあるそうだ。

STEAM 専任の教員や学校の児童・生徒たちは、他の学年の事例も紹介してくれた。例えばキンダーガーデンでは、毎日遊ぶ校内の遊具スペースに日陰を作るためのアイデアを考える。クラフト細工で思いついたアイデアを何度も「プロトタイプ」し、最も効果的と考えられた案を友達の前で発表、それを先生と一緒に実際の遊具スペースに実装する。日陰ができたか、光を遮る物体は遊びの邪魔にならないか。みんなで評価する。

中学校 1 年生は、小学校 1 年生の学校内の困りごとをリサーチし、それを解決する物を作り届ける。一つの例として、お手洗いに設置されているペーパータオルホルダーの位置が高すぎて小学校 1 年生の背では手が届かず、背伸びして取ろうとして大量にペーパータオルが床に散らばってしまう問題があった。そこで中学生は、小学生の手が届くところに設置できる移動式のペーパータオルホルダーを考案した。それだけでなく、キャラクターの形をしたホルダーをデザインし、口からペーパータオルを取り出す工夫を加え、段ボールでプロトタイプ。小学生からの反応が良かったので、アクリル板で実際に使えるものを作った。その結果、しっかり手が届くようになっただけでなく、キャラクターに愛着を持ってペーパータオルが散らばることもなくなったそうだ。「問題」は学校の外だけでなく、教室を一步出れば学内にもたくさん存在する。

5 ◆ 実社会の問題解決につながる多面的な授業設計

カリフォルニア州や米国には、STEAMの授業を設計するための一つの規準があるわけではない。この学校では、STEAMの活動を作成する際に、複数の教科における達成規準を参照している。軸になるのは、2013年に公開されたNext Generation Science Standard (NGSS) と呼ばれる、National Research Council (全米研究評議会) の年長から高校生まで一貫した新しい科学の規準である。理工系を専攻する学生を増やすことを目指して設計されたもので、科学に共通する概念、単元に特化した知識に加え、実社会の問題に対する科学者や技術者の取り組み方(実践)の3つの柱で構成されている。

NGSSに他教科の視点や考え方を組み合わせている。例えばInternational Society for Technology in Education (国際教育技術会議) が提唱した、テクノロジーの活用によって育つ学習者像であるISTE Standards for Students, Computer Science Teacher Association (全米コンピュータ科学教育教師会) が提唱するコンピュータ科学の規準CSTA K-12 CS Standard, 8割の州で採用されている英語と数学の共通規準を定めたCommon Core State Standards, そしてNational Association of Arts (全米芸術教育教師会) が提唱する芸術の制作・表現・観賞・理解の規準であるNational Core Arts Standards。実社会の問題解決には分野を横断した力が必要となることが前提だ。

6 ◆ 学校のリソースを補う地域の科学館

もちろんこのような授業を設計するのは容易ではない。新しい試みだからこそ教え方も評価方法も変わってくる。The Tech Interactiveはサンノゼ空港近くのダウンタウンにある科学館。非営利団体として学校や学区を超えてSTEAMの学びをサポートしている。科学館は、ロボット、情報セキュリティ、センサー、人体、バイオ、VRなど、最新技術を体験的に学べる展示が用意されているだけでない。教員研修、STEAM教材の提供、理科実験室の提供など、学校だけでは整備しきれないリソースを用意している。また、実社会の問題解決に貢献した技術に対する表彰や、小学生から高校生を対象とした技術コンテストを実施するなど、シリコンバレーの精神を幅広く伝えている。

7 ◆ 最終成果と同じだけプロセスと説得力が大切

この技術コンテストは、毎年4万人近くの児童・生徒が参加しており、科学館のスタッフが総動員で実施されている。すでに30年以上続いており、扱われるテーマは、扇風機の動力のみを使って必要な人に水を届ける装置を作る、耐震性の高い構造の建築物を作る、離れた場所に荷物を届けるグライダーを作るなど、多岐にわたる。児童・生徒は2人から6人のチームを組んで参加するが、授業の一貫で参加する学校もあれば、放課後活動やクラブ活動として参加することもできる。また必要な道具はありふれた材料で、最小限の負担で参加できる。

コンテスト形式となっているものの、必ずしも最終発表に持ち込む完成した装置だけが評価されるわけではない。もちろん作られた装置が設計どおり動き、他のチームよりも優れていることは重要だ。だがそれと同程度審査されることがある。なぜこの最終形になったのか、どのような実験を繰り返したのか、毎回のミーティングの議事録などを詳細に記述した記録、そして現役や引退したエンジニアによる児童・生徒一人一人に対するインタビューである。児童・生徒は、日頃の試行錯誤の記録や成果を、明確に熱意を持ってプロのエンジニアに伝えようと、エンジニアも想いを受け止め公平に評価できるよう、科学館が用意した評価観点の研修を真剣に受ける。

8 ◆ 表現力から探究力へ

最初に訪問した学校のSTEAM専任の教員は、STEMにArtが加わることで、表現の手段になると話していた。2校目では地域や学校内の問題解決のために、試行錯誤しながら、失敗を繰り返し、完成形を生み出していった。科学館で実施しているコンテストでは、成果やプロセスを堂々と説明していた。

新しいものに出会って使い方を知ったときの感動、想定どおり行かずに失敗したときの悔しさ、作り上げたものを周りの人に伝えたいという気持ち、作ったものを誰かに使ってもらえる嬉しさ。これらの原動力が、カリフォルニア州のSTEAM教育を牽引しているようだ。

ただしこれらは、学校や先生が、地域や児童生徒と日々Tinkeringして試行している膨大な事例のごく一部である。

オーストラリアのSTEM/STEAM教育

1 ◆ STEM教育導入の背景

筆者は、2018年の夏（オーストラリアの冬）にオーストラリアのクイーンズランド州を訪れ、小学校を訪問した。そこで、州の強力な主導により、STEM教育の研究やカリキュラム開発などが進められ、学校教育の中でも教師の工夫により、STEM教育が導入されているようすを知ることができた。そこで本原稿では、オーストラリアにおけるSTEM教育導入の背景と、学校現場のようすを中心にお伝えする。

オーストラリアでは2014年9月に当時の科学顧問だったIan Chubb氏によって“Science, Technology, Engineering and Mathematics: Australia's Future” (Office of the Chief Scientist, 2014)^{*1}が公開された。その中でオーストラリアの経済競争力を上げるために、教育・研修、研究などの分野でSTEM分野においても強化することの提言が示された。

この提言を受けて、2015年12月にオーストラリアのSTEM教育戦略である“National STEM School Education Strategy, 2016-2026” (Education Council, 2015)が提示された。Education Council (2015)はSTEM教育実施の背景として、STEM関連の仕事の成長率や、PricewaterhouseCoopersによる、オーストラリアの労働力の1%をSTEM関連に変更すれば\$57.4billion（約4兆3,000億円）のGDP増加につながるなどなどの調査結果を挙げている。

また、このような外的要因だけでなく、内的な要因もある。OECDによるPISA2015の結果（国立教育政策研究所, 2016）^{*2}では、オーストラリアは科学的リテラシーの平均得点が14位、読解力の平均得点が16位、数学的リテラシーの平均得点が25位だった。OECD平均より高いものの、3分野すべてが下降気味であり、特に数学的リテラシーは課題となっている。

このような背景からSTEM教育の重要性が高まり、学校教育の中でSTEM教育が強化されることとなった。

2 ◆ オーストラリアのSTEM教育戦略

“National STEM School Education Strategy, 2016-2026”には、2つの目的が示されている。1つ目は全生徒が卒業時

にSTEM関連の強固な基礎的スキルを持つこと、そして2つ目は中等教育でのSTEM関連の教科選択を促し、将来のSTEM関連のキャリア選択につなげることである。またこの目的を達成するために5つの実行領域が示されている。1領域目は、生徒のSTEMの能力や意欲、参加や志望を増やすこと、2領域目はSTEMを教える教師の能力を向上させること、3領域目は学校教育内でのSTEM教育の機会を支援すること、4領域目は大学・専門学校などの教育機関や、ビジネス、業界などとの効果的なパートナーシップの構築を促進すること、5領域目は、STEM教育の質を向上させるためのエビデンスを積み重ねることである (Education Council, 2015)^{*3}。

オーストラリア政府は、このような戦略策定に加えて早期教育と学校教育でのSTEM教育を推進し、オーストラリア人のデジタルリテラシーを上げたりSTEM領域の専攻者を増やしたりすることを目的に、\$64 million（約48億）の投資を発表し、STEM教育を強力に推し進めている。

3 ◆ クイーンズランド州のSTEM教育

このようなオーストラリア政府のSTEM教育戦略を受けて、各州でもSTEM教育の取り組みが促進されている。例えばクイーンズランド州では、オーストラリア政府の動向やSTEM教育戦略を受け、クイーンズランド州のSTEM教育戦略を策定している。その中では、STEM教育を実践するための教師の能力向上、STEMに取り組む生徒の増加、STEM教育における卓越性の達成の3領域それぞれに目標が示されている。

また教育課程内外でのSTEM教育の支援も積極的に行っている。例えば、プログラミングのコンクールを実施したり、教科「デジタルテクノロジー」の中でロボットやドローンの活用を促進したりするための指導用教材の提供などを行っている。また、州立学校116校の小学校と高校を対象として、明日の起業家育成支援として、1校140万円の助成金を出し、デジタル起業家を輩出するためのコーディングやロボティクスプログラムなどの実施を行ったり、生徒や保護者向けに、STEM教育の理解を深めるための資料やアドバイスの掲載を行うウェブサイトの開発や提供を行ったりしている。

このように各州の単位でも教育課程内外でのSTEM教育の導入推進が行われている。

4 ◆ 各校の工夫の積み重ねで実施されるSTEM教育

クイーンズランド州で1校目に訪問した小学校では、4年生の環境保全の探究学習を見学した。この授業は、ブレーンストーミングやリサーチを通して環境保全のためのアクションプランを策定することを目的としていた。取り組む活動に関するワークシートが配布されており、児童はそのワークシートの問いに答えながら、自分で問いを立てたり、調べたりしていた。ある児童は、自分が住んでいる近くの砂浜にペットボトルなどのゴミが落ちていることが気になっており、そのゴミをなくすためのプランを作成していた。児童には、学習活動ごとの評価基準のルーブリックが配布されており、学習活動を自分で振り返り、評価することができるようになっていた。

学習活動では、児童はタブレットでシンキングツールを使って情報を整理したり、調べた内容をグラフにまとめたりしていた。また、調べた内容はワークシートに手書きでまとめていた。さらに、授業の最後に毎回、「何を学んだのか」、「なぜそれが重要なのか」、「次に行くことは何か」といった固定の質問に児童が答え、それをeポートフォリオとして保存しているとのことだった。このような質問をベースにした学習方法は昨年度に始めた授業形式であり、週に1時間実施していた。

また、6年生の「デジタルテクノロジー」の授業では、「メイキーメイキー」を使い、Scratchのプログラムを動かす授業が行われていた。児童は、準備されたプログラムを使い、電気を通すものと通さないものといった、電気の性質を利用して、ピアノやゲームのコントローラーを作成するといった活動を行っていた。

クイーンズランド州のカリキュラムでは週に1回はSTEM教育に取り組むことが示されている。年間の指導計画については、3人いる副校長の1人がカリキュラムを担当しており、各教師が作成した指導計画へのフィードバックを行いながら質保証を行っていた。STEM教育は「科学」と「テクノロジー」を教える専任の教師が担当しているとのことだったが、学校内にICTやSTEM教育を検討するチームもあり、各学校で学習活動の工夫をしながらSTEM教育を導入していることがわかった。

5 ◆ BYODの導入を進める小学校

2校目に訪問した小学校では、iPadによるBYOD(Bring Your Own Device)を進めている学校だった。小学校3年生の「デジタルテクノロジー」のクラスではロボットやプログラミング教材を用いて、定規で作った迷路を走らせたり、ボウリングのピンを倒したりしていた。課題は児童自身が設定する場合や、共通の課題に全員で取り組む場合もあるということだった。

また、小学校の中にSTEMセンターがあった。ここにはiPadだけでなく、パソコンやロボット、各種のプログラミング教材などが設置されていた。各教室に配置しきれないプログラミング教材などはこのSTEMセンターで体験することができるとのことだった。訪問した際には、児童が粘土で作成したキャラクターを動かしてiPadを使ってストップモーションムービーを作成していたり、さまざまなプログラミング教材を使って各自で学習を行ったりしていた。

この小学校では、教師向けに学習活動の過程で活用できるアプリを整理したり、STEM教育で活用できる教材を一覧化したりしている。また毎年この一覧表の内容を改定し、指導に役立てているということだった。

このように、国や州のトップダウンで導入されることになったSTEM教育だが、今回訪問した小学校においては、STEM教育のカリキュラムや学習活動の検討を教師が意欲的に行い、内容の改善を図っていた。また、訪問した小学校の教師に、STEM教育の導入方針をうかがうと、児童・生徒の将来に必要な大切な力だから、本来はもっと時間数を取りたい、そのために、各教科等の中でも今後は実施を検討していきたい、との回答が返ってきたことが印象的だった。❖

参考・引用文献

- *1 Office of the Chief Scientist (2014), Science, Technology, Engineering and Mathematics: Australia's Future. Australian Government, Canberra.
- *2 国立教育政策研究所 (2016), OECD 生徒の学習到達度調査～2015年調査国際結果の要約～
- *3 Education Council (2015), National STEM school education strategy 2016-2026

Ⅲ STEM 教育と新学習指導要領

日本STEM教育学会 会長

新井 健一 / あらい けんいち

2003 年株式会社ベネッセコーポレーション入社。2004 年執行役員，教育研究開発本部長に就任，教育研究開発センター長を兼務。2007 年 NPO 法人教育テスト研究センターを設立，同年より理事長。2013 年よりベネッセ教育総合研究所理事長。2017 年日本 STEM 教育学会を設立，同年より会長。公益財団法人パナソニック教育財団理事，日本教育工学会理事，日本教育工学協会理事等。



1 ◆ 学習指導要領におけるSTEM教育の位置づけ

学習指導要領は，文部科学省が定める，教育課程を編成する際の基準であり，主たる教材である教科書は学習指導要領に準じて著作・編集され，使用義務が定められている。改訂は，中央教育審議会の答申を受けてほぼ 10 年ごとに行われ，新学習指導要領は 2020 年度に小学校で完全実施，翌年度には中学校，その翌年度には高等学校で完全実施される。

STEM 教育については，新学習指導要領にも現行版にも，履修に関して明記されているわけではないが，前文，総則や各教科，活動などの中に，STEM 教育との関わりを見ることができる。

2 ◆ 新学習指導要領の考え方とSTEM教育

新学習指導要領では，社会に開かれた教育課程の実現を掲げ，知識の習得だけではなく，知識を活用して「何ができるようになるか」を重視している。STEM 教育も科学の知識や数学の考え方を活用して，技術を生かして現実社会の課題解決に取り組むことで，「何ができるようになるか」を重視していて，そのときに重要なのが，STEM の E にあたるエンジニアリングである。エンジニアリングは，社会に有益な事物や快適な環境をつくるために，自然科学の知識だけでなく，人文・社会科学の知識も活用して，創造的思考，デザイン思考を働かせ，実際に新しい価値をつくり上げていく体系の全体を指し，STEM 教育の特徴とも言うべきものであり，「何ができるようになるか」に具体的に関わる活動である。

そして，新学習指導要領では，「何ができるようになるか」の

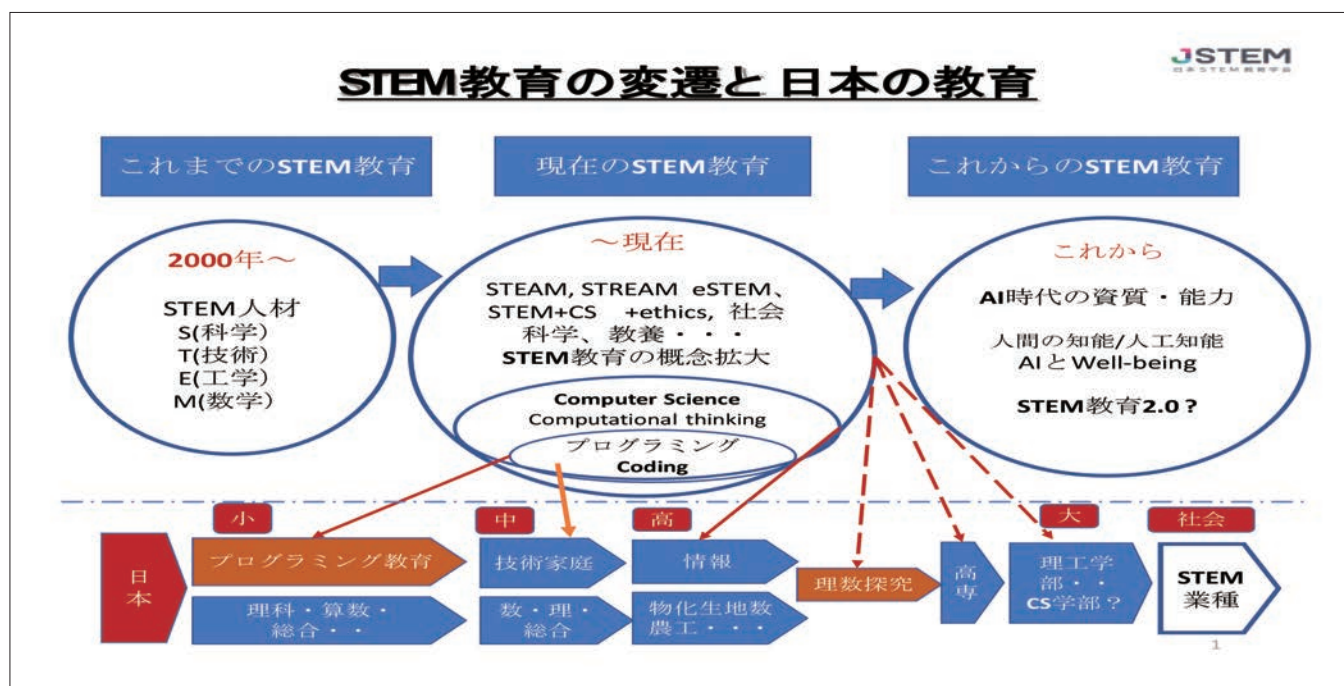
ために育成すべき資質・能力として，現行版から引き続き，「知識・技能」「思考力・判断力・表現力」「学びに向かう力」の 3 つの柱が示されているが，これらの資質・能力はエンジニアリングの過程で重要であり，エンジニアリングによって効果的に育成することができるのである。

また，新学習指導要領では，「主体的・対話的で深い学び」を掲げ，能動的に学ぶようになることを目指している。STEM 教育も，社会の現実課題の解決を考えるため，課題解決型の能動的な学習となり，「主体的・対話的で深い学び」となる。その際に STEM 教育では，どのような課題を設定するか（設定させるか），そのためにどのような発問をするかを重視している。単に，何か解決すべき問題を見つけなさいという問いかけになると，漠然とした課題になったり，根拠のない興味本位の課題になったりするため，STEM 教育では，具体的，科学的に課題を考えることができるように導くための発問（Driving Question）を工夫している。

各教科等の活動の中にも，STEM 教育に関する活動が見られる。小学校におけるプログラミング教育の導入，理数教育の充実，情報活用能力の育成などがそれにあたる。

理数教育の充実では，従来の理科教育に比べて実験・観察を重視したり，高校では理数探究のような融合型の教科を新設したりするなど，STEM 教育と同様な考え方の活動が始まろうとしている。

また，小学校，中学校，高等学校を通して，総則には情報活用能力，言語能力，問題発見・解決能力などが，学習の基盤となる教科横断的能力として位置づけられている。これらは STEM 教育にとっても重要な能力であり，STEM 教育はこのような能力の育成にとっても有効である。



新井健一（2018）JSTEM 研究会講演資料

3 ◆ 小学校におけるSTEM教育

ここからは、小学校、中学校、高等学校の学校種順にSTEM教育と新学習指導要領の関連について述べる。

まず、小学校の新学習指導要領では、プログラミング教育の導入が特徴的である。プログラミングは言語を扱い、情報活用能力をもとに、問題の発見、解決を行う活動であり、昨今のコンピュータサイエンス、データサイエンスのニーズの高まりとともに、STEM教育の活動の中で、プログラミングを扱う活動が増えてきている。そのため、STEM教育とプログラミング教育がイコールとの誤解もあるようであるが、プログラミングはSTEM教育の活動の一部であり、イコールではない。小学校におけるプログラミング教育は必修ではあるが、プログラミング教育の時間が確保されているわけではなく、理科や算数などの他教科の中で行うクロスカリキュラムでの実施となっており、各教科の分類には位置づいていない。そのため、文部科学省では別途、プログラミング教育の手引きを発行し、普及推進に努めている。プログラミング教育の目的は、コーディングを学んでプログラマーになることではなく、プログラミングに必要な、所謂プログラミング的思考を学ぶこととされ、考え方を学ぶことが重視されている。とはいえ、考え方を学ぶだけで、実践をしないことは好ましくないとされていて、新学習指導要領の総

則には、プログラミングを体験しながら学ぶことと記されている。

小学校の理科や算数は、言うまでもなくSTEM教育と関係している。米国で始まったSTEM教育は、もともと日本の理科教育、科学教育の専門家がその動向を早くから調査研究をしていたことから、理科教育との対比で語られることが多く、実験・観察を伴う活動の中には、米国のSTEM教育と同じような活動が見られることがある。算数では、内容領域が、現行の「A: 数と計算 B: 量と測定 C: 図形 D: 数量関係」から、「A: 数と計算 B: 図形 C: 測定(1年～3年) 変化と関係(4年～6年) D: データの活用」に改訂された。「D: データの活用」を独立させるなどの点は、データサイエンスにつながる構成であると言える。

図画工作は、STEM教育の視点から見ると、やや美術寄りではあるが、デザインや工作を通してハンズオンで学ぶところは、まさにSTEM教育で行われる活動である。また、生活、音楽、家庭、体育、特別活動のような実践を伴う活動の中には、STEM教育に適した課題を多く見いだすことができる。また、総合的な学習の時間の活用は、教科によらず、統合された課題の取り組みに適している。

国語や外国語、社会、道徳の重要性はSTEM教育に限ることではないが、課題を理解し、適切に解決しようとするSTEM教育にとっても、基盤となる重要な教科である。

4 ◆ 中学校におけるSTEM教育

中学校においても、教科の特性上、数学と理科はSTEM教育に必要な教科である。数学は、小学校からの領域との一貫性を考慮して、「A: 数と式 B: 図形 C: 関数 D: データの活用」の4領域とし、データサイエンスにつながる構成になっている。理科も小学校同様に実験・観察を重視していて、指導計画の作成に当たっては「理科の見方・考え方を働かせ、見通しを持って観察、実験を行うことなどの科学的探究の充実を図ること」として、STEM教育の考え方と相通じている。OECDは義務教育を修了した15歳を対象に、学習到達度評価(PISA)による国際比較調査を実施していて、2006年、2015年には、科学的リテラシーと、科学的リテラシーを学ぶことに関する生徒の意識調査を行っている。この調査で日本は、科学的リテラシーのスコアが世界トップレベルである一方、意識調査では、「科学を学ぶことの楽しさ」「科学に関する活動への積極的な取り組み」「科学の知識を使うことができる能力」「科学の学習が将来役に立つ」のすべての項目について、OECD平均を大きく下回っていた。2015年には、「科学の学習が将来役に立つ」が改善されてはいるが、得点は高いが意欲は低いという傾向は続いている。こうした状況を改善するためには、理科教育が、知識の習得に帰結するのではなく、実験・観察を通して試行錯誤しながら、具体的、現実的な問題と関連していることに気づかせるように工夫することが求められている。

技術・家庭は、日本の教科の中で、最もSTEM教育に近い教科の一つである。目標を「生活の営みに係る見方・考え方や技術の見方・考え方を働かせ、生活や技術に関する実践的・体験的な活動を通して、よりよい生活の実現や持続可能な社会の構築に向けて、生活を工夫し創造する資質・能力の育成を目指す」として、これはSTEM教育の考え方の中の、エンジニアリングの考え方を示すものであり、STEM教育の特徴的な要素であると言ってよい。技術・家庭は、日本の教育の中で、エンジニアリングを体験できる数少ない教科である。米国では、STEM教育を推進するため、2013年から、それまでの科学教育のスタンダード(教育課程の基準)にエンジニアリングを加えた新たなスタンダードを導入して、エンジニアリングに触れる機会を増やしている。

また、技術・家庭にはプログラミングが含まれていて、小学

校からのプログラミングが途切れないようにしている。

国語、外国語で学ぶ言語力は、情報を扱うSTEM教育にとっては基盤的な能力であり、特に情報の適切な理解と判断や適切な表現などが重要である。

社会は、社会の現実課題を扱うSTEM教育にとって、社会的教養として重要である。公民分野では、内容の「A 私たちと現代社会」において、「人工知能の急速な進化などによる産業や社会の構造的変化などに関連づけたり、災害時における防災情報の発信・活用などの具体事例を取り上げたりすること」として、これはSTEM教育の中でよく扱われている課題である。

総合的な学習の時間の活用は、教科によらず、課題ベースで学ぶためには適しているし、音楽、美術、保健体育、特別活動は、それぞれの活動の中にSTEM教育に適した課題を見いだすことができる。また、STEM教育では実際に工作したり映像を作成したりするため、音楽や美術での学びは重要である。

新学習指導要領では道徳が重視されているが、ますます高度化する技術と人間との関わりを考えるSTEM教育にとっても重要である。道徳の指導計画の作成にあたっては、「科学技術の発展と生命倫理との関係や社会の持続可能な発展などの現代的な課題の取扱いにも留意し、」とある。これは、STEM教育の中で扱うべき課題であり、常に問い続けなければならない課題である。

このように、STEM教育は、数学や理科、技術・家庭のように直接関係する教科だけでなく、その他の教科や活動と関係している。このことが、STEM教育が教科横断的な学び、文理融合的な学びといわれる所以である。

5 ◆ 高等学校におけるSTEM教育

今回の学習指導要領の改訂は、小学校、中学校よりも高等学校の改訂のほうが大きく、教科内容の改訂に留まらず、教科名そのものの変更を行っている。さらに、高等学校と大学との接続についても、大学入試の改革に留まらず、高大接続システム改革として、しくみ全体の大幅な見直しを行った。大学入試のあり方が教育改革に大きな影響を与えていることから、新学習指導要領の趣旨に合わせて、高等学校と大学の接続のしくみそのものの改革を行ったのである。

このような高等学校の新学習指導要領では、理数と情報に

STEM教育の特徴を見ることができる。

理数は各学科に共通する各教科のひとつに位置づけられ、「様々な事象に関わり、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、課題を解決するために必要な資質・能力を育成することを目指す」という目標を掲げている。理数には、理数探究基礎と理数探究があり、理数探究はすべての生徒に履修させるものとしている。この目標は、社会の現実課題をとらえて、S・T・E・Mを統合的に働かせて解決しようとするSTEM教育の考え方と同じである。理数という響きからは、STEM教育の特徴であるエンジニアリングの要素が弱い印象を受けるが、内容の取扱いでは、「理数に関する学科においては、理数探究基礎及び理数探究の指導にあたり、観察、実験などの結果を分析し解釈して自らの考えを導き出し、それらを表現するなどの学習活動を充実すること」として、ハンズオンで学ぶことを勧めているところは、エンジニアリングに通じるところがある。数学や理科の知識だけでなく、実践を通じた探究の過程の中で課題を解決するために必要な資質・能力を身に付けることは、STEM教育の目的でもあり、新学習指導要領の「何ができるようになるか」という資質・能力の育成にもつながることである。

高等学校の新学習指導要領には、主として専門学科において開設される各教科の中にも理数がある。これは、理数数学I、II、理数数学特論、理数物理、理数化学、理数生物、理数地学の各科目で構成され、「様々な事象に関わり、数学的な見方・考え方や理科の見方・考え方などを働かせ、数学的活動や観察、実験などを通して、探究するために必要な資質・能力を育成することを目指す」としている。

各学科に共通する理数との違いは、課題を解決するための資質・能力の育成ではなく、探究のための資質・能力の育成であり、各科目の内容が、数学、物理、化学、生物、地学の各内容が中心で、あまり融合的ではない点である。

主として専門学科において開設される各教科には、ほかに農業、工業、商業、水産、家庭、看護、情報、福祉、体育、音楽、美術、英語があるが、いずれも社会的課題をもとにしたプロジェクト学習や実践、実習、体験などを重視していて、STEM教育の中で見られる活動と同じような活動を見ることができる。

情報も各学科に共通する各教科のひとつに位置づけられて

いて、「情報に関する科学的な見方・考え方を働かせ、情報技術を活用して問題の発見・解決を行う学習活動を通して、問題の発見・解決に向けて情報と情報技術を適切かつ効果的に活用し、情報社会に主体的に参画するための資質・能力を育成することを目指す」としている。科目は情報I、IIで構成され、情報Iは「情報社会の問題解決、コミュニケーションと情報デザイン、コンピュータとプログラミング、情報通信ネットワークとデータの活用」、情報IIは「情報社会の進展と情報技術、コミュニケーションとコンテンツ、情報とデータサイエンス、情報システムとプログラミング、情報と情報技術を活用した問題発見・解決の探究」という内容になっていて、コンピュータサイエンス、データサイエンスによって問題の発見・解決のプロセスを学ぶSTEM教育と同じ考え方である。また、内容の取扱いに関しては、「中学校までの情報と情報技術及び情報社会に関する学習、問題発見・解決に関する学習並びにデータ活用に関する学習などとの関連に配慮すること」、指導計画の作成にあたっては、「公民科及び数学科などの内容との関連を図ること」などが示され、タテとヨコの関連を図りながら統合的に学ぶように推奨している。この点でもSTEM教育の考え方と相通じている。

情報も、主として専門学科において開設される教科としての情報が存在する。目標を「情報に関する科学的な見方・考え方を働かせ、実践的・体験的な学習活動を行うことなどを通して、情報産業を通じ、地域産業をはじめ情報社会の健全で持続的な発展を担う職業人として必要な資質・能力を育成することを目指す」としている。各学科に共通する教科としての情報が、問題の発見・解決に重点を置いているのに対して、実践的・体験的に学び、職業人としての資質・能力に重点をおいているところが特徴的である。科目としては「情報産業と社会、課題研究、情報の表現と管理、情報テクノロジー、情報セキュリティ、情報システムのプログラミング、ネットワークシステム、データベース、情報デザイン、コンテンツの制作と発信、メディアとサービス、情報実習」を学ぶことになっている。指導計画の作成については、総授業時数の10分の5以上を実験・実習に配当することとし、地域や産業界との協働も推奨されていて、実際に仕事の現場で役に立つようにとの配慮が見られる。

加えて、高校では総合的な探究の時間が設置されていて、課題ベースのSTEM教育の活動に適している。

6 ◆ これからのSTEM教育と学習指導要領

2020 年度に小学校から完全実施される新学習指導要領は、2021 年度に中学校、2022 年度には高等学校で完全実施され、その次の改訂版は、予定どおりであればそこから 10 年後、つまり 2030 年度となる。これまで述べてきたように、新学習指導要領には、STEM 教育についての記述があるわけではなく、STEM 教育に関わる学びが点在している状況である。数学や理科は STEM 教育に必要な知識であるが、STEM 教育は、S・T・E・Mなどを統合的に活用して課題を解決する学びであるから、数学や理科の中にも他教科を統合して考えるような内容が必要である。先に述べたように、米国で、科学のスタンダードを 2013 年に改訂したのは、その一例と言える。しかし、すでに新学習指導要領の内容は決まっているため、もし本格的に STEM 教育を導入しようとしたら 2030 年度まで待たなければならない。

2030 年頃の社会はどのような社会だろうか。2020 年度からの新学習指導要領は 2030 年頃の社会を想定している。学習指導要領を改訂する際に公表された中央教育審議会の答申では、2030 年の社会について、第 4 次産業革命、人工知能の急速な進化、グローバル化の進展などを挙げ、雇用環境の変化への懸念などにも触れている。最近では 2030 年の社会については他にも多くの予測が出ていて、人口問題を加えれば概ねの認識は同じであり、高度な科学技術の活用が進む社会で、どのようにしてよりよく生き、よりよい社会にしていけるかが課題となっている。こうした背景から政府は Society 5.0 という人間中心の超スマート社会の構想を打ち出し、第 3 期教育振興基本計画や最近発表された AI 戦略 2019 では、STEM 人材の育成が明記された。

STEM 教育発祥の米国では、すでに 20 年近く STEM 教育に取り組んできていて、10 年ほど前から Art や Robotics を加えた STEAM や STREAM などの派生形も生まれ、概念が拡大している。さらに、小学校から大学、その先の STEM 業種(STEM Jobs)へとつながり、学校と社会との接続ができていく。そして、高度な科学技術は、国際競争力に影響するグローバルな課題であることから、すでに STEM 教育は米国に留まらず、欧州、豪州、アジアなどの世界各国に広がっていて、積極的に取り組まれている。

こうした状況の中で、これからの日本の STEM 教育と学習指導要領を考えると、2つの対策が必要である。

1つめは、先に述べたように、2020 年度からの新学習指導要領には STEM 教育に関する記述はないが、関連する内容は随所に見られるため、点在しているそれらの活動を体系的にして、学びが積み上がるようにすることである。そのためには日本版 STEM 教育スタンダードを開発し、各教科での取り組み、総合的学習の時間などでの取り組み、学年、学校種間での関連などを考慮して、カリキュラムの作成と評価ができるようにする必要がある。

2つめは、こうした取り組みと並行して、その次の改訂に向けた考え方を検討していくことである。そのときには 2050 年頃を見据えながら考える必要があるであろうし、教科内容や教科編成の見直し、時間数、免許、養成、研修などについて考える必要があるため、2030 年度に向けた検討とは言っても時間が十分にあるわけではない。また、10 年後の改訂を待たず、その手前の教科書改訂の際に、必要な対策を講じることも視野に入れるべきであろう。

その際に、学習内容には、AI について学ぶことを加える必要がある。現在、コンピュータは身の回りのあらゆるものに使われているが、今後はこれらの多くで AI による情報処理が行われるようになるため、AI 技術を開発する人も使う人も、AI がどのようなものか知っておく必要がある。AI を一部の技術者だけのブラックボックスにしておくのではなく、社会の形成者として必要な基礎知識を身に付けておく必要があるのである。そして、AI の活用範囲が広がるにつれて、これまでは考える必要がなかったような問題が生まれてきて、私たちは人工知能だけでなく、改めて人間の知能や知性、尊厳などについても考えることが必要になるであろう。

このような STEM 教育を今後何と呼ぶべきか、まだ結論に至っていないが、先に述べた派生形のような概念ではないだろうから、ひとまず STEM 教育 2.0 と呼ぶことにして、まずは、日本版 STEM 教育スタンダードの開発を進めたいと考えている。



第15回 (最終回) ゲノム編集とこれからの生物学



三田国際学園中学校・高等学校 教諭

大野 智久 / おおの ともひさ



1981年茨城県に生まれる。2004年東京大学大学院総合文化研究科修士課程修了。在学中は松田良一教授に師事。2006年都立高校の教諭(理科・生物)となり、2019年より現任校に勤務。日本生物教育学会、日本生物教育会に所属。東京都生物教育研究会を中心に活動。日本人類学会や日本人類遺伝学会などの学会と連携し、「ヒトの生物学」の高校現場への導入を模索。上越教育大学の西川純教授の提唱する『学び合い』の考え方に基づく協働学習を実践。NHK高校講座の生物基礎の講師を務める。

2018年11月、衝撃的なニュースが飛び込んできました。中国の研究者が、受精卵にゲノム編集を行い、双子を誕生させたというのです。このニュースにはどんな意味があったのでしょうか。まずはゲノム編集とはどのようなものか見ていきます。

■ ゲノム編集とは

ゲノム編集とは、簡単に言うと、「生物の持つ遺伝情報を自由に改変することができる技術」です。

ゲノム編集には、いくつかの方法がありますが、すべての方法に共通しているのは、「特定の部位でDNAを切断すること」と、「細胞が本来持っているDNA修復機構を利用している」ということです。

「細胞が本来持っているDNA修復機構」には、図1に示すようなものがあります。これを利用すれば、①では切断点を修復するときにランダムな欠失・挿入が起こり、結果的に遺伝子を破壊することができ、②では塩基配列を編集することができます。

DNAが特定の部位で切断されれば、上記のようなDNA修復機構によりDNAは修復され、塩基配列の編集も可能になります。ですから、ゲノム編集において最大のポイントになるのは、「特定の部位で正確にDNAを切断する技術」という

ことになります。

①非相同末端結合 (NHEJ)

切断したDNA二本鎖の両端を結合する。ある確率でDNAの欠失や挿入が生じるが、どのような欠失・挿入が起きるかはランダム。

②相同組換え (HR)

DNA二本鎖の切断部位で、ゲノムDNAとドナーDNAの対合が起き、同じ塩基配列がゲノムDNAにコピーされる。

図1 DNA修復機構

■ CRISPR/Cas9のしくみ

特定の塩基配列を認識して切断する方法としては、ZFN、TALENそしてCRISPR/Cas9の3種類がおもに使われています。このうち、ZFNやTALENでは、切断の目印となる塩基配列をタンパク質が認識しています。そのため、正確に塩基配列を認識するためのタンパク質の設計に難しさがありました。

これに対して、2012年に発表されたCRISPR/Cas9では、ガイドRNAと呼ばれるRNAが特定の塩基配列を認識し、それを目印にCasがDNAを切断するため、ガイドRNAの塩基配列を変化させるだけで、簡単に望む箇所での切断ができる(=編集ができる)ということになります。このため、

ZFN と TALEN に比べて格段に使いやすい技術であり、爆発的に広がっていきました。

CRISPR/Cas9 のしくみをもう少し詳しく見ていきましょう。

図2はCRISPRとCas遺伝子群の構造を示しています。CRISPRは、回文構造を持つ塩基配列(リピート)が繰り返し、その間に「スペーサー」と呼ばれる塩基配列が挿入されているような配列です。

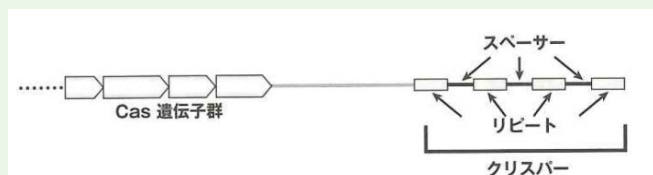


図2 CRISPRとCas遺伝子群 『ゲノム編集からはじまる新世界』(朝日新聞出版)より引用

スペーサー配列を調べると、バクテリアに感染するウイルスDNAの一部だということがわかり、このシステムがウイルスに対する免疫機構であることが明らかになりました。

クリスパー配列は、RNAに転写され、ウイルスDNAに対応する部分(つまり、スペーサーの部分)であるcrRNAがウイルスDNAと塩基対を形成し、そこにヌクレアーゼであるCasを誘導することでDNAを切断します(図3)。

バクテリアは、ウイルスDNAの情報をスペーサーに「保存」しておき、感染が起きた際には、上記のしくみでウイルスDNAを切断しているのです。

切断が起こるためには、crRNAとは別にtractRNAと呼ばれるRNAも必要なのですが、このcrRNAとtractRNAを人工的に合わせた「ガイドRNA」というものでも機能することがわかり、実際のゲノム編集ではガイドRNAが使われています。

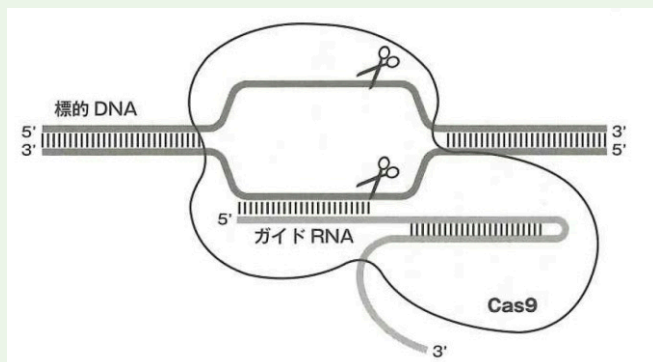


図3 ガイドRNAとCas9の働き 『ゲノム編集からはじまる新世界』(朝日新聞出版)より引用

遺伝子組換え技術との違い

従来から、遺伝子組換え技術により生物の遺伝情報の改変は行われてきました。それでは、遺伝子組換えとゲノム編集はどのように違うのでしょうか。

遺伝子組換え技術では、何らかの方法で外部からDNAを細胞内に送り込み、それがゲノムDNAに組み込まれることによって遺伝情報が発現します。しかし、外来遺伝子が組み込まれる場所はランダムなため、例えば重要な遺伝子の機能が失われるような副作用の懸念があります。また、相同組換えを使った遺伝子組換えができるのは一部の生物のみであるということも課題でした。

これに対して、ゲノム編集では、特定の塩基配列をピンポイントで改変することができるので、「ランダムに遺伝子が組み込まれてしまう」という問題がクリアできます。また、基本的にはどんな生物に対してもゲノム編集は可能であり、対象生物が限られるという課題もクリアされています。

ゲノム編集の実例

このように、遺伝子組換え技術よりも汎用性が高く、望む変異を起こせるゲノム編集によって、これまでに家畜や作物などでさまざまな生物が誕生しました。いくつかの例を紹介します。

まずは、生産者にとってメリットのあるものがあります。角の生えないホルスタイン、肉量を増加させたウシやマダイ、伝染病にかかりにくいブタ、メスしか生まないニワトリ、おとなしいマグロ、成長の早いサバ、受粉しなくても実がなるトマト、収量を増やした稲、毛の量を増やしたカシミヤヤギなどです。

また、消費者にとってメリットがあるものもあります。有害なトランス脂肪酸を発生しないダイズ、二日酔いしないワイン、芽から毒素を取り除いたジャガイモ、リコピンが増えたトマトなどです。

2019年6月には、厚生労働省がゲノム編集技術で開発した食品を販売する際に必要となる届け出の項目案を公表しました。近いうちにゲノム編集された食品が食卓に並ぶかもしれません。SFの世界が現実になりつつあることを実感します。

医療への応用

CRISPR/Cas9は、医療への応用に関して「DNAのメス」

と呼ばれることがあります。実際に、さまざまな疾患を、塩基配列を変化させることで治療しようという試みがなされています。

医療への応用は、体外でゲノム編集をしてから体内に戻す場合と、体内で直接ゲノム編集を行う場合の2種類に大きく分類することができます。このうち、実際に取り組みやすいのは前者です。

2010年、エイズ患者の治療に、ゲノム編集技術の1つであるZFNが使われました。HIVは、T細胞に感染する際に、T細胞表面に存在するCCR5というタンパク質に結合します。そこで、患者からT細胞を取り出し、CCR5をゲノム編集により改変して戻すと、HIVが感染できず、劇的に回復したのです。

これに対して、体内で直接ゲノム編集を行う世界初の臨床試験が、2017年11月にアメリカで行われました。対象となったのは酵素をうまく作れない疾患である「ムコ多糖症2型」で、ZFNを使って肝臓の細胞に正常なDNAを届けて治療を試みたものです。期待したような結果は出なかったようですが、このような動きも既に始まっているのです。

■ CRISPR/Cas9の展開

CRISPR/Cas9を使ったさまざまな応用技術も広がっています。その一つの発想が、「塩基配列を認識するけれど、ヌクレアーゼとしては働かないCas」の設計です。これは、ヌクレアーゼとして働くために必須のアミノ酸に変異を導入することで作成された、dCas9というものです。dCas9には、さまざまなタンパク質をつなげることができるので、さまざまな応用の可能性を含んでいます。

例えば、dCas9に、デアミナーゼという「C-G」という塩基対を「T-A」という塩基対に変換する働きをもつ酵素を結合させることで、DNAを切断することなく塩基配列を改変することが可能になりました。

このほかに、転写開始部位に結合するようなdCas9を使えば転写を抑制することができますし、逆に転写開始部位にdCas9とつなげた転写活性化因子を結合させることで転写を活性化することもできます。

また、dCas9とGFPと結合させれば特定の領域を可視化することができますし、DNAのメチル化やヒストンのアセチル化を行う酵素を結合すれば特定の領域のエピゲノムですらも改変することができます。

また、CRISPR/Cas9には、目的としない部位でDNAが切断され望まない変異が生じるという「オフターゲット効果」の問題が指摘されていましたが、これもさまざまな改良が加えられ、かなり正確性が高まっています。

■ ゲノム編集ベビーの問いかけるもの

再び、冒頭に紹介した「ゲノム編集ベビー」の話に戻ります。この双子は、父親がHIV感染者であるため、HIVへの感染防止のために先述したCCR5の遺伝子をゲノム編集により改変することを目指しました。しかし、この行為に対して国際的に大きな批判が起きました。

まず安全面の問題が指摘されています。すべての細胞でCCR5が破壊されてしまうと、何らかの異常が出る可能性が少なくとも現時点での研究成果からは否定できません。今年の6月には、CCR5に特定の変異を持つ人（今回の双子の変異とは異なるもの）が、変異を持たない人に比べて76歳に達する確率がおおよそ20%低いという論文も出ています。

また、そもそもの話として、父親からのHIV感染を防ぐ方法は他にもありますし、今回のゲノム編集の必要性にも疑問が投げかけられています。

倫理的な観点からの問題も指摘されています。「できること」を増やすことは重要ですが、「それをやるべきか」という倫理的な視点は、ゲノム編集に限らず、すべての技術について重要です。

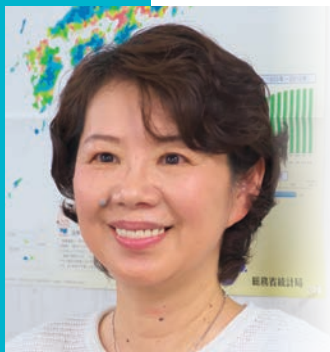
「ヒトの生物学を教えよう」ということで、15回の連載をしてきましたが、今回が最終回です。科学や技術の進展により「わかること」「できること」が増えました。しかし、忘れてはならないのは、「それは人類の幸せに貢献するのか」という視点です。これをお読みの方々は、今後もさまざまな話題に触れることと思います。そのときに、是非この視点を大切にしてください。

本連載がほんの少しでも皆さんの「ヒトの生物学」への興味を引き出し、また教育現場の助けとなれていれば、これに勝る喜びはありません。ありがとうございました。❖

参考・引用文献

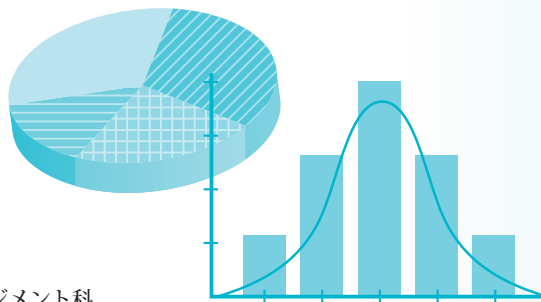
- 宮岡佑一郎（2019年）『トコトンやさしいゲノム編集の本』日刊工業新聞社
- 小林雅一（2018年）『ゲノム編集からはじまる新世界』朝日新聞出版
- NHK「ゲノム編集」取材班（2016年）『ゲノム編集の衝撃』NHK出版

第3回 仮説検定の考え方 ～人類史の検証～



慶應義塾大学大学院 健康マネジメント科
教授

渡辺 美智子 / わたなべ みちこ



九州大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。理学博士。九州大学理学部附属基礎情報学研究施設文部教官助手、関西大学経済学部専任講師、助教授、東洋大学経済学部教授を経て、2012年より現職。専門は統計学、特に多変量解析（潜在構造分析法）と統計教育。日本学術会議連携会員、2012年度日本統計学会賞受賞、2017年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞（理解増進部門）」受賞。おもな著書として、『21世紀の統計科学Ⅲ 数理・計算の統計科学』（東大出版会 分担執筆）、『身近な統計（改訂新版）』（放送大学教育振興会 共著）など。放送大学「身近な統計」主任講師、統計グラフ全国コンクール審査委員長、「算数・数学の自由研究」作品コンクールの中央審査委員を務める。

■ ネアンデルタール人 vs. ホモ・サピエンス

統計学はいろいろな分野の学説の検証に使われています。特に、統計的仮説検定は、想定される仮説の真偽をデータから判断するための大事な科学的方法です。また最近では、“ABテスト”等の名称で人工知能（AI）の技法の中でも活用されています。そのため、新学習指導要領において、共通必修である高校数学Ⅰ「データの分析」の中にも、新しい内容として含まれることになりました。今回は、人類史の検証という、およそ数学とは関連のないと思われる分野にも、統計的検定が使われていることをご紹介したいと思います。

さて、私たち人類の祖先は、およそ20万年前にアフリカで誕生したホモ・サピエンス（ヒト）であると言われています。ホモ・サピエンスが生存していた同じ時期に、別種の人類であるネアンデルタール人も存在していましたが、こちらはおおよそ4万年前に絶滅しています。発掘されたそれぞれの骨や使用していた石器等の道具の使用状況から、ネアンデルタール人はホモ・サピエンスよりも強じんな体格を持っており、知性も劣っているわけではないことがわかってきました。ではなぜ、ホモ・サピエンスだけが人類最後の種として生き残ったのか？ 長く、研究上のテーマとなっていました。

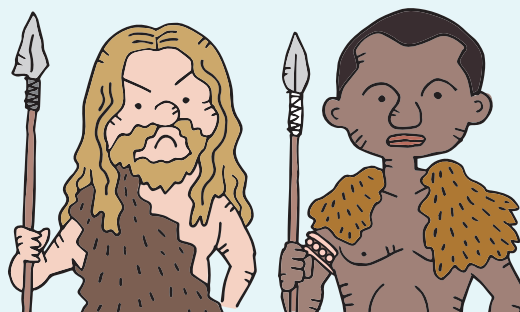


図1 ネアンデルタール人 vs. ホモ・サピエンス

現在、それは、ネアンデルタール人とホモ・サピエンスの暮らしていた集落の大きさの違いだと説明されています。ネアンデルタール人は4～5名の家族単位の比較的小さい集団で暮らしていた一方で、ホモ・サピエンスは150人ほどの大きな集団での生活だったことが遺跡から推察されています。つまり、ホモ・サピエンスは体が華奢だからこそ集団で助け合って生きる精神が発達し、大きな集団での情報共有や社会的な関係性を高める特性が育まれました。この社会を構築する先天的な能力によって、気候変動や食糧難、外敵の存在などから身を守ることに繋がり、絶滅の危機を回避できたとされています。この考え方は、人類史を語るうえで現在、最も有力な学説として知られています。

■ 仮説の検証 — Helper vs. Hinderer

私たちホモ・サピエンスが、集団を作りやすい本質を有しているという研究仮説はどう科学的に検証されたのでしょうか？ この一つの答えが、2007年イェール大学の幼児認知センターによる研究成果として、科学雑誌ネイチャー誌に発表されました。現在、この内容は、『Helper（助ける者）vs. Hinderer（邪魔する者）』として、学校教育における科学的探究の方法（実験の計画とデータの分析・整理）や統計的推測（仮説検定）の考え方をシミュレーション実験を通してインフォーマルに学習したり、数学的理論によってフォーマルに学習する一般的な教材になっています（Doi, 2019）。順を追って、その展開を見てみましょう。

●**研究の動機を確認**：人類が生まれ持っている集団を形成する性質の存在を明らかにする。

●**実験可能な仮説への絞り込みの過程とロジックの構築**：まだ社会的活動を始めていない、生後間もない乳児の心に、協力し合う心が先天的な人間の特性として備わっているのかどうかを他者に対する社会的行動（協調・互助行動と妨害行動）への認識と評価能力として考察する。なぜなら、すべての社会的動物は、彼らを助けるかもしれない同種の個体を識別し、一方で害する可能性のある他の個体と区別する能力（他者の社会行動評価能力）をどれだけ上手く有するかが集団を運営するために必要と考えられるからである。ネイチャー誌に掲載されたイェール大学のチームは、予備調査として生後3か月の乳児の反応でこの特性の存在を調べている。

●**実験の計画**：生後6か月から10か月の乳児16名を対象に、「おもちゃへの嗜好実験」を計画する。乳児の前に、ステージを作り、山を何回も登ろうとしては失敗する、登るキャラクターを見せる。次に、二つシーンを見せる。一つのシーンは、助けるキャラクターが下から登るキャラクターを手伝い、最後は山を越えるシーン、もう一つのシーンは、邪魔するキャラクターが頂上付近まで登ってきたキャラクターを山の下まで押し戻すシーンである（図2参照）。この二つのシーンを乳児に何回か見せ、その後、研究者が乳児の前に助けるキャラクターと邪魔するキャラクターを左右に提示し、乳児がどちらのキャラクターに最初に手を出すのかを調べる。

●**結果の考察**：この実験結果では、16人の乳児中、14人が助けるキャラクターを選択した。この偶然性を考察させる。

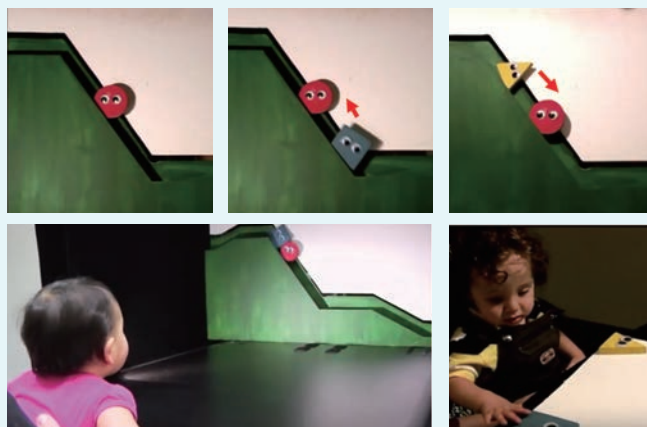


図2 Hamlin 他（2007）によって行われた幼児実験を説明する YouTube ビデオのスクリーンショット
"Helper vs. Hinderer" で検索。

論文では、この結果の分析に二項分布を活用した母比率の一標本検定（二項検定）が適用されています。成功確率 0.5 の独立した試行を 16 回繰り返したときに、14 回以上（14 回ではなく 14 回以上）成功する確率（検定の p 値：有意確率）は、 0.00183 （14 回成功）+ 0.00024 （15 回成功）+ 0.00002 （16 回成功）= 0.00209 と計算できます。これが 1% 以下になることで、「乳児には 2 つのキャラクター選択に嗜好の差はない、すなわち、ランダムに助けるキャラクターと邪魔するキャラクターを選択している」という帰無仮説は有意水準（危険率）1% で棄却となります。この実験と分析の結果が、乳児には生まれたときから自分とは無関係な第三者を助ける者と邪魔する者の行動識別能力があり、さらに、助ける者のほうを嗜好するという社会的性質を持っていることの一つの科学的なエビデンスとなります。

■ 科学的探究と統計的推測の考え方を学習する教材

教材『Helper（助ける者）vs. Hinderer（邪魔する者）』では、二項検定を単に二項確率の計算として取り扱っていません。ランダムという概念を知識獲得と判断（仮説検証）の道具として組み込み、その意味を次のように学習していきます。

クラスでの生徒の活動

① **【実験の計画の理解】**：まず最初に、生徒に仮説をデータで推論することの理解を促すため、「16人の乳児の中で14人の乳児が助けるキャラクターを選んだ」結果の理由を考えさせる。このとき、嗜好の偏り以外に、キャラクターの色や形、机の上に置かれた左右の違いなどの嗜好への影響も意見として出

させる。このような研究では、研究目的と直接関係しない要因を実験結果から取り除く工夫（実験の計画）がデータ取得過程で重要になる。そのための意見を具体的に出させ、乱数を使った「ランダムな割り当て」の方法も指導し、色、形、そして配置への乳児の嗜好が、データ上、うまくバランスがとれるよう計画された実験結果であることを確認する。

②【実験結果を理解するうえで排反する2つの仮説の確認】：

仮説A「乳児は助けるキャラクターを嗜好する」

仮説B「乳児には助けるキャラクターと邪魔するキャラクターの嗜好に区別はなく、実験結果は単なる偶然である」

③【主観的な可能性—確率を問う】：

生徒に、16人中何人以上が助けるキャラクターを選べば仮説Bの偶然性を疑うか、を問う。このときの生徒の人数の分布は残しておく。

④【コイン投げによるシミュレーション—頻度確率】：

生徒に「何を使えば嗜好がない乳児の行動をシミュレーションできるのか？」を設問し、公正なコイン投げのシミュレーションへ誘導する。各生徒に16回コインを投げさせて表の回数を記録し、その分布を黒板で示す。仮説Bの下で実験を繰り返したときの標本分布を頻度分布で体験的に概念理解させる（図3）。

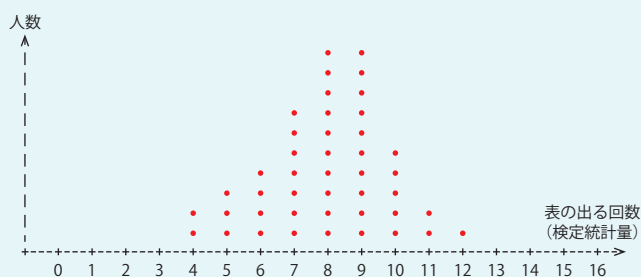


図3 ある高校でのコイン投げの実験結果 (Doi,2019)

⑤【コンピュータ（乱数）によるシミュレーション—標本分布】：

コイン投げの実験を繰り返し、結果の分布を示すWEBアプリレットを用いて、データ取得過程を踏まえて実験を繰り返すシミュレーションの良さを体験させる。生徒は、実験回数（反復試行）を増やすことで標本分布が理論分布である二項分布に近づくことやコインを投げる回数（標本サイズ）と正規分布への近似との関係などを視覚的に理解することができる（図4）。

⑥【確率による仮説Bの棄却】：

図4のシミュレーションで、16回コインを投げて14回以上表が出ることは、仮説Bの下では10000回の実験で24回しか起こらないことがわかる。そのような稀な実験結果を得た場合、仮説Bが成立するかどうかを考察させ、標本分布の上側確率（有意確率）を使って仮説Bを棄

却し、仮説Aを採択する統計的仮説検定の考え方、科学のエビデンスの作り方、仮説Aを採択した場合の危険率を具体例の中で理解させる。

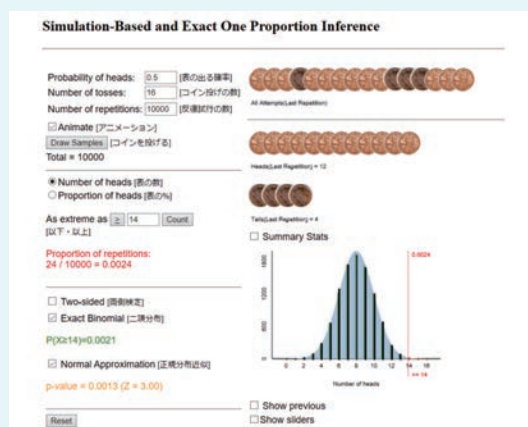


図4 コイン投げのシミュレーションと母集団比率 p の仮説検定

<http://www.rossmanchance.com/applets/OneProp/OnePropJPN.htm>

⑦【理論確率、理論分布、検定の用語の整理】：

上記を踏まえ、研究仮説Aを対立仮説、仮説Bを帰無仮説、表の出る回数を検定統計量、帰無仮説が成立する下で実験を繰り返したときの検定統計量の分布を標本分布ということや、有意確率（対立仮説の方向に実験結果以上のことが起こる累積確率、 p 値）や有意水準（危険率）の意味、理論確率としての二項確率や二項分布の計算を高校レベルではフォーマルに教える。

冒頭でも述べたように、仮説検定の考え方や手法は、機械がデータに基づいて判断するAI技術を理解するうえで欠かせない素養です。上記のような手作業とコンピュータを使ったシミュレーションの両方をベースに統計的推測を教える方法は、海外では初等教育から進められており、これは、限られた公式や計算方法を単に知っているよりは、はるかにAI型社会では応用の効く学習方法と言えます。シミュレーションを活用することで、早期から推測統計の考え方をインフォーマルに理解し、十分に考え方を理解したうえでフォーマルな理論を学ぶ方式です。次回は、もう少し詳しく確率という概念を使って推測や判断を行う基本を紹介します。



参考資料

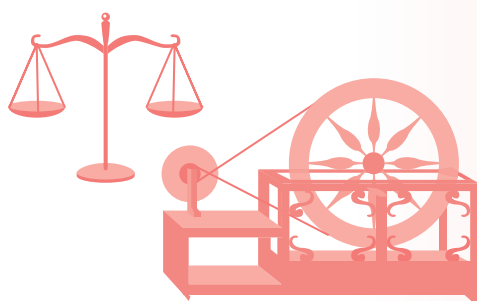
- NHK スペシャル『人類誕生・未来編 第2集「そしてヒトが生き残った」』
- Doi, J. (2019), シミュレーションに基づく統計的推論とアクティブラーニングの授業事例, 日本数学教育学会誌, Vol.101, No.3, 27-38.
- Hamlin, L., et.al., (2007), “Social evaluation by preverbal infants”, Nature 450, 557-559.

第3回 振り子の等時性



国立科学博物館理工学研究部
研究員

有賀 暢迪 / ありがのぶみち



1982年生まれ。京都大学総合人間学部卒業（2005年）、京都大学大学院文学研究科博士後期課程研究指導認定退学（2010年）。大学の非常勤講師などを経て、2013年より現職。高校では「理系」を選択し、大学では物理学を主専攻としていたが、大学院から「文系」に転じて科学史を修めた。現在は、物理学・数理科学の歴史と、近現代日本の科学技術史という二つの領域で、幅広い調査・研究活動を行っている。著書に、『力学の誕生』（単著、名古屋大学出版会）、『20世紀物理学史』（共訳、名古屋大学出版会）、『ビジュアル版 科学の歴史』（共同監修、ポプラ社）などがある。京都大学博士（文学）。

教科書に登場する物理法則の原典を訪ねる連載です。

今回は、振り子の運動に関する法則を取り上げます。

振り子とその性質

物体の運動は、物理学の中でも力学と呼ばれる分野の主題です。運動（ものの動き方）にはさまざまな種類がありますが、理科教育で最初に出てくるのは振り子の運動です。小学校5年の授業の中で、実験を通じて「ふりこのきまり」を学ぶことになっています。

この段階で学習するのは、振り子の1往復にかかる時間（周期）がどんな条件によって決まるかということです。振り子の振れ幅（振幅）、おもりの重さ（質量）、振り子の長さという3つの条件を変えて実験してみると、次のような結果になることが説明されます。

◎小学校理科

ふりが1往復する時間は、ふりこの長さで変わることがわかる。

ふりこの長さが長いと1往復する時間は長く、短いと時間は短くなる。ふりこの長さが同じならば、おもりの重さやふれはばを変えても1往復する時間は変わらない。

これが一般に、「振り子の等時性」として知られる性質です。これはいつ、誰が発見したのでしょうか。

ガリレオの振り子

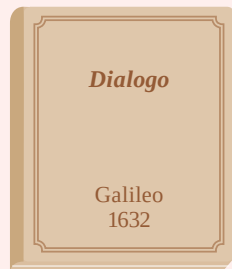
振り子の等時性は、ふつう、ガリレオ（1564-1642）が発見したとされています。地元ピサの大聖堂で、天上から吊るされたランプが揺れるのを見たガリレオは、自分の脈拍を数えることで、振れ幅にかかわらず同じ時間で揺れることを確かめた——このような話を聞いたことのある方は多いのではないのでしょうか。

実はこのエピソードは、ガリレオ自身が語ったものではありません。晩年の弟子だったヴィヴィアーニという人物（1622-1703）が、ガリレオの死後20年近く経った頃に書いた手紙に出てくるものです。発見がなされたとされる年（1583年）はヴィヴィアーニの生まれるずっと前なので、この話がどこまで本当なのかは実はわかりません。

だとすると、ガリレオが振り子の等時性を発見したというのは誤りなののでしょうか。そういうわけではなく、この法則についてガリレオ本人が説明したものが存在します。

知られている中でもっとも古い史料は、1602年に書かれた手紙です。この手紙は、ガリレオが、支援者であり友人でも

あったガイドバルド・デル・モンテ侯に宛てたものです。ガリレオはこの中で、長さ 1.2 ～ 1.8 メートル程度の同じ長さの糸を 2 本用意し、鉛の球を結びつけて振らせると、振幅にかかわらず同じ時間で往復すると述べています。さらに、球は同じ大きさでなくてよいとも言っています。



この 30 年後の 1632 年に、ガリレオは主著の一つである『二大世界系対話』を出版しました（日本では『天文対話』という題で知られますが、ここでは元の書名に近い呼び方を採用しています）。この本は、3 人の登場人物が地動説をめぐる 4 日間にわたり議論するという形式で書かれていて、そのうち物体の運動を主題とする「第 2 日」に振り子の等時性が出てきます。その部分を、登場人物のせりふから引用します（既存の日本語訳を若干変更しました）。

サルヴィアータ 「……というのは、同じ振り子はいつでも同じ時間で、その振動が大きくても小さくても、すなわち振り子を垂直から大きくあるいは小さく離しても、往復するのですから。そしてその時間はまったく等しいことはなくても、ほとんど気付かれぬほどの違いです。このことは実験で示すことができます……」

またこの少し前では、「等しくない長さで吊り下げられた二つのもののうちで、長いひもに結びつけられているものは振動数が少ない」と言われています。これは、振り子が長いと周期が長くなる（＝一定時間に振動する回数が少なくなる）という意味です。

したがって、小学校で学習する「ふりこのきまり」の発見者はガリレオと見なしてよいでしょう。ただ筆者としては、信ぴょう性の低いランプのエピソードより、ガリレオ自身の手紙や本に出てくる記述のほうが広まってほしいと思います。

振り子の周期と糸の長さの関係

ここまで述べてきたように、振り子の周期は糸の長さによって変わります。そしてこの周期と長さの間には、ある具体的な関係があることが知られています。これは高校物理で「単振り子の周期」として学ぶことがらです。

◎ 高校物理

糸の長さが L の場合、重力加速度の大きさを g とすると、単振り子の周期 T は、次式で表される。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \quad (\star)$$

g は同じ場所ならば一定の数値と考えてよいので、この式から、周期 T は糸の長さ L の平方根に比例します。あるいは、周期の 2 乗と長さが比例するとも言えます。

ガリレオは、この具体的な比例関係までは述べていません。それを最初に特定したのは、フランスの神父で博識な学者だったメルセンヌ (1588-1648) であったようです。メルセンヌは科学史においては、ヨーロッパ中の学者たちと手紙をやりとりし、学術情報ネットワークの「ハブ」となっていたことで知られます。また、ガリレオの著作をフランス語に翻訳して紹介することも行いました。

メルセンヌは、周期の 2 乗と糸の長さが比例するという関係を、自ら実験することによって確かめていたようです。以下は筆者の推測ですが、例えば糸の長さが 1 対 4 になっている 2 つの振り子を用意して同時に振らせてみれば、長いほうの振り子が 1 往復する間に、短いほうは 2 往復することになるでしょう。このような比例関係だけであれば、周期を正確に計測しなくても確かめられます。

逆に言うと、式 (★) のような形で周期を求めることは、実験だけでは難しいはずです。おそらく理論的に導出する必要がありますが、その最初は誰かという問題になると、はっきりしたことが言えません。

振り子は本当に等時性をもつのか

ここで話を終わってもよいのですが、もう少し踏み込んでみることにします。実は、先ほど説明した単振り子の周期の公式 (★) は、いつでも成り立つわけではありません。振幅が十分に小さい場合、という限定がつくのです。

図 1 のような振り子を考えてみます。おもりの質量を m 、糸の長さを L とし、ある時点において糸と鉛直線がなす角度を θ とします。このとき、重力加速度を g とすると、おもりには軌道である円弧に沿った方向に $mg\sin\theta$ の力が働きます。ここで角度 θ が十分に小さければ、 $\sin\theta$ を θ で近似することができ、そこから周期として (★) の式が得られます。しかし一般

には、振り子の最大の角度（これが振幅を表します）を θ_0 とするとき、周期 T は次の式で与えられることが知られています（詳細は割愛して結果だけ記します）。

$$T = 4 \sqrt{\frac{L}{g}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\phi}{\sqrt{1 - \sin^2\left(\frac{\theta_0}{2}\right) \sin^2 \phi}}$$

この右辺の積分は、 θ_0 がある程度小さい場合には、次のように近似的に表すことができます。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \left(1 + \frac{\theta_0^2}{16}\right) \quad (\star)$$

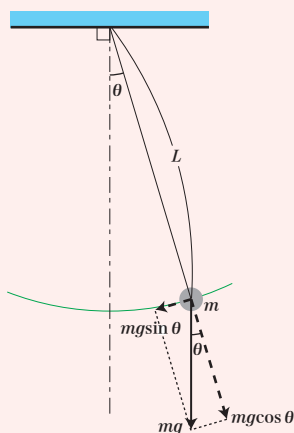


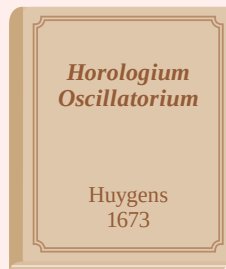
図1 単振り子に働く力

式（☆）からわかる重要な結論は、“単振り子の周期 T は一般には、長さ L だけでなく振幅 θ_0 にも依存する”ということです。振幅が十分に小さければ、（☆）の中の $\frac{\theta_0^2}{16}$ の項が無視できて（★）の式になりますが、振幅が大きくなると無視できない影響が現れます。この事実は、高校までの範囲では明示的に扱わないと思いますが、小学校で「ふりこのきまり」を教える先生方にも知っておいていただけるとよいと思います。

■ ホイヘンズの振り子

これを踏まえて歴史の話に戻ります。糸におもりを結びつけただけの単純な振り子が厳密には等時的でない可能性には、ガリレオも気付いていたのかもしれませんが。先ほど引用した『二大世界系対話』の文章では、「まったく等しいことはなくても、ほとんど気付かれぬほどの違い」という言い方をしているからです。またメルセンヌは、振幅によって周期が違うことをはっきり認識しましたが、その原因を空気抵抗ではないかと予想していたようです。

単振り子が等時性を持たず、かつそれが空気抵抗によるのではないことを最初に主張したのは、ガリレオ、メルセンヌの次の世代にあたるホイヘンス（1629-1695）でした。ホイヘンスには実に多くの業績があるのですが、今回のテーマに関係するのは振り子時計の理論と実用化です。



ここでは、ホイヘンスが何をしたのかごく簡単に紹介するにとどめましょう。ホイヘンスは、単振り子ではない別の振り子を使うことで、振幅に関係なく等時性が成り立つような時計を作ることに成功しました。単

振り子ではおもりの描く軌道が円弧になりますが、ホイヘンスの振り子では、サイクロイドと呼ばれる曲線になります（図2の曲線MPI）。主著『振り子時計』（1673年）の中で、ホイヘンスは、サイクロイドに沿って往復運動する物体が等時性を持つことを理論的に示し、かつ、それを実現する方法を説明しています。

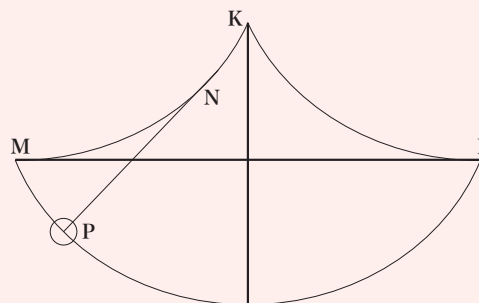


図2 『振り子時計』にあるサイクロイド振り子の図

最後に、今回の内容をまとめます。小学校理科で学習する振り子の等時性はガリレオの発見と考えられますが、有名なランプのエピソードはあくまで伝説です。他方、高校物理で出てくる単振り子の周期の公式は、部分的にはメルセンヌが最初に確かめたと見られます。最後に、ホイヘンスは単振り子の非等時性を認め、サイクロイド振り子の等時性を明らかにしました。小学校理科のレベルから高校物理を超える内容まで、わずか3世代で進展したのは驚くべきことかもしれません。❖

原典についての参考情報

- Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*, 1632. / 【日本語訳】青木靖三訳『天文対話（上・下）』（岩波文庫，1959-1961年）。
- Christiaan Huygens, *Horologium Oscillatorium*, 1673. / 【日本語訳】原亨吉訳『振り子時計』（抜粋），『科学の名著 ホイヘンス』（朝日出版社，1989年）所収。

教育に
新しい風を

細く長いこの道



福岡市民生事業連盟
統括施設長

植木 とみ子 / うえき とみこ

● 「ER緊急救命室」?

「瑠璃ユニットの人手が足りません、応援をよこしてください!」「黄金ユニットでご入居者様同士のいさかいが起こってます、すぐ来てください!」「翡翠ユニットです、田中さんの容体が急変しました、救急車手配をお願いします!」。「ケアタウン茶山」を開設してまだ3か月ですが、毎日がさながら「ER緊急救命室」状態です。

ここは、福岡市の中心部、茶山の丘の約 10,000㎡の国有地に整備された総合福祉施設です。3年前この土地の有効活用のための公募があり、私のこれまでの「人づくり街づくり」の夢を満載した企画書が他の 13 社の競争相手を凌いで当選した結果、私は今ここの統括施設長としてマネジメントを任される羽目になったのです。

そもそもこの社会福祉法人は戦前民生委員が方面委員と呼ばれていた時代、大正 15 年に社会福祉事業が公的に未整備な中で、方面委員の有志が中心となって当時の福岡市長を会長に、互助の精神で生活困窮者の救済に努めたのがその始まりです。戦後この組織は指導部門は社会福祉協議会、事業部門は民生事業連盟に分離され、昭和 32 年に法人格を取得した後、葬祭事業、特別養護老人ホーム、デイサービスセンターなどを運営してきました。

成り立ちがこのようなものですから、私をはじめボランティアの理事の回り持ちのお役勤めで、介護保険制度が施行されいろいろな業界から高齢者福祉に参入してこられた結果、当法人はこのまま時代遅れの経営を続けていたのでは存続も危うしという状況になっていました。そんな中での起死回生の一策。従業員は 70 名から 200 名に一気に膨れ上がり、なにしろ夢満載ですからこれまでのどこにもないような理想の介護に向けた施設づくり、運営の在り方を目指し、施設のしつらえ、運営方法なども全く新しく、手探り状態の真ただ中にあります。

● 研究者、行政官、経営者

私は今ではこのような経営者としての仕事をしていますが、当初は家族法の研究者でした。長崎大学で教鞭をとる傍ら、特にそのころから顕著になってきた離婚、少年非行、高齢者問題について国内外の調査に明け暮れていました。この研究で、日本人は自分自身で考え行動することに弱さがあり、そのため人

と平等に連帯し助け合うことが不得手であることがわかりました。そこで、これからは自立と互助の精神、またそれを実行するためにコミュニケーション能力を育成することの必要性を国に提言しておりました。

そんな中、福岡市から初代の女性部長として迎えられました。当時の桑原市長は労働省の事務次官だったときに男女雇用機会均等法を作られた方で、とにかくこの福岡市から女性の地位を向上させようといへんな意欲をもっておられました。「女性を元気にするために、何でも好きのようにやってください。」そこで私は地域の女性団体を組織化し地域づくりのための意思決定機関の中に位置づけるとともに、「ふくおか女性まつり」や「国際女性フォーラム」など女性自身が企画運営するプログラムを展開し、また女性リーダーを育てるために勉強会や交流会などさまざまな機会を設けました。おかげさまで今日の福岡市ではこの中から育ったたくさんの女性経営者が活躍しています。その後、福祉、文化、環境などほとんどすべての行政分野を経験させていただき、最後に教育長を拝命しました。特に印象深かった仕事はユニバーサルデザインの街づくり、家庭ごみ減量のためのごみ袋有料化、学校の安全を守るために地域の力をお借りする「学校はまち、まちは学校」の取り組みなどです。この中でも私の関心事は常に個人の自立とそれを支える連帯、互助の組織にありました。

役人生活を終えてからは、これまで追求してきたこの自立と連帯の組織を自分自身の力で造ってみたいとの思いから、「人づくり街づくり」のための会社を興しました。はじめにご高齢の方が最後の瞬間まで自立して生きることができる施設を目指した社会事業に取り組みました。自立のためには健康な体が一番大切ですから、まずは食べること、おいしく栄養価の高い食事を提供しています。次に尊厳をもって生き続けていただくために生きがいの創出、そのために共同生活の中でそれぞれの役割を持っていただき、また学び続けるために趣味のスクールも開催しています。さらに近くの公民館との連携のもと、普段から地域の方々と一緒に食事をしたり、趣味の活動にも参加していただいたりしています。特別に高齢者だと意識せず、普通に地域の中で暮らしているのです。みなさまの平均年齢は90歳以上ですが、とてもお元気で自立して生活しておられます。おかげさまで九州では唯一高齢者施設のモデルとして国交省が全国に紹介してくださるようになりました。

● 「ケアタウン茶山」とは

そしてこの個人事業の延長がこの度の「ケアタウン茶山」事業なのです。タウンというからには広い敷地に建物が複数、一つは特養棟でこれだけが3階建て、この中に10人ずつ10ユニットの部屋があり、また事務室、厨房もあります。他に、木造平屋のグループホーム棟、デイサービス・地域交流室棟、保育所棟が芝生の広場を囲むように配置されています。建物には木を多用しました。その周りはまた芝生や木立、花壇で囲んでいます。地域の誰もがここに来て、ちょっと休めるようにいつでも門は広く開けています。部屋は窓を広く取り、明るい色調の和モダンのテイスト、各居室は片方の壁には優しい色の和紙を張り、ちょっとしたものが掛けられるように長押も付けました。

食事をとても大切にするのは、ここでも同じ。認知症の方でも舌の感覚は残っているようです。「この料理は料亭の味がする」とおっしゃいます。それもそのはず、日本料理調理技能士の大学の先生を料理長にお迎えし、すべてこの厨房での手作り。やせ細って寝たきりだった方は、ここに入居されて少しふっくらとられました。この料理を近所のお年寄りにも毎日食べていただきたいというのが、私の次の企て。そうすれば介護の必要なお年寄りはずいぶん減るのですから。そのために地域交流室の中にカフェを配置しています。今のところ地域交流室ではいろいろな団体の視察、勉強会、ボランティアによる演奏会などが開催され賑やかです。

入居の方々にはできるだけ自分らしく暮らしていただきたい、ということで10人一組の家庭的なユニットケアです。介護スタッフの他にアシスタントスタッフとして地域の奥様方にお食事の配膳やらお掃除、おしゃべりの相手などお手伝いしていただいています。お年寄りは子どもが大好きで、保育所の子どもたちとの触れ合いをととても喜ばれます。子どもたちもおじいちゃん、おばあちゃんが大好きで、遊びの途中で摘んだ草花など届けてくれています。

人は亡くなるまで、成長でき、尊厳をもって生きられる、これが私たちの目指す福祉です。このような姿を子どもたち、若者たちに見せることが本当の人間教育だと信じています。

さらに、この度初心者が介護技術を学べる施設も設けることになりました。「ケアタウン茶山」はまさに総合的福祉教育の場としての役割も担っています。



備前まなび塾+(プラス)の 学習支援をして



元備前市教育委員会教育長
備前まなび塾+学習支援者

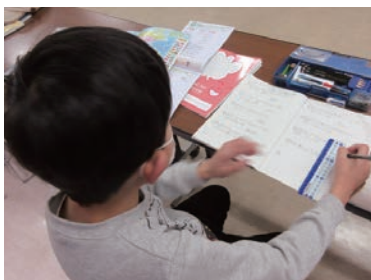
土山 球一 / つちやま きゅういち

備前まなび塾のスタート

「まなび塾」という響きに、豊後高田市の「学びの21世紀塾」を思い出された方も多いと思います。平成25年の備前まなび塾の立ち上げにおいては、NHKの「学びの21世紀塾」放映に始まります。学校教育課の担当者が豊後高田市を視察し、担当の方から運営全般についてうかがいました。

本市では、市内10小学校区の地域・地区公民館に学び塾を設置、学習支援者は市内外年齢を問わず募集しました。土曜日午前中、45分3時限の学習からスタートしました。塾生(小学校3年生~中学校3年生)は、持参してきた宿題・問題集をする時間割を自分で決め、支援者は、静かに学習のようすを見守り、そして支援が必要と判断したときは最小限の支援します。また、学校教育課編集の問題集や市販の問題集も用意しました。

当時、全国学力学習状況調査の平均正答率の市町村ごとの公表が始まっており、教職員はもちろんのこと、保護者も子どもたちの学力学習状況について不安を持っていました。市教育委員会において市内小・中学生の全国学力学習状況調査結果、中学校1年生の県学力学習状況調査の結果を分析すると、A・B問題ともに正答率が全国平均に達していませんでした。それぞれの年度の結果だけに注目し、1つの学年の小6の全国調査の結果、中1の県調査の結果、中3の全国調査の結果というように、4年間継続して結果分析をして教員が学習指導に活かしていくことができていませんでした。小学校と中学校との調査結果のやりとりもできていません



宿題に取り組む塾生

でした。

一方、学力学習状況調査でのアンケート調査を見ると、小学校から家庭での学習習慣がついてない児童・生徒が多いということが明らかになりました。もちろん、それぞれの小中学校では、児童・生徒の実態に基づいて、宿題の出し方、自主学習ノートの指導をしていました。小学校3年生までの生活中心の学習から、4年生からの基礎的な教科中心の学習に対応するために、何とか家庭学習時間を増やす手助けはできないものか、地域の方々の力をお借りすることはできないかというのが「備前まなび塾」立ち上げでした。

備前まなび塾の支援を通して

小・中合わせての入塾率の推移は、H25:13.1%, H26:13.5%, H27:14.1%, H28:17.6%, H29:13.5%, H30:11.5%となっています。児童・生徒数の自然減で各学び塾の児童・生徒数は減少しています。土・日曜日は、通塾、習い事に行く児童・生徒が増えています。そのような中でまなび塾の指導はどのようにあるべきか、学習支援者も考えながら支援しています。

私が学習支援をしている教室での支援をまとめてみます。

- ① 子どもたちは、同学年や高学年のようすを見て、互いに刺激を受けているようです。同学年6名の女子が切磋琢磨した年度では互いの学力も向上したと思います。集中できにくい低学年の子どもたちに、支援者が「6年生の勉強のようすを見ましよう」と声かけをすることもあります。
- ② なかなか学習に取り組めない子どもに強い指導はせず、ゆったりとスモールステップで、少しの進歩・向上をほめ、その気にさせていきます。子どもに安心感を持たせ意欲につながるようにしています。

- ③ 子どもの自主学習ノートに問題を書いたり、問題集のコピーを持たせたりする保護者もいます。漢字検定に母子で挑戦している例もあります。「お母さんはすごいね」「字がきれいだね」といいながら保護者の気持ちに添うよう声かけし、採点をし、「家に帰ったら、お母さんにも見てもらってね」と声かけをしています。
- ④ 大学生の支援者には、子どもの発達状況や心理、子育てについての親の気持ちなどを、折に触れ話すようにしています。「やさしく接する」「励ます」「興味付けをする」「ほめることがやる気につながる」など実際の指導場面で助言しています。
- ⑤ 1日の「めあて」用紙を配付し、その日の反省を書かせファイルに綴じさせています。「めあて」がしっかり書けている子どもは、その日の反省もしっかり書けているようです。「めあて」のファイルで1日の反省や、一定期間での進歩を見つけ、がんばりをほめることができるよう支援者が研究していく必要があると思っています。



教室風景

- ⑥ まなび塾には各教科の書籍・問題集、辞書、文房具が整備されています。国語・漢和辞典、三角定規、直定規、コンパスは最もよく使われています。問題集、その他の書籍は、まだまだ十分に活用できていないが、子どもたちは、平成28年度から導入されているタブレットパソコンには興味を示し、漢字や英単語などを早押しゲームで学べるソフトに人気があります。小学校でもタブレットを使用しているので、調べ学習では抵抗なく使用しています。学年別問題集ソフト「タブレットドリル」も導入されています。支援者も研修を受け、積極的な活用をしようと思っています。



教室に整備されている教材

■ 平成 28 年度からの備前まなび塾+（プラス）への移行

平成 28 年度4月から「備前まなび塾+（プラス）」として、新たにスタートしました。1つは、従来どおりの「土曜日・長期休業講座」です。もう1つは「体験活動講座」です。「土曜日・長期休業講座」には、タブレットパソコン活用、漢字検定の実施が入りました。体験活動講座は、英語体験教室、自然体験教室など、子どもの知的好奇心を刺激し、学校でのまなびの基礎となる活動を7～9教室開催しています。活動を通じてまなび方を学んだり、郷土の良さを理解したりする内容も含んでいます。



英語体験講座

■ まとめ

備前市の教育の目標は、子どもたちの「心を育てること」「学力を高めること」です。そのためには、大人たちが子どもに目を向け、手をかけ、心を通い合わせながら「子どもを育てながら、大人も育ち会う」地域を目指しています。

学校教育課の子どもの学習習慣づくりに始まったまなび塾から、社会教育課所管となり、体験活動講座も加え、まなびの視野を広げ、大人たちが支援者となり子どもとともに育つ生涯学習に繋がっています。



.....編集後記.....

台風によって千葉県では大きな被害が出ました。被災されました皆様には謹んでお見舞い申し上げます。第6回を迎えた「算数・数学の自由研究」作品コンクールには、全国の小・中・高の児童・生徒から17,000を超える作品が届きました。現在作品の審査を行っています。年末には受賞作品を発表いたします。今号と次号では、21世紀型スキルを育む学びであるSTEM教育を特集します。（財）理数教育研究所 事務局



ソフィ・ジェルマン ～ Nothing Stopped Sophie ～

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらい すずむ

キャサリン：ソフィ・ジェルマン？

ハル：会議で一度会っているが、あまり覚えていない

キャサリン：彼女は1776年、パリ生まれよ

ハル：じゃあ会っていないね

数学映画『Proof』（2005年 アメリカ）のワン・シーンに今回の主人公ソフィは登場する。パリ科学アカデミーで大賞を受けた初めての女性がソフィ・ジェルマン。女性数学者として最も知られているソフィ・ジェルマンは1776年4月1日、パリで生まれた。生涯を通して数学とともに駆け抜けていくソフィの姿に、Proofの主人公キャサリン——偉大な数学者を父に持ち、自らも数学科の大学生——の姿が重なる。

ソフィは幼いときから数学のことばかり考えていた。パリの裕福な絹商人であった父と母は自分たちの娘が数学にばかり熱中することを嬉しく思わなかった。

1789年、パリは騒然としていた。バステュー襲撃が起これ、フランス革命が始まる。街に出られなくなった13歳のソフィは自宅に籠もりさらに数学に熱中していく。両親の反対はますます大きくなるが、ソフィを止めることはできなかった。父親の書庫にある数学書を見つけたし読みふけた。アルキメデスやエラトステネスを皮切りに書庫にある数学書を読み出した。終いにはラテン語とギリシャ語を独習し、ニュートンとオイラーまでも読破した。両親によるソフィに対する反対はますます大きくなっていくが、ソフィを止めることはできなかった。数学者になって詩のような論文を書くことを夢見る少女が騒乱のパリに誕生した。

19歳になったソフィは、フランス革命が静まる中、数学への闘志を燃やしていく。できたばかりのエコール・ポリテクニクは女性を受け入れなかった。ましてや女性の研究を理解できる教授などいなかった。それでも、ソフィは秘密に講義ノートを手に入れ、研究結果を手紙にして送り始める。「Monsieur LeBlanc（ムッシュ・ルブラン）」のサインで。数式がぎっしり書かれた手紙の宛先は、ラグランジュ。LeBlancの知性に驚いたラグランジュは手紙の送り主の自宅を訪ね、送り主が女性であることを知る。ラグランジュは

ソフィの指導者となりソフィを支援した。ラグランジュのおかげで、ソフィはパリの社交界デビューするも、華やかな雰囲気もソフィを止めることはできなかった。ラグランジュのおかげで整数論に興味を持ち始めたソフィは、ガウス20歳の大作『Disquisitiones Arithmeticae（算術研究）』に取りかかった。そして、再びMonsieur LeBlancのサインで手紙を書き始めた。宛先はもちろん著者であるガウス。手紙の中でソフィはフェルマーの最終定理についての研究を示した。文通は5年続いたが、二人は会うことはなかった。

32歳になったソフィはパリ科学アカデミー主催の金属板の振動実験に関するコンテストに興味を持つ。34歳と36歳、2度匿名論文を提出するものの受賞できなかった。ソフィを止めるものは何もなかった。かくして3度目の挑戦がなされ、1816年パリ科学アカデミーは論文「Recherches sur la théorie des surfaces élastiques」に大賞を授与。時にソフィ、40歳。論文の表紙にMarie-Sophie Germainの本名が燦然と輝いた。ソフィが導出した弾性体表面の運動を記述する微分方程式が次である。

$$N^2 \left(\frac{d^4 z}{dx^4} + 2 \frac{d^4 z}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 z}{dy^4} \right) + \frac{d^2 z}{dt^2} = 0$$

アカデミーのグランプリを得たことで、ソフィは最も有名な数学者が集うサークルに招待された。コーシー、アンペール、ナヴィエ、ポアソン、フーリエ、そしてルジャンドル。この中の一人、ナヴィエ・ストークスの方程式で知られる数学者ナヴィエはソフィを次のように評した。「この研究は、男性でもほとんど理解できず、ただ一人の女性にしか書けないものです」と。

1815年、パリ科学アカデミーはフェルマーの最終定理の証明に関する賞を提案。ソフィは証明へのアタックを再開。幾度の挫折にも負けずソフィは突き進んだ。

p を奇素数とする。 $x^p + y^p = z^p$ を満たすような p で割り切れない整数 x, y, z は存在しない。

かくしてソフィ・ジェルマンの定理に結実、フェルマーの最終定理の研究にとって大きなブレイクスルーとなった。

53歳の時、ソフィは乳がんにもかかわらず研究を続けた。弾性体表面の曲率の研究が最後となった。1831年6月27日、ソフィ・ジェルマンはパリで帰らぬ人となる。性別、両親の反対、フランス革命、大学制度、名誉、栄誉、栄華、挫折、病氣、そのどれもソフィの数学をする心を止めることはできなかった。