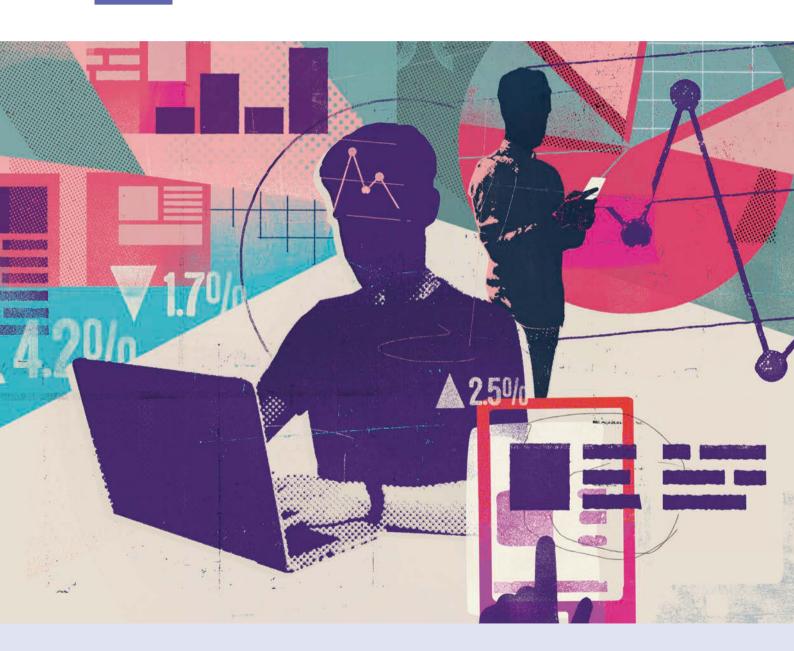
日本の理数教育をサポートする

Research Institute for Mathematics and Science Education



特集

探究的な学習活動の充実 Ⅱ



Contents

表紙

巻頭言

科学の営み、教育の営み

地質学者/高橋 雅紀

特 集 探究的な学習活動の充実 Ⅱ

- 5 | | 探究活動の充実に向けて
 - ●義務教育段階における探究・STEAM 教育 ~国の政策立案の視点と学校現場での実践を考える~ 石川県加賀市教育長 島谷 千春
- 9 ② 地域と連携・協働した探究活動の推進 ~グローバル探究科における探究活動~ 前 高知県立山田高等学校 校長 正木 章彦
- 13 **③ 普通科における理数探究基礎の導入と実践** 千葉県立幕張総合高等学校 教諭 北川 輝洋
- 17 連載 やさしい電気化学〜化学変化で起こす電気, 電気で起こす化学変化〜 第1回(新連載) 身の回りの電池 -アルカリマンガン乾電池 東京学芸大学教育学部自然科学系 教授 鎌田 正裕
- 20 連 載 確率の現代的活用 第2回 ベイズ統計学とベイズ意思決定 一統計学から AI へ 東京大学 名誉教授 / (株) ベイズ総合研究所 代表取締役 松原 望
- 23 連載 物理用語の成り立ち ~万物の根源を求めて~ 第2回 元素 (エレメント element) Ⅱ 一近代におけるエレメント 元徳島県公立高等学校 教諭 西條 敏美
- 26 教育に新しい風を 東京懇談会より 持続可能な社会の創り手になるための「学び」の成立 日本教材学会 常任理事 細谷 美明
- 28 広場 地域教育で活躍する人々 第36回 青少年のための科学の祭典 広島大会におけるコロナ対策 公益財団法人広島市文化財団 広島市江波山気象館 主任学芸員 池本 和弘

裏表紙

数学と言葉 第5回

「否定」その2 簡単で難しい否定

サイエンスナビゲーター ® 桜井 進





地質学者

高橋雅紀/ table at the

1962 年群馬県生まれ。小学生のとき、家族旅行で訪れた埼玉県の長瀞で貝の化石を買ってもらったことが地質学との出会い。東北大学に進学し、卒業研究として埼玉県の秩父盆地を2年間調査。博士課程を修了後、ナウマンによって設立された地質調査所(現産総研)に入所。関東地方の地質を調べ、日本列島の成り立ちを研究。2017年に記者発表した日本海溝移動説は、同年にNHKスペシャルとして放映。ブラタモリの出演がきっかけとなって、最近は地形の研究に没頭中。定年を機に本の執筆に舵を切り、第二の人生を開始。好きな言葉は「放牧・放任・放し飼い」。座右の銘は「退路を断たないと、次の扉は開かない」。いつも心がけている自身の矜恃は「初代で、一代限り」。

科学の営み、教育の営み

科学における発見とは、どのようにしてなされるのでしょ うか。いわゆる勉強ができる人と科学者として歴史に残る大 発見をなす人の違い、そこには決定的な差があるように思う のです。学校教育において、個人を支配する成績や偏差値。 それらは数値化された序列であり、他者との明確な優劣であ り、人としての価値を表す定量的評価との認識は、この歳に なっても心の奥底に染みついています。テストの点数に一喜 一憂し、偏差値を気にして受験校の選択に右往左往する。私 は二度と高校生のときに戻りたくはありません。

勉強がさほど得意ではなかった私は、地質学者となった現 在でも研究に夢中です。バブル景気に目もくれず、科学者と して生きることしかできないと決心し、博士課程に進学して 研究に明け暮れた大学院生時代に比べても、今のほうが遥か に充実しています。そう、勉強と研究は全く異なるのです。

教科書に書いてあることを頭の中に入力し、テストでその 記憶を答案用紙に出力して満点を目指す。それは悪いことで はありませんが、単なる訓練に過ぎません。高校で学んだ微 分・積分を、私は研究人生で使ったことはありません。だか らと言って、無駄ではないのです。数学を学ぶ目的は、論理 的に考える能力を身につけること。自分の思考をまとめ、そ の考えを他者に伝えるためにも, 論理的思考は必須です。

同様に、物理や生物、化学や地学、はたまた日本史や世界 史, 古文・漢文に至るまで、無駄なものは一つもありません。 ところが、学んでおいてよかったと気がつくのはずっと後な のです。しかも、学んだことのほんの少しだけ。無駄ではあ りませんが、ほとんどが使われない知識や経験。しかし、そ の引き出しの多さが科学者にとっては財産なのです。

とは言え、知識の羅列は科学ではありません。知識と知識 を組み合わせて全く新しい概念を生み出したとき、科学は進 歩したと言えます。ここで重要なのが、新しい何かを生み出 す能力。そう、生み出すのは苦痛であり、快感であり、困難 の極みなのです。なぜなら、試験問題のように、必ず解答が あるわけではないのだから…。答えが存在しているのかどう かもわからないのです。問題が解けたとき、初めて答えが存 在していたことがわかるのです。そのような問題は、試験に は出題できません。そう、答えがあるのかどうかさえわから ない問題を解く営みが科学なのです。解法を丸暗記し、誰よ

りも早く正確に答案を仕上げる能力とは、全く別の才能が必 要なのです。

その才能とはどのようなものなのでしょうか。言葉を換え るなら、科学者に必要な資質とは何なのでしょうか。私は "癖"ではないかと思っています。誰かに言われなくてもやる。 三度の食事を二食に減らしてでもやる。ダメと言われても隠 れてやる。「研究費が足りないからできない」などと言い訳が 先に口に出る人は科学者に向きません。効率とか費用対効果 (コスパ)を意識する人も不向きです。そのような人は、一 つのパラダイムの中で同じことを繰り返し、薄利多売の競争 をするだけです。科学者は画家や作家と同じように、それで しか生きていけない人であり、いわゆる職業ではないのです。

それでも、科学者を目指す若い人は少なくないでしょう。 職業研究者の道は狭いけれど、皆無ではありません。一回の 人生を科学の世界に賭けてみる。平和な日本だからこそ、思 い切った挑戦が可能なのかも知れません。そのような若い人 に、一つだけアドバイスを贈ります。それは「科学の探究に おいて最も重要なのは違和感である」ということ。教科書に 書いてある内容を丸暗記して満足する人は科学者には向きま せん。違和感を覚えなければ、研究のスタートラインに立つ ことすらできないのです。何を知りたいのか、何を解明して スッキリ(合点)したいのか。その"何"がなければ始まらな いのです。学んだことの中のほんの些細な違和感を大切に とっておいて、事あるごとに試行錯誤を繰り返す。そうすれ ば、運がよければ…、もしかすると…、10万人に一人にだけ、 セレンディピティー (幸福の女神)が微笑むかも知れません。

さて, 教育現場の先生方は, まっさらな未来の前で不安し かない若い人たちに、自身の人生を振り返ってどのような言 葉を贈りますか? 教育とは、教科書に書いてあることを生 徒の頭にコピー&ペーストすることではありません。何年 も何十年も一足早く人生を歩いてきた一人一人が、これから 歩き出す若い人たちに贈るメッセージが教育です。それは, 「自分の人生をやり直すことができるとしたら、私はどのよ うに生きるだろうか」という問いに対する回答です。それに は解法も解答もありません。その意味で、教育とは科学と同 じ営みなのかも知れません。 •

探究的な学習活動の充実 Ⅱ

今求められる探究とは 探究の意義. 過程. 質の理解に向けて

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

松原 憲治 / まつばら けんじ

山口県の公立中学校および県立高等学校、国際協力機構 (JICA) 青年海外協力隊 (理数科教師)、JICA 技術協力専門家 (理 科教育、授業研究)を経て、2009 年度から現職。TIMSS などの国際調査の実施や、小学校および中学校学習指導要領解 説理科編,高等学校学習指導要領解説理数編,「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料(高等学校編理数) の作成に関わる。専門は科学教育、国際教育協力。日本科学教育学会理事、日本理科教育学会教育課程委員会委員。

***** はじめに

新共通教科の理数では、数学的な手法や科学的な手法など を重視する新科目の理数探究基礎と理数探究が設定された。 本稿では、学習指導要領における探究的な活動や探究の過程 について重要な点を整理することで、今求められる探究の姿 を示す。加えて、教師が探究的な活動を理解したり、どのよ うな探究的な活動を行うかを検討したりする際の視点として, 探究の質に関する枠組みを紹介する。

〉 ♪ 学習指導要領における探究的な活動

高等学校学習指導要領(平成30年告示)では、複数の教科・ 科目で探究的な活動が重視されている。理数以外でも、新た に国語科では古典探究が、地理歴史科では地理探究、日本史 探究と世界史探究が設けられている。総合的な学習の時間に ついては、これまでも熱心な学校において探究的な活動が実 施されていたが、総合的な探究の時間へと名称が変更され、 探究への指向が明確になった。「探究」の名称が付されてい ない教科・科目等についても、それぞれの内容項目に応じて 探究的な活動が推奨されている。このような流れの中で、小 学校と中学校での各教科等の学習においても、より広く探究 的な活動が実施されることに期待が高まっているといってよ いだろう。

『高等学校学習指導要領解説総則編』の説明を基にすると、

探究的な活動は目的の観点から大きく二つに整理できる。ま ず, 古典探究, 地理探究, 日本史探究および世界史探究では, 各教科・科目の内容の理解をより深めることが目的である。 そのため、探究的な活動は教科内容に応じた課題に対して行 うことになる。対して、総合的な探究の時間や理数科(理数 探究と理数探究基礎)では、課題を発見・解決していくため に必要な資質・能力を育成することが目的である。ここでの 探究的な活動は、自然事象や社会事象の中から生徒が設定す る課題に対して行う。

理数探究と理数探究基礎では、生徒が学習する内容(知識 および技能)として「探究の意義についての理解」が位置付 けられている。『学習指導要領解説理数編』には探究の意義 として、探究は知的好奇心に根ざしたものであること、探究 により新たな課題に挑戦する態度を身に付けることが期待さ れること、探究の積み重ねが科学技術の進歩や新たな価値の 創造につながっていることを理解すること、科学や技術の進 歩の多くは失敗を含む試行錯誤などの積み重ねの上に構築さ れるものなどが示されている。これらは、科学ではどのよう にして知識が構築されるかを学ぶものである。つまり、理数 探究と理数探究基礎においては、探究を行う中で、理科や数 学の内容知識を深めることに加えて、科学の性質や本質につ いての理解を深めることが期待されているのである。言い換

えれば、科学的内容の知識(knowledge of science)だけで なく、科学についての知識(knowledge about science) も 重要であるということである。このような考え方は、理科の 内容に科学の本質に関する内容を含めるものであり、諸外国 の科学カリキュラムにおいても同様の動きがある。これは、 今求められている探究の姿の一つであろう。

/ ☆ 探究の過程

次に,総合的な探究の時間と比較しながら,理数科におけ る探究の過程について重要な点を整理する。『学習指導要領 解説理数編』では、理数科と、総合的な探究の時間の学習指 導要領解説に書かれている探究の過程を整理している。

本稿 ではこれを図1として示す。

理数科	総合的な探究の時間
①課題の設定 自然や社会の様々な事象に関 わり、そこから数学や理科など に関する課題を設定する。	① 課題の設定 体験活動などを通して、課題 を設定し課題意識をもつ。
②課題解決の過程 数学的な手法や科学的な手法などを用いて、仮説の設定、検証計画の立案、観察、実験、調査等、結果の処理などを行う。	② 情報の収集 必要な情報を取り出したり収集したりする。
③分析・考察・推論 得られた結果を分析し、先行 研究や理論なども考慮しながら 考察し推論する。	③整理・分析 収集した情報を、整理したり 分析したりして思考する。
①表現・伝達 課題解決の過程と結果や成果 などをまとめ、発表する。	④まとめ・表現 気付きや発見、自分の考えな どをまとめ、判断し、表現する。
※指導上の配慮事項 探究の過程は①~④の必ずし も一方向の流れではない。探究 のための具体的な方法を固定し て考えず、探究の過程を適宜振 り返りながら改善させる。	※指導上の配慮事項 探究の過程は①~④が順序よ く繰り返されるわけではなく、 順番が前後することもあるし、 一つの活動の中に複数のプロセ スが一体化して同時に行われる 場合もある。

図1 理数科と総合的な探究の時間における探究の過程

理数科(理数探究)の探究の過程と総合的な探究の時間の 探究の過程では、共に段階①の「課題の設定」で生徒が課題 を設定する。どちらも、生徒が探究における問いを立てること が期待されている。これは生徒の主体的な学習の観点からも重 要だが、実際には生徒が自分達で問いを立てることは容易でな く、教師の適切な支援が必要である。理数科については、生 徒に自然事象や社会事象に対する疑問や問題意識などをもた せるような、教師の働きかけが大切である。これについて、『学 習指導要領解説理数編』では、下記のような例を挙げている。

- ・数学や理科などの授業で疑問に思ったことを基にしたり、 科学史などの話題を参考にしたりする
- ・研究機関、施設などの見学や研究者の講演会への参加

生徒の疑問や問題意識が具体的でない場合には、疑問や問 題意識を言語化させて、その意味を問いかけたりすることも有 効である。また、課題の設定は探究の質を左右するものであ るから、生徒の活動時間を十分に確保することが大事である。

段階②で示された理数科の「課題解決の過程」は、総合的 な探究の時間の「情報の収集」との違いが大きい。生徒が問 いを立てた後、対応するデータや情報を生徒自身が収集する ことは同様だが、理数科では数学的な手法や科学的な手法な どを用いる。そこでは、仮説の設定、検証、観察、実験や調 査などで表された科学的探究の過程が重視されるが、これは 科学者が研究する際の手続きについて、ある程度の共通部分 を抽出したものである。また、図1の「指導上の配慮事項」 にあるように、探究の手続きは固定せず、対象に合わせるこ とが大事である。

優れた実践では、ある一つのテーマについて探究のサイク ルを2回以上回したものが多い。生徒が自分なりの探究を 深める時間や機会を用意することは、特に重要である。

5 ‡ 探究の質と教師の支援

前述のように探究的な活動への意識は高まっており、今後、 探究の冠を付けた学習活動はさらに増えていくことが予想さ れる。一方で、探究的な活動の実施に関する課題も指摘され ている。その一つに、生徒の探究の手続きに関する経験が乏 しい段階で、程度の高い探究的な活動が求められてしまう場 合がある。どのような時期にどのような質の探究的な活動を 行い、教師はどのような支援を行うとよいのか。これを計画 的に進めるには、探究の質についての理解が必要であり、ま

た, その質を段階的に捉えることが有効である。本稿では, Banchi & Bell (2008) による探究の質に関するモデルを紹介 する (図2) *2。

このモデルは、1962年のシュワブの研究を起源とした科 学的探究を基盤とし、教師が探究的な活動を理解するための 視点や、カリキュラム上でどのような探究的な活動を行うか を検討する際の視点を与えてくれる*3。

探究レベル (Inquiry Level)		手続き	解
1. 確認としての探究 (Confirmation Inquiry) 学習者は、結果が事前にわかっている活動を通 して原則を確かめる。	~	~	~
2. 構造化された探究 (Structured Inquiry) 学習者は、教師が提示した問いについて、決められた手続きによって調査する。	>	>	
3. 導かれた探究 (Guided Inquiry) 学習者は、教師が提示した問いついて、自ら設計・選択した手続きで調査する。	>		
4. 開いた探究 (Open Inquiry) 学習者は、自ら立てた問いについて、自ら設計・ 選択した手続きで調査する。			

図2 4レベルの探究と各レベルで学習者に与えられる情報

図2のモデルでは「確認としての探究」、「構造化された 探究」、「導かれた探究」、「開いた探究」の4段階によって 探究の質を理解しようとする。これらの分類は、探究的な学 習において生徒にどの程度の情報が与えられかに基づいてい る。図2の問い、手続き、解の列の「✓」は、生徒にこれ らの情報が与えられていることを表す。

「確認としての探究」では、学習の開始時点で問い、手続 き、解に関する情報が生徒に与えられている。生徒は、結果 が事前にわかっている活動を通して原則を確かめる。一般に 教科書の記述では、学習における問い、手続き、解が示され ているが、仮に、教科書に書かれた内容をそのまま辿って教 える授業では、探究レベルは確認としての探究となる。いわ ゆる"教科書を教える"場合である。

「構造化された探究」では、問いと手続きに関する情報が 生徒に与えられている。生徒は、教師が提示した問いについ て、決められた手続きによって調査する。例えば、生徒は収 集したデータなどを基にして、科学的な説明などの解を導き

出す。確認としての探究との違いは、生徒自身が答えを見つ けるように授業がデザインされているかである。

「導かれた探究」では、問いに関する情報のみが生徒に与 えられている。生徒は、教師が提示した問いついて、自ら設 計・選択した手続きで調査する。理数探究基礎では、問いは 教科書や教師から提示されるが、探究の手法については生徒 が設計・選択する。これは導かれた探究と言える。

「開いた探究」では、探究における問いに関する情報につ いても生徒に与えられない。生徒は、自ら立てた問いについ て、自ら設計・選択した手続きで調査する。前述のように、 理数探究では生徒自身が問いを立てることから、開いた探究 に含まれる。ただし、理数探究の場合、手続きは数学的な手 法や科学的な手法などに限定される。

この探究レベルの枠組みを用いることで、探究の質の観点 から、授業やカリキュラムに関する理解を深めることが容易 になる。

人 ‡ 有意義な探究のために

探究の面白さは、問いを立て、手続きを考え、答えを見つ けるといった自分なりの挑戦をする点にある。他方、探究は 生徒に負荷がかかる活動でもある。生徒が探究的な活動で途 方に暮れず、有意義な探究を行うためには、探究のサイクル を複数回回すための十分な時間が必要である。加えて、生徒 の探究に関する力とカリキュラムにおける探究の質のバラン スとを適切に図っていくことが大切である。開いた探究のよ うな程度の高い探究な活動を行うには、問いの立て方や手続 きの選択などについてある程度の準備が必要である。多くの SSH 指定校では, 入学後の高校 1 年生に課題研究基礎講座 といった形で、探究の手続きを学ぶ機会が用意されている。 このようなカリキュラム編成は、他の学校においても大いに 参考になるだろう。 •

参考・引用文献

- *1 文部科学省 (2019) : 『高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解 説理数編』東京書籍. p.39
- *2 Banchi, H., & Bell, R. (2008): The many levels of Inquiry. Science and Children, 46(2) pp.26-29.
- *3 松原 憲治 (2023): 教科等横断的な視点から拡張する探究レベルに関す る予備的考察, 日本科学教育学会研究会研究報告, 37(5), pp.65-70.

探究活動の充実に向けて

- ① 義務教育段階における探究・STEAM 教育
 - ~国の政策立案の視点と学校現場での実践を考える~

石川県加賀市教育長

島谷 千春 / Lattle 5はる

横浜市出身。2005年文部科学省入省。初等中等教育全般、国際関係などを担当。2017年より2 年間横浜市教育委員会に出向。学校の働き方改革や教育・福祉連携に従事。2021年内閣府科学技術・ イノベーション推進事務局にて「Society 5.0 の実現に向けた教育・人材育成に関する政策パッケージ」 の取りまとめやスタートアップ事業に携わる。2022年 10 月より現職。



*** はじめに**

「STEAM 教育」――ここ数年で、この文字を目にすること が多くなった。各分野の頭文字(Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) を取った造語であることぐ らいは認識していても、本当の意味するところはなかなか見え ず、重要性の理解は愚か、そもそも何をやるようなものなのか わからないという状況が多くの教育関係者が持っている印象や 感覚だと思う。



図 1 STEAM 教育のイメージ *1

国の科学技術・イノベーション政策の司令塔を担う内閣府の 「総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI)」や内閣官房の 「教育未来創造会議」という、いずれも総理が主宰する政府の 重要会議において、2022年に立て続けに「STEAM 教育」「文 理融合」の重要性について言及した報告書が出されている。ま ずは、国の政策立案者という立場で見たときの「探究や STEAM 教育の重要性」、そして、今、基礎自治体の教育長と

いう立場で、学校現場、とりわけ義務教育段階の学校現場に おいて、子供たちの将来を見据えてどのような実践を進めてい るのかという2つの異なる視点で、「探究・STEAM 教育」を考 えていこうと思う。

💙 💲 国の政策立案の視点から見た 探究・STEAM教育

(1)総合科学技術・イノベーション会議における議論

2021年3月に閣議決定された「第6期科学技術・イノベーショ ン基本計画」において、これまで科学技術・イノベーション政 策の文脈では,教育分野については大学など高等教育を中心 に提言してきた CSTI が、今回初めて初等中等教育分野に大き く言及した。「初等中等教育の段階から、児童・生徒の自発的 な「なぜ?」「どうして?」を引き出し、好奇心に基づいた学び を実現する。これは、人類の繁栄を支えてきた科学研究のプ ロセスそのものであり、こうした取り組みこそが、試行錯誤し ながら課題に立ち向かう「探究力」を育成する学びそのもので ある。」と言及し、そして、具体の取り組みの一つとして、 「STEAM 教育の推進による探究力の育成強化」を掲げた。こ れを受けて、具体的にどのように政府として STEAM 教育を進 めていくのかについて、CSTIの下に文部科学省の中央教育審 議会と経済産業省の産業構造審議会がジョイントするという異 例の省庁横断の体制で「教育・人材育成ワーキンググループ(座 長:藤井輝夫東京大学総長)」が立ち上がり、STEAM 教育推 進に向けた議論がスタートした。

(2) STEAM教育の必要性

本ワーキンググループでとりまとめられた「Society 5.0 の実 現に向けた教育・人材育成に関する政策パッケージ」において は、STEAM 教育を推進する理由について、このような言及が ある。「現代の複雑に事象が絡み合う社会課題の解決に科学 技術の力は欠かせないが、より人間社会との調和的な科学技 術の社会実装が肝となる。社会で新たな価値創造を高めていく ためには、俯瞰的な視野で物事をとらえ、分野横断的、多様な 「知」の集結、「総合知」が必要となる。」要は、サイエンスの みの力での課題解決は難しく, 万能ではないことが多く, 新た な価値創造につなげたり、社会実装につなげたりするためには、 さまざまな分野の知恵を結集する必要があるということである。



図 2 完全自動運転を実現するための総合知イメージ *1

例えば、図2で示した完全自動運転を例に見てみると、完 全自動運転の実用化にしても、自動で運転する技術(人口知能、 認識技術、位置特定技術、通信技術など)が完成しても、実 社会で動かしていくためには、法学(事故が起きたときの際の 責任は、開発者、運転手、メーカー、いずれにあるのかという 道路交通法などの関連法令の適用や解釈の問題). 心理学(自 動走行のプログラムをする際の人の意識や行動特性を踏まえた 制度設計), 哲学(危機回避の優先順位は乗員なのか通行人な のか) などさまざまな要素を組み込みながら、他分野の専門 家の「知」を結集していく必要がある。

STEAM 教育は、このような感覚を養い、教科を横断する学 びや実際に課題解決・価値創造のプロセスを体験する学びで ある。自然科学のみならず、人文・社会科学も含めた多様な 「知」の創造と,「総合知」が現存の社会全体を再設計してい くという状況が今. 現実社会で起きており、そのようなプロセ スを経て、新たな価値創造が起きている。そのため、サイエン スをベースに、異分野への興味・関心、多様な知の受容力、

社会的文脈や社会的課題への感覚を養う「STEAM 教育」は、 まさにこの課題解決・価値創造に向けたプロセスそのものであ り、初等中等教育段階からの分野横断的な学び・STEAM 教 育の重要性が増しているということである。

(3) 文理分断と理数系の学びに関するジェンダーの偏り

STEAM 教育や文理融合を推進していく上で障壁になって いるのが、子供たちの学びの文理分断の状況と、ジェンダー の偏りの問題がある。まず、文理分断の状況については、高 等学校の3校のうち2校が文系・理系のコース分けを実施 しており、大学進学を希望する生徒の割合が高い高等学校ほ ど、実施率は高くなる傾向がある。さらには、高校1年の 秋頃にコース選択のタイミングを迎える場合が多く、早々に 数学や物理の学びから離れることになる子供も多く、学びが 文理分断されている状況が生じている。そして、理数系の学 びに関するジェンダーの偏りは、諸外国と比べても日本は深 刻である。図3のとおり、義務教育修了段階(15歳程度) 時点では、OECDが実施している PISA (学習到達度調査) においては、比較的高いレベルの科学的リテラシーを持つ子 供が男女ともに学年に約4割ずついるにもかかわらず、高 校段階では、理系コースを選ぶ女子は学年のうち 16%と大 幅に低下する。さらに、大学入学時には、理工農系学部の女 子学生は学年全体のうち約5%となり、修士・博士と理系人 材は先細っていく状況である*2。

上段:一学年あたりの人数 下段:一学年(男女別) あたりの割合 (例:一学年女子の〇%)	男	女
OECD/PISA調査 15歳 段階の科学的 リテラシーの高成績者の 割合	約 21 万人 40%	約 19 万人 37%
高校 で理系を選択する 人数 割合	約 14 万人 27%	約 8 万人
人数 学士 で理工農系を専攻する 割合	约 .4 万人	約 2.6 万人
人数 修士 で理工農系を専攻する 割合	約 3.5 万人	約 0.7 万人

図3 各学校段階における理数系の学びに関するジェンダーギャッ プの状況 *2

この傾向は諸外国と比べても日本特有であり、大学などの高 等教育機関に入学した学生のうち、STEM 分野に占める女性の 割合は、OECD 加盟国中、日本は最低であり、女性の理工系 人材の育成が極めてアンバランスな状況になっている。要因は 複合的だが、実は幼少期からそのきっかけが始まっている。例 えば、「女の子は女の子らしく」「女子は理系に向いていない」 「女の子なのに算数ができてすごいね」というジェンダーバイアス (無意識バイアス、潜在的ステレオタイプ) に基づいた教師や保護者による子供に対する声掛けが、女子の理数系の学びに対して苦手意識や敬遠する意識を知らず知らずのうちに生み出しているという状況が実際にある。

また、男女かかわらず、小学生のうちは理数の学びに対して 楽しいと感じているが、中学生になると、理数の学びへの面白 さが失われている状況が、全国学力学習状況調査からも明ら かになっており、それはやがて高校段階の文理選択・文理分断 につながっていく現状がある。

文理分断からの脱却については、「教育未来総合会議」においても、同様の提言が出され、「現在35%にとどまっている自然科学(理系)分野の学問を専攻する学生の割合についてOECD諸国で最も高い水準である5割程度を目指す」など大学の学部再編についての具体的な目標が設定され、それを受けて、文部科学省でも大学の学部転換に向けて大きく舵を切った。そして、文理融合の重要性として、「STEAM教育の強化・文理横断による総合知創出」を柱の一つにかかげ、高校の文理コース分けの一因となっている大学入試について、文理横断の観点からの入試出題科目見直し、ダブルメジャーなどを推進するためのインセンティブ付与などの実施を具体の提言に盛り込んだ。

3 ‡ 学校現場での実践

(1) 中学生の実践

次に、このような国の政策の方向性が描かれたことを背景にしながら、学校現場の実践を見てみる。加賀市では、人口減少への危機感から、産業構造の転換を目指して、最先端技術やデジタル化の推進、スマートシティ化に力を入れている。その一環として、現行の学習指導要領においてプログラミングが必修化する3年前の2017年から、市内全小中学校においてプログラミング教育を先行して導入し、一部の小学校とすべての中学校においては、STEAM学習にも取り組んでいる。プログラミングやSTEAM教育は、加賀市にとっては地方創生の切り札という位置づけである。主に総合的な学習の時間を用いて、さまざまな先端技術も用いながら、課題解決型の学習を市内すべての子供たちが経験する。



図 4 加賀市の中学生の STEAM 実践のイメージ例

例えば、ある中学校の実践例を挙げてみると、図4のように、 農業をしている祖父が「イノシシに畑を掘り起こされる」と悩んでいることを知り、自分たちで何かできることはないかと考え、 問いを立てることからスタートする。このグループは、ここ最近 出没しているサルやイノシシ、熊などを撃退するために、それ ぞれが苦手な超音波などを調べ、熊などが近づくと、動物の 種類を識別し、それぞれに対応した超音波や警告音が出るよう にし、住民にはアラートを出すという装置を作りたいというアイ ディアに行きつき、既製品の弱点も研究しながら、技術家庭な どにおける AI 技術やセンサーなどの学びを活用してデモ装置 を作るというところまで実践を重ねた。何度もシミュレーション を重ね、失敗や試行錯誤を繰り返すプロセスを辿り、彼らは自 らの「好奇心」を原動力に深い学びを進めていった(図5)*3。



図 5 AI やプログラミングを用いた STEAM 学習

(2) 小学生の実践

加賀市では、一人一台パソコンの環境が、国の GIGA スクール構想による全国的な導入よりも 2 年程度早く整備されたため、小学校低学年からパソコンにも慣れ、小学 4 年生からはプロ

グラミングの実践が始まり、 デジタルやテック技術を活用した STEAM 教育の学習は、小学生であっても抵抗なく進めるよう すが見える。

例えば、小学4年生の実践を例に見てみよう。「障がいのあ る人も暮らしやすくなる街」をテーマに、チームに分かれ、ど んなことに障がいを持っている人が困っているのかについて調 べたり議論を重ねたりして、解決したい問いを見つけ、仮説を 立て、解決策のアイディアを出し合った。あるグループは、点 字ブロックに自転車などが置かれていると視覚障がいの方が 困っていることを知り、それを解決するための装置を作りたい と、これまでのプログラミング学習を思い出しながら、点字ブ ロックに一定時間モノが置かれていると警告音が流れる仕組み をセンサーを使ってプログラミングした。また、聴覚障がいが ある親が、赤ちゃんが泣いたときにすぐに知ることができるよう、 赤ちゃんが泣いたら親が付けているブレスレットが震える装置 を, 音声センサーやプログラミングを活用して作成した。その他, 視覚障がい者が自動販売機のボタンを押し間違いがないように するため、「しゃべる自動販売機」を段ボールで作成したりと、 教師や大人の想像を超えたアイディアや実践が生まれている。 子供たちに感想を聞くと、決まって出てくる言葉が「何度も失敗 してくじけそうになったけど、何度も何度もチャレンジして、自 分が思い描いていたものができ上がったときは本当にうれし かった」という趣旨のものが多い。何かを達成するために、失 敗・修正を繰り返すアジャイル開発的な経験や思考というのは、 VUCA と言われる将来を生きていく子供たちにとっては、どん な職業に就こうとも、なくてはならないスキルだと感じている。

(3) 今後の加賀市のSTEAM教育の方向性

2023年1月に公表した「加賀市学校教育ビジョン」では4 つのプロジェクトを掲げている。 うち1つの柱として「未来は自 分で創る」プロジェクトとして、「小中9年間一貫型の加賀 STEAM プログラムに全面リニューアル」を掲げた。STEAM 教 育は、全国的には高校段階からの取り組み例がちらほら出始め ているところだが、前述の理数系の学びに対するジェンダー ギャップも念頭に置きながら、理数系の学びに対して抵抗感を 持つ前の義務教育段階で、デジタルやサイエンスの力を身近に 感じながら課題解決を体験するプロセスを経験することが重要 だと考えている。そしてその経験が、その後の進路や興味・関

心を大きく左右し、世の中のテクノロジーの進化をより自分事 に感じることができることにもつながるため、義務教育段階で のチャレンジは意義が大きいと考えビジョンに掲げた。また今 後は、ここ最近の ChatGPT などの AI の飛躍的進化も踏まえ、 AI をうまく活用するための課題設定、AI と健全に付き合うため のデジタルシティズンシップの視点, AI が本当に正しいのか判 断するためのクリティカルシンキングの育成などの要素も取り入 れながら、バージョンアップしていく予定である。今の加賀市 の実践において、学校や子供たちにとって効果を発揮している のが、社会で活躍するプロによる伴走支援である。現在市内 では、プログラミングを用いた取り組みが多いが、今後は STEAM の範囲を広げ、化学・物理・数学やアートなど、際限 なく自由に子供が想像し、創造できるような時間を増やしてい きたいと考えている。これを「STEAM」と呼ぶかどうかは大し た話ではなく、大事なことは、学校を社会に開き、社会の動き を子供たちの学びに還流する仕組みを作ることであり、自分の 学びが社会とつながっている実感を持たせることである。 「STEAM 教育」に正解があるわけでもなく、むしろ型は作られ るべきものではないと思っている。加賀市では「Be the Player 自分で考え 動く 生み出す そして社会を変える」というスロー ガンを達成するためのあくまでも一手法として、STEAM 教育 にチャレンジしている (図 6) *1。型がない自由な新しい分野だ からこそ、教師や子供たちが地域や社会の伴走者とともに、未 知の世界を一緒に楽しみ学ぶ、学び合う自由なものであるべき と考えている。 **





図 6 加賀市学校教育ビジョン

参考・出典

- *1 加賀市学校教育ビジョン
- *2 総合科学技術・イノベーション会議 (CSTI)
- *3『広報かが』2023年3月号

② 地域と連携・協働した探究活動の推進 ~グローバル探究科における探究活動~

前 高知県立山田高等学校 校長

正木 章彦 / まさき あきひこ

同志社大学商学部卒業。高知県立高校に商業科教員として勤務(安芸高等学校、山田高等学校、岡豊 高等学校)。高知県教育委員会事務局高等学校課定通産業班(同指導主事、同チーフ)に勤務し、高 知県産業教育の発展・振興に努めるとともに、高知県版キャリア教育の指針を作成。高知県立山田高 等学校(同教頭, 同副校長, 同校長)。令和4年度末退職。



*** はじめに**

全国には生徒数の確保に頭を抱える高等学校が数多く存在 している。各都道府県教育委員会では高等学校の統廃合や学 科改編による学校教育の特色化を図るとともに、学校規模な どを発展的に縮小することについて地域住民から理解を得よ うとしている。しかし、人口減少が進む地域住民からは学校 存続を願う声が多く上がっているのも事実である。そうした 中, 山間地域の学校では地元住民の期待に応えるべく, 地域 と学校が連携・協働して生徒を育成する教育プログラムなど を実践することで、学校の魅力化を図り「地域になくてはな らない学校」としての存在意義をアピールする必要がある。

本校においても、学校の更なる魅力化を図るため、令和2 年度から「探究する学校」を柱とした学科改編等を行い、学 力向上と探究活動の推進を柱とした大規模な学校改革を行っ た。新たな学科体制として、専門学科「グローバル探究科」 を2クラス新設するとともに、商業科1クラスを商業に関 する学科「ビジネス探究科」に科名変更し、普通科2クラ スを合わせた学年5クラス(定員200名)の3学科体制と した。そして全学科で「探究活動」を実践する教育プログラ ムを展開している。探究活動を通して培った人間力(協働性 や行動力など)を生かし、国公立大学進学から就職まで幅広 い進路実現を目指し、教職員が一丸となり「新やまこう」と しての学校づくりに邁進している。

本校の探究活動のスタートは平成28年度からである。平 成27年度までの「総合的な学習の時間」はキャリア教育に 特化した授業形態となっており、進路ロングホームの延長的 な内容になっていたため、学習指導要領における「総合的な 学習の時間」のねらいである教科等横断的な視点での学習展 開ができていない状況であった。そこで地域をフィールドと した「地域課題探究学習」をスタートさせ、生徒が主体的・ 協働的に活動できる探究プログラムを展開させた。この探究 プログラムは、地域のことを「知る」ことからスタートする。 地元に対する圧倒的な当事者意識をもたせるため、地域の魅 力や課題について深掘りさせるとともに、物事を客観的(数 値データ) に見るための知識や技術を習得させることから始 める。チームが一丸となって生きた情報を収集・分析・活用 することで、物事を科学的に捉える力がついたり、斬新なア イデアを生み出すための基盤づくりになる。

次に、探究活動を効果的に推進するに当たっては、外部支 援ならびに内部支援の体制づくりが重要である。外部人材を 活用した支援体制については「地域学校協働本部事業」の予 算を活用して、地域連携コーディネーターを雇用し、地域と 学校との橋渡し役や,「総合的な探究の時間」に参加しても らい、生徒へのアドバイザー役として関わってもらっている。 地域連携コーディネーターの存在は教職員の負担軽減はもち ろんであるが、学校と地域の距離を縮める潤滑油でもある。

また、地域連携コーディネーターは、地元の方々をはじめ、

近隣大学の学生など、地域を愛してやまない方々に協力いた だいている。特に、年齢の近い大学生(本校卒業生含む)を 起用することで「大学での学び」を生徒が知るよい機会にな り、物事を論理的に考える際のアドバイザー役として貴重な 存在となっている。

また、内部支援体制(教職員の関わり)については部長や 学科長・担任・副担任のすべての教員が探究活動に関わる体 制を構築している。あわせて、探究活動が組織的に展開でき るよう、学科長や部長を責任者に据え探究プログラムを実践 している (図1)。

これらの地域課題探究プログラムは、令和2年度に設置 した新学科における探究プログラムの参考モデルとした。

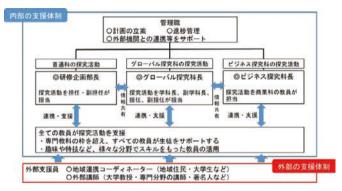


図1 地域学校協働本部事業等を活用した支援体制

【↑ * グローバル探究科における探究活動

令和2年4月,本校にグローバル探究科の一期生が入学 してきた。新型コロナウイルスの影響を受け年度当初から約 1か月間の休校が続き、学校教育活動が完全にストップした 状態からのスタートであった。 当学科における探究活動は、 身近な課題や SDGs などを意識した探究テーマの設定や、県 内大学や専門機関等と連携した科学的な調査研究を行うなど, STEAM 教育を意識した探究プログラムを実践している。

(1)探究活動で身に付けさせたい力

グローバル探究科が目指す生徒像は主体的に行動できる ことや, 何事にも興味・関心を示す好奇心旺盛な生徒, 簡 単に答えが見いだせない「問い」を追い続けることができ る生徒である。3年間の探究活動を通して身に付けさせた い力を具体的に示すと、「発見する力」、「解決する力」、

「考える力」、「調べる力」、「表現する力」、「探究に向かう 姿勢(行動力)」の6つの能力育成である。あわせて、生 徒たちには探究活動を通して、物事を科学的に捉える力も 育てたいと考えている。

また、これらの力を可視化するため、ルーブリック評価を 用いて定期的に見取るとともに、個別面談等を通して生徒へ のフィードバックを確実に行うなど、生徒に寄り添った指導 を実践している。

(2) 3年間を見通した探究活動計画

教育課程上に探究活動の時間をどのように組み入れるかに ついては苦労した。基本的にはすべての教科において探究活 動を行うことになってはいるが、他県の先進事例を参考に3 年間を通して6単位分の探究活動プログラムを構築した。

1年次は「探究リテラシー(2単位)」の時間にチームで活 動させ探究の型を学ばせる。2年次は「グローバル課題探究(2 単位)」の時間に個人で探究させ調査・研究を進める。3年 次では「知の探究(2単位)」の時間に3年間の総仕上げとし て、2年次から取り組んでいる個人探究を論文形式にまとめ て発表させ、探究の成果を論理的に第三者に伝える能力を磨 く内容となっている(総合的な探究の時間の読み替え)。

(3) グループでの探究活動(1年次の活動)

1年次は「探究リテラシー」の授業を通してチームで「探究 の型」を学ぶ。チームで探究活動を進めるに当たり最も大切 なのはチームワークである。年度当初には「チームでイノベーショ ン」を巻き起こすための仲間づくり活動を積極的に行っている。 探究活動を進めるに当たり、一番難しかったのがテーマ設定 である。テーマ設定で大切にしたのは「身近なことに興味・関 心をもたせる」ということである。身近なことに「なぜ? どうし て?」と疑問を感じさせることが探究活動の第一歩であると考 える。身近な疑問にターゲットを絞り込ませることで圧倒的な 当事者意識をもたせることができる。物事を自分事として捉え る心が探究活動の基礎となる。

また、当学科の探究活動のお手本としたのが「全国高等学 校総合文化祭」の自然科学分野の研究発表である。生徒自身 が興味・関心を抱いたことにチャレンジする姿は本当に素晴ら しく、これこそが探究活動のあるべき姿であると感じ、本校の 探究プログラムを構築する際の参考とした。

(4) 大学等と連携したSTEAM教育の推進

探究テーマを掘り下げるには、物事の本質を科学的に調査・ 研究する必要がある。最初に本物の情報を得るため地元の大 学や行政機関、NPO 法人などの協力の下実施したフィール

ドワークなどの調査 活動は本物の情報を 知るよい機会となっ た。生徒たちが汗を かいて集めた情報こ そ生きたデータとな り、探究活動をより 深く進めるための探 究素材となる(図2)。



図2 「鹿の食害」による山林の実態調査

また, 地元大学や県の研究機関との連携では, 最先端機器 での分析依頼や専門家によるアドバイスを依頼したところ快 諾いただいた。専門機関で基礎となる知識の習得や実験・検 証を行う場面を設定することで、生徒たちが物事を科学的に 捉えることの大切さを学ぶよい機会となった。加えて、大学 教授からは調査・研究に対する助言や、生徒が困ったときの 相談にも乗っていただいている。さらに、研究室の実験装置 を使用し、より詳細なデータを抽出する方法も学ぶことがで きた。生徒たちはこれらの取り組みを通して「本物の調査・ 研究の厳しさ」の一端を垣間見る貴重な経験となっている。

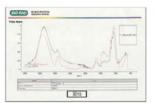
こうした大学などとの連携については高校側が及び腰に なっているケースがほとんどである。しかし相手方にしっか りと探究目的や生徒の能力育成の意図を伝えると、前向きに 検討してくれるケースが多い。高校側もダメもとで近隣の大 学や研究機関にお願いしてみるのも一考である。

次に、探究活動の実践事例をあげてみる。「マイクロプラ スチックによる海の環境問題の現状」について探究している

チームでは、世界各 地の「海塩」にマイ クロプラスチックが 含まれているかを分 析するための装置が 学校にないため、近



図3 近隣大学での電子顕微鏡機器で海塩分析



③浜菱:図16は浜菱(中国)に含まれてい た有機化合物のスペクトルだ。赤色の線と 凹凸の配置が類似していることから図16は アセテートと言える。アセテートは植物の織 維素材から作られるプラスチックの一種であ りレディスウェアや眼鏡のフレームやアクセ サリーに使用されており図16の浜菱(中国) に含まれていた有機化合物はマイクロブラ スチックであると言える。



※中国産の海塩は、生徒が調べ、インターネットで購入した

図 4 高知県工業技術センターでの海塩の分析データ

隣大学や県工業技術センターなどで分析装置を借りて実験・ 分析を行った(図3.4)。

また、「山田まんに最も合う土佐茶は何か」を探究している チームでは、本校商業科が開発した饅頭(山田まん) に合う 土佐茶に関する探究を実践した。「山田まんには、クセのあ るお茶が合うのではないか」という仮説を立て、近隣の大学 医学部で味覚を研究している教授にアドバイスをいただき. 人 それぞれの嗜好を科学的に分析する機会を得た。このチーム は味覚の6用素のうち酸味に着目し、大学研究室でお茶の酸 性度を計測し、それぞれの土佐茶の酸性度を割り出しクセの 強さを証明してみせた。

このように外部専門機関と連携することで、生徒たちの探 究心や好奇心をくすぐるきっかけづくりができた。これらの取 り組みは生徒たちを大きく成長させる機会になったことは言う までもない。あわせて、外部機関と連携するには生徒自らの 時間を割いて探究活動の時間を確保することになる。生徒た ちは探究活動を通して計画性や主体性がしっかり身に付いた と確信している。生徒たちの行動力を心から褒めてあげたい。

(5) 個人での探究活動(2・3年次の活動)

2年次では1年次で身に付けた「探究の型」を活かし、生 徒個々が興味・関心をもったテーマを設定し、調査・研究を 行っていくプログラムとなっている。探究活動を進めていく に当たり、生徒一人一人にはそれぞれの個性があるので指導 する教員もたいへんであるが、生徒の新たな側面を見いだす 機会でもあり、指導者のやりがいや楽しさを発見する場に なっている。3年次では「知の探究(2単位)」の時間に、2 年次から取り組んでいる個人探究を論文形式にまとめる活動

が待っている。進路実現(国公立受験)と並行して探究活動 を実践する必要があるが、全員が弱音を叶くことなく論文を 完成させることができた。

ここでいくつかの個人探究を紹介したい。「アカハライモ リの生態」について探究活動を実践した生徒は、仮説に「ア カハライモリに走光性はあるのか」という問いを立て、自宅 に約20匹のアカハライモリを飼育し走光性の実験・検証を 繰り返した。その結果、仮説を立証することはできなかった が、アカハライモリは熱に反応しているのではないかと新た な仮説を立てるなど、アカハライモリの生態について学ぶこ とができたことは意義深い探究であったと考える。

また、学際的な探究の一例として「人間椅子を読んだ人は、 何に恐怖し、不快感を覚えるのか」について探究した生徒は、 江戸川乱歩の短編小説「人間椅子」を読んだ人が、小説のど の部分に不快を感じるか、どの部分に恐怖するのかを調査・ 研究し、小説を単語レベルで細かく分析し「得られたデータ をグラフで見える化する」という探究活動に臨んだ。この探 究では被験者個々の心理的な部分が影響すると考えられ、確 実な答えを導くことは厳しいと考えられたが、この問いに着 眼したことに驚かされるとともに、たいへんユニークな発想 であると感銘を受けた。

/ ★ 探究活動の成果と課題・対策

(1) 成果

生徒たちの自己評価では、3年間の探究活動を通して身に 付けさせたい6能力すべてにおいて向上が見られたと自己 分析している。特に表現する力(プレゼン能力)が向上した



図5 身に付けさせたい力(6能力評価)

と答えた生徒が多かった(図5)。

また、大学や専門機関等との連携により高度な研究や調査 活動が実践できたことで、大学での学びに興味・関心を抱く 生徒が増えたことも事実である。探究活動が進路意欲の向上 にも繋がったことは言うまでもない(国公立大学希望者は学 科で94%となった:令和5年2月末時点)。

(2)課題と対策

大きな課題はグローバル探究科への入学希望者の伸び悩み があげられる。これらの探究活動の成果が、中学生やその保 護者、中学校に理解されていないのが残念である。

今後も更に探究活動を発展させるとともに、進路実現に向け た学力向上対策にもしっかりと取り組んでいく。地域に必要と される学校とは、生徒が楽しく学び続けられる学校である。探 究活動を通して仲間とともに学びあえる学校づくりを行うことで, 地元の学校であるという存在意義を更に高めなければならな いと考えている。そのためにも小中高大が連携した探究活動を 今後も推進していく必要がある。

5 : 結びに

グローバル探究科一期生の3年間における探究活動を通し て、私自身いろんなことを学ばせてもらった。1年次の探究活 動では多くの生徒が「しんどい、やりたくない」と言っていたが、 時間の経過とともに「楽しい、もっとやりたい」に変化したとき は嬉しかった。生徒たちの探究活動への取り組みが「やりがい」 に変わった瞬間に立ち会えたことに感謝している。本当に探究 活動は生徒たちを大きく成長させる。何より自分自身が「探究 活動」を探究できたことが楽しかった。

また, 探究活動を推進するに当たっては, 生徒個々の基礎 知識やメタ認知能力も必要だが、探究活動を支える我々教職 員の姿勢が最も重要である。教職員が探究活動などを支援す る仕掛けづくりをしっかりと実践することで、生徒の可能性は 無限に広がると考える。この探究活動を通して、生徒一人一人 が「生涯学び続ける力」や「他者と協力して物事を解決する力」 をしっかりと養ってほしいと願っている。

③ 普通科における理数探究基礎の導入と実践

千葉県立幕張総合高等学校 教諭

北川 輝洋 / きたがわてるひろ

1993年4月千葉県公立学校教諭として採用。2011年4月より2023年3月まで千葉県立千葉 東高等学校に勤務。2023年4月より現職。



★ 本校での理数探究の導入の経緯

私の前任校である千葉東高等学校では、令和元年度より本 格的に新教育課程(令和4年度入学生から)の編成に動き 出した。編成にあたり、職員を対象の「本校生徒に不足して いると感じる力」についてのアンケート調査を実施した。そ こでは多くの職員が「自分で課題を見出す力」「主体性」「思 考力」「表現力」を挙げた。学習意欲は高く課題を与えれば 積極的に対応するが、自ら課題を見出したり、未知の事象に 対応したりすることには消極的であるといった本校生徒の特 徴が浮き彫りになった(図1)。改めて探究活動の必要性を 共有することができ、具体的な議論が始まった。

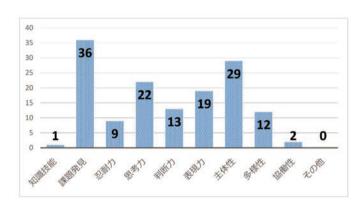


図1 本校生徒に足りないと感じる要素 (n=56)

そこで新教育課程では、1年次に理数探究基礎、2年次の 総合的な探究の時間で自由研究論文作成,3年次の総合的な 探究の時間で進路選択・決定の時間を大枠とすることとした。

′) ☆ 本校での「理数探究基礎」の位置付け

(1) 3年間の探究的活動の基礎づくり

1年次に「理数探究基礎(1単位)」を設定し、「総合的な 探究の時間(1単位)」の代替とした。ここでは理数の内容 で具体的な事象を扱いながら、研究倫理・数値の扱い方・報 告書作成の手法など、探究活動の基本的な事項を身に付けさ せることを目的とする。2年次の「総合的な探究の時間(1 単位) では、理数探究で培った探究的な手法を活かしなが ら、個人での探究活動を通して各自探究報告書を仕上げ、3 年次の「総合的な探究の時間(1単位)」では進路に関連し た探究活動に取り組むこととした。

(2) 理数探究基礎と数学・理科との区別

数学や理科の各科目の授業では、学習内容を重視した指導 を中心に行った。理数探究基礎では課題発見・課題解決・協 働を重視し、複数の考え方がある課題を設定し、生徒の思考 力や判断力、表現力などを育成するという目的を明確にした。 課題の設定は主に「自然事象や社会事象に関すること」につ いて、中学校での既習内容を中心に、物理・化学・生物・地 学の各分野から1つずつ、実験→結果→結論→課題発見の 要素を含む実験ワークシートを担当科目ごとに作成し、実験 ワークシートに従い各実験に取り組ませた。また、研究倫理 や探究の意義、報告書の作成など探究活動の基本となる事項 は、生徒自身に意識させるようなワークシートを準備した。

(3) 手をかけない&失敗できる場として

担当教員は、理数探究基礎において教科・科目での指導と

の区別を明確にし、「既習事項はあえて説明しない」「操作や 手法が誤っていても危険を伴わない場合を除き直接指摘しな い」「できるだけ自分たちで誤りに気づかせ、その対応を自分 たちで考えさせる」ことを強く意識した授業展開を心掛けた。

(4) 学級単位・ティームティーチング (TT) で実施

理科の教員3+学級担任1の計4名で編成した。実験中心 に展開をするため実験室の使用が条件となる。学年同一時間 には実施できないため、クラス単位で実施できるよう時間割に 組み込み、各実験教室の使用の調整を行いながら展開した。

1年間の理数探究基礎での活動内容は「探究1~5」「探 究の意義・過程、ネット検索、研究倫理 | 「報告書作成 | 「報 告会」の大枠で構成した。さらに「ICTの活用」「外部連携 講座」を随時設定した。探究の過程-「課題の設定」「課題 解決の過程」「分析、考察、推論」「表現、伝達」を組み入れ ながら、年間の指導を計画した(図2)。

目標		探究するために必要な 基本的な知識及び技能を 身に付けるようにする [知識・技能]		多角的、複合的に事象を 捉え、課題を解決するため の基本的な力を養う [思考・判断・表現]			
探究の過程	Œ	課題解決 の過程		表現 伝達	課題設定	分析 考察 推論	表現 伝達
活動内容/ 単元・時期 (回数)		解する。研究倫理について理探究の意義・過程、	う。 データの収集を行い、 実験・観察を行い、	用する。 ト作成にICTを活 グラフ作成やレポー	てる。 験・観察の計画を立 課題を設定し、実	する。データを分析し考察実験観察で得られた	報告する。
オリエンテーション 探究の意義・過程	4月(1)	0					
探究1 スギナの胞子	4月(2)	0	0		0	0	
ネット検索	5月(1)		0	0			
研究倫理	5月(2)		0	0			
探究2 微生物	5~7.11(6)	0	0		0	0	
探究3 密度	7月(2)	0	0	0	0	0	
定期考查1	9月(1)	0		0		0	
探究4 飲料のpH	11月(2)	0	0	0	0	0	
探究5 重力加速度	10.11月(7)	0	0	0	0	0	
定期考查2	12月(1)	0		0		0	
報告書作成	1月.2月(6)		0	0	0	0	0
報告会	3月(1)			0			0

図 2 理数探究基礎 実施計画と観点

(1) 探究活動 1~5

[探究1. スギナの胞子] 顕微鏡を用いたスギナの胞子の観察 を通して、顕微鏡の使い方を身に付けるとともに、なぜスギナの 胞子に息を吹きかけると動くのか、どのような方法で調べるか、

生徒どうしで解決させる場面 を設定した(図3)。

[探究2. 微生物] 顕微鏡を 用いた水中の微生物の観察 を通して, 顕微鏡の使い方を 身に付けるとともに、異なる 図3顕微鏡で観察する



環境の池や季節による微生物の種類や数の動向を分析した。

[探究3. 密度(質量や体積の計測と物質同定)] 金属板の

体積と質量の測定を通して, 電子秤, メスシリンダーな どの器具の正しい扱い方, 有効数字の意味や測定値の 不確かさの考え方を身に付 けるとともに、得られた密 図4金属板の体積を測る



度を物質同定に応用した(図4)。

[探究4. 飲料のpH] 清涼飲料に塩基を加えていったときの

pH変化を調べる実験を通し て、ビュレット、ホールピペット などの機器の正しい扱い方を 身に付けるとともに, 得られ た滴定曲線から飲料の性質 を分析した(図5)。



図 5 飲料の pH 変化を計測する

[探究5. 重力加速度] 記録テープや速度計測器を用いて落下

速度の変化を調べる実験を 通して, 記録テープや速度測 定器の扱い方,数値の扱い方, 測定値の不確かさの考え方を 身に付けるとともに、実験条



件を変えると落下速度はどう 図6落下速度を計測する

変わるか、仮説や実験計画を考えさせながら発展させた(図6)。

(2) 探究の意義・過程, ネット検索, 研究倫理

探究の意義・過程、ネット検索(ネットモラル)、研究倫 理に関しては教科書を中心に指導した。担当する教員のほと んどが初めて指導する内容のため、事前にミーティングを開 催し, 内容の確認をした。

(3) 外部連携講座

生徒の好奇心をくすぐる仕掛けとして、大学や研究機関と 連携した講座を学期末や休業中に設定した。令和4年度は 「食品を化学する」「チバニアンを知ろう」「放射線とその利 用」「いしがめの DNA 抽出と分析」の 4 講座を実施した(図 7)。

講座内容	連携先	
食品を化学する	東洋大学	
チバニアンを知ろう	チバニアンビジターセンター	
放射線とその利用	放射線医学研究所	
いしがめのDNA抽出と分析	かずさDNA研究所	

図7 令和4年度に実施した外部連携講座と連携先

特に「チバニアンを知ろ う」では、国指定天然記念 物「養老川流域田淵の地磁 気逆転地層 | を訪れ、野外 での実習となった(図8)。



参加した多くの生徒が講座 図8 チバニアンを観察する

内容をテーマとした最終報告書を作成したことで、視野を外 に向けることの必要性を感じた。

(4) 報告書の作成と探究報告会

「1 報告書の作成」 1年間のまとめとしてテーマを設定し、報告 書を作成することとした。報告書はポスター形式で、パワーポイ ントでの作成とした。

①テーマ設定と報告書作成の流れ 報告書のテーマ設定には 時間をかけるように計画した。まず4月当初のオリエンテーショ ンで、1年間の理数探究基礎で取り組んだ探究実験、参加した外 部連携講座に関連した内容,あるいは各自の発展的な研究から 各自1つテーマを絞り、報告書を作成することを伝えた。 Microsoft Teamsを利用したテーマ調査を7月・11月・12月の3 回実施し、テーマ設定を促した。報告書の最終提出を2月とした (図9)。

	テーマ	人数(人)
Α	微生物関係	42
В	密度関係	8
С	重力加速度	56
D	飲料のpH	138
Е	探究講座「食品を化学する」関連	12
F	探究講座「放射線医学研究所」関連	11
G	探究講座「チバニアンを知ろう」	5
Н	千葉大学「ハドソン宇宙センター研修」	1
I	千葉大学「遺伝子も資源である」	1
J	かずさDNA研究所 ニホンイシガメのDNA抽出	2
K	自由課題	34

図 9 生徒が作成した報告書のテーマ (n=310)

② ICTの活用 各生徒には県教育委員会指定アカウントを割り 当て、Microsoft Teamsを利用して、デバイスは学校所有のタブ レットPCや生徒のスマートフォンを利用した。課題の提示・テー

マの報告・テンプレートの提示・完成作品の提出などのやりとり に適切に活用できた。

③相互評価の活用 よりよい報告書とはどのようなものかを生 徒どうしで考えさせるため、相互評価を導入した。報告書で重視 する項目「新たな課題を見出しているか」「数値を用いた根拠」 「先行研究の内容を含んでいるか」を評価規準項目に設定し相 互評価することで、生徒に意識させることができ、最終報告書で は多くの生徒の内容が改善された。

[2 報告会の実施] 3月に報告会を実施した。報告会は学年 集会の形式で、特にオリジナル性の高い内容の報告書を作成

した10名を選考し、生徒が 作成したパワーポイント資 料を用いて、それぞれ発表5 分+質疑3分で発表した。い ずれの発表でも質疑応答が 盛んに行われた(図10)。



図 10 報告会での発表

(1) 生徒アンケートの結果

報告会の後、1年間の振り返りとして生徒対象アンケートを 実施した。「1年間の理数探究基礎の授業を振り返って、あな たの取り組みはどうでしたか!の問いについては、「一生懸命 に取り組んだ 157 名」、「だいたいしっかり取り組んだ 101 名」 と、全生徒の8割以上が理数探究基礎の授業に前向きに取り 組んだと回答した(図11)。本校の理数探究基礎は普通科生

徒全員を対象として おり、文系と理系の 区別をしていない1 年次における授業と して意味のある位置 付けであったと考え られる。「理数探究 基礎の授業内容は どうでしたかしの問 いについては、「か なり充実していた 56 名 1, 「わりと充

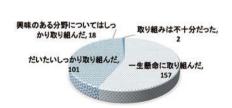


図 11 あなたの取り組みはどうでし たか(人) (n = 278)



図 12 授業内容はどうでしたか(人) (n=278)

実したほうだ 176 名 | と、全生徒の 7 割以上の生徒が肯定的 であった (図 12)。このことより、授業内容については生徒の 満足できる内容であったと考えられる。

また、授業で実施した探究活動に関して、「理数探究基礎の 授業でわくわくした内容は何ですか (複数回答可) | の問いか らは、生徒の興味が多くの分野に分散しており(図13)、生徒 の視野を広げるためにも幅広い分野の教材を準備する必要が あることがわかった。また、報告書の作成と同様に、「飲料の pH」が多いのが目立つのは、化学基礎の授業とのリンクがな されていたことと、理数が苦手な生徒でも比較的取り組みやす い教材であったためではないかと考える。また、報告書の作成 を楽しんでくれた生徒が多いこともわかった。

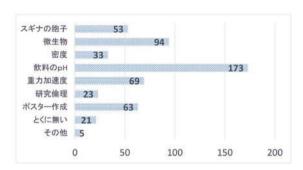


図 13 理数探究基礎の授業でわくわくした内容(人) 複数回答

報告会実施後のアンケートでは、「とても楽しかった 191 名」、 「楽しかった 77 名」、「少しは楽しめた 10 名」と、278 名全 員が報告会の内容を肯定的に受け止めていた。

また、報告書に関し ての自己評価アンケー トを実施したところ, 図 14 のような結果が 得られた。自分の報



図 14 報告書に関しての自己評価アン ケート(人)(n=278)

告書の内容について「もう少し深められた49%」、「可能ならや りなおしたい 9%」と、半数以上の生徒が報告書の内容をしっ かりと振り返っていると考えられ、報告会が自己調整のきっか けになっていることがわかった。

本校の理数探究基礎は次年度の総合的な探究の時間に連動 させることになっており、総合的な探究の時間での個人課題研 究への取り組みに活かせることを期待する。

(2) 教員が感じた生徒の変容

・約半数の生徒は最初3時間目くらいまでは顕微鏡で何も見 つけることができなかったが、11月実施時にはほぼ全員 が顕微鏡を自在に操っていた。

- 機器を正確に扱えず、正しく計測ができないことから、機 器と慎重に向き合うようになった。
- ・同じ測定でも測定値の桁数が異なる場合、どうすべきかを 考えるようになった。その後の計測に工夫が見られるように なった。

(3) 担当教員の感想

- ・同じ理科の教員でも、科目が異なると、いつ、どの分野が、 どの程度の進度で展開されているのかを知らない。今回理 数探究基礎を展開することで教員どうしの情報交換が密に なり、有効数字の扱い方、グラフ作成、機器の扱い方など、 共通認識を高めることができた。
- ・教科の授業では時間をかけられず省略してしまう顕微鏡の 操作、器具の原理、実験計画の立案などに時間をかけてしっ かり取り組ませることができた。
- ・課題解決に向けて、生徒どうしで話し合いながら取り組ん でいる姿を目の当たりにし、改めて探究的な活動の意義を 感じた。これまでは教え込み過ぎていたと反省する。教科 の授業にも探究的な取り組みを導入していこうと思う。

(4) 次年度へ向けた課題

理数探究基礎を担当する教員の負担が大きくなる。観点別 評価や評価規準作成を含めた教材作成など慣れていないこと もあり、まさに生徒と同様に探究活動している状況である。評 価規準の統一や探究教材の吟味など、複数の担当者で定期的 に教科会議などを設定し議論を重ねて進める必要がある。

5 まとめ

千葉東高校では生徒の主体性や問題発見能力の育成を強く 意識し、理数探究基礎を導入した。生徒の取り組み状況に関し てはおおむね良好であり、学校生活の中での生き生きと取り組 める場面の一つとしてスタートすることができた。生じた課題を 一つ一つ解決しながら、さらに充実した探究活動の実践に向け、 職員一丸で取り組んでいきたい。 ***

参考文献

『高等学校学習指導要領解説理数編』 (平成30年告示) 文部科学省 『「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料(高等学校 編) 理数』東洋館出版社

【第1回】

身の回りの電池

- アルカリマンガン乾電池



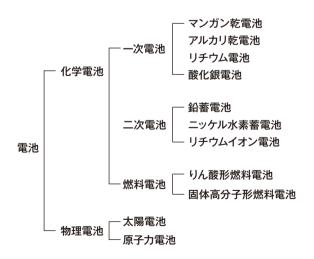
東京学芸大学 教育学部自然科学系 教授

鎌田正裕/かまたまさひる

1959年生まれ。京都大学大学院時代の専攻は原子核工学で、もっぱら溶融塩系の電気化学を専門とした。京 大助手, 鳥取大学助教授を経て東京学芸大学に異動した後は, 授業で使える実験教材やものづくり教材の開 発に取り組んできた。これまでに、高等学校理科(化学、理数探究)の学習指導要領の改訂・作成作業に関わ るとともに、小学校理科、中学校理科、高等学校理数探究基礎の教科書の執筆にも関わってきた。大学院の 授業では、科学と非科学の違いを考えさせるために、オカルト科学 (擬似科学) を題材に科学の素晴らしさを 次の世代に伝えることを目指している。

いろいろな電池

電池には化学反応を利用した化学電池と、太陽電池のよ うに化学反応を伴わない電池(物理電池)があります。ま た、化学電池は、一度限りしか使えない一次電池、充電す ることで繰り返して使用できる二次電池、そして外部から 反応物質を供給することで連続して使える燃料電池に大別 できます。今回は、一次電池の中でも、特に私たちの生活 に深く関わっている乾電池を中心に解説したいと思います。



電気屋さんやスーパーなどに買い物に行くと、単3乾電池に 代表されるような筒形の乾電池をよく目にしますが、これ以外 にも平べったいボタン形またはコイン形の電池があります。私 たちが通常電池を購入するときは、電池の形状や型番に注目

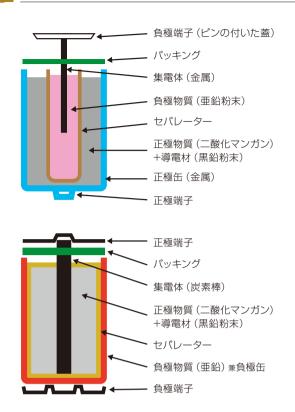
し、その特徴や中身についてはあまり気にしていないと思いま す。でも、電池は、私たちにとって最も身近な電気化学リアク ターとも呼べるものなので、まずはその構造や特徴について 取り上げることにします。

アルカリ乾電池とマンガン乾電池

乾電池を買いに行って、お店で少し高めの電池と安価な電 池があることが気になった人は多いのではないでしょうか。高 価なほうがアルカリ乾電池(正しくは、アルカリマンガン乾電 池)で、安価なほうがマンガン乾電池です。アルカリ乾電池 とマンガン乾電池は、いずれも正極物質に二酸化マンガン、 負極物質に亜鉛を使用し、アルカリ乾電池の正極(+極)と 負極(一極)の反応は次のとおりです。

正極: MnO₂ + H₂O + e⁻ → MnOOH + OH⁻ $Zn + 2OH^- \rightarrow ZnO + H_2O + 2e^-$

マンガン乾電池の反応式は少し異なりますが、正極で MnO。が還元されて MnOOH が生じ、負極で金属の亜鉛が 酸化される点については同様です。二つの電池が大きく異なる のは、電解液として、マンガン乾電池では塩化亜鉛の水溶液 が使われているのに対し、アルカリ乾電池では水酸化カリウム 水溶液が使われている点で、これがアルカリ乾電池と呼ばれ る理由です。



乾電池の構造 上:アルカリ乾電池 下:マンガン乾電池 いずれの電池も正極物質とセパレーターは電解液を含んでおり、ア ルカリ乾電池では、粉末状の亜鉛(負極物質)にも電解液を含ませ てある。

図1にある2つの電池の構造を見てすぐに気づくことは、2 つの電池で、二酸化マンガンと亜鉛のセパレーターを挟んだ 位置関係がちょうど逆になっていることです。アルカリ乾電池 は図1の上に示したように、金属製の正極缶に二酸化マンガン と亜鉛粉末などを入れて最後に集電用のピンがついたキャッ プをするので、容器の底が正極端子、最後に閉めたキャップが、 電池の負極端子になります。一方マンガン乾電池は、同図の 下に示したように亜鉛缶の中にセパレーターや二酸化マンガ ンなどが充てんされ、この缶の底部が負極端子と接触してい ます。図1で2つの電池の上下が逆に描かれているのは、いず れの図もその電池を組み立てるときの向きを表しているためで す。皆さんの中には、乾電池には水銀が使われているという ことを聞いたことのある人もいると思います。かつては、亜鉛 が非通電時にも少しずつ溶けてしまうことを防ぐために、少量 の水銀を含ませていたのですが、現在では国産の乾電池に水 銀を含んでいるものはありません。また正極物質の二酸化マ ンガンは亜鉛とは違って、導電性がほとんどないので、これ だけでは電池の正極反応が続きません。そこで、炭素(黒鉛) の粉末を混ぜて導電性を高めています。

電池の起電力と放電電流

乾電池の電圧が 1.5 V ということは有名ですが、この 1.5 V はいわゆる起電力と呼ばれるもので、電流を流していないとき の電圧です。電池には、その種類や形状にかかわらず、取り 出す電流が大きくなるにつれて端子間の電圧が小さくなる性質 があります。電流を取り出しているときに端子間電圧が下がる のは、電池の構成材料(電解液や集電体) そのものの電気抵 抗や 電極反応を進めるために余分な電圧(過電圧)が必要 になることが原因なのですが、このような効果を合わせて「内 部抵抗しという言葉で説明します。

電池の内部抵抗

電池を、理想的な電池(どんなに電流を流しても端子間の 電圧が一定の電池)と内部抵抗とが直列に接続されたもので 表すと、流れる電流の大きさによって端子間の電圧が変化す るようすを説明できます(ただし、内部抵抗そのものも、電流 の大きさに依存するものと考えます)。

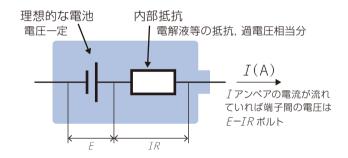


図2 電池の内部抵抗

実際に単1のアルカリ乾電池、単3のアルカリ乾電池、単 3のマンガン乾電池で、電流と端子間電圧の関係を調べてみ ると図3のような結果が得られます。いずれの場合も電流が流 れていないときはほぼ 1.5 V の電圧が出ているのに、電流の 増加とともに端子間の電圧が小さくなるようすがわかります。 もう少しよく見ると、マンガン乾電池のほうがアルカリ乾電池 より電圧の下がり方が大きいことから、マンガン乾電池のほう が内部抵抗が大きいことがわかります。また、同じアルカリ乾 電池でも、サイズの小さい乾電池のほうが電流を流していると きの電圧の下がり方が大きく、内部抵抗が大きいことがわかり ます。アルカリ乾電池の特徴というと、寿命の長さにあると思 われがちですが、むしろ内部抵抗が小さいこと、すなわち大

きな電流を取り出せることと言えます。同じサイズのもので比 べれば、アルカリ乾電池であってもマンガン乾電池であっても、 正極物質や負極物質の装てん量に大きな違いが出ることはあ りません。したがって、単純に考えれば、取り出せる電気の量(要 するに寿命) にそれほど違いはないはずです。ところが、実 際の電池の寿命は、電気を全く取り出せなくなるまでの時間 ではなく、一定の大きさの電流を取り出せなくなるための時間 であるため、もともと内部抵抗の小さいアルカリ乾電池のほう が、長時間にわたって大きい電流を取り出すことができ、これ を私たちは寿命が長いととらえているのです。アルカリ乾電池 は大きな電流を必要とする電子機器に使用されるのはこのた めで、例えばテレビなどのリモコンや時計のように微弱な電流 しか使用しない器具であれば安価なマンガン乾電池が適して いると言われる理由のひとつです。

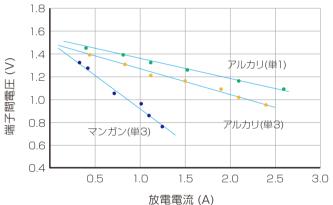


図3 乾電池の放電特性

積層型電池

電池の起電力は、電極で起こる反応によって決まります。し たがってアルカリ乾電池であるかぎり、どのような大きさや形 でも電圧は 1.5 V のはずですが、探してみると、もっと高い電 圧の電池も見つかります。図4の上に示した箱型の電池 (6LR61) は、006Pという名前でも呼ばれる乾電池で、電 圧は9Vです。また、同図の下には、ややレアですが 4LR44 と呼ばれる6Vの電池を載せました。いずれも、アルカリ乾電 池で、起電力の値が、1.5 Vの6倍と4倍になっています。同 図の写真を見ればわかるように、これらの電池の中には、小 さなアルカリ乾電池がいくつか入っていて、それらが直列につ ながれた構造になっています(006Pのアルカリ乾電池には、 写真にある 6LR61とは構造の異なる 6LF22 もある)。これ らの電池を分解する際には、写真に示したところでやめて、中

から出てきた電池は分解しないでください。分解時に電池内 の濃い水酸化カリウム水溶液が漏れ出すと、たいへん危険です。







図4 精層型電池のいろいろ ト:6LR61 下:4LR44

理科の授業で使用する際の注意

最近ではアルカリ乾電池が主流となり、マンガン乾電池は 入手しづらくなってきました。アルカリ乾電池の価格も昔に 比べれば安くなり、これといった問題はなさそうに思えます が、実は理科の授業で使用するときには気をつけてほしいこ とがあります。問題となるのは、やはり電解液として使用さ れている濃いアルカリ水溶液の危険性です。市販の機器に入 れて使用するかぎり、アルカリ乾電池に危険性はありません。 しかし、例えば電気回路の実験や乾電池を用いた理科工作を 行うと、意図しないショート回路や、逆向きに電池に電流を 流してしまうことがしばしばあります。たいていの場合はす ぐに気がつくので大きなトラブルにはなりにくいのですが、 ひとたびショート回路を作ってしまうと、アルカリ乾電池は 内部抵抗が小さいぶん流せる電流が大きいので、導線が高温 になって火傷をしたり、また電池本体が高温になり、その結 果、内部の電解液が漏れ出すこともあります。濃厚なアルカ リ水溶液は、常温でも目に入ると危険ですが、それが高温に なると皮膚についただけでもひどい火傷の原因になり、特に 注意が必要です。選べるのであれば、マンガン乾電池のほう が望ましいのですが、アルカリ乾電池を使うのであれば、単 3のように小さなものを選び、不必要に大きな電流が流れる 単1は避けてください。

【第2回】

ベイズ統計学とベイズ意思決定

-統計学から AIへ



東京大学 名誉教授

松原望/まつばらのぞれ

Ph.D. (スタンフォード大学)。1942年生まれ。東京大学教養学部基礎科学数学コース卒。統計数理研究所研究員, スタンフォード大学大学院博士課程、筑波大学社会工学系助教授、エール大学フルブライト研究員、東京大学教養 学部・大学院総合文化研究科教授,同新領域創成科学研究科教授,上智大学外国語学部教授,聖学院大学大学院政 治政策学研究科教授を歴任。著書には東大教養部統計学教室(編・著) 『統計学入門』(東京大学出版会), 『わか りやすい統計学:データサイエンス基礎』(丸善), 『社会を読み解く数理トレーニング』(ペレ出版), 『計量社会 科学』(東京大学出版会)、『意思決定の基礎』(朝倉書店)、『ゲームとしての社会戦略』(丸善)、『入門確率過程』 (東京図書), 『入門ベイズ統計』(創元社), 『はじめよう! 統計学超入門』(技術評論社), 『ベイズの誓いーベイ ズ統計学はAIの夢を見る』(聖学院大学出版会) など多数。

事前確率と事後確率

「確率」には長い歴史があります。現在の形に数学的にま とめたのはラプラスですが、ラプラスが強調したベイズの定理 によって結果(データ)から原因を推量することができるので す。原因に対して、事前確率と事後確率の2通りの確率があ ることが重要で、AIの時代の今日、これらの確率の意味と実 際の活用が求められる時代になっています。

事後確率のベイズ更新

ベイズの定理では、この事後確率が大きく発展します。情報 (データ) が得られた後は、原因の事前確率はその情報を取り 込んで変化し、この変化した確率が「事後確率」です。ベイズ の定理は事前確率を事後確率に変化させる数学ルールであり. その変化分がデータの情報なのです。事前確率は情報を取り 込んで事後確率へと上書きされるのですが、これを「ベイズ 更新しといいます。現実の例で説明しましょう。

例 迷惑メールの判定:インターネットのベイズフィルター

迷惑メールに含まれている用語として「無料」、「当選」があ ります。新着メールを調べると、これらは迷惑メールと通常メー ルの中に、それぞれ次表の確率で含まれていることがわかり ました。ただし、一般的には通常メールと迷惑メールの比率は

6 対4とします。

用語	通常メール	迷惑メール
「無料」	0.5	0.5
「当選」	0.1	0.7

- ① 「無料」が見つかったとき、この時点でこのメールが通常メー ルと言えるかどうか判定しなさい。
- ②さらに、「当選」が見つかった。同様に、このメールが通常 メールと言えるかどうか判定しなさい。

解法 通常メールの事後確率を求めます。メールの事前確率が 6 対 4に注目して.

① 「無料」が見つかったとき

$$\frac{0.6 \times 0.5}{0.6 \times 0.5 + 0.4 \times 0.5} = \frac{3}{5} = 0.6$$

②さらに、「当選」が見つかったとき

事前確率のところに①の事後確率が上書きされるから、

$$\frac{\frac{3}{5} \times 0.1}{\frac{3}{5} \times 0.1 + \frac{2}{5} \times 0.7} = \frac{3}{17} = 0.176$$

表より、メールに「当選」の用語が含まれているとき、通常メー ルである(統計的) 確率は 0.1 で、迷惑メールである確率 0.7 に比べて $\frac{1}{2}$ しかないので、そのメールが通常メールである事 後確率は 0.6 から 0.176 に激減しました。

答 通常メールであると判定する事後確率の値(境界値)にも よりますが、例えば、境界値を 0.8 とする基準では、①の時点 で通常メールとは判定できません。つまり「否」です。②で、さ らにそれが確実となります。また、境界値を 0.5 とすると、① の時点では通常メールと判定され、「合」ですが、再検すると、 ②で、「否」となります。

上記は確率が決定に役立つ点でもよい例ですが、ベイズ統 計学がIT. AIへ適用された最初とされています。ベイズの定 理の要点を内容とする点でもベストな例でしょう。

不確実の中で決めるベイズ意思決定

このように、確率はさまざまな現実問題に有用な活用がで きます。ここまでは事後確率がそのまま決め方(意思決定とい う) に使われていますが、確率には「期待値」の考え方があり、 期待値を用いるとさらに、不確実の中でも、理論的に正しい 合理的な決め方のルールを見出すことができるのです。

損失関数と最適対応

引き続き、前号の例により説明していきましょう。

問 電気工事業者は安全で無駄のない配線工事をする べきだが、その家の最大使用量(配電容量)は家主さえ わかっていない。家主に質問して返ってきた回答からも、 ベイズの定理でs=10, 20, 30 (A) のどれかとして. た だその事後確率がわかっただけである。

業者の行動(この場合は「配線 | の種類)にはa =10, 20, 30 (A) の 3 通りあるが、回答に対してどのよ うに最適な配線を決めるべきだろうか。

ただし、「最適」の基準は以下のsとaの組み合わ せの表によるものとし、対角線の左下側は火災や事故、 右上は無駄や過大な出費などの大きさを意味する。こ の表は、経済学の言い方を借りて一般に「損失関数」* と呼んでいる。

			\boldsymbol{a}	
		10A	20A	30A
	10A	1	2	3
s	10A 20A 30A	5	2	3
	30A	7	6	3

*ここではこの数字の詳しい経済学的な意味や求め方は問わず、 「不適切さ」くらいに考えておく。この数字が与えられている ことだけを考えればよい。

解法 以下で①, ②, ③は行動 $a=a_1$ (10A), a_2 (20A), a_3 (30A) に対する損失の期待値(期待損失)で、ここでの 確率は事前確率 $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$ と回答zの統計的確率 (前回 の下表)から求めた事後確率です。この期待値が最小の なに 決めます。

使用量の回答 z

10A 12A 15A 20A 10A 50 0 \cap 50 配電容量 8 20A 50 50 0 0 30A \cap \cap 30 70

 $z = z_1$ (10A) を観測したとき

事後確率= (1, 0, 0) だから、この確率分布で期待値をと れば.

① =
$$1 \times 1 + 5 \times 0 + 7 \times 0 = 1$$

② = $2 \times 1 + 2 \times 0 + 6 \times 0 = 2$
③ = 3

 $z=z_{2}$ (12A) を観測したとき

事後確率= $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$ だから、同じく、

① =
$$1 \times \frac{1}{2} + 5 \times \frac{1}{2} + 7 \times 0 = 3$$

② = $2 \times \frac{1}{2} + 2 \times \frac{1}{2} + 6 \times 0 = 2$
③ = 3

 $z = z_3$ (15A) を観測したとき

事後確率= $(0, \frac{5}{2}, \frac{3}{9})$ で、

① =
$$1 \times 0 + 5 \times \frac{5}{8} + 7 \times \frac{3}{8} = \frac{23}{4} = 5.75$$

② = $2 \times 0 + 2 \times \frac{5}{8} + 6 \times \frac{3}{8} = \frac{7}{2} = 3.5$
③ = 3

 $z = z_4$ (20A) を観測したとき

事後確率=(0,0,1)で.

① =
$$1 \times 0 + 5 \times 0 + 7 \times 1 = 7$$

② = $2 \times 0 + 2 \times 0 + 6 \times 1 = 6$
③ = 3

答 これらの対応をまとめて、

$$z_1 \rightarrow a_1$$
, $z_2 \rightarrow a_2$, $z_3 \rightarrow a_3$, $z_4 \rightarrow a_3$ と表しておきます。

これが答えです。

ベイズ決定ルール

以上の考え方を広げて、「決定ルール」 (decision rule) とは、 対応 $d:z \rightarrow a$

として定義します。zが4通り,aが3通りあれば,dには全部で 3^4 =81通りありますが,ただ場合を数えあげただけですから,明らかに適切でないものも含まれています。この中から適切な d を選びます。とりわけ,ベイズの定理から求めた先の決定ルールは「ベイズ決定ルール」と言われ,最適(最善)のものです。損失関数が与えられていれば,事前確率によってただ一通り出てきます。事前確率が異なれば事後確率も異なり,決定ルールも異なってきますが,ベイズ決定ルールはほんの限られた個数しかないことがわかっています。これらすべてのベイズ決定ルールを知って,あらかじめ心がけておけば,どんな不確実な場合にも対応でき安心です。

したがって、元になったデータ z の出る確率分布(データベースから)と損失関数および最初の事前確率分布を決めておけば、事後確率分布はリアルタイムでベイズ更新され、自動的に最適行動を出力するので、人口知能(AI)と考えることができます。

まとめ

s (状態) が与えられたとき z (データ) が出る統計 的確率が与えられていれば、各 z から適切な行動 aを決定するルールを定めることができる。

ただし、 $s \ge a$ の組に対する損失関数は与えられ、 また s の事前確率が利用できるものとする。

■ 演習 すべてのベイズ決定ルールを定める

右上のzの統計的確率の分布と損失関数から, s_1 , s_2 の事前確率が

(i)
$$(s_1, s_2) = (\frac{2}{3}, \frac{1}{3})$$
 のとき

(ii)
$$(s_1, s_2) = (\frac{7}{8}, \frac{1}{8})$$
 のとき

について、それぞれベイズ決定ルールを求めましょう (答えは 次回)。

zの統計的確率

	z_1	z_2	z_3
s_1	0.7	0.2	0.1
s_2	0.2	0.3	0.5

損失関数

	a_1	a_2	a_3
s_1	0	2	5
s_2	5	2	0

これから次のように展開します。決定ルールは各々のデータ値(情報) z_1 、 z_2 、 z_3 に対し、行動 $\{a_1,\ a_2,\ a_3\}$ の1つを対応させるから、全部で $3^3=27$ 通りあります。これを表すのに、 a_1 、 a_2 、 a_3 をアルファベットのように考えた「辞書式順序」で、 $d_1:(a_1,\ a_1,\ a_1)$ 、 $d_2:(a_1,\ a_1,\ a_2)$ 、 $d_3:(a_1,\ a_1,\ a_3)$ 、 $d_4:(a_1,\ a_2,\ a_1)$ 、………, $d_{27}:(a_3,\ a_3,\ a_3)$ のように並べるものとします。

課題 s_1 , s_2 の任意の事前確率w, 1-w に対してあるd がベイズ決定ルールとなるが, d_1 , ……, d_{27} のうちベイズ決定ルールとなるものをすべて求めなさい。

答 以下の7通りとなります(解法は次回)。

 $d_1 : (a_1, a_1, a_1), d_2 : (a_1, a_1, a_2), d_3 : (a_1, a_1, a_3),$ $d_6 : (a_1, a_2, a_3), d_9 : (a_1, a_3, a_3), d_{18} : (a_2, a_3, a_3),$ $d_{27} : (a_3, a_3, a_3)$

したがって、この7通りをコーディングしておけば、人間に 代わるちょっとした AI のモデルになります。

確率の応用問題を作る時代に

ベイズの定理が注目されるきっかけは、マイクロソフト社が コンピュータ利用を考えたことにあると言われ、最初の応用 は迷惑メールやコンピュータ・ウィルスの検出でした。ベイズ の定理で事後確率を計算する(第1回)のは簡単ですが、そ れは目的ではありません。期待値を用いて何かを「決める」(第 2回)ことで、今や自動運転、人工衛星制御、重要遺伝子の 検索など AI まで広く応用されています。

「ベイズの定理」が高校数学に入ったことで、大学入試にも出されるでしょう。これまで、教育現場では確率は計算中心でしたが、今後は面白い問題を扱うことが「数学好き」をつくるカギとなるでしょう。21世紀は「確率で考える」世紀なのです。

第3回予定 シグモイド関数

【第2回】

元素 (エレメント element) II - 近代におけるエレメント



元徳島県公立高等学校 教諭

西條敏美/さいじょうとしみ

1950年徳島県生まれ。関西大学工学部および同大学院修士課程で気体電子工学専攻。卒業後35年間,徳島県 の公立高校で理科(物理)教員として勤務し、2011年定年退職。1982年に徳島科学史研究会を創設。理科教育 の立場から科学史の活用に関心を持つ。科学史を取り入れた高校教科書『理科基礎』(実教出版)の共同執筆に もかかわった。おもな著書に、『理科教育と科学史』(大学教育出版)、『測り方の科学史(1)(11)』、『単位の成り立 ち』(以上恒星社厚生閣)、『物理定数とは何か』(講談社ブルーバックス)など。趣味は毎日1万歩、1時間15分歩 くこと。現在地球の全周の4分の3を達成。

になる。

エレメント (element) とプリンシプル (principle) と いう用語は、古代ギリシャ語のストイケイオン $(\sigma \tau o \iota \chi \epsilon \iota \omega v)$ と、 アルケー(ápxń) から生まれた言葉であることは、前回に見 たとおりです。現代では、この英語でも、日本語訳の「元素」、 「原理」でも、語感はかなり違うようにも思われます。同じ 言葉でも、いろいろな意味を持つのは当然で、時代を隔てた 現代ではなお当たり前といえます。プリンシプルも、物質用 語としては、「原理」ではなく、アルケーのもとの意味に近 い「原質(原素)」と訳されるのが普通です。今回は、近代 の二人の科学者、イギリスのボイルの『懐疑的な化学者』 (1661) とフランスのラヴォアジェの『化学原論』(1789) で. この用語の使われ方を見てみることにします。

■ ボイルの『懐疑的な化学者』(1661)

ボイルの著作は、化学、医学、神学などに関して、46点 もあります。その中で主著といえるのが『懐疑的な化学者』 (The Sceptical Chymist) です。1661年の刊行で、ガリレ オの『天文対話』(1632)や『新科学対話』(1638)にならっ て、対話形式で書かれています。登場人物は、アリストテレ ス派の学者テミスティウス、パラケルスス派の学者フィロポ ヌス. ボイルの化身というべき人物カルネアデス. 良識ある

市民エレウテリウスの4人で、ほか記録係が1人います。議 論はカルネアデスとエレウテリウスの対話を中心に進み、テ ミスティウスとフィロポヌスは聞き役というところです。

言語を完成させることに専心すること は, 真に, 科学の発展に寄与すること

> ラヴォアジェ (1743~1794) 『化学命名法』(1787) 報告 | より

万物を作る構成要素として、古代ギリシャのアリストテレ スは火、空気、水、土の4つを考えました。この四元素説は 中世、近代にいたっても、錬金術師たちの指導理念となって いました。しかし、他方では、水銀、硫黄を構成要素とする 二元素説や、塩を加えた三元素説もありました。三元素説を 代表する学者がパラケルススでした。

議論は、元素あるいは物質の成分の数について真理をさぐ ることを目標とし、四元素説や三元素説を論駁し近代的元素 観を粒子説に基づいて基礎づけるという展開になっています。

ここで、エレメントとプリンシプルという2つの用語に注 意してみると、ボイルの時代においても活きているのはもち ろんですが、この用語の意味の違いを区別しようとしても不 毛の議論になるので、避けようという配慮が示されています。 カルネアデスにこう語らせています。

「無意味な言葉(words) や 術語(terms) や 概念 (notions) について口論するのが好きな気質でもないので、 エレメントとプリンシプルを同じ術語として、区別しないで 使うことをあらかじめ同意し合っていたのでした。エレメン トも プリンシプルも、混合物体 (mixt bodies) がそれか

ら組み立てられ、それに分解される最も「原初的で単一の物 体 | (primitive and simple bodies) と理解するのです。|

これは序論部分の言葉ですが、最終の第6部では、次のよ うにあります。

「私はエレメントという名のもとにどんなことをいってい るのかお伝えしなければなりません。私は化学派のいうプリ ンシプルの意味と同じように、エレメントをある「原初的で 単一の、すなわち全く混合していない物体 (primitive and simple, or perfectly unmingled bodies) だといってい るのです。それは何かほかの物体で作られているのではなく て、完全な混合物体 (perfectly mixt bodies) といわれる ものを直接作りあげている成分のことであって、混合物体は、 究極にはこのエレメントへと分解するのです。

エレメントも プリンシプルも区別せずに、ともに「混合 物体のもとになる成分であり、混合物体から分解される成分 | というのがボイルの意味になります。ただここでの混合物体 とは化合物も含めた混ざり物ととるべきでしょう。エレメン トやプリンシプルの数は、2つ、3つ、4つなどと決めてか からずに、実験に基づいて決まるものだという意味のことを 述べています。

物質の粒子に関する言葉としては、particle、あるいは minute particle という言葉がしばしば出てきますし、アト ム(atom)という言葉も少なくとも1回は出てきます。

三元素説. 四元素説の凋落

18世紀の中頃から数々の気体が発見され、気体化学の時 代が到来します。例えば、1756年イギリスのブラックは、 酸化マグネシウムを強熱して生じる炭酸ガスを発見します。 1766 年イギリスのキャヴェンディッシュは、金属に酸を加 えて生じる水素を発見しました。フランスのプリーストリは, 酸素のほか、アンモニア、酸化窒素、塩化水素などを発見し ました。彼らはこれらの気体の性質や反応前後の量的関係ま で正確に調べました。この頃まで、知られていた空気には、 いろいろな気体が混じっていること、水素と酸素から水が生 成することも明らかにされました。そうすると、物質の基本 要素と考えられていた空気はいくつかの気体の混合物である し、水もまた水素と酸素との化合物であることは明白です。 空気や水が基本要素の座から降ろされるのは当然でした。ち

なみにガス(気体)という言葉も、空気という言葉と区別す るために作られた語でした。火や硫黄についても、フロギス トンという燃える要素で説明されていましたが、これも、酸 素で統一して説明されるに及んで、基本要素の座を失ってい きました。

ラヴォアジェの『化学原論』(1789)

ほどなく登場したラヴォアジェは1789年、『化学原論』 (Traité Élémentaire de Chimie, 英語訳: Elements of Chemistry) なる教科書を刊行し、今後の物質研究の共通の 基盤を築きました。本書は「化学要論|「化学のはじめ」な どとも訳されています。Elements の語からは物質の基本要 素としての元素の語感も伴います(以下、英語訳を使用)。 ボイルの『懐疑的な化学者』からは1世紀以上の時が流れて いたので、多くの実験的知識の集積が背景にありました。

ラヴォアジェは、本書の序論で元素観を述べています。

「エレメントの数と性質について言いうることはすべて形 而上学的議論に限られるというのが私の考えである。 それら は解釈が必要とされている不確定の問題であり、それに対し ては無数の解答が必要であるが、そのいずれをとっても自然 に適合するとは思えない。したがって、エレメントという名に おいて、物体を構成する単純で分割できない粒子を意味しよ うとするならば、それらについて何もわからないだろう。|

続いて、「エレメントとは分析によって到達し得る最終のも の との認識に立ち、「いかなる手段によってもいまだ分解 できないあらゆる物質(substance)がエレメントである| と述べています。これらは、単体 (simple substance) の ように振る舞うが、実験と観察が証明を与えるまでは、それ らが化合物であると仮定すべきではないとも述べています。

要するに、実験と観察に基づき、現時点でこれ以上に分解 できない物質がエレメントであり、具体的には単体であると いうことです。単体を全面に出してきたのがラヴォアジェの 特徴です。エレメントとプリンシプルの違いについての目立 つ記述はなく、単体を作るもとになるものをプリンシプルと 捉えているようです。

ラヴォアジェは本書で、単体を具体的に表にして示しまし た (図参照)。その数は33種で、光素、熱素が入っていたり、 化合物も入ってはいますが、土台が示されたのです。 同時に大

	1	
	Noms nouveaux.	Noms anciens correspondans.
	Lumière	Lumière.
ł	1	Chaleur.
1	'	Principe de la chaleur.
1	Calorique	Fluide igné.
	1	Feu.
Substances Simples qui ap-	1 (Matière du feu & de la chaleur.
partiennent		Air déphlogistiqué.
aux trois re-	Oxygène	Air empiréal.
paut regarder	Oxygene	Air vital.
mensdes corps.		Base de l'air vital.
		🕻 Gaz phlogistiqué.
	Azote	Mofete.
		Base de la mosète.
	Hydrogène	Gaz inflammable.
	(Base du gaz instammable.
	Soufre	Soufre.
Substances	Phosphore	Phosphore.
fimples non métalliques	Carbone	Charbon pur.
onidables &	Radical muriatique.	Inconnu.
acidifiables.	Radical fluorique	Inconnu.
	Radical boracique	Incomu.
	Antimoine	Antimoine.
	Argent	Argent.
	Arfenic	Bifmuth.
	Cobalt	Cobalt.
	Cuivre	Cuivre.
	Etain	Etain.
Substances	Fer	Fer.
fimples metal-	Manganèse	Manganèse.
liques oxida- < bles (7 acidi-	Mercure	Mercure.
fiables.	Molybdène	Molybdène.
	Nickel	Nickel.
	Or	Or.
	Platine	Platine.
	Plomb	Plomb.
	Tungstène	Tungstène.
	Zinc	Zinc.
	Chaux	Terre calcaire, chaux.
Substances	Magnésie	Magnésie, base du sel d'epsom.
Simples Salifia-	Baryte	Barote, terre pesante.
bles terrewes.	Alumine	Argile, terre de l'alun, base de l'alun
	Silice	Terre siliceuse, terre vitrifiable.

ラヴォアジェの単体表(『化学原論』, 1789から) 33種の単体を 4区分して、それぞれに新名と対応する旧名を示している。

事なことは、これらの元素もそうですが、錬金術の時代から、 種々の名称で呼ばれていた数々の物質を分類し、名称を統一 して提示したことです。これこそが彼の業績といえます。彼は 物質の名称を系統的に付け、統一することを本書の前々から 考えていて、2年前の1787年には、ほか3人と『化学命名法』 なる著作を世に出しています。『化学原論』の序論、第1部4で も言葉や用語が持つ意義を繰り返し述べています。

「物理科学 (Physical Science) は必然的に3つのことが ら、科学を構成する一連の事実、それを伝えるアイデアおよび それを表現する言葉から成り立つ。言葉はアイデアを生むの でなければならない。アイデアは事実を描くのでなければなら ない。これらはひとつの印象による3つの跡かたである。|

「アイデアを包みそれを伝えるのは言葉であるから、科学 を完成させずして言語を完成させることも、言語なしに科学 を完成させることもできない。事実がいかに確かであり、事 実が生んだアイデアがいかに正しくても、アイデアを表す適 切な表現がなければ、誤った概念しか伝えられない。

彼は、古い習慣からその社会に受け入れられて、認められ た名前、例えば水、氷、空気などはそのままとしました。し かし、誤ったアイデアを起こさせそうな語や複数ある古い言 葉は新しい言葉に置き換えました。化合物についてはもとの 複数の単体がわかるような語に置き換えました。新しい名前 は、おもに表そうとするアイデアを帯びているギリシャ語か ら引いています。例えば、水素は、「燃えるガス」、「燃える ガスのもと | などと呼ばれていましたが、hydro(水)+ gen (··· 生じるもの) から Hydrogen なる新語が作られ ました。酸素も、「フロギストンの抜けた空気」、「王様の空 気 | 「活性空気 | 「活性空気のもと | などさまざまに呼ばれ ていましたが、Oxy(酸) + gen (··· 生じるもの) の意か ら Oxygen なる新語が作られました。この2つはあまりに 単純な例ですが、『化学原論』には、酸、塩基、塩などいろ いろな物質について、旧来の名前と提案する新語の名前との 対応表など20を越える表が掲げられています。

むすび

ボイルの『懐疑的な科学者』とラヴォアジェの『化学原論』 とでは、記述スタイルも違い、刊行に1世紀以上の開きがあ りますが、ともに新しい元素観を確立するのに貢献しました。 特に、後者は、刊行されるやたちまち諸外国語に訳されて、 大きな影響を与えました。翌 1790 年には英語訳、1791 年にオランダ語訳とイタリア語訳、1792年にドイツ語訳、 1797年にはスペイン語訳というように続きました。わが国 においては、宇田川榕菴がオランダ語訳をもとに『舎密開 -宗』(初編 1837)を訳述して紹介しました。

「元素」という和名も、榕菴自らが造語しました。彼は、 志筑忠雄が『求力法論』(写本1784)の中で用いた「実素」 からヒントを得て、この言葉を作ったようです。

文献案内

○ボイルの『懐疑的な科学者』, ラヴォアジェの3部作『物理と化学』 『化学命名法』『化学原論』の日本語訳は、世界大思想全集(河出書 房新社), 古典化学シリーズ(内田老閣圃新社), 科学の名著(朝日 出版社)などに収められている。原著の復刻,英語訳も容易に入手で きるし、一部はネット上で閲覧できる。

持続可能な社会の創り手になるための「学び」の成立

細谷美明 / ほそやよしあき

1955年生まれ、東京都出身。東京都公立中学校教諭(社会)、江戸川区教育委員会指導室長、東京都 教育委員会主任指導主事等を経て2校の中学校長、早稲田大学教職大学院客員教授。この間、全日本 中学校長会会長、日本中学校体育連盟会長、中央教育審議会委員を歴任。現在、日本教材学会常任理事、 実践女子大学非常勤講師。



1) 「持続可能な社会の創り手」を育てるために

コロナ禍のこの3年間、社会的にもよく発信される言葉 が SDGs に代表される「持続可能な社会」です。現行の学習 指導要領においても前文や総則で「持続可能な社会の創り 手」として登場します。コロナ禍のような閉塞感漂う社会に 活力を与えるためにも、今の子供たちに持続可能な社会の創 造に必要な資質・能力を学校教育段階から育むことは大切な ことでしょう。持続可能な社会の創造に必要な資質・能力と は、まさに「生きる力」です。その中でも「個別最適な学び」 と「協働的な学び」は「主体的・対話的で深い学び」と関連 し、学習指導要領の中核をなしています。大切なことは、 SDGs という言葉に流されることなく、この言葉の根底に流 れる個人として社会人として国際人として持つべき資質・能 力の育成を学校教育段階でどう構築していくかといった理念 を教育者として明確に持ち認識し実施していくことです。

2)「個別最適の学び」と「協働的な学び」に 欠かせない指導

以前,私はRimse東京懇談会の研究紀要において,これ からの子供たちが「個別最適な学び」と「協働的な学び」を 自ら体現するには、問題解決学習の年間指導計画の中の位置 付けや生徒の学びを支援する評価の工夫を行うこと、その過 程の中で学校や子供一人一人の状況に応じて ICT 機器も紙も 適切に活用していくことを提言しました。問題解決学習はま さに「個別最適な学び」と「協働的な学び」の場であり、そ こで行う評価の工夫は2つの学びを「深い学び」につなげ

るこれからの教育に必須の学習形態なのです。さらに言えば、 子供たちが将来、主体的・対話的で深い思慮をもって自己の 人生を見つめ、持続可能な社会の創造・発展に尽くす人間に なるために、学校の授業・生活のどの場面においても問題解 決型の学習を計画的に取り入れることが必要です。

問題解決型の学習は、主体的で協働的な学習形態の設定が 前提となります。具体的には、学習者が「個人」⇒「集団」 ⇒「個人」の学習プロセスとなります。次にテーマ(課題) 設定ですが、総合的な学習の時間であれば子供に考えさせ、 教科であれば単元のねらいに迫る内容にします。

こうした学習を進めていく上で必要なツールが評価規準です。 教師は子供の各プロセスにおける活動や発言に対し、評価規 準の各観点に照らした形成的な評価と助言を行い、それを記 録しポートフォリオなどに保存します。子供も同様です。最後 は単元を通した子供の変容を子供に伝え記録し保存します。 最近はワークシートを活用する事例が一般的です。こうした指 導の実例は、国立教育政策研究所が発行している『「指導と 評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料』に教科 等ごとに掲載されていますので、参考にするとよいでしょう。

3) ポートフォリオ評価の活用例とその効果

参考資料における評価の活用例を1つあげましょう。中 学2年生の学級活動において職場体験を終えた生徒にその 体験から学級の組織づくりにおいて、自分の役割の自覚を促 す指導例です。まず教師が生徒に「職場体験レポート」をま とめさせます。レポートの様式は時系列で記述できるよう工 夫されており、「体験前後の自分の適性」「職場体験で知りた

いことと活動中でのインタビュー結果」「事業所の人から認 められたこと」「職場体験を終えての感想」「職場体験で得た ことと学校生活で生かすこと 」などで、その内容を受け教師 のコメントや評価が書き込めるようになっています。参考資 料では自動車整備工場での体験レポートの記載例として、生 徒が「職場体験を終えての感想」について「あいさつや準備 をほめられて授業や部活と同じだと思った。また、車が好き だったことを思い出した。仕事の意義を改めて考える機会と なった」と記述したことに対し、担任が「社員の皆さんの話 をよく聞ききちんと理解して仕事に向き合っていた。日に日 に次の仕事のことを考え自分で判断して行動していた」とコ メントしています。さらに教師用の観点別評価(補助簿)に は「『学校で大事なことは仕事にもつながることを意識して 生活したい』との記述から職場体験活動で学んだことを学校 生活で生かそうと考えていることがわかる」(「主体的態度」 の観点)と記録しています。教師のコメントや評価は評価規 準である「担任からの助言や友人の声を参考に、職場体験活 動の経験を学校生活に生かそうとしている」を根拠としてい ます。この評価規準をもとに「かなり達成している」「ある 程度達成している」などのレベル分けをしたルーブリック (評価基準表)を作成しておくのも総括的評価を行う際に便 利でしょう。

このポートフォリオ評価は私が勤務していた教職大学院の 学生も実習で活用し大きな成果を挙げました。 ある学生は、学 級崩壊状態になっていた小学3年生のクラスに担任として配置 されました。そこで彼は、児童に学級で行われる自分たちの日々 の活動記録に対し「振り返り」をそれぞれのノートに必ず書か せ、それを担任がプラス評価でコメントを書き毎回返却してい きました。約1か月後、クラスでは、喧嘩・いじめが全くなく なり、授業でも児童がみな積極的に発言し、発表する友人の 意見もよく聞いて話し合いを進める状態にまで変容したのでし た。これには実習校の校長先生も驚愕し、その学生をぜひ自 校の教員に採用したいと熱望したほどです。

以上の事例は特別活動ですが、やり方は学習指導でも同様 です。ただ、ポートフォリオ評価を使った指導は教師にとって大 きな負担となる要素もありますので、年間の中でどの単元や場 面で活用していくかを年度始めに検討しておくことが大切です。

これからの社会は AI によって必要な情報が必要なときに提 供され社会のさまざまな課題が解決されるようになります。人 間に求められるのは価値の創造であり、個性を生かした発想で す。そのため学校は、子供の興味・関心を尊重した創造的な 活動中心へと授業観の転換を迫られます。まさに「学びの個別 最適化」です。本提言をそのためのヒントとしていただければ 幸甚です。 •••

調査データから見える課題点

茨城大学教育学部 教授 小口祐一

新時代に対応した独自の視点として、教科ごとに「授業での指導のしにくさ」と「デジタル教材の有効性」との間に関連が見 込まれる学習内容を抽出しました。

例えば、中学校数学では、「平面図形の作図、直線や平面の位置関係」を抽出し、デジタル教材が有効な理由として、回答者 の78.6%が「図や音声や動画を使って説明しやすい」を選択しました。また、中学校理科では「天体の動きと地球の自転・公転」 及び「太陽系と恒星」を抽出しました(研究紀要第2号, 2019年)。

このような結果をふまえ、ICT を活用することにより、指導しにくい学習内容を指導しやすい学習内容に変えていく可能性を示 唆しました。



※調査の結果は、https://www.rimse.or.jp/report/kondankai.htmlでご覧になれます。

地域教育で活躍する人々 第36回

青少年のための科学の祭典 広島大会におけるコロナ対策



公益財団法人広島市文化財団 広島市江波山気象館 主任学芸員

池本和弘/ いけもとかずひろ

1973 年宮城県生まれ。岡山理科大学理学部化学科 卒業。1998年より財団法人広島市文化財団 (現在 の公益財団法人広島市文化財団) に勤務し、同財団 の広島城、ヌマジ交通ミュージアム(広島市交通科学 館), 5-Days こども文化科学館 (広島市こども文化 科学館) などを経て、2023年4月から現職。

はじめに

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の拡大は、博物 館にもかなり大きな影響を与えました。いわゆる「ハンズオ ン」と言われる体験型の展示やイベントが多く見られる館で は、この感染症を乗り越えるアイデアが必要であり、さらに 今後、子供の学習環境の変化に合わせた変革が求められる時 代です。



図1 5-Daysこども文化科学館(広島市こども文化科学館)

2020年度の科学の祭典

私が広島市こども文化科学館(以下当館という)に赴任し た2020年4月は、感染症の拡大防止のため臨時休館となっ ている最中でした。赴任して早速, 私の担当する体験型のイ ベント「青少年のための科学の祭典 広島大会」(以下科学 の祭典という)でも、どのような対応をするのか決断を迫ら れていました。

科学の祭典とは、理科や数学あるいは科学技術といった分 野の実験や工作を一堂に集めて、来場者に楽しんでもらうイ ベントで、例年 10 月に開催しているものです。理科教育に 携わる方たちだけでなく、子供たちに科学の魅力を実体験で きる機会を与えたいと思ってくださる協賛企業、参加してく

ださる市民の皆様に支えられて続いてきました。私が赴任す る前年の2019年には第25回大会が開催され、2日間で延 べ65のブースの出展があり、約17.000人が参加されま した。ブースというのは、お祭りの出店のような形状で、机 を挟んで説明者と来場者が対面し、実験や工作を行う形態の ことです。ところが、コロナ禍ではこのような密集した状態 は非常に感染拡大のリスクが高く、対面して実験や工作を行 うことはとても考えられない状況でした。結局 2020 年度は、 感染症防止のため6月に開催中止が決定されました。

■ 2021年度の科学の祭典

2021年度になって、当館では前年度の中止の経験から、「今 年度こそ、大会を開催したい という思いが強くなっていまし た。しかし、ウイルスは変異を続けて感染症は拡大し、その 影響で当館も8月4日から2021年度2回目の臨時休館に なりました。そして、9月に入ってから通常開催を断念し、イ ンターネットを活用した大会の開催をすることが決まりました。

この時期、オンラインでイベントなどを開催する事例は珍し くなく、オンラインセミナーや飲み会、医療機関のオンライン 診療など幅広い分野での活用が進んでいました。 当館でも, サイエンスショーはもちろん、工作や天体観測など科学に関す る動画をホームページから閲覧できる「おうちでミュージアム」 というコーナーを設け、公開していました。そのノウハウを活 かし, 科学の祭典ホームページ(図2)の作成と実験動画(図3) 掲載の準備を進め、12月からのオンライン開催が実現しまし た。動画を作成していただいた講師の皆様には、時間がない 中大変負担をかけたことと思います。結果的には科学実験・ 工作の動画が 17 本. 実験解説書が 28 件の掲載となり、ホー ムページは4カ月間の公開期間中に1,324回の閲覧をいただ きました。メールの設定はしていたものの、残念ながら閲覧し た方の投稿はなく、意見を聞くことができませんでしたが、忙

しい中ご協力いただいた講師の方々には、「オンラインが初め てで楽しかった |. 「いつも他講師の実験を見ることができな いので、動画で見ることができて良かった」、「次回は音楽など も考えて工夫し、楽しい動画にしたい」などの前向きな言葉を いただき、苦労したことが報われたと感じました。



図2 科学の祭典ホームページ



図3 公開した実験動画

2022年度の科学の祭典

そして、2022年度、ついに3度目の正直ということでしょ うか、第27回大会は3年ぶりに対面形式で開催しました。 マスク着用、手指消毒などの一般的な感染症対策をした上で、 出展数を例年の約半分である36ブース、スタッフも1ブー スあたり5人までに制限し、式典などはなしでの縮小開催 ですが、ようやく本来の「科学の祭典」が戻ってきたと感じ ました (図4)。

場所を狭くし、参加者も1日240人(保護者などを除く) の定員を設けたため、1日約8.000人以上の人が集まった過 去の大会とは比較にならないほど小規模となりましたが、新し い試みとしてオンライン申込システムでの事前募集を行ったと ころ、定員の5倍である2.400人を超える応募があり、参加 してくださる皆様も待ち望んでいたことを実感しました。

結果はアンケートなどから、例年は半数がリピーターだっ たものが、今回は初めての参加者が80%以上になったこと や、熱心な参加者が多く見られるという、事前申込制ならで はの特徴がわかりました。また、例年同様に好意的な意見が 多数で、子供たちに科学への興味・関心を高めるという目的 は十分に達成できたものと考えられました。さらに、出展ス タッフの半数近くを占めている学生たちが、 意欲的に取り組 んでくれたおかげで、全体に活気が生まれ、以前の科学の祭 典と変わらないよい雰囲気となりました。





図4 科学の祭典(2022年度)

まとめ

今回. 私が担当した科学の祭典について. 3年間の新型 コロナウイルス感染症(COVID-19)への対応をまとめて みましたが、これからの博物館のあり方として、やはり従 来の事例にとらわれることなく、柔軟に変化し対応してい けるシステムが必要であると感じました。特に、これから は多様性が求められる世の中になっていき、個人のニーズ に対応できるオンデマンドな方式が必要とされるでしょう。 しかし、長年続いている事業などを変えていくことは容易 ではありません。まずは「人」が変わらなくてはいけない からです。今回取り上げた科学の祭典の開催は、イベント の参加人数や実施回数よりも、「何とかして子供たちに科 学の魅力を伝えたい」という熱意を持った方々が周りにい て、ご指導、ご協力していただいたからこそ、実現できた 変化の成果だと私は確信しています。

新型コロナウイルス感染症に対する世界の対応が落ち着きを見せ始め、従来の生活が戻りつつあります。この3年間にできなかったことにチャ レンジしてみるのもいいですね。

次回は、「学習指導要領に対する教育現場の受け止めと課題」について特集します。

(財)理数教育研究所事務局

第5回

「否定」 その 2

簡単で難しい否定

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらい すすむ

否定することに意味がある日常の否定表現

二重否定が強い肯定を表すために用いられるように、日常 での否定表現にはそれを用いる人の意図が込められます。

「早く起きないから約束に間に合わない」

「早く起きれば約束に間に合う」という肯定文の方がわか りやすいのにもかかわらず、「ない」を2度も使う理由とは 何でしょうか。約束の時間に遅刻する人に対して怒っている 場合に肯定文では優しすぎます。「早く起きない」という事 実提示を行い、懲戒の意味が込められています。

同じ否定の多用でも次はどうでしょうか。

「そのようなことができ**ない**ことは**ない**と言えなくも**ない**」

「ない」が3度も使われることで、ほとんど意味がわかりま せん。否定を多用し、わざと意味を不明瞭・不明確にする意 図(場合によっては悪意)が込められています。

数学でも曖昧な「否定」の言葉使い

これに対して、数学における否定表現にこのような意図が 込められることはありません。しかし、否定の言葉使いがわ かりづらくなる場合があります。

[a. b. c はすべて 0 ではない]

【解釈①】a, b, cの中に0に等しいものは存在しない。

 $a \times b \times c \neq 0$

【解釈②】a, b, cの中に0に等しくないものが存在する。 $t_{a} + t_{b} + t_{c} ≠ 0$

これらは「すべて0ではない」の解釈の違いです。

「すべて(0ではない) | と解釈したのが①です。例えば、 (a, b, c)=(1, 2, 3)のように, (a, b, c)= $(1 \sim 9$ のどれ か、1~9のどれか、1~9のどれか)ということです。

これに対して、「(すべて0)ではない | と解釈したのが② です。すべて0すなわち(a, b, c) = (0, 0, 0)の否定なので、 (a, b, c) = (1, 9, 7)※すべて 0 でない数

 $= (0, 5, 3) \times 1$ 0

 $= (3, 0, 0) \times 27$ 0

を表します。

「すべて」の否定は「ある」

条件(命題)の否定

「すべてのxについてp | の否定は「あるxについてpでない | 高校数学で習う"条件(命題)の否定"ですが、次の会話 は問題なく使われる例です。

息子:だって、これ、みんな持ってるんだから!

母 : みんなは持ってないでしょ。たかし君は持ってるの?

息子:たかしは持ってるはずだと思う……。

正しく否定を使うことができた母親でも、「クラスの全員 が持っている」の否定は?という問いには「クラスの少なく とも1人は持っていない とは答えられず、「クラスの全員 が持っていない」と間違えるかもしれません。

notの位置で意味が変わる英語

否定するのは簡単です。「ない」を付ければよいのですか ら。ところが、英語の「not」はその位置が問題になります。 not always いつも~とは限らない

The rich are not always happy.

(金持ちはいつも幸せとは限らない)

always not いつも~ではない

The rich are always not happy. (金持ちはいつも幸せでない)

「はやくて 安くて うまい」の否定は?

論理学で、命題Pの否定「Pでない」は、否定記号っをP に付けるだけです。それが合成命題の否定となるとようすは 一変します。

 $\neg (P \land Q) = (\neg P) \lor (\neg Q)$ ド・モルガンの法則 $\neg (P \lor Q) = (\neg P) \land (\neg Q)$

これをすぐに納得できる人は多くはありません。それもそ のはず、命題 P と Q の真偽の組合せは 4 通りあり、それぞ れについて確認する必要があります。

「早い」「安い」「うまい」の否定が、それぞれ「遅い」 「高い」「まずい」だとして、「早くて うまい」の否定を 考えてみましょう。②「遅くて まずい」と答える人がいる 一方、⑥「遅い または まずい」と答える人もいるでしょう。 ド・モルガンの法則を適用した人です。

人は同じように「遅くて 高くて まずい」と答えるでしょう。ド・ モルガンの法則を知っている人の中でも「遅い または 高い ま たは まずい と答えられる人は少なくなるでしょう。

簡単に使える否定ですが、数学、日常ともに難しさをはら んだ存在でもあります。日常ではできるだけ否定を使わない 言葉使いを心がけたいものです。

Rimse (עבעע)

No.37

編集·発行 (財)理数教育研究所

大阪オフィス

〒543-0052 大阪市天王寺区大道4丁目3番23号 TEL.06-6775-6538 / FAX.06-6775-6515

東京オフィス

〒112-0013 東京都文京区音羽2丁目10番2号 日本生命音羽ビル4階

TEL.03-3814-5204 / FAX.03-3814-2156

E-mail: info@rimse.or.jp

https://www.rimse.or.jp

※本冊子は、上記ホームページでもご覧いただけます。

印刷所:岩岡印刷株式会社

デザイン:株式会社 アートグローブ 本文イラスト:株式会社 アートグローブ

表紙写真: © Stuart Kinlough /lkon Images /amanaimages

©Rimse 2023