

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No.

25

July

2019

特集

課題研究にどう取り組めばよいか II



Contents

表紙裏

巻頭言

生きる力としてのプログラム創造力・モデル活用力・
モデル構築力

情報・システム研究機構 理事／統計数理研究所長 椿 広計

特集 課題研究にどう取り組めばよいか II

- 2 **I** 探究活動・課題研究の効果的な進め方について
一般社団法人 Glocal Academy 代表理事 岡本 尚也
- 7 **II** 学校現場から見た探究学習の可能性
宮崎県立宮崎東高等学校 教諭 西山 正三
- 12 **III** 課題研究をどうやって楽しむか
大阪教育大学附属高等学校平野校舎 教諭 山崎 勝載

連載 ヒトの生物学を教えよう 第 14 回

プレシジョン・メディシンが拓く世界

三田国際学園中学校・高等学校 教諭 大野 智久

連載 統計の見方・読み方・使い方 第 2 回

統計不正問題と標本調査への理解

慶応義塾大学大学院健康マネジメント科 教授 渡辺 美智子

連載 物理法則の科学史 第 2 回

光の反射と屈折の法則

国立科学博物館理工学研究部 研究員 有賀 暢迪

教育に新しい風を

社会変革に対応した学校教育の研究や準備

三重大学大学院教育学研究科 特任教授 田邊 正明

広場 地域教育で活躍する人々 第 24 回

学校教育から発展した「学び」の創造！

～「自然」「生き物」に学び、感性を育む体験的環境学習～

鹿児島体験的環境学習研究会 会長／

鹿児島市立西伊敷小学校 教諭 岩切 敏彦

裏表紙

知られざる女性数学者の素顔 第 5 回

エミリ・デュ・シャトレ

～『プリンキピア』全訳を成し遂げた女性数学者の先駆者～

サイエンスナビゲーター 桜井 進

巻頭言

Kantougen



情報・システム研究機構 理事
統計数理研究所長

椿 広計 / つばき ひろえ

1956 年東京生まれ。工学博士、専門は応用統計学。1982 年東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻修士課程修了・東京大学工学部助手、1987 年慶應義塾大学理工学部数理科学科講師、1997 年～2011 年筑波大学社会工学系助教授、同大学院ビジネス科学研究科教授、2005 年～2013 年統計数理研究所リスク解析戦略研究センター長（兼）、2010 年～2015 年統計数理研究所副所長（兼）、2011 年～2015 年統計数理研究所データ科学研究系教授、2015 年～2019 年（独）統計センター理事長、2019 年から現職。筑波大学・統計数理研究所・総合研究大学院大学の名誉教授、日本学術会議連携会員、横断型基幹科学技術研究団体連合副会長。これまで、応用統計学会長、統計関連学会連合理事長、日本品質管理学会長を歴任。

生きる力としてのプログラム創造力・ モデル活用力・モデル構築力

生きる力とは何だろう？ 動物でも植物でも、その生存のために何らかのプログラムに従って行動している。蟻の行列は淡々たる動きだが、知性に根差すものと擬人化したくなる。しかし、私たちが眺めているのは、年月をかけて偶然によってチューニングされたプログラムに過ぎない。個体を原初的コミュニケーションで繋ぎネットワーク化で得られる集団力は個の力の総和を超える場合がある。したがって、形成された社会を守ることを偶然に目的とした種が、結果として存続確率が高くなった。実際、蜂は巣に危険が迫れば、個体の死を前提に敵を攻撃するプログラムを発動する。この種のリスクマネジメントとも言える行動プログラムを選択した社会だからこそ、今日も存続したのである。このように個や社会の生存に適したプログラム構築は、生存の必要条件と言えよう。

一方、進化の過程を通じて私たちの祖先は、2つの力を獲得した。一つは、自ら行動プログラムを作り出すプログラミング能力である。もう一つは、行動プログラムに自身の肉体以外のツールや外部環境を活用する能力である。コミュニケーション能力も進化し、言葉でプログラムを仲間に伝えることや、プログラムの成功や失敗を評価し、文字で記述・伝承する叙事的物語も作れるようになる。こうして学習能力が得られた。過去の経験から学び、将来に必要な行動プログラムをデザインしたり、小説のような仮想シナリオを編み出したりする創造力も獲得した。偶然任せの進化ではなく、学習や創造に基づく進歩が生存の源泉となった。進歩したプログラムは、他の生命群を効果的に攻撃し滅亡させ収奪を行う、あるいは家畜化ないしは奴隷化することにも寄与した。

持続的生存目的をクリアしたと楽観する自由人は、自身の人生を活かしたいという欲求に従って、行動目的を定めるようになる。楽しい生活、豊かな生活、幸福な生活等々、個々人の価値観に基づく生活様式が誕生していった。生活者にとって、自身の選択した価値を最適化するプログラムの形成能力こそ、生きる力である。欧米のマネジメントサイエンス教育で、数理計画法(最適化)活用力育成が一つの目標となっているのも当然だろう。自由社会を単純化すれば次のようになる；先ず、個々人が自ら選択する価値を最適化する活動を認める。次に、社会ネットワークから生成される付加価値を

社会に配分し享受することを合意する。その上で、付加価値享受に必要な制約条件を個々人の行動に課すのである。

今日、人工知能で社会全体の数理最適化は可能かといえば、幸か不幸か多目的最適化問題なので解は一意に定まらない。結局個々人への価値分配に依存してさまざまな候補解が得られる。その分配方式の決定が政治の役割である。その際、原初的な社会存続を、最適化問題として何らかの意味で定式化していなければ、自由社会が存続することは困難となる。

さて、人類がツールや外部環境の活用力を獲得し、難易度の高い目的を達成可能とした歴史が、ツールや環境の背後にある原理の発見活動への途を拓いたのではなかろうか？ 科学の成立である。科学は、現象の本質をモデル化し記述表現する。一方、人々の生活に必要なのは、科学的に解明された原理を習得し、必要に応じて行動プログラムに導入し社会での利活用する能力である。多くの理科教育は、人類が既に発見した自然科学モデルの教育ないしは、モデルの活用力が主体となっている。これは工学教育である。この活用力が、多くの社会人にとって生きる力となっているのは間違いない。

それでは科学自体の教育は、社会全体に必要なのだろうか？ 科学自体の教育が目指すのは、科学的探究力、すなわち、現象に科学的法則としてのモデルを付与する能力の育成である。19世紀末、物理学者カール・ピアソンは個々の現象の観察、現象の類似性を統合したモデルの構築、モデルの妥当性検証といった行動プログラムからなる「科学の文法」を提唱した。その支援ツールとして開発されたのがヒストグラム・標準偏差・相関係数等の記述統計的方法である。彼は科学的探究の領域を制限することに反対した。1990年頃、米国が日本の奇跡と呼んだのは、我が国産業界現場が保有する自律的「改善」能力である、これは、現場の現象を事実に基づいて科学的に探究し、必要な行動プログラムを導く能力であった。近年、統計教育が初中等教育で重視されるようになった。プログラムの評価技術として、統計的方法が人工知能開発でも重要な役割を果たすことは明らかである。しかし、生きる力の涵養という意味では、探究科目でのモデル構築プロセス教育、プロセス支援ツールとしての数理的方法・統計的方法の役割の習得がより重要と考える。❖

課題研究に どう取り組みればよいか II

I 探究活動・課題研究の効果的な進め方について

一般社団法人 Glocal Academy 代表理事

岡本 尚也 / おかもと なおや

慶應義塾大学理工学部卒，同大学院理工学研究科終了後，University of Cambridge にて物理学博士号取得，University of Oxford にて現代日本学修士号取得。全国の学校にて探究活動，課題研究の指導，運営指導を行っている。主な著書として『課題研究メソッド～よりよい探究活動のために～』，『課題研究メソッド Start book』（2017 年出版，2019 年出版，新興出版社啓林館）等がある。



前回の記事では探究活動・課題研究の学習指導要領および大学入試における重要性の高まりを SSH，SGH 事業の紹介等を通して行った。また，それらの活動を現場で実施するにあたり出発点ともなる資質・能力（コンピテンシー）ベースの教育目標を掲げる重要性について論じた。今回は，探究活動・課題研究を実施するにあたり学校現場で見られる問題点とその改善方法について紹介する。

これらステップを年単位のカリキュラムの中で一回もしくは二回ほど実施する。それぞれのステップに関する詳細は拙著『課題研究メソッド～よりよい探究活動のために～』（新興出版社啓林館）を参照いただきたいが，1. 1 以降は全体として重要なポイントを述べ，2 以降は特に注意が必要なステップについて重要なポイントだけを説明する。

まず，これら図 1 にある課題研究のステップは，あくまでも全体の流れの理想を示したものであって，実際はこのステップを行き来することが多い。例えば，初学者のほとんどは知識や理解が乏しいため，初めからリサーチクエスチョンを立てることは難しい。多くの場合，問いを立てながらその都度調査や実験を

1 ◆ 探究活動・課題研究のステップと注意点

探究活動，特に課題研究は以下の図 1 のようなステップとなる。

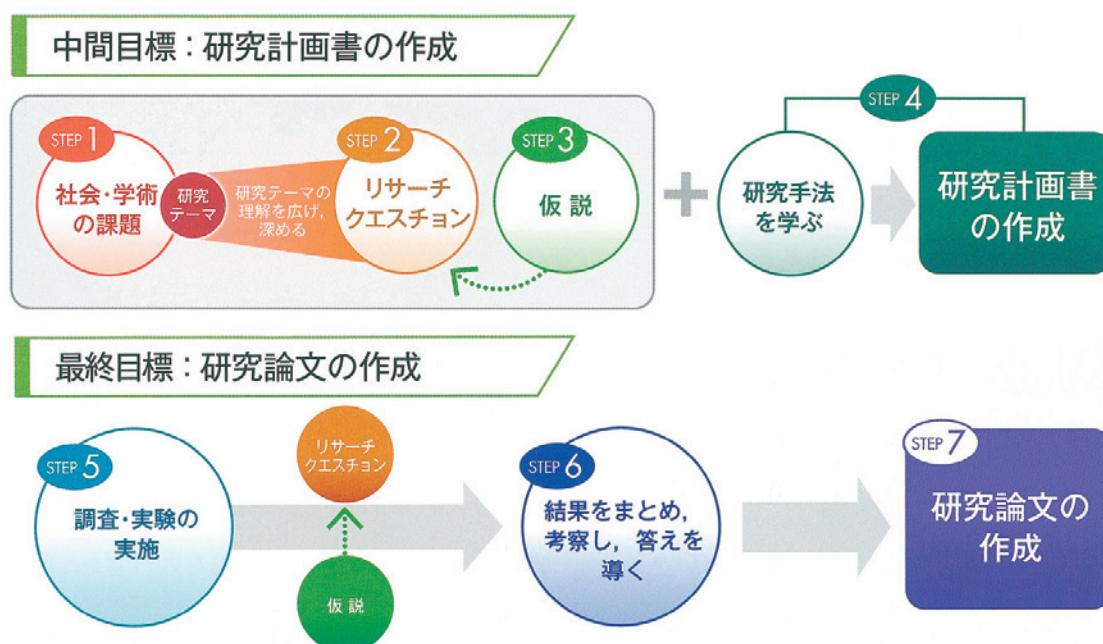


図 1 課題研究のステップ（岡本尚也著『課題研究メソッド』（新興出版社啓林館）より引用）

実施し、そこで得られた結果に対してさらに問いを深めていく過程の中でリサーチクエストが見えてくる。場合によっては、時間的制約の中で研究の終わりがほぼ見えた段階で振り返るような形でリサーチクエストを見いだす場合もある。言い換えれば、このステップを鵜呑みにして序盤に立てた問いをリサーチクエストとしてしまった場合は深まりがなくなってしまうため、注意が必要である（研究背景に関する記述の充実度を見るとそれがわかる）。

では、課題研究全体および各ステップにおいて生じる問題点および改善方法について説明する。

1.1 ◆ 言葉の意味・定義を理解することの重要性

文部科学省の提示した学び方の中に「深い学び」というものがある。その説明としては、『習得した知識や考え方を活用した「見方・考え方」を働かせながら、問いを見いだして解決したり、自己の考えを形成し表したり、思いを基に構想、創造したりすることに向かう学び』となっている¹⁾。しかし、現場では深い学びがあまり定着していない印象が強い。その理由の大きな一つに用いている言葉の意味・定義の理解不足がある。例えば、「〇〇市の活性化に関する課題研究を行う」とした場合、「活性化」とは何であろうか？ 若年層人口が増加なのか、経済活動の活性化による地域の GDP に相当する数値の上昇なのか、〇〇市の税収の向上なのか、〇〇市で行われるお祭りへの動員数の上昇なのか。多くの論点がこの「活性化」という言葉には内在している。しかし、この「活性化」という言葉を上記のような細分化をせずに研究なるものをスタートさせてしまった場合、論点が絞れていないためボンヤリとした何となく活性化っぽいことを述べて終わりにになってしまう。中学生、高校生の多くは「大きな課題を大きなまま研究しがち」である。しかし、大きなまま探究することにより具体性にかけてしまい、現状や原因の理解をしないまま何かそれらしいことを提案して（課題研究の中で提案を行うものもある）終わってしまう。よりよい課題研究、探究活動は大きなものではなく、具体的なものである。社会的な課題に関する研究でも自然科学に関する研究でもその具体性を高める初めの一步として、用いる言葉の意味や定義の理解がある。教員の役割は生徒の用いている言葉が本当に具体的な理解まで落とし込めているか確認することである。

表 1 定義や意味があいまいなまま使われやすい言葉の例

（社会的課題関連）少子高齢化、過疎化、活性化、空き家、グローバル化、国際化、平和、格差、平等、景気回復、経済発展、貧困、孤独死、温暖化、環境問題、国際問題等

（自然科学関連）〇〇の定理、〇〇の公式。その他原理等と名のつくものはその理解の確認が必要。

1.2 ◆ マジックワードは言い換える

先ほどの活性化という言葉もその一つであるが、このように聞こえはよいが抽象的で具体的に何を意味するかわからない言葉をマジックワードと呼ぶ²⁾。この言葉の厄介な点は、使うと誰も反対をせず何となく納得してしまい、さらにそれを英語化すると何か立派なことを述べているような気になってしまうことである。マジックワードを使う多くの理由は関連する知識や理解が乏しく、頭の中で浮かんでいるイメージを精度の高い言語にできていないからである。この研究の深まりを妨げるマジックワードへの対処法は、言葉の言い換えである。意味や定義が明確であったり、その意味や定義が外（国や国際的な規定）にあったりする場合（少子化、高齢化、空き家等）は、それを調べるようにする。言い換えが必要な場合は、答えが内（生徒自身）にある場合である。例えば、「平和な社会」の実現という言葉を使用した際に、生徒がどのようなイメージを持って使用しているのかを言葉の言い換えを行うことで言葉の精度を上げていく。平和な社会を〇〇な社会とし、〇〇に入る言葉を挙げていく（例：平和な社会⇒犯罪のない社会⇒若者が犯罪に手を染めない社会⇒・・・）。もし浮かばない場合は、本や記事から情報を集めながら繰り返していく。こうすることにより、言葉の精度が上がり具体化できる上、関連する知識の習得にも繋がる。研究の序盤から最後になるまで言葉には注意が必要である。

表 2 高校生の課題研究でよく使われるマジックワード

平和、平等、活性化、活発、グローバル、よりよい〇〇、最適な、適した、〇〇に優しい、健康、生き生き、重要、有効等

1.3 ◆ 引用の重要性

課題研究を深める中で、引用を効果的に行うことは欠かせないことである。まず、参考文献との違いであるが、参考文献はその研究を進める中で具体的にどの部分を用いたのかあいまいなくまで「参考」としたものである。一方、引用とは、他

者が行った先行研究や取り組みによって得られた記述やデータを直接的に用いることで、その引用元にあたるのが引用文献である。一般的に参考文献・引用文献の少ない研究は情報収集が不十分であり、深い研究に繋がっていない場合が多い。その中でも引用は大きな意味を持つ。具体的なデータを用いる場合は必ず引用が必要になる上、先行研究を活用して論述を行う際にも引用が必要となる。つまり、引用数からその研究テーマに関する知識や理解度がだまかにわかる上、その知識の活用度も測ることができるのである。また、引用を行った際は文中に示さなければならないため、どの部分が先行研究をもとにした記述で、どの部分が自分自身の考察によるものかが明確になるため、評価も行いやすくなる。盗用を防ぐためにも、引用の必要性和その方法は教員が研究の序盤でしっかりと教えることが必要となる（詳しくは『課題研究メソッド』第一章 3 研究倫理に関して等を参照）。

1.4 ◆ 問いを立てて考える

探究活動・課題研究の中心は自身で立てる「問い」にある。知識の蓄積のためには、多くの新聞や本、学術雑誌の内容を理解することが重要であるが、リサーチクエスションを導くためには、その内容に対して問いを立ててその答えを探究していく姿勢が必要となる。日頃、与えられた問いを解くことに終始している中学生・高校生にとってこれは難易度が高いが、表3に示すような問いの種類を理解することが問いを立てる力の養成の一助となる（ここに示す問い以外に「方法を問う どのように？」等の問いもある）。

表3 課題研究・探究活動で用いる問いの種類と例

「問い」の種類	「問い」の例
①言葉の意味や定義を問う「問い」 ➡言葉がどのような意味や定義で用いられているか	〇〇の意味は？ 〇〇の定義は？
②原因（なぜ）を問う「問い」 ➡原因とその結果は何か？	なぜ〇〇は生じているか？
③信ぴょう性を問う「問い」 ➡その現象が実際に生じているか？	〇〇は本当に生じているか？
④比較を行う「問い」 ➡その現象の程度や新たな側面は何か？	〇〇はどの程度進んでいるのか？<程度の比較> 他国ではどのくらい〇〇が進んでいるか？ <ほかの国や地域との比較>
⑤先行研究・先行事例を問う「問い」 ➡これまでどのような取り組みや研究が行われてきたのか？	〇〇に対してどのような取り組みが行われてきたのか？ <これまでの取り組み>
⑥影響を問う「問い」 ➡今後、どのような影響が生じるのか？ 実際に今、影響が生じているのか？	〇〇によってどのようなことが起こるのか？ <影響>

例えば、過疎化について興味ある場合、表の右側にある〇〇に対して過疎化という言葉を入れると問いとなる。課題研究・探究活動は問いによって発展・深化していく。このような表は課題研究を進める中で常に傍らに置きながら進めるとよい。

2 ◆ 研究テーマの決定について

次に課題研究のステップの中で最も重要でかつ難易度の高い研究テーマの決定について述べる。

2.1 ◆ どのような研究テーマがよいのか

前回の記事で述べたとおり、課題研究はそれ単独で行うものではなく、主体的な学びにあるように、「自己のキャリア形成の方向性と関連づけながら」学ぶ必要性が高まっている^{*1}。そのため、例えば大学に提出する入学希望理由書の記載として「私は〇〇に関して強い興味・関心を持っている。そのため、課題研究では〇〇をテーマに課題研究を実施し・・・その中で〇〇に関してさらに研鑽を積みたいと思い、貴学〇〇学部への入学を希望する」というように研究テーマは自身の進路と関連するものを選ぶことが望ましい。どのような研究テーマがよいのかという問いに対する答えは、自身の興味・関心を出発点とし進路と関連づけられているかどうかとなる。そのため、課題研究をそれ単独で捉えず、進路選択と関連づけながら進める必要性が生じてくる。

2.2 ◆ 「与えられた」テーマの是非

そうは言っても、適当な研究テーマを生徒が決めることができず、教員のほうからテーマを与えたり、枠組みを与えたりする学校がたいへん多い。これには、与えられたテーマを行う中で新たな興味・関心につながる場合や指導する教員の得意分野で指導が充実する場合がある等のメリットがある。しかし一方で、興味・関心が湧かないため、深まらずにありきたりな内容で終わってしまう、進路選択の動機づけが弱いままになってしまう、自身の課題発見能力の育成との関連が弱くなってしまう国連の Sustainable Development Goals (SDGs) の使用もこれらの点から注意が必要となる。教員の指導力の面から言うと一極集中で深まることはあっても、進路の多様化の中で、対応可能な領域が広がらない等のデメリットがある。ちょうど広が

りを見せてきた課題研究なのでこれらの点を考慮の上、現場でのさらなる議論と浸透が必要となるが、少なくとも生徒が持った興味・関心を伸ばすことは最重要とする必要があるだろう。

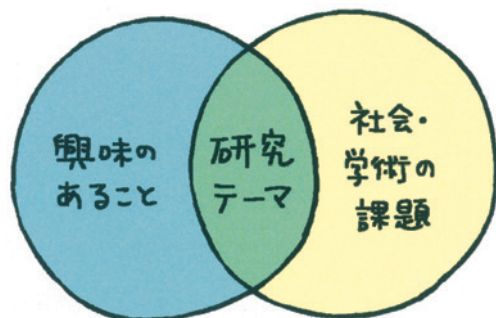


図2 研究テーマについて 自身の興味・関心と社会・学術の課題の重なるものがテーマとしてふさわしい(岡本尚也著 『課題研究メソッド』(新興出版社啓林館)より引用)。

2.3 ◆ 研究テーマの見つけ方・決め方

では、生徒が研究テーマを見つける際にどのような方法があるのかを説明する。必要な点はおもに二つである。まずは、期限を区切ってテーマを「決める」意識を持つことである。これは進路選択と重ねるとわかりやすい。中学校以降、進路は期限が設けられた中で選択し決めてきた。研究テーマも放っておけば決まるものではなく、自ら選択し決めていくものである(途中での研究テーマの変更も可能)。教員の役割としては、期限を設け、次に述べるテーマの候補を幅広く経験させる仕組みを作ることである。次に、よりよい選択を行う際の条件の一つとして、幅広い選択肢の中から選ぶということである。そのためには、教員・学校は社会や学術の中でどのようなことが生じているのか、または課題とされているのかを知らせ、経験させる仕組みが必要である。これは新たな時間をわざわざ設置するだけが方法ではなく、例えば、朝の時間の15分を使って新聞や本、学術雑誌を読む機会を提供し、日々知識、選択肢を広げることも可能である(これを毎日行くと週1時間分の授業時間と同じになる)。また、社会科見学や修学旅行をフィールドワークの場とし、課題の現場に行く機会とするのもよい。進路講演等もただ講演を聞くのではなく、事前学習を行うことで研究テーマに結びつけて、議論の場としてもよい。このように、選択肢のない中から選ばせるのではなく、多くの選択肢を示し、興味・関心を引き出す機会、仕組み作りが必要となる。

3 ◆ 研究手法について

課題研究自体がリサーチクエストンに対して研究手法を用いてその答えを明らかにする行為なので、研究手法の理解はたいへん重要である。理解が十分でない場合や、間違った理解のまま研究を進めしまうと、誤った答えを導いてしまい、社会が学術に好ましくない影響を与えてしまう。例えば、若者の政治参加意識について、アンケート調査を用いて調べる際に、有権者である〇〇高等学校の三年生にアンケートを実施した場合、それは若者の政治参加意識を調べたのではなく、〇〇高等学校の三年生の意識を調べたにすぎず、本来述べるべき「若者」の状況から大きく偏った結果を生み出してしまう場合がある(この例は、母集団が何であり、調査対象をどのように設定するのかという「サンプリング」について学ぶ必要がある)。また、電気・電子回路の知識・理解が不十分のまま電気測定を行うと、(特に交流実験等の場合)本来ターゲットとしている電気信号以外の信号を拾ってしまい、誤った信号を真のデータとして扱ってしまう。また、感電事故等にもつながってしまうので、注意が必要である。

4 ◆ 調査・実験の実施に関して

調査・実験を行う際に重要なポイントはおもに二つである。まずは、記録をつけることである。記録をつける目的として、①データの分析、考察、発表準備のため、②研究を実施したことの証明のため、③研究の軌道修正を行う際に、何が問題点かを浮き彫りにするためというものがある^{*3}。研究ノートを必ず作成し些細な事柄であっても必ず記録をつけるようにしよう。研究ノートの中から思わぬ発見がある場合もある。次に、調査、特に実験を行う際にそれが単なる「作業」とならないように気をつけることである。これは、仮説を立てる重要性にもつながるが、自分自身が今、何を目的としていて、なぜその方法で実験を行っているのか理解ができていないと、やみくもに時間だけが経ってしまう上、実験において重要なPDCAサイクル(P:Plan, D: Do, C: Check, A: Action)が働かなくなってしまう可能性が高くなる。理科の時間に行う実験でも同じであるが、今自分が行っている実験によって、なぜ所望のデータが得られ、目的を達成することができるのかを常に考え、頭ではなく手だ

けが動いている「作業」とならないよう気をつける必要がある。

5 ◆ 結果をまとめ、考察し、答えを導く際に気をつけること

まず、得られた結果はそのままの形で示すのではなく、わかりやすく図や表にまとめて示す必要がある。特に、リサーチクエスションに対する答えに直接的に関連するデータや論述に関しては、そのデータのどこに着目するのか、その「見方」も同時に示す必要がある。また、得られた結果に対して考察も忘れてはならない。なぜそのような結果が生じたのか、他の対象で調査・実験を行った際にはどのような結果が生じるのか等、ただ単に得られた結果を示すのみでなく、表3に示すような問いの種類を意識しながら結果に対していくつか問いを立て、その答えを「考察」してみよう。最後にリサーチクエスションに対する答え（多くの場合結論に相当する）であるが、結果からの飛躍がないように気をつけなければならない。初学者の多くが所望する「答え」に強引につなげてしまう傾向があるため、例えば、ロジックツリーのようなものを用いて、得られた結果から言えることを抽出し、それらを列挙し、再びそれら言えることからどのような論述が導かれるのかを一つひとつ確認しながら進めるとよい。

6 ◆ 研究成果をまとめ、発表する

得られた研究成果は他者と共有するために、論文、スライド、ポスターのような発表資料にまとめ発表を行う。前回の記事でも触れたが、研究論文の作成は課題研究の実施において必須であると言ってよい。近年、教育においてオーラルコミュニケーション重視に偏りを見せ始めている。確かに、スライドを使った発表などは見栄えもよく、評価も行いやすいが、そのような発表のみでは研究の過程が見えにくく、研究の理解度も正確に測りづらいという難点がある。社会における多くの仕事もそうだが、書く力は未だに非常に重要な意味を持っている。書く作業は思考が整理される上、論理構成が甘いとそれが一目瞭然となる上、文章は書き直す作業を通じて改善されていく過程を見ることができる、また、スライド発表は次年度に引き継ぐことが難しくなるが、論文などは資料として年々保管され後輩たちの研究の礎になる等の大きなメリットがある。少し骨が折れ

るが、研究の集大成として是非論文作成を行ってほしい。そのためにも、文章作成能力の育成、特にパラグラフライティング等の方法、指導は国語の授業時間や課題研究の中間発表等の途中段階で実施することが必要となる。

7 ◆ 課題研究の中で教員の皆さんに大切にしたいこと

二回に渡って課題研究・探究活動について学習指導要領や大学入試改革における位置づけ、そして、その内容や方法について述べてきたが、最後に日々生徒とともに時間と場を共有する教員の方々に大切にしていいただきたい点を二つ述べる。

まず一つ目は、教員から生徒に一方向的に教え、管理するのではなく、一緒に考え、時には生徒からも学ぶ姿勢である。課題研究のような探究活動では「答えのない課題」に対する取り組み方を学ぶことがその醍醐味である。成果（結果）を求めるがあまりに、教員が主導して答えを与えてしまうとその醍醐味が失われ、結果と教育効果の乖離が生じてしまう。限られた時間の中ではあるが、ぜひとも考え続ける生徒のよき伴走者として課題研究に取り組んでいただきたい。

二つ目として、課題研究は通常教科と異なり、その教育目標に多様性がある。その中に必ず「生徒の自己肯定感の向上」を入れていただきたい。生徒の主体性はその生徒の自己肯定感から生まれると言っても過言ではない。日常や学校生活においてなかなか居場所を見いだせない生徒や退屈を感じている生徒にとって、課題研究の取り組みの中で自分自身の興味・関心から一歩踏み出すことはたいへん勇気のいることである。それに対して、教員を含む大人、社会がその一歩を認めてあげることはその生徒の進路や今後の学びに大きな影響を与える。通常教科と異なり、指導がたいへんな課題研究・探究活動ではあるが、ぜひ生徒のよりよい伴走者となっていただき、ともに成長を感じ、思いを共有していただきたいと思う。 ◆

参考・引用文献

- *1 文部科学省 中央教育審議会（2016）『第19回教育課程企画特別部会配布資料』
- *2 岡本尚也（2017）『課題研究メソッド ～よりよい探究活動のために～』新興出版社啓林館
- *3 岡本尚也（2019）『課題研究メソッド Startbook ～探究活動の土台作りために～』新興出版社啓林館

II 学校現場から見た探究学習の可能性

宮崎県立宮崎東高等学校 教諭

西山 正三 / にしやま まさみ

1973 年宮崎県生まれ。宮崎県立宮崎北高等学校卒業、福岡教育大学卒業。化学や探究についての活動が『ひととはもともとアクティブラーナー』（北大路書房）や『アクティブラーニング実践Ⅱ』（産業能率大学出版部）に掲載されている。JAXA の APRSAF-21 において生徒とチームを組んで日本代表として国際大会に出場している。



1 ◆ 課題研究(探究活動)を導入した経緯と必要性

1.1 ◆ 課題研究を導入した経緯

私が 2018 年度まで 13 年間勤務していた宮崎県立五ヶ瀬中等教育学校（以下、五ヶ瀬中等教育学校）は、開校以来 20 年以上課題研究を導入している。それは「①来るべき 21 世紀の日本を担い、国際社会で活躍する人材を育成する」ために、「②森林という自然を教育のフィールドとして、自然に対する畏敬の念を育て、若人らしい野性味や冒険心の育成と回復に努め、豊かな人間性と創造力・協調性を培い、主体的に生きる人間の育成を図る」、「③主体的な学習や体験学習等を通し、自己教育力の育成を図る」¹ という設立理念のもと、まだどこも課題研究を行っていないころから導入した。

1.2 ◆ 課題研究はなぜ必要か？－哲学の視点から

課題研究は今からの教育に必要不可欠なものであると考えている。グローバル化する社会では、今までのような決まった答えのあるものを学ぶだけでなく、決まった答えのないものに対するアプローチや自分なりの答えを導き出す姿勢が重要となってくる。今までの日本の教育は詰め込み教育に少々偏っており、私自身も大学の哲学の授業で「世の中には答えのあるもののほうが少なく、ほとんどのものは答えがない」ことを初めて学び、答えのないものに対する考え方や捉え方を学ぶ機会が少ないと当時感じていた。

海外では昔から哲学が必修の学校が多く、メンデルの法則で有名なメンデルは、当時通っていたギムナジウム（中高等学校）には哲学の授業がなく、哲学を学ぶため、わざわざモラ

ビアのオロモーツ大学附属の哲学学校に入学している。²

1.3 ◆ 課題研究はなぜ必要か？－世界の教育の視点から

ところで国際バカロレア（IB）という言葉をご存じだろうか。世界にはさまざまな教育があるが、日本は国際バカロレアの推進に関する提言等を日本再興戦略³で行っており、今後日本での国際バカロレア認定校は多くなってくると予想される。

国際バカロレアとは国際バカロレア機構（本部ジュネーブ）が提供する国際的な教育プログラムであり、1968 年、チャレンジに満ちた総合的な教育プログラムとして、世界の複雑さを理解して、そのことに対処できる生徒を育成し、生徒に対し、未来へ責任ある行動をとるための態度とスキルを身につけさせるとともに、国際的に通用する大学入学資格（国際バカロレア資格）を与え、大学進学へのルートを確保することを目的として設置されている。⁴

国際バカロレアの教育プログラムの 1 つであるディプロマ・プログラム（DP）には、6 つのグループとコアと呼ばれる 3 つの必修要件がある（図 1）。

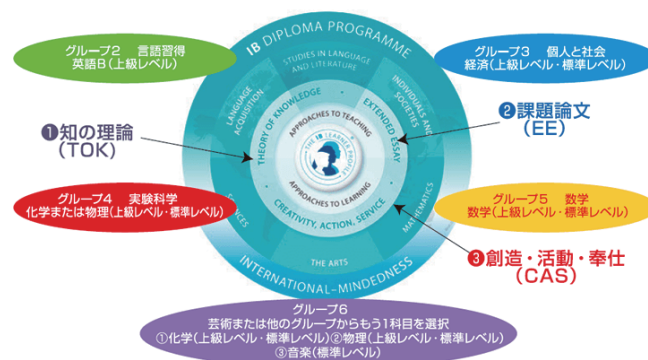


図 1 国際バカロレア DP コース模式図⁵

そのコアの1つが課題論文(EE)であり、TOK (Theory of Knowledge 日本語訳: 知の理論) である。課題論文は、この広報誌の特集で取り上げられている「課題研究」と同じようなものである。TOK は論理的思考力や、狭い見方にとらわれない批判的思考力、コミュニケーション能力などを養うための授業であり、知識とは何か、知識をどう獲得し、どう使いこなすか、といった、いわば「正解のない問題」に対応する力を身につけるための学習である。⁶⁾

こういった内容の教育がフランスでは1968年から(一説ではナポレオン1世が「幅広く人材を発掘する」目的で1808年に導入したとも言われている)既に導入されている。

グローバル化が日々進んでいる今の社会では、このような教育を受けている学生と一緒に仕事をしていく機会は多くなっていくはずである。プロセスや答えが定まっていなかったものに対する考えやアプローチを学ぶ経験ができる課題研究はやはりそういった視点からも必要不可欠である。

2 ◆ 学校現場での課題研究

2.1 ◆ 五ヶ瀬中等教育学校の課題研究活動

五ヶ瀬中等教育学校には総合的な探究の時間にあたる「グローバルフォレストピア学習」があり、隔週木曜日の5~7限目に実施している。毎時間、職員全員で各学年が趣向を凝らしながら、ローカルからグローバルに広がる活動を行っており、課題研究もこの中で行っている。

1~2年生までは、茶摘みや稲刈り、カヌー、ヤマメの産卵、

土呂久公害など体験的な活動を行う。

3年生から具体的な課題研究に入っていく。「世の中分析」など社会と自分との結びつきについて学んだ後に、課題研究のテーマ設定を行っていき、それを3月のイギリス語学研修において、オックスフォード大学の学生の前で発表しアドバイスをもらう。

4年生は、哲学対話やTOKを取り入れることにより、共感的な考えだけでなく批判的な考えも経験させ、多角的なものの見方ができる生徒を育成する。そうすることにより、自分自身の課題を深掘りすることができ、最後には中間発表としてポスターを作成し発表する。

5年生は、実際の研究に入り最終的には日本語の論文とプレゼンテーションを作成し、発表する。

6年生は、メタ認知を養うため、地域の方や外国人を招聘して、自分の研究について他者がどのように感じているのかを知るために日本語と英語でディスカッションを行い、さらに英語の要約作成を行う。

また、これ以外にも選抜メンバーによる海外研修や、東京大学の留学生や海外の大学生を招聘して地域の社会課題と一緒に学ぶスタディツアーを行う。さらに近隣の中学生や地域の住民と五ヶ瀬町について考える「グローバルシンポジウム IN 五ヶ瀬」も行っている。

課題研究1つ行うにしても、いろんな技能や手法、考え方に触れることが可能なことがわかるだろう(表1)。

2.2 ◆ 課題研究を実施する際の校内体制の整備

① 校内体制

2.1のような活動をするためには、校内体制の整備が必要である。

五ヶ瀬中等教育学校では、管理職(教頭2名)、研究調査部(4名)、各学年の担当者(1~6年の6名)の合計12名で構成する「グローバルフォレストピア検討委員会」を毎週1時間行っている。行き詰まっているところや悩んでいるところを共有し、アイデアを出し合いながら解決していく。学年団でその学年の指導を行うため、学年会で決定事項を共有し、全職員で課題研究を実施する体制をとっている。

全職員で行う際に重視していることは、課題研究で身につけさせたい力を明示すること、毎

表1 総合的な探究の時間(課題研究含む)の年間計画

平成30年度グローバルフォレストピア学習 年間指導カリキュラム表

学年	学期	探究の時間	1学期					2学期					3学期				
			4/22	5/12	5/26	6/9	6/23	7/7	8/14	8/28	9/11	9/25	10/13	10/27	11/10	11/24	12/8
1年	ローカル学習	地域の歴史と文化を学ぶ	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動
2年	ローカル学習	地域の歴史と文化を学ぶ	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動
3年	グローバル学習	グローバルな視点から地域を学ぶ	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動
4年	グローバル学習	グローバルな視点から地域を学ぶ	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動
5年	グローバル学習	グローバルな視点から地域を学ぶ	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動
6年	グローバル学習	グローバルな視点から地域を学ぶ	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動	探究活動

回の実施要項を各学年で作成してもらい蓄積すること、それらを徹底させるために職員研修を行うことである。

② 6つの力と実施要項

課題研究で身につけさせたい力を五ヶ瀬中等教育学校では6つ提示している。具体的には「興味・関心・態度」、「課題設定力」、「論理的思考力」、「問題解決力」、「批判的思考力」、「表現・発信力」である。この力を常に意識して毎時間の内容を構築している。

また、毎回実施する内容を実施要項にまとめることにより、行う人間が年によって変わっても、その要項を見ることで同じ内容の授業ができるように工夫している。また、この実施要項にも前述した6つの力のどの力がつくのかを記入するところを設けており、毎時間6つの力を養うのではなく6カ年で養うという意識を持って指導を行っている(表2)。

表2 実施要項

グローバルフォレストピア学習 実施要項

コース	グローバル学3	対 象	5年生(男子22名,女子16名)			
日 時	平成30年5月17日(木)	場 所	5A, 5B			
単 元	課題研究活動①					
講 師	本校職員					
ねらい	① 一年間の研究における見通しを立てさせる。 ② 今年度から論文作成に入ることを意識させる。					
身につけさせたい力	興味・関心・態度	○	課題設定力	○	論理的思考力	
	問題解決力		批判的思考力		表現・発信力	
実施内容	時間	活動内容		教材ほか		担当
	【経済格差】 【高齢化】 【エネルギー】 【環境】 13:35～14:25	・年間計画を用いて、今年度の活動の見通しを立てる。		年間計画 論文書式 中間発表案		福岡 西村 西山 藤高 落合
	【経済格差】 【高齢化】 【エネルギー】 【環境】 14:35～16:25	・5年生が4年生に対し、それぞれの研究について説明する。その後意見交換と、それぞれの研究活動の実施。 ・進捗を見ながら、担当の教員との面談を実施する。		筆記用具 ノート等		
生徒感想	<経済格差担当> ・自分の研究内容をしっかりと人前で話すことができて良かった。発表して、まだ語られていない部分や、新しい考え方や視点について理解できた。もっと深めていきたい。研究の進め方について、やるべきことを明確にして進めていきたい。(5年女子)					
成果と課題	<経済格差担当> ・自分の頭の中にあるアイデアを自分の言葉で伝える活動(5分間プレゼン)を通して、課題把握の未熟さと解決したいことは何かを考えさせることができた。また、新年度の学年職員にとっても、昨年度までの活動内容を把握する上で、有意義な活動だった。					

③ 職員研修

五ヶ瀬中等教育学校は公立の学校であるため、教員の転入が毎年必ずある。よって年度始めに職員研修を行い、先生方に課題研究とはどのようなものなのかの目線合わせを行う。同時に課題研究を進めるにあたり、必要と思われるスキルを向上させるような研修も行っている(図2)。



図2 職員研修資料

特に「論文作成の手法」等、スキルの必要な内容のときなどは、SGH(スーパーグローバルハイスクール)や県の事業などの予算を組んで外部講師を招聘し、講義や添削をしてもらうだけでなく、先生たちもともに学び、次年度からは自校の先生方にやってもらうことが望ましい。課題研究をいきなり先生方にしてもらうことは現実的に難しい。しかし、予算に頼ってばかりでは持続できない。持続可能な課題研究を目指して自走していくための基盤をまずは作り上げないといけない。

3 ◆ 課題研究で生徒の可能性を引き出す

3.1 ◆ 課題研究で見えてきた生徒の変化

課題研究は、自分自身で課題を設定し、その課題を解決していかないとはいけない。そのため通常の授業では得られない力が備わってくる。

① 自主性

前述した6つの力はもちろんだが、自主性や自分でものごとを考える力も育ってきている。

実際に起こった例を挙げると、ある方の話が寮運営や学校運営で有用であると考えたため、講演会を生徒自らが主催し企画実行したり、略歴にも書いた JAXA の APRSAF-21 大会についても私が募集したわけでもなく生徒自ら募集要項を見つけて出場したいと言ってきたりしたのである。

海外研修にしても希望制をとっており、自己負担額が10万円と決して安くはない金額なのだが毎年定員以上の生徒が手を挙げてくる。

また、地域の役に立ちたいという生徒の思いから、生徒会を中心に「地域森上げ隊」を作り、町内清掃や祇園祭竹灯籠作り、駅伝大会など地域の行事に積極的に参加している。

卒業した生徒の話だが、大学入学後すぐに辞めて、自分で企

業等にこのようなデザインができますと売り込み、仕事をとるなどし、今では Twitter のフォロワー数が2万人を超えるなど逞しい生徒が育っている。

このように主体的に自分たちがやりたいこと、やるべきことを考え実際に行動に移している生徒が多くなっている。私はいくら優秀な頭脳を持っていても行動力がなければ社会は変わらないと思っている。逆に行動力だけあっても、優秀な頭脳がなければ決してよい社会にはならないであろう。

以前の日本の教育は頭脳を鍛えること（知識を増やすこと）に偏っている気がしている。行動しなければ論文を書けない課題研究は今の世の中だからこそやはり必要だと考える。

② 英語力

また、その他の生徒の変化として挙げられることに「英語力」がある。五ヶ瀬中等教育学校では日本語での論文を完成させた後、英語で要約 (English Summary) を作成したり、外国人を招聘して自分の研究に関することについて英語で議論する English Discussion を行ったりしている。英語に触れる機会が単純に増えるということだけでなく、英語の先生自ら英語の授業の中でパフォーマンステストを行うなど、総合的な学習の時間を軸としながら教科の枠を超えて教員も主体的に生徒の成長のために取り組めており、その結果英語検定や GTEC などの成績も年々良くなり、英語検定では 1 級を取得する生徒も出てきた。

3.2 ◆ 教員の役割とは

課題研究は失敗をしても良い教科であると認識しているし、そこが強みだと思っている。決まった答えや筋道がない分、自由度が高い。だからといって、何でも自由にさせるべきではない。教員の役割をしっかりと認識して指導すべきである。

① 一緒に学び、成長する

課題研究に精通している教員が少ないという課題があるように思われるが、これは逆にチャンスと捉えていい。今まで教員は自分が知っていることに対してさまざまなテクニックを用い生徒が理解しやすいように教えてきた。課題研究に関しては何の知識も技能もないはずだ。よって、これからは一緒に対話をし、学ぶことにより、いいアイデアが浮かんでくるという経験を経ることが生徒・教員ともに一番大事だと考えている。教員は真面目だから自分が何でも知っていて何でもやれないといけな

思っている。そうではなく自分も生徒も一人の人間だと自覚し、認め合いながら一緒に学び、成長していく姿勢が大事である。

② 指導内容

一緒に学ぶ、一緒に成長するといってもそれだけでは教員のいる意味は薄い。アポイントを取る際の礼儀や、改ざんや捏造、盗用等の研究倫理はしっかりと事前に教えておかないといけない。また、フィールドワークの仕方、ポスターや論文作成の手法、統計の手法、ディスカッションの手法等の研究スキルは教員主導で全生徒にしっかりと事前に指導をしておくべきである。私自身、昔は何もわからず自己流で指導していたが、今は『課題研究メソッド』（新興出版社啓林館）をはじめとして、いろんな課題研究を行う際に必要な流れや指導方法がまとめた書籍があるので指導しやすくなっている。

③ 評価

しかし、評価は必要である。この点に関しては生徒と教員の立場は、はっきりと違う。

データの分析は適当か、成果物（ポスターや論文等）等の研究内容や、プレゼンテーション等の発表技能は充実しているか、研究の結果だけでなく途中もしっかりと評価することが、ポートフォリオが導入される今後の大学入試にも大きなポイントとなる。ルーブリックなどを作成し、評価を確立していくことが重要である。参考として五ヶ瀬中等教育学校の調査研究発表会で使用しているルーブリック評価の一部を掲載する（表3）。

教育現場において課題研究が普及していくためには、外国と比較すると生徒の人数に対して教員の人数が少ない、アクティブ・ラーニング型授業への転換、評価の確立等さまざまな課題があるが、課題研究はこれからの新しい時代に対応するための重要なピースであり、取り組む価値の大きなものだと考える。



参考・引用文献

- *1 宮崎県立五ヶ瀬中等教育学校 学校要覧
- *2 大江秀房『早すぎた発見、忘れられし論文』BLUE BACKS
- *3 文部科学省 IB 教育推進コンソーシアム
(<https://ibconsortium.mext.go.jp/ib-japan/proposals/>)
- *4 文部科学省 国際バカロレアとは
(http://www.mext.go.jp/a_menu/kokusai/ib/1307998.htm)
- *5 AICJ 中学・高等学校国際バカロレア (IB) ディプロマコース
(<http://aicj.ed.jp/education/ib.html>)
- *6 Benesse 「国際バカロレア」推進のキーワード「TOK」とは？
(<https://benesse.jp/kyouiku/201303/20130311-2.html>)

表3 調査研究発表会におけるルーブリック評価表(グローバル学3)

グローバルフォレストピア調査研究発表会 ルーブリック評価(評価規準)

発表の技能	①	【発表スキル】 声の大きさに気を配り、聞き取りやすく話しているか	5	聴衆の目線に立ちながら、声の大きさや間を適切に調節することが出来ている
			3	内容が聴衆に聞き取れるように、声の大きさや間を意識することが出来ている
			1	声の大きさや間の取り方が適切ではなく、聴衆に内容が伝わりづらい
	②	【発表スライド】 図・表等の使い方が適切で、効果的に活用しながら発表しているか	5	調査・実験で得られたデータを統計的な方法(代表値の計算やグラフの活用)で示すとともに、しっかりと自分で理解しながら発表の中で活用することが出来ている
			3	調査・実験で得られたデータを統計的な方法(代表値の計算やグラフの活用)で示すことが出来ている
			1	調査・実験で得られたデータが整理されておらず、統計的な方法(代表値の計算やグラフの活用)で示すことが出来ない
	④	【理解・表現】 内容を自分の言葉で分かりやすく伝えることができているか	5	発表資料(原稿)に頼らずに、ポイントを整理しながら伝えることが出来るとともに、聴衆からの質問に対して的確に答える程度に内容をしっかりと理解できている
			3	発表資料(原稿)に頼らずに、ポイントを整理しながら伝えることが出来ている
			1	発表資料(原稿)をそのまま読み上げることが多く、ポイントを整理することが出来ない
	⑤	【印象】 発表全体の印象(立ち振る舞いや目線、原稿の有無など)	5	目線を聴衆全体に配るなど、立ち振る舞いに自信が感じられ、発表内容に対する「思い(自信)」を聴衆にしっかりと伝えることが出来ている
			3	目線を聴衆全体に配るなど、立ち振る舞いを意識しながら発表することが出来ている
			1	発表資料(原稿)を見続けたり、発表に対して自信がなさそうな立ち振る舞いが数多く見られる
English	⑥	Fluency	3	Fluent, appropriate speech that eases understanding. No problems with understanding.
			2	Acceptably fluent; causes only minimal problems for understanding
			1	Many pauses that obscure meaning; speed is inappropriate. Nearly impossible to understand.
	⑦	Delivery	3	Delivery is smooth and natural with good eye contact and audible voice. The presentation is done completely, or almost completely without reading a script.
			2	Occasional eye contact with audible voice. About half of the presentation is done by reading script.
			1	Read the script and with limited eye contact. All or most of the presentation is done by reading script.
	⑧	Pronunciation	3	Clear, accurate pronunciation. Few errors. A substantial effort is made to achieve natural pronunciation.
			2	Pronunciation is generally intelligible, although there may be several mistakes, and many words may sound unnatural.
			1	Significant and consistent pronunciation problems make the presentation almost impossible to understand
研究の内容	①	【動機】 テーマ設定の動機が明確に示されているか	5	「なぜその研究を行うのか」について、自らの体験や見聞に基づいた明確な動機があり、研究に対する「思い(当事者意識)」を強く感じる事ができる
			3	「なぜその研究を行うのか」について、自らの体験や見聞に基づいた明確な動機が感じられる
			1	「なぜその研究を行うのか」について、動機が不明確で「思い(当事者意識)」が伝わらない
	②	【調査】 調査・実験方法が適切で、他の文献等からの引用だけでなく、自らの実験や取材に基づいたものになっているか	5	テーマに対して深みのある「問い」を立てて、その解決に必要なアプローチを多角的に考えながら実行することによって、主体的かつ客観的なデータ収集(調査・実験等)を行うことが出来ている
			3	テーマに対して「問い」を立てて、主体的にデータ収集(調査・実験等)を行うことが出来ている
			1	「何のために必要なデータか」を考えるとなく、単に文献からの引用等、適切な方法でデータ収集することが出来ない
	③	【分析】 調査・実験の結果を客観的に分析しているか	5	定性的なデータ(文献・インタビュー等)と定量的なデータ(数値)を状況に応じて使い分けるとともに、1回だけの調査・実験に終わることなく、多角的な視点から説得力のある分析が出来ている
			3	1回だけの調査・実験に終わることなく、客観的にデータを分析することが出来ている
			1	データの分析方法に学術的な不備があったり、データ数が少ないため、分析を行うことが出来ない
	④	【社会的意義】 ローカルからグローバルに向けた視点をもち、社会課題の解決を目指した研究内容になっているか	5	「ローカルな課題」の中に「グローバルな視点」を見い出すことによって、研究テーマの課題解決に対する社会的な意義を示すとともに、専門的な知識に基づいた解決アプローチを考えることが出来ている
			3	「ローカルな課題」の中に「グローバルな視点」を見い出し、専門的な知識を用いながら課題を解決しようとする姿勢が感じられる
			1	「ローカルな課題」に対して「グローバルな視点」が見られず、課題を解決しようとする姿勢が見られない
	⑤	【考察】 仮説・検証・考察の流れが組み立てられており、考察の中で自らの考えや展望が述べられているか	5	「仮説・検証・考察」の流れに沿って、振り返り(try&error)を繰り返しながら考察を深めることが出来ており、学術的な視点に立ちながら、自らの考えや展望を述べる事が出来ている
			3	「仮説・検証・考察」の流れに沿って、研究活動を進めることが出来ており、調査・実験等を通して得られた成果に基づいて、自らの考えや展望を述べる事が出来ている
			1	「仮説・検証・考察」の流れが組み立てられておらず、設定したテーマに対する研究活動を行うことが出来ない
	⑥	【発展性】 今後の課題が明確で、研究内容に発展性が感じられるか	5	自ら取り組んだ研究活動を客観的に振り返ることによって、新たな「問い」を見い出すことが出来ており、さらにそれを解決しようとする意欲が強く感じられる
			3	自ら取り組んだ研究活動を客観的に振り返ることによって、その成果と課題をしっかりと把握することが出来ており、新たな「問い」を見い出そうとする意欲が感じられる
			1	自ら取り組んだ研究活動を振り返ることなく、内容が完結しており、新たな「問い」を見い出そうとする意欲が感じられない

各項目に対して、上表に記述されたルーブリック評価(評価規準)に従って数値化する ※評価「2」「4」は評価規準「1」「3」「5」の間とする

Ⅲ 課題研究をどうやって楽しむか

大阪教育大学附属高等学校平野校舎 教諭

山崎 勝載 / やまさき かつのり

2004年、大阪市立大学大学院文学研究科哲学専攻前期博士課程修了。専門は物理学、科学史・科学哲学。大阪府立高等学校にて物理科講師、教諭として勤務したのち、2016年より現職。SGH校での課題研究の指導実践をまとめた共著『これでかわる！探究学習の指導 生徒の主体的な学びの実現をめざして』（日本文教出版）を4月に上梓した。



1 ◆ グループワークと課題解決

1.1 ◆ 主体性と課題発見

スポーツや芸術と同様に、探究活動というのは本来楽しいものだ。もっとも、継続的な余暇として楽しむばかりでなく、ストイックに専門性を追求すれば厳しいトレーニングや成果主義、さらには社会的な責任が伴う世界でもあるが、高校の授業として行われる課題研究がそのようなレベルを全生徒に課すものではないのはリソースの制約からも明らかであろう。

不思議な現象を目にして疑問を持ち、知的好奇心に従って謎を明らかにし、自分が理解した意義を他人にもわかりやすく正しく伝えたいという個人的動機が根本にある。だれもが生まれながらに持つ遊びの延長といってもよい根源的欲求だ。

科学が自立的な職業として制度化される以前の時代、「科学者」は多分に楽しみとして科学研究を愛好していたはずである。社会的使命感もさることながら、そのような楽しさこそが主体的な活動につながるとも考えられる。

探究的な学習に限らず、学習全般が本来そのようなものでもあるはずだ。しかし、筆者自身の反省として、さまざまな要因のためにそのことを学校教育の中で十分に伝えられていなかった。主体的というより、受験その他の外的要因に突き動かされていた面も否定できない。

遊びという行為の中に、学習者の主体性回復という原動力があるのではないかと考えて、遊びから学ぶということをライフワークに自認してきた筆者の目には、課題研究は恰好の受け皿に見えた。そのような経緯から、この拙論を筆者自身の教育実践を振り返って、個人的な問題意識から説き起こすことを

ご容赦いただきたい。

筆者は理科教員として新任の頃から、学ぶことが楽しみになるという学習体験を心がけて毎回の授業設計をしてきた。生徒アンケートでは「物理が好きになった」「一番楽しみな授業」という記述も見られた。ところが、教師が授業を周到に準備すればするほど、生徒は課題設定に関して受け身になりやすいというもどかしさもあった。筆者の指導の至らなさといえばそれまでなのだが、学び合いを取り入れて結果を生徒に予想させるも、単元のねらいを明確にして本質的な発問を教師が用意し、教師の授業展開に沿って謎が次第に明らかにされていくという授業を受けるだけでは、問題を解くことはできても、課題を発見する力には繋がらないのではないかと。

かつて勤務したSSH校の課題研究導入初期、適切な指導がなければ、いわゆる演示実験めいた予定調和のストーリーに沿う、まるでミニ授業のような生徒研究をときどき目にした。デジタルカメラやセンサーを駆使した今風な測定データを取っていても、そもそも課題設定ができていない。いわば推理小説を読んで楽しむような授業体験だけでなく、むしろ生徒自身が推理小説を書くような学習活動がなくてはならないだろう。

1.2 ◆ 多様性と合意形成のグループワーク

SGHの課題設定ではSSHとは別種の難しさも感じた。今日のグローバル社会では、多様な価値の存在を認めつつ意見の一致を目指すことが求められる。多様性^{ダイバーシティ}と合意形成^{コンセンサス}の両立には一種のディレンマがつきまとい、そのことが課題解決の困難の背景にある。ところが、同類意識が強く均質的になりがちな高校生の学校生活には、他者との衝突や多様性に触れる経験

そのものが不足している恐れがある。高校生が地球規模の課題解決の難しさの背景を理解しないまま、表面的で短絡的な解決策を提案している実情があった。これは例えば社会問題に対する工学的アプローチ等において SSH でも起こりうることであるが、とくに SGH で顕著になるのではないかな。

筆者は勤務校で、多様性と合意形成の両立の得難さをまずはグループワークの場で生徒が体験的に学び、そのディレンマを乗り越えるプロセスを経ることで、地球的課題の切実さを捉えることを課題研究の基盤に位置づけた。その具体化が「チームが課題を解決する」という方法である。これが後に海外体験学習にも生きてくる。異分野協働の重要性が増す中、これは自然科学研究を志す生徒にも必要なことであろう。

地球規模の課題を探究すると、高校生にはどうしても厳しすぎる現実に直面し、自己を見つめ直す必要に迫られることがある。それでも解決しようとする気概も欲しいが、高校入学当初から全生徒に求めるのは難しい。探究内容がシリアスだからこそ、探究のプロセスでは他者と対話し協力して新しい価値を生み出すこと自体に楽しさを見いだしてほしい。そのような思いからグループワークにはゲームの要素を持たせた。

多文化共生の意義をもつダイバーシティは人権啓発や企業の経営戦略、CSR の文脈で語られることも多いが、高校生にはまず率直に世界の多様性に驚き、違いを楽しむことから始めた。それには、皆が姿勢を正して同じ方向を向く授業よりも、多様な学び方が工夫できるグループゲームがなじむ。この点、課題研究はアクティブ・ラーニングの延長線上にある。

SGH 指定を受けている筆者の勤務校で3年間に実践してきたこの方法は、研究と聞いて一般に想起されるものに比べると拍子抜けするほどプリミティブだが、探究的なマインドセットの基盤づくりとして、できるだけ時間をかけて取り組みたい。

多様性を尊重しつつ合意を得る手続きは手間がかかる。限られた時間の中で集団の意思決定を迫られるとどうしても多数決に依存しやすい。しかし、マイノリティの問題など社会の諸課題に取り組もうとする生徒が、何の疑念も抱かず多数決という決定法だけに頼っているとすれば心許ない。

強みとして多様性を生かそうという気になれば、チームづくりという次の一步に進んでいる。合意形成というものがエネルギーと根気のいる手続きであると同時に、苦勞に見合う価値があることを、グループ活動を通して実感できるように工夫し、

独善的な決定よりもじっくりと合意形成を経たほうがよい結果につながるならば、そこにチームの意義が認められるだろう。チーム力に気づいた生徒は、他者の意見を引き出すことを自然体で実践する。学校行事のクラスの決めごとで、投票で決めてよいかどうかを話し合って決めるようすや、票が割れたときに折衷案を模索する姿も見られて微笑ましい。

そこに教科の時間のような縦割り感覚はない。生徒は軽々と越境する。チーム形成や探究の姿勢は、課題研究の時間のみでなく学校教育全体で身につけることである。しかし生徒の徹底した変容に比べれば教員間の合意のほうがずっと難しい。

2 ◆ 思考ツールという指導法の共有

2.1 ◆ 生徒と教師がともに育つ探究学習

2015 年度から SGH に指定されたことを契機として本格的に課題研究の実践を始めたとき、指導経験のある教員は少なかった。研究指導の特別な訓練も受けておらず、研究といえば自身の大学卒業研究で一度かじった程度の経験に基づくしかなく、さながらエチュードを一曲仕上げただけで作曲指導をしているような現実があった。研究の方法は一つではないにも関わらず、多くの教員が唯一の拠り所である自身の専攻分野での経験に基づいて指導しがちにもなりやすい。

恩師から受け継いだ方法論だけでは間に合わない「大量探究時代」の気配もあった。高校の教室で大学研究室のような実践的指導を求めるのは無理がある。コンピテンシー・ベースの学校教育目標が明確化される一方、教員の頻繁な異動は必ずしも専門分野とマッチングしていないという事情の中、高校の授業として大多数の普通の教員が何をどこまでできるのか。模索の結果、課題研究の指導を一連の学習ツール群にまとめた¹⁾。教師のための指導書というより、生徒がチームの相乗効果を発揮して思考するための道具である。汎用性のため多くは既存の思考ツールを流用し、特定の教科や課題に特化せず専門的なことには立ち入っていない。ツールの先にある、仮説検証や試行錯誤という研究の醍醐味は、大学に進んでから本職の研究者のもとで学べばよいと割り切っている。

他校で課題研究を担当したことのある教員でも、案外自信がなかったりする。聞けば「シラバスに沿って用意された教材で指示どおりにやっただけ」という。教育と研究の両機能をもつ

大学とは異なり、探究的な学習の指導はまだ自分事として捉えられていないことが多く、教科指導と研究指導の間に温度差がある。高校教員は教員免許を取得した教科について、教科書の範囲での学習内容とその習得方法のいずれも日々の指導実践と教材研究とによって熟知しているつもりである。ところが、グローバル課題については対照的に、探究内容と探究のプロセスのいずれも門外漢であると感じる教員が少なくない。あたかも課題研究を「教科の壁」の外に位置づけて、「やらなくてもよい余分の仕事」と言って憚らないこともある。この事情から課題研究の指導はシラバスとして固定化せず、むしろ教員や生徒が絶えず軌道修正しツールを改良することで関わり甲斐のあるものにして、指導の中で生徒とともに教員自身が育つことが開発目標となった。汎用性と独自性の共存をツールと人の掛け算によって実現するねらいがある。

2.2 ◆ チームづくりとテーマさがし

探究プロセスについては、先述のように目に見えてわかりやすいツール化という方策をとった。指導をツール化することで、指導力のある教員に頼るばかりでなく、だれにとっても指導のハードルをある程度下げられる。しかも、マインドマップやロジックツリーなど完成された定番ツールのままでなく、目標や研究領域に応じて幾分アレンジし、さらには「平野メソッド」と呼んであえてローカル色のある手作りツールにしたことも、結果的に改変の障壁を和らげる一助となった。

生徒の活動形態としては、自然科学系の課題研究における観察・実験のイメージに比べて、社会問題を毎週決まった時間割の教室の授業でどうやって調査できるのかという悩みがあった。これも先述のとおり多様性受容と合意形成の両立を軸に、グループによるディスカッションから体験的に学び取ることを企図した。文系・理系の分け隔てなく、教科や探究内容を越えて生徒に身につけさせたい汎用的な力として、主張に対する論理の組み立てに主眼を置くことに異論は少なかった。

意見が分かれるのは探究内容に関する部分である。生徒からの質問を見越して事前に調査し資料に目を通しておきたいという意見や、できるだけ専門家に頼りたいという志向まで、一筋縄ではいかない。どのようにして研究テーマを決めるか、教員の立場から言えば、どのように研究テーマを提示するか、多くの学校で試行錯誤されているポイントの一つであろう。指導

可能なテーマを担当教員が列挙した中から生徒が選ぶ例や、おおまかな分野ごとに教員と面談しながら現実的テーマへ絞り込む例、先輩から後輩へ継続される例などもあるようだ。

得意なテーマを教えたいという意見や、最低限の文献資料は示しておかなければ対外発表のときに恥ずかしいという見方も根強いが、そのような指導ができる教員は限られている。だれもが研究者マインドのある教員と同じように指導できるわけではないということが意外なほど理解されない。

本校では、研究テーマの設定に関しても徹底してグループワークに時間をかけている。学年120人の小規模校で3学年全生徒を対象に課題研究を実施し、各学年の担当教員が4、5人という条件のため、生徒一人1テーマの個人研究にした場合、教員一人あたり30近いテーマに対応するのが難しいという消極的理由もあるが、より積極的には、グローバル課題の解決に向けてグループでの協働が重視されるためでもある。

研究テーマの決定に関してグループ研究にはメリットとデメリットがある。個性や適性があり、個人ワークで自分の興味のあるテーマを掘り下げて熱心に調査する生徒が、他の生徒との対話を要するグループワークでは意見を反映できないことがある一方、通常の教科学習と違って、すべてを委ねられると何をしていいかわからず、一人では作業が進まない生徒もいる。

つまり研究テーマを探す初期の段階から、より丁寧なチームづくりが求められる。テーマ設定とチーム形成を合わせてデザインする必要があるということが実践を通してわかってきた。理想はテーマの探索とチームの形成の同時進行である。

よく行われているのは、まず個人で仮のテーマや分野のあたりをつけて、テーマの近い者同士に（教師が）グループ分けする方法である。ところが本校でこの方法を行ったとき、後々グループ内のテーマ決定に困難を生じることがあった。仮にも研究テーマの設定とは生徒にとって大きな論理的構造物であり、一度個人で構造化したものを複数人が集まって解体再編成するには相当の調整力を要する。結果、0か1かというフリーライドとワンマンの問題が生じていると思われる。

オムニバス形式のガイダンス的なレクチャーの後、生徒が興味に応じてゼミを選択し、場合によってさらに近いトピックの者がグループを形成する、いわばミニ大学研究室方式も、仮のテーマからグルーピングという同様の流れになる。

グローバル課題というものが高校教員にとって専門をはるか

に超える高度なものであるため、この方式ではテーマを限定しすぎる懸念もあった。そこで、より課題解決を意識し、生徒自ら集めたメンバーの創発によってチームテーマを設定するという逆の流れを作った。企業等で行われるハッカソンやアイデアソンと呼ばれる課題解決型イベントを参考にし、プロジェクト方式あるいはミニベンチャー方式とも呼べるだろうか。チームで独自に「発見」した課題こそ、主体的なモチベーションが持続すると考えている。

アイデア創発等を重視して新設される「理数探究」はSTEM教育と方向性を同じくするとされる。筆者はイノベーションの要素を盛り込むべく、物理の学習と課題研究へのSTEAM教育の導入に取り組んでいる。自動運転や日本における「車離れ」など、あるテーマについて工学技術や実社会の問題に触れることでチーム力発揮を促す探究スタイルで、STEMからSTEAMへと人文領域を融合することにより、グローバル課題に対する課題研究にも有効性があると考えられる。

テーマの設定自体を生徒のグループディスカッションに委ねるやり方の難点は、専門性に欠けることと時間がかかることが容易に想像できるが、生徒自身の振り返りでは多様な意見を検討できたという面を評価する生徒も多い。専門性を追求すれば、高校で扱えるテーマと指導できる教員が限定されるという問題が生じる。指導の大半を大学や連携機関に丸投げするしかないのでは全生徒を対象とした高校の課題研究にそぐわないし、教員の主体性や指導力も向上しにくい。

研究作法や分析技法の指導については、教科と連動した形のレクチャーであれば比較的多くの教員が協力的である。メディア情報リテラシーは情報科の授業で取り扱えるし、チーム・ビルディングは保健体育科の先生が得意とすることも多い。文献探索や図書館利用法、統計処理、研究倫理もこの形でレクチャーできる。物理なら、測定精度や有効数字、単位系など、教科のほうでは十分に時間を割けなかったことに課題研究レクチャーをあてたいが、一通りやろうとすれば課題研究のほうもほとんど時間の余裕がない。実際は生徒を小集団にしてレクチャーを同時展開し、ジグソー法を組み合わせるスキルを共有させるなどして時間の不足を補っている。

これらは何をどこまで教えるかよりも、いつ教えるかという時期のほうが学習効果を考えるうえで重要である。研究の基礎的作法を一通り教えたうえで初めて課題設定に取り組ませるとい

う手順も考えられるが、ちょうどスポーツに例えれば、ドリブルなどの技法やルールを一通り習得してから初めてゲームを経験するよりも、まずゲームをやってみてから必要な技法を身につけていくほうが主体的で楽しめるのではないかな。

加えてもう一つの理由がある。課題研究で特に難しいのが課題設定だと言われる。課題研究の時間だけ唐突に身近な事象に疑問を持とうと言われても、地球規模の課題解決などと大上段に構えても、素人が口を挟むのは場違いだという雰囲気になかなか払拭できない。教科学習を中心とした学校教育で、課題を見つける、あるいはやりたいことを明確にするというマインドセットを持つ機会は少なかった。筆者の乏しい経験を顧みても、教科の授業では教師が敷く問いのルールに沿った正答探しになりがちで、疑問を持つ力を伸ばせていなかったのかもしれない。答えることに長けていても問うことができない生徒の実態がある。そこで、高校生の課題探究では、素朴な疑問を自由に発言できる土壌づくりを優先した。このねらいの具体化が問いづくりの重視につながっている。

3 ◆ SGHの4年間 ― 生徒の探究、私の研究チーム

課題研究導入の混乱は、SGH指定初年度の生徒の成果物がよく物語っている。一年間の課題研究の成果として充実した研究ポスターがある一方、エビデンスとなるデータも示されず、ただフィールドワークに出かけた先でだれかに聞いたという話をもとに思いつきのような解決策が提案されているポスターも少なからずあった。生徒次第・指導者次第といった感があり、形式的統一以上の組織の方向性が見えなかった。指定2年目に着任し、筆者はこれら1期生のポスターの分析に基づいて学習ツールの開発に取りかかった。SGH事業の推進を担う校内委員会を中心に、若くして分析家として優れた評価担当教員とチームを組んで研究開発に取り組めたことも奏功した。学習ツールによって教員の負担が大幅に軽減されるわけではないが、やるなら楽しいほうがよい。「おもしろい」かどうかは基準の一つにあり、「やってみなはれ」という風土の影響も多分にある。生徒がいきいきと取り組むようすに意義を認める教員は多い。便利なツールなら使ってみようという理解ある同僚にも恵まれた。特にベテラン教員に積極的に受け入れられたのは、アクティブ・ラーニングでの報告とも類似する²⁾。折よくSGH3期生以降は

筆者自身がクラス担任の一人として課題研究を毎週担当し、ツールという指導法が学校全体に浸透した。2年目に開発チーム二人で率先していたポスター添削指導が、3年目には担当者全員に広がり、4年目には同じツールで生徒同士が相互添削できるようになった。

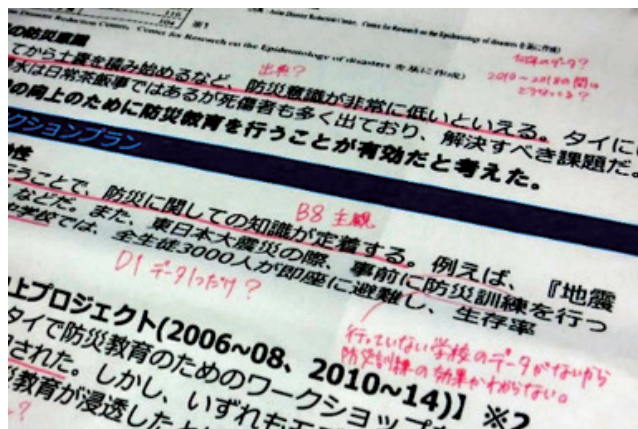


図1 生徒が相互に朱を入れたポスター 指針となるツールを共有し、ざっくばらんな表現で楽しそうに書き込む姿が見られる

高校生が探究学習に没頭することには保護者の間にも賛否はあるが、研究を楽しんでいるようすは保護者からも反響がある。ふだん一人でコツコツ勉強するタイプだった生徒が、友達と議論しながら研究を進めるのが楽しいと家庭で話したりすると、感嘆の声さえ聞かれる。

放課後遅くまで残って研究に取り組み、全国的な発表会や他校生との交流を見ていると、高校生の研究というものが部活動にも似たカジュアルな青春の一コマという感じもする。他人の研究発表を見る生徒たちの眼には妥協がなく、探究活動は教員のものではなく、生徒のものであると感じる。

ワークシートは生徒が記入するごとにデータ化してフィードバックし改良を重ねてきた。チームの中心メンバーが物理と化学の教員だったこともあり、当初は仮説演繹法的方法論を文系研究に適用した。生徒の記入例から議論の構造自体が迷走していることがわかってきて、次第にトゥールミンの議論モデルを援用するようになった。「研究とは何か」という哲学的議論よりも、関心はつねに「明日の授業で生徒が使えるか」「どの教員にもファシリテーション可能か」という卑近なことであった。それには過去の研究経験や学術的定義よりも、目の前で困っている生徒の観察こそが指針となる。

ツールは改良のたびに総じて簡略化している。時間が限られ

るために精選という面もあるし、事細かに作りこまなくても生徒ができるという確信でもある。毎年、評価ルーブリックの改訂を生徒と教員の間で検討していること、生徒同士がポスターを相互評価して添削するようになったこと、下級生が上級生から助言を得て議論ベースの探究の方法が直伝されることなど、SGH 4年間の想定以上の成果と言えるだろう。

「探究部」などの組織を設置している学校もあるが、実際に課題研究を推進できる教員は現状ではごくわずかではないのだろうか。動ける教員が複数いる学校はまれである。筆者は研修会やセミナー等での実践報告のついでに課題研究指導法の相談を受けることもあるが、専門知識など持ち合わせず、正直なところ現任校で課題研究や SGH カリキュラム開発に携わるまで、指導はおろかポスターを自ら作製したこともなかった。ルーブリックやポートフォリオという単語さえ知らず、SDGs など国際動向にも疎かった。少なくとも筆者の周囲で、自主的に研鑽を積む意識の高い教員でもなければそれが普通だったし、他に喫緊の業務はいくらでもあった。今でもそれらを体系的に学ぶ機会があるわけではない。課題研究を一つの学校で抱え込まず、拠点校を中心にネットワークを形成するというこれからの方向性が不可避であると思われる。

勤務校では本年度で SGH 指定が終了する。課題研究の指導法開発は未だ途上にある。一方で研究指導をルーティン化して前年度を踏襲したいというニーズもあるが、各校で今あるメソッドを足がかりに指導できる教員の裾野を広げることが肝心だろう。生徒の主体性を引き出すには生徒任せではなく仕掛けが必要である。教員は仕掛けを考案し、チームで検証改良する仕事を、青春のただ中にある生徒とともに楽しみたい。

課題研究は生徒に寄り添う距離感こそが勘所で、教科指導よりも部活動や学校行事等の生徒主体の活動、あるいは進路指導に近い印象もある。勤務校ではこれまでの生徒指導について正解主義や成功を求めすぎた姿勢に対する見直しの声も上がるようになった。学校生活全般を課題解決ととらえれば、学習ツールを活用できる場面は多い。



引用・参考文献

- *1 具体的なツールは拙著および勤務校ホームページを参照されたい。
- *2 たとえば小林昭文、成田秀夫『今日から始めるアクティブラーニング』（学事出版、2015年）p.86『「すぐ翌日にやってみた」というのは50～60代の教員が多いです。やはりベテランは生徒指導に自信があるのですね。』

第14回 プレシジョン・メディシンが
拓く世界

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。

近年、がんの治療法にさまざまな新しい展開が見られます。その一つが、前回紹介した「がん免疫療法」です。今回は、患者の個性に合わせて適切な薬を選ぶ「プレシジョン・メディシン（精密医療）」について紹介します。

■ がん細胞の多様性とプレシジョン・メディシン

まずは、「がん」に関しての基本的な知識を確認しておきます。がんは、遺伝子の変異が原因で、細胞分裂のコントロールが効かなくなってできる細胞のかたまり（腫瘍）です。これには良性腫瘍と悪性腫瘍があります。特に問題になるのが悪性腫瘍です。悪性腫瘍は、自律的に増殖するだけでなく、組織に浸潤し、転移をすることがあります。

がんを引き起こす原因となる遺伝子には、大きく2種類あります。一つは「がん遺伝子」と呼ばれるもので、がん化の「アクセル」にあたるもの、もう一つが、「がん抑制遺伝子」と呼ばれるもので、がん化の「ブレーキ」にあたるものです。これらに関する変異が段階的に蓄積した結果、がんになると考えられています。現在までに数百のがん遺伝子と100前後のがん抑制遺伝子が見つかっています。

このように、がんの原因となる遺伝子変異には多くの種類があり、さらにそれらが蓄積するため、がん細胞にはかなり

の多様性があることがわかります。

そこで、患者さんの遺伝子を解析し、どのような変異を持つかを調べ、それぞれの変異に応じた治療が始まっています。これが、プレシジョン・メディシンです。

アメリカのオバマ前大統領は、2015年1月に「プレシジョン・メディシン・イニシアチブ」を宣言し、2016年、国立がん研究所(NCI)に7,000万ドルの予算を投じて、2,000以上の病院で大規模な臨床試験を開始しました。

日本でも、スクラム・ジャパンというプロジェクトが2015年に発足し、患者数の少ない希少な変異に対して全国規模で患者を見つけて治験を行い、有効な治療薬を届けることを目指しています。現在スクラム・ジャパンには全国約250の療機関と17社の製薬会社が参加しています。

■ 従来の抗がん剤と分子標的薬

なぜ、今プレシジョン・メディシンがこれほど広がっているのでしょうか。その背景を理解するためには、抗がん剤について知っておく必要があります。

がんの治療には大きく4種類あります。外科手術による腫瘍の摘出、放射線治療、抗がん剤などの薬物療法の3種類が以前からよく知られているもので、近年ではこれにがん

免疫療法という選択肢も加わりました。

抗がん剤は、がん細胞が増殖を続ける性質を利用して、そのしきみを阻害する薬です。抗がん剤には、DNAを損傷させるアルキル化剤、DNA合成に必要な核酸や葉酸の合成を阻害する代謝拮抗剤、DNA合成に関わるトポイソメラーゼの阻害剤、細胞分裂に必要な微小管形成の阻害剤などがあります。

抗がん剤は、通常、がんができた部位や種類によって使い分けられます。例えば、肺がんの一種である「肺腺がん」であれば、それに応じた抗がん剤が使用されます。

しかし、がん細胞は、自己の細胞が変異したものであり、かつ抗がん剤は正常細胞も行う活動を阻害するものであるため、どうしても副作用が出てしまいます。特に細胞分裂を盛んに行うリンパ組織、造血組織（骨髄）、皮膚、毛嚢上皮、腸上皮などには影響が大きく、吐き気やだるさ、食欲不振、脱毛、手足のしびれなどの副作用の原因となります。

このような従来の抗がん剤に対して、新たに分子標的薬と呼ばれる薬が開発されています。これは、がん細胞のさまざまな生命活動に関連する分子をターゲットにした薬です。例えば、図1に示すように、細胞増殖関連タンパク質や発がん原因タンパク質の阻害剤や、その他、がん細胞に栄養を運ぶための血管新生の阻害剤などがあります。

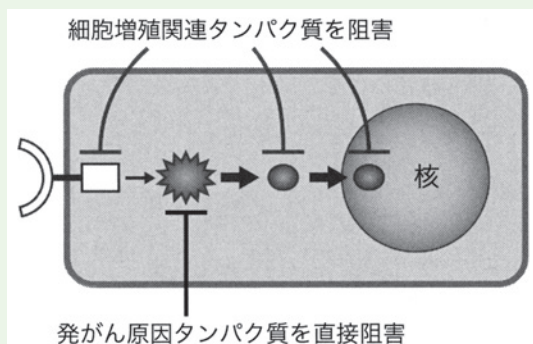


図1 がんの分子標的薬が効くしくみ 『「がん」はなぜできるのか』（講談社ブルーバックス）より引用

分子標的薬は、がん細胞が特異的に持つ特定の分子をターゲットにしているため、従来の抗がん剤と比べて副作用が小さいと考えられています。そのため、入院をせずに通院で治療が続けられるケースも多いようです。

分子標的薬とプレジジョン・メディシン

このような分子標的薬の開発が、プレジジョン・メディシン

と深く関わっています。従来のようにがんが生じた部位によって使用する抗がん剤を決定するのではなく、がんの変異に応じて使用する分子標的薬を決定すればよいのです。

例えば、「肺腺がん」は、図2に示すように2004年頃には原因遺伝子としてKRASのみが知られていましたが、2017年にはEGFRの遺伝子変異、ALKの遺伝子構造異常など、さまざまな遺伝子変異が特定され、またそれらの変異に合わせた分子標的薬も開発されてきています。現在では肺腺がんの原因遺伝子が不明なものは4分の1程度です。

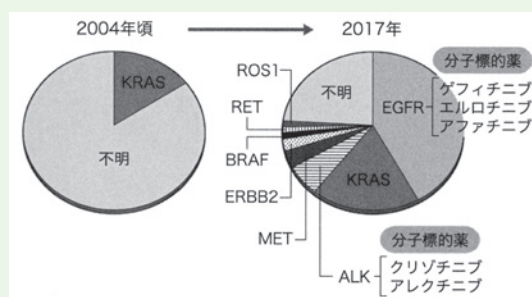


図2 おもな肺腺がんの原因遺伝子と分子標的薬 『「がん」はなぜできるのか』（講談社ブルーバックス）より引用

このような状況に至るまでには、越えるべきハードルがありました。まず、遺伝子変異を調べるための技術的なハードルです。これは次世代シーケンサの登場により、同時に複数の遺伝子変異について調べることができ、一度に数百もの遺伝子について調べることができるようになったことで解決しました。

ただ、そうして患者さんの遺伝子変異を調べたとしても、それに合った分子標的薬が存在しなければ治療につながりません。これが第2のハードルです。近年さまざまな分子標的薬が登場し、現在、日本で保険適用になっている分子標的薬は約50種類あり、海外も含めると約80種類が承認されています。現時点では、治療効果の期待できる薬が存在する遺伝子変異の数はおよそ20数個とされていますが、現在も新たな分子標的薬の研究が続いており、今後さらに遺伝子変異に応じた分子治療薬の使用は広がっていくと考えられます。

患者さんの遺伝子に応じた個別最適化された医療がプレジジョン・メディシンですが、ここに紹介したようながんの原因となる遺伝子変異を調べて行う個別最適な医療を特に「がんゲノム医療」と言い、一般にはこちらの用語が広く使われ始めています。がんゲノム医療では、がんに対する分子標的

薬だけでなく、前回紹介した「免疫チェックポイント阻害剤」でも、患者の遺伝子の変異に応じた使用も始まっています。

■ 「適応拡大」の可能性

患者がどのような遺伝子変異を持つかがわかり、それに対する分子標的薬が存在していたとしても、それが現在日本で承認されている薬なのかどうかの問題となることがあります。

そこで重要になってくるのが、既に承認されている薬を、それまで承認されていた用途と別の用途でも使用を認めるという「適応拡大」です。適応拡大には厚生労働省の新たな承認を得なければなりませんが、「安全性」はもとの用途の臨床試験で既に確認されているため、新たに「有効性」さえ確認できればよいので、まったく新しい薬を承認するよりはハードルは低くなっています。

同じタイプの遺伝子変異を持つ患者さんには、たとえば臓器が違うがんでも、同じ分子標的薬が効く可能性があります。実際、乳がんと胃がんと同じ分子標的薬が使われ始めるなど、治験も進んでいます。

■ プレシジョン・メディシンのこれから

プレシジョン・メディシンは、できたがんの治療に使われるだけでなく、がんの再発リスクの判定にも役立っています。例えば乳がんでは、手術では取り切れない可能性があるがん細胞を攻撃するため、手術後に抗がん剤治療を行うことがあります。判断は難しいものでした。しかし、患者さんの遺伝子を調べることで抗がん剤治療の必要性を高い精度で予測できるようになりました。

アメリカではプレシジョン・メディシンに人工知能を役立てる試みが始まっています。がんの遺伝子変異に関して、日々多くの論文が発表され、1日に数百の論文が新たに加わっているとも言われます。これを人がすべて読むのは困難です。そこで、人工知能に論文の内容を学習させて治療に使っているのです。

IBMが開発したワトソン・ゲノミクスだと、既に数千万件以上の論文を学習させてあり、ある特定のがん患者について、関連する論文や現在行われている臨床試験の情報などを蓄積したデータの中から調べ、それらのデータを統合し、わ

ずか数分で医師に提示することができるそうです。

また、アメリカでは、がんの遺伝子解析をビジネスにする会社が次々と誕生しています。ある会社では、ある患者さんに関して単に遺伝子変異のタイプを調べるだけではなく、その遺伝子変異に対する承認薬があるかどうか、適用拡大の可能性のある薬があるかどうか、関係する薬について臨床試験が行われているのかなども担当医に提供されるそうです。

日本の状況はどうでしょうか。2018年6月に国立がん研究センターにがんゲノム情報管理センターが開設され、がんゲノム医療の推進に向けて動きだしています。2018年12月には2種類のがん遺伝子パネル検査が厚生労働省の承認を受け、2019年度前半には保険診療が始まります。すると、検査費用が3割程度の自己負担で済むようになり、今後の利用は拡大していくことでしょう。

プレシジョン・メディシンにもまだ課題があります。遺伝子を解析しても、変異を特定できない場合がありますし、遺伝子変異が特定できたとしても、その変異に対応する承認薬がない場合もあります。また、別な課題としてプレシジョン・メディシンに使われる分子標的薬に対して、やがてがんが耐性を持ってしまうということもあります。

また、遺伝情報を活用するということで、患者への適切な説明や相談受付などが必要となりますが、そのための認定遺伝カウンセラーが不足しているという課題もあります。

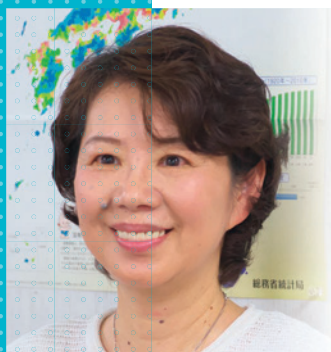
ただ、ここで述べたように、遺伝子を解析し、患者ごとに最適化された治療を行うプレシジョン・メディシンには大きな可能性があります。また、今回紹介した分子標的薬や、免疫チェックポイント阻害剤など、変異がわかった後の治療の選択肢も広がってきています。

がんは現在、日本人の2人に1人が生涯に一度はかかり、男性の4人に1人、女性の6人に1人ががんで死亡するという状況であり、がんに関する知識はリテラシーとしてたいへん重要です。ここに紹介したがんゲノム療法のようなプレシジョン・メディシンなど、がん治療の現状などは是非高校生にも知ってほしいことだと思います。❖

参考・引用文献

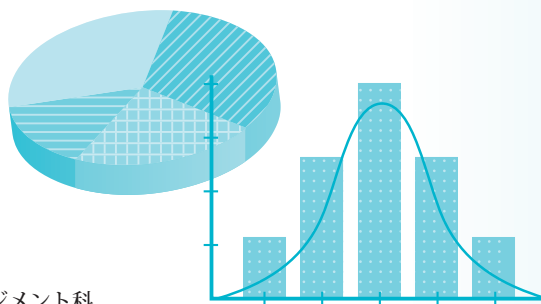
- NHK スペシャル取材班(2017年)『がん治療革命の衝撃』NHK 出版新書
- 国立がん研究センター研究所編(2018年)『「がん」はなぜできるのか』講談社

第2回 統計不正問題と 標本調査への理解



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。

統計不正問題

先月号では、統計の社会における役割の重要性を「マクロスコープ」として解説しました。特に政府行政における公的統計の重要性については、1881年の大隈重信（当時、明治政府の第4代大蔵卿（現在の財務大臣））の統計院（現統計局）設立に際しての建議文言

『**現在ノ国勢ヲ詳明セザレバ政府則チ施政ノ便ヲ失フ 過去施政ノ結果ヲ鑑照セザレバ政府其政策ノ利弊ヲ知ルニ由ナシ**』を思い出してください。政府行政に限らず、私たちがモノゴトの現状や介入策の効果を評価するために客観的な統計数値を使用することは、現在ではグローバル社会の常識となっています。その中で、厚生労働省による「統計不正問題」が起これ、本年1月中旬から、連日のようにニュース、新聞等でこの話題が報道され続けました。国会での質疑や答弁でも大きく取り扱われ、2月6日午後の参議院予算委員会においては、立憲民主党石橋みちひろ議員から、統計不正問題の根本的原因の一つである行政職員の統計への認識と知識不足および国の統計教育に対する教育課程全般に関して次のような質問が寄せられました。石橋議員：「国民全体での統計の大切さ、必要性、重要性の認識があまりに薄い。欧米では統計学はたたき込まれる。社会に出る前に必須である。」、これに対し、芝山文部

科学大臣答弁：「残念ながら文系の学生に対しては、確率や統計について体系的な教育が課されていない。欧米に比べるとその部分はたいへんに貧弱であると承知している。今後求められてくる大量のデータを目的に沿って処理する能力を育成することは喫緊の課題である。問題意識は共有している。」および安倍内閣総理大臣答弁：「高等教育に関してはすべての学生が数理・データサイエンスの素養を身につけていけるよう教育システムの構築に努める。」がありました。

全数調査と標本調査

統計数値の品質や精度は、それが作成される過程で決まるもので、数値自身を見て判断できるものではありません。したがって、信頼できる機関が適切な手順で調査を行い、適切な理論に則った集計処理が施されているということがその統計数値を信頼する根拠となります。

今回の統計不正問題は、事業所を対象に、賃金、労働時間及び雇用の毎月の変動を明らかにすることを目的に厚生労働省が実施する「毎月勤労統計調査」で起こりました。この調査は、国勢調査と並んで総務大臣が指定する国の特に重要な統計調査である「基幹統計調査」として、統計法（平成19年法律第53号）に基づき都道府県を通じて実施されます。不

正は、東京都において、本来、従業員 500 人以上の事業所は全数調査しなければならないところを 2004 年からおよそ 1,400 事業所のうち 3 分の 1 程度を抽出（サンプリング）する標本調査に無届けで切り替えていたことによります。この手続き上の不正に加えて、さらに露呈したのが、標本調査をした場合は結果の集計値を抽出率に応じて復元するという数学的な処理をしなければならないところをそれもしていなかったという、担当者の基本的な統計知識の欠如です。勿論、なぜ規模の大きな従業員 500 人以上の事業所に対して、標本調査ではなく全数調査となっているのかの意味も理解されていなかったことも問題で、このことから、今回の統計不正問題の再発防止の取り組みとして、行政職員、ひいては国民全体への統計教育の必要性が再認識されているわけです。

学習指導要領での標本調査の扱い

「標本調査」は、中学校数学科「資料の活用」領域、新学習指導要領では「データの活用」領域のいずれも 3 年生の学習内容です。現行では、母集団から標本を抽出する際の偏りに注目して、偏りのない標本を抽出するために一様乱数を使った無作為抽出の方法を学ぶ内容ですが、新学習指導要領では、さらに、「無作為」、「推定」という用語を明示し無作為抽出による標本変動の概念を理解し、標本誤差への考察や標本調査の方法の種類にまで踏み込んだ内容となっています。

さらに、新学習指導要領高等学校の数学 B「統計的な推測」の単位では、

表 1 中学校数学における標本調査の扱い(新旧対照)

現行(平成 20 年告示/平成 27 年道徳改訂版)	新(平成 29 年告示)
D 資料の活用 (1) コンピュータを用いたりするなどして、母集団から標本を取り出し、標本の傾向を調べることで、母集団の傾向が読み取れることを理解できるようにする。 ア 標本調査の必要性和意味を理解すること。 イ 簡単な場合について標本調査を行い、母集団の傾向をとらえ説明すること。 (用語・記号) 全数調査	D データの活用 (1) 標本調査について、数学的活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。 ア 次のような知識及び技能を身に付けること。 (ア) 標本調査の必要性和意味を理解すること。 (イ) コンピュータなどの情報手段を用いるなどして無作為に標本を取り出し、整理すること。 イ 次のような思考力、判断力、表現力等を身に付けること。 (ア) 標本調査の方法や結果を批判的に考察し表現すること。 (イ) 簡単な場合について標本調査を行い、母集団の傾向を推定し判断すること。 (用語・記号) 全数調査

(知識・技能) 標本調査の考え方について理解を深める、(思考力、判断力、表現力) 確率分布や標本分布の特徴を確率変数の平均、分散、標準偏差などを用いて考察する、目的に応じて標本調査を設計し、収集したデータを基にコンピュータなどの情報機器を用いて処理するなどして、母集団の特徴や傾向を推測し判断するとともに、標本調査の方法や結果を批判的に考察することを身につけるとなっています。

標本調査の必要性

日本における従業員の賃金、世帯の 1 ヶ月あたりの消費金額、テレビ番組の視聴者数、癌の患者数、クジラの頭数、岩石の成分等、私たちの調べたいことの大部分は、対象となる母集団すべてを調査する全数調査ではなく、その一部分(標本)を抽出する標本調査によって実施されています。標本調査を行う理由は、母集団全部を収集・調査するのは不可能で非現実的、費用や時間がかかりすぎるなどのほか、ほとんどの目的において標本調査に必要な精度が得られるためです。お祭りに来る人数を一人の単位まで正確に知る必要はなく、何事においても調査目的に応じた精度があれば十分なわけです。標本調査で十分な場合が多々あるわけです。

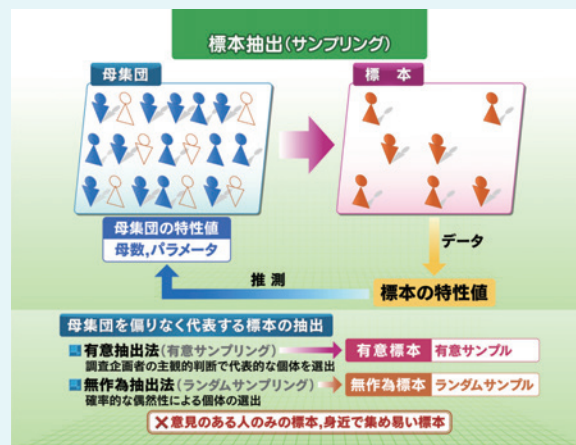


図 1 標本抽出(放送大学「身近な統計'18」第 9 回)

標本調査における偏りに注意

標本調査によって母集団の傾向を偏りなく推測するためには、標本の抽出方法を知る必要があります。偏りは一般的に調査の安易な利便性(友人のみまたはある場所に集まった人のみへのインタビューを行うや地表にある岩石のみを収集するなど)による調査やボランティアやアンケートを返す人々のみ対象とした分析、出席している生徒のみで成績評価する、通院継続患者のみで治療効果をみるなどで発生します。

無作為標本抽出による推定誤差の制御

母集団から偏りなく標本を抽出する方法には、有意抽出法と無作為抽出法があります。有意抽出法は母集団特性に精通した調査企画者が代表性の高い個体（個人）を専門的に選ぶ方法ですが、再現性や精度に関する数値評価ができません。一方、無作為抽出法は、乱数を利用しすべての個体が等しい確率で選ばれることを保証する抽出法で、標本抽出を無限回繰り返した際に得られる標本統計量の概念的な分布（標本分布）の理論により標本誤差を数値的に算出できます。それで、公的統計調査や民間統計調査で多く使用されています。

母集団平均や比率を推定する際の理論的な標準誤差や信頼区間の計算技能は高校での内容（数学B）になり、中学校段階では、標本分布という概念的な分布の存在と性質をシミュレーション等を通して理解することが求められています。

標本誤差の大きさは、標本として抽出される個体の数（標本の大きさ n ）が大きくなるにつれて、小さくなります。例えば、無作為に抽出されていれば、支持率などの母集団比率を推定するのに、 $n=1,000$ 人の標本で標本比率が 60% となることと、 $n=10$ 人の標本で標本比率が 60% となることでは、どちらがより誤差が小さく母比率が 60% と推定する強い証拠かというそれは前者になるわけです。ただし、標本誤差は $1/\sqrt{n}$ のオーダーでしか小さくならない、つまり、 n を 4 倍にしても誤差は $1/2$ にしかならないので、標本サイズをむやみに大きくし続けても誤差はそれほど小さくならなくなります。

標本誤差は標本のサイズだけではなく、もともとの母集団上での変量のばらつきの大きさ σ （母標準偏差）にも依存します。同じ標本サイズであれば、母標準偏差 σ の大きさに比例して推定に伴う誤差は大きくなるので、 σ が大きければ、同じ推定精度を維持するためには標本サイズを大きくする必要があります。一方、標本が抽出される元の母集団の実際のサイズ N は、標本調査の精度にはほとんど影響しません。 $n=1,000$ の無作為標本は、 $N=10,000$ の母集団から抽出されたものか、 $N=1$ 億の類似した母集団から抽出されたものかにかかわらず、ほぼ同じ標本誤差の大きさを持ちます。

無作為標本調査の方法の種類

無作為標本抽出は、標本誤差を目的に応じて予め調査設計に織り込むことができる科学的な調査方法です。そのため、その考え方や手順を中学校、高校と順を追って学習してい

ます。無作為標本抽出法には、図2のように、基本となる単純無作為抽出（単純ランダムサンプリング）法以外にも実用上の利便性や標本誤差の精度を上げるために工夫された系統無作為抽出（系統サンプリング）法、層別（層化）無作為抽出（層別サンプリング）法、多段無作為抽出（多段サンプリング）法があります。また、層化と多段を組み合わせた層化多段無作為抽出法が大規模な調査ではよく行われています。

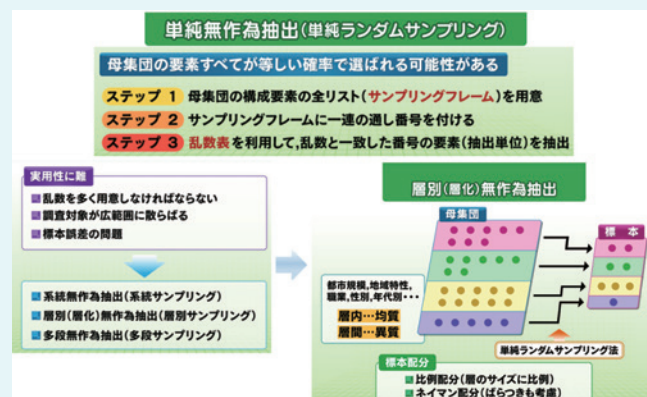


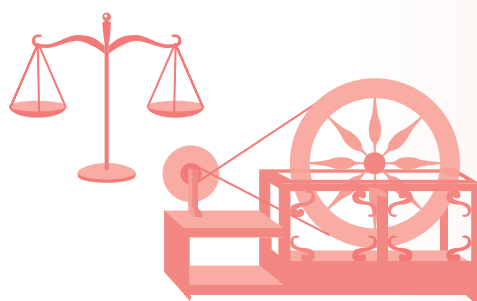
図2 無作為標本抽出（放送大学「身近な統計'18」第9回）

不正のあった「毎月勤労統計調査」の抽出法

この調査では、規模 30 人以上の事業所の全数リストをサンプリングフレーム（図2）とし、そこから産業×事業所規模別に層化抽出で標本事業所を無作為抽出する方法をとることが定められています。抽出率は、事業所の従業員一人あたりの平均月間給与の標本誤差が、産業、事業所規模別に一定の範囲内となるよう設計されます。そのため、実際の抽出率は、層毎に異なり、特に従業員規模が大きいとその層の中の従業員の給与のばらつき（ σ ）が大きくなるため、従業員規模の大きな層での抽出率を大きくしています。500 人以上の大規模の事業所間での給与格差は大きく、大きな事業所が標本に入るか入らないかで結果に大きな影響が出るので、抽出率 $1/1$ の全数調査となっていたというわけです。

今回、厚労省は東京都でこの層を 2004 年から全体の $1/3$ 程度の抽出率の標本調査に承認を得ずに切り替え復元処理もしていなかったわけです。この結果、給与水準が高い傾向にある大規模事業所の層のデータが少なく計上され、全体の平均給与額が実態よりも低く算出され、それが雇用保険などの過少給付につながり、追加給付の事務費などが総額で 795 億円、本来は必要なかった負担を国民に強いることになりました。❖

第2回 光の反射と屈折の法則



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、光の性質に関する基本的な法則を取り上げます。

反射の法則

太陽の光を鏡ではね返してみるという実験は、早くも小学校3年の理科で登場します。しかしこの時点ではまだ、どのような規則性があるかまでは学習しません。反射の法則が教科書で明確に説明されるのは、中学校1年の「光による現象」の単元です。そこには次のように書かれています。

◎ 中学校理科

光が反射するとき、入射角と反射角はいつも等しいことがわかる。これを光の反射の法則という。

高校物理の教科書でも同様に、入射角と反射角が等しいことを反射の法則として説明しています。なお、ここで「入射角」「反射角」とは、鏡の面に垂直な直線と、入射光・反射光の間の角度を言います（図1）。

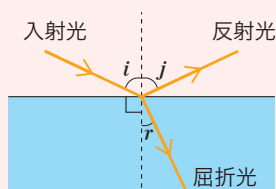


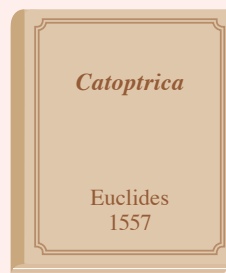
図1 光の反射と屈折

それでは、この法則はいつ発見されたのでしょうか。実は、反射の法則には、少なくとも2千年の歴史があるのです。

エウクレイデスの視学

光を扱う物理学の部門、すなわち光学は英語で「オプティクス」と言いますが、これを遡ると、ギリシア語やラテン語で「オプティカ」と呼ばれていた学問に行きつきます。これはもともと、光というよりも、物の見え方についての科学という意味でした。そのため、古い時代の「オプティカ」を日本語で表記する際には、「光学」でなく「視学」という表現を使うことがあります。

この視学（光学）関係の書物として最も古いものは、古代ギリシアのエウクレイデス（紀元前300年頃に活躍）が書いたとされるものです。エウクレイデスは、英語では「ユークリッド」と呼ばれます。そう、「ユークリッド幾何学」で知られる数学者です。



エウクレイデスには、「ユークリッド幾何学」の原典である『原論』のほかに、いくつか著作があることが知られています。そのうち視学に関わるのが、『オプティカ』と『カトプトリカ』という2篇です。どちらも、

活版印刷が普及した後の1557年になって、初めてギリシア語の原典が印刷・出版されました。エウクレイデスに限らず、古代ギリシアの著作はそれまで、手で書き写されることにより伝わってきたのです。

『カトプトリカ』 命題1

このうち『カトプトリカ』は、鏡による物の見え方をおもに扱う著作です。反射の法則は、この中の「命題1」として、次のように述べられています（引用は日本語訳による）。

平面や凸面や凹面の鏡によって、視線は等しい角で反射される。

ここで「光線」でなく「視線」となっているのが、「光学」でなく「視学」だということを端的に示しています。面白いことに、エウクレイデスの著作では、私たちの目から対象へとまっすぐに「視線」が伸びていくと考えられています。これは、光が対象から目に入ってくるという現代の理解とは逆ですが、それでも反射の法則としては正しいことを言っていると見なせます。どちらで考えるにしても、「等しい角で反射される」という点は変わらないからです。

また、エウクレイデスの著作には、この法則を実験で確かめるような記述はありません。その代わり、「命題1」が成り立つことの数学的な「証明」が与えられています。ここでは、平面鏡での反射の場合について紹介しましょう。

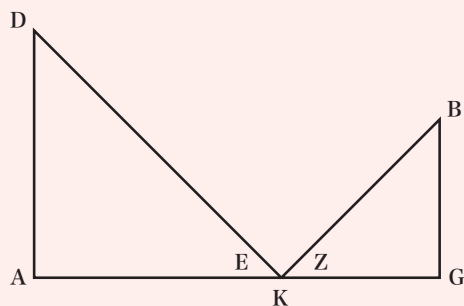


図2 『カトプトリカ』 命題1の証明

いま、図2で、目の位置がB、対象の位置がDであるとし、AGを鏡とします。視線はBから出てKで反射され、Dを捉えます。このとき、 $BG : GK = DA : AK$ という比例関係が成り立つことが、『カトプトリカ』の冒頭に置かれた「定義」の中で述べられています（定義3）。そうすると、三角形BGKとDAKは相似だということになりますから、「角Eは角Zに等しい」と言えるわけです。

このように、反射の法則に当たる内容は、すでに古代ギリシアにおいて知られていました。誰が最初に発見したのかは不明ですが、エウクレイデスが視学の著作を書いた時点ではすでにわかっていた、ということは確かです。

なお上の証明では、角Eと角Zが等しいという結論になっていますが、これは現代の「入射角」「反射角」の取り決めとは異なっています。歴史のどの時点で定義が変わったのか、調べてみると面白いかもしれません。

屈折の法則

光の屈折、あるいは視学的に言えば、水中にある物体が本来とは違った位置に見えるといった現象も、すでにエウクレイデスの時代に知られていました（『カトプトリカ』定義6に書かれています）。しかし、ここにどのような規則性があるのか理解されるようになったのは、ずっと後のことです。

現代の理科の教科書でも、屈折の法則は高校にならないと出てきません。その理由は、三角関数を使うからではないかと思います。実際、高校物理では、光に限らず波が持つ一般的な性質として、次のように説明しています（「屈折角」については図1を参照）。

◎ 高校物理

屈折角 r は入射角 i で定まり、入射角の正弦（ $\sin i$ ）と屈折角の正弦（ $\sin r$ ）との比の値 $\sin i / \sin r$ は、入射角によらず一定である。これを屈折の法則という。

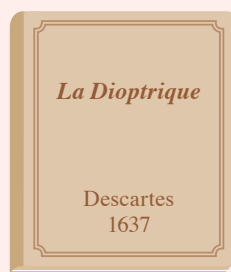
ここで、この比の値は二つの媒質の組み合わせ（例えば水と空気）で決まるもので、屈折率と呼ばれます。これを n と書くと、屈折の法則は次の式で表すことができます。

$$\sin i / \sin r = n \quad (\star)$$

では、この法則の原典を見てみることにしましょう。

デカルトの光学

屈折の法則を誰が最初に発見したかについては諸説あるのですが、これが広く知られるようになった代表的な原典と言えるのは、デカルトの『屈折光学』です。デカルトは17世紀の有名な哲学者で、この連載では前回の「慣性の法則」でも重要人物として紹介しました。



デカルトは1637年に、初めての著書として、次のような長いタイトルの本を出版しています——『理性をよく導き、諸学において真理を探究するための方法序説。加えて、屈折光学・気象学・幾何学。これらはこの方法の試論である』。この一部が、ここで取り上げる『屈折光学』です。

『屈折光学』は、全体としては、望遠鏡に使うレンズをどのような形にすればよいかという問題を扱っています。しかしデカルトは、学問をしたことのない職人でも本書を理解できるようにしたいと考え、光の性質や目の構造といった基本的知識について、一から説明を与えました。その中に、屈折の法則も登場するのです。

『屈折光学』第2講

デカルトによる屈折の説明を、図3によって見ていきましょう。

図の上半分が空気、下半分が水やガラスであるとし、光がAからBに進んできたとする、この光はそこで向きを変え、BからIへと進んでいきます。

このとき生じる光線の進行方向の変化について、デカルトは、「ABHやGBIといった角度、ましてや……DBIに似たような角度で測られてはならない」と言います。光の入射のしかたによって、これらの角度は変化するからです。ところが、「これに反して線AHとIGなどの間の比例は、屈折が同一物質によって引き起こされる場合には必ず、同一のままである」とデカルトは指摘します（引用は日本語訳より）。この部分が、屈折の法則の要となります。

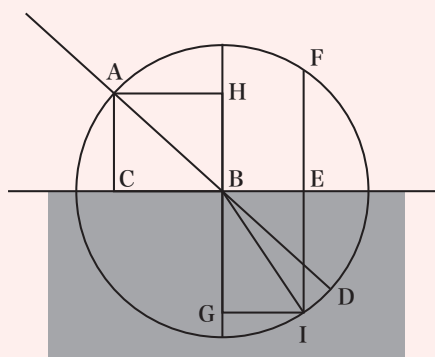


図3 屈折の法則（『屈折光学』図7より）

確認してみましょう。図3において、入射角 i とは角ABH、屈折角 r とは角IBGのことです。入射角 i が変化すると、それに伴って屈折角 r も変化し、二つの角度それぞれ自

の間に決まった関係はありません。これに対して、現代の屈折の法則は、 $\sin i$ と $\sin r$ の比の値が一定であると言っています。そこで改めて図3を見てみると、正弦の定義から、 $\sin i = AH / BA$ 、 $\sin r = IG / BI$ であり、かつ、 $BA = BI$ です。そうすると、屈折の法則の式（★）から、

$$n = \sin i / \sin r = (AH / BA) / (IG / BI) = AH / IG$$

が成り立ちます。左辺の n は二つの媒質の種類で決まる値ですから、デカルトが言っているように、AHとIGの比（右辺）は物質が同じである限り一定となります。

このように、デカルトは三角関数の表記こそ使っていませんが、現代の屈折の法則と等価な内容を『屈折光学』で述べています。筆者としてはむしろ、デカルトにならって図3のように円を描き、入射角が変わってもAHとIGの比は変わらないという言い方をするほうが、直感的には理解しやすいように思います。

ところで、高校物理の教科書では、屈折という現象は媒質によって波の進む速さが違うために起こると説明されていて、入射角と屈折角の比の値（★）は二つの媒質中での速さの比であると書かれています。図3で言えば、上半分のほうが下半分よりも光が速く進むことになります。しかし実は、デカルトの理解は逆でした。つまり、空気よりも水やガラスの中のほうが、光が進みやすいと考えていたのです。デカルトはこの立場から、屈折の法則がどうして成り立つかをわかりやすく説明しようと試みているのですが、現代の観点からは、これはまったく正しくないことになります。

今回取り上げた、エウクレイデスの『カトプトリカ』とデカルトの『屈折光学』は、反射と屈折の法則——入射角と反射角・屈折角との関係——そのものは適切に述べていました。しかし法則の理解のしかたという点では、現在とかなり違いがあるのも確かでした。過去の科学を正しいか正しくないかの二者択一で判断するのは適切でないということを、これらの例はよく示しているのではないのでしょうか。❖

原典についての参考情報

○ΕΥΚΛΕΙΔΗΣ, *ΟΠΤΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΟΠΤΡΙΚΑ*, 1557. / 【日本語訳】高橋憲一訳「オブティカ」・「カトプトリカ」, 『エウクレイデス全集 第4巻』（東京大学出版会, 2010年）所収。

○René Descartes, *Discours de la méthode ... plus La Dioptrique, Les Météors, et La Géométrie ...*, 1637. / 【日本語訳】青木靖三・水野和久訳「屈折光学」, 『デカルト著作集 第1巻』（白水社, 1973年）所収。

教育に
新しい風を

社会変革に対応した 学校教育の研究や準備

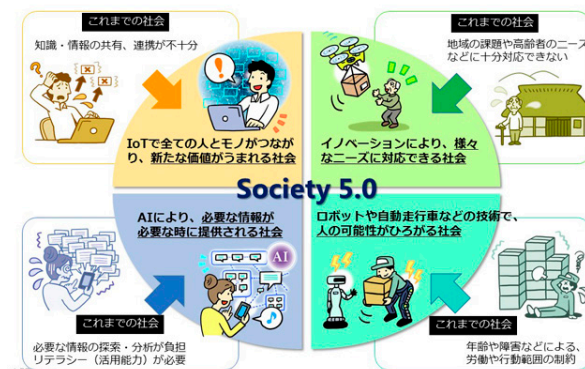


三重大学大学院教育学研究科
教職実践高度化専攻
(教職大学院) 特任教授

田邊 正明 / たなべ まさあき

● 衝撃の「Society 5.0」

内閣府のホームページで「Society 5.0」に関する資料を見て大きな衝撃を受けました。(下記の資料参照)



出典：内閣府総合科学技術・イノベーション会議ホームページ

なぜなら、資料の記述に「2030 年ごろには、第4次産業革命ともいわれる、IoT やビッグデータ、AI 等をはじめとする技術革新が一層進展。狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続く、人類史上5番目の新しい社会である Society 5.0 の到来が予想されている」と書かれており、目前であるという焦燥感や納得できる妥当性から自分の準備の無さにショックを受けたからです。

来るべき Society 5.0 (第5の社会) に対応するために教育界は、どのような準備をし、あるいは準備すべきかが、とても気になりました。この社会を生きる幼児・児童・生徒にとって必要な能力や発想力はどのようなものなのか、ということが学校教育に問われていると思ったからです。

● 名誉教授の研究の先見性への気づき

私が現在所属している三重大学の尊敬する名誉教授が、5～6年ほど前に、「数学と音楽のコラボ」や「特別支援教育と数学のコラボ」について研究され、論文を纏められていたことを思い出しました。その際、その名誉教授は、「おもしろいねえ。数学と音楽はこんなにも関係性が深いのだよ。数列や関数も音楽に置き換えられるし、音符や楽曲も数字や関数と深い関係があるのだよ。楽しいし、興味深いものだね」、「ユニバーサルデザインの考え方を導入した授業は、素晴らしいね。広い発想が大切だよ。例えば、小学校3年生のわり算の問題は450問だけ(1桁÷1桁が90問、2桁÷1桁は360問)って

わかる？ だから、スモールステップの原則に則って指導するとき、難易度と順番を考えるといいよ」と話されました。今思えば、Society 5.0 における学びの在り方にある「科学的に思考・吟味し活用する力」、「価値を見つけ生み出す感性と力、好奇心・探究心」を内閣府の発表前に実践していたのではないかと気づかされました。さらに、文理分断からの脱却や数学的思考力の習得等の考え方も先取りされていたのではないかと感じてきます。

● 教職大学院における学生（教員学生）の研究への指導

私の勤務する三重大学教職大学院では、本年3月に初めて修了生（1期生）を出しました。現在、2期生2名の主指導教員と2名の副指導教員をしておりますが、前述の衝撃後は、学生には事あるごとに『Society 5.0 の到来』を説明しています。特に、学修（研究）テーマやそれを深めるための具体策には、「未来への人材育成を視点に」を意識した指導をしています。Society 5.0 に対応した児童・生徒の未来、Society 5.0 に対応した教員の未来です。Society 5.0 は、学部を出たばかりの学生には、教員在任中に必ず到来し対応が迫られることやミドルリーダーとなるべき教員学生には、遅れを取らない対応の準備をすることを訴えています。

主指導をしている2名の学生のうち、ひとり「教員の人材育成」をテーマにしています。教員のライフステージに応じた資質・能力について、自己の現状を見つめ、ミドルリーダーとしての役割でチーム学校への貢献をすると定め、若手やベテランの必要な能力向上を日常的なOJTで支援する研究です。主幹教諭や指導教諭の役割を想定・意識した学校経営参画です。必要な人に必要な支援をタイムリーに実践するOJTによる人材育成です。この研究への指導にも Society 5.0 の中にある「必要な人に必要な情報そして必要なとき（タイムリー）に」の考え方を生かしています。また、もうひとりの学生は、Society 5.0 における光と影の「影」に注目したテーマを設定しています。技術革新・技術進歩が進んだ世界では、便利さや華やかさといった光の部分が強調されますが、光が強く輝かしいほど、影の部分への対応が必要になります。心の教育の必要性です。その教育を他者理解から自己理解を図ることを目標にタイムリーで適正な教材を利用して、道徳科や特活・ホームルームでの授

業実践をする研究です。さらに特別支援教育の自立活動の考え方を広く多くの教職員に理解してもらって、ソーシャルスキルトレーニング用の教材を授業に利用する研究です。この指導にも Society 5.0 の「社会像に係る、現実世界を理解し意味づけ出来る感性、倫理観、板挟みや想定外と向き合い調整する力、責任もって遂行する力」という能力・資質に対応しています。また、学校での児童・生徒間の異学年間での協働学習に拡大する際の思いやりや協力が大切になるという求められる人材像にも対応しています。

● 結局は、不易と流行が大切なのか？

米国ワシントン大学のパトリシア・クール所長が検証した、乳児の言語獲得のメカニズムに関する論文^{*1}の中に、指導者・指導内容・教材は同一条件にして、TV画面を通した指導と直接対面した指導とで、言語定着面の比較をした際、直接対面指導をしたほうに極めて大きな効果が見られたという内容がありました。

このことは、IoT やビッグデータ、AI 等をはじめとする技術革新が一層進展した Society 5.0 が到来しても学校教育は、流行の面を指導に取り入れるなどの工夫等をして、しっかりと存在し続け、同時に心と心を繋ぐなどの心の教育を大切に教員も幼児・児童・生徒も互いに不可欠な存在として、直接的に高め合うことを表していると思いました。

Society 5.0 に対応するために、学校教育が研究あるいは準備すべき内容は、やはり「不易と流行の両面への対応」という、百余年という学校教育の歴史で大切にされ、脈々と流れてきた価値（視点）なのかもしれないと改めて感じました。

人と人は直接会って、心が通じ合ったコミュニケーションをしないと指導も成長もできない。そうだとしたら、学校教育は、今まで、産業界から一步遅れていると言われることが多かったですが、「やはり、教育は直接に人対人が基本」で、Society 5.0 の到来に対して焦らなくても大丈夫かもしれません。「教育は、なかなかやるもんだ」と感じてきました。



参考・引用文献

*1 論文「赤ちゃんはどうやって言葉を覚えるの？」ワシントン大学の学習脳科学研究所所長 Patricia Kuhl（パトリシア・クール）の乳児の成長過程における、脳と言語のメカニズムに関する検証

学校教育から発展した 「学び」の創造！

～「自然」「生き物」に学び、感性を育む
体験的環境学習～



鹿児島県体験的環境学習研究会 会長
鹿児島市立西伊敷小学校 教諭

岩切 敏彦 / いわきり としひこ

■ 教室から繋がる地球を感じることができるか

学校教育に教師として携わり 33 年。学校教育活動全体を通して、環境教育の実践に取り組んできました。次世代を担う子どもたちが、グローバルな環境問題の知識を獲得し、さまざまな体験活動やツールを活用して「環境」という大きなテーマを学び、生活の中での実践化に結び付けられるようになってきたのは大きな成果です。

全国の学校教育現場でも、総合的な学習の時間で探究課題として「環境」が挙げられ「環境保全のための意欲の増進及び環境教育の推進に関する法律」が出されてからは、さまざまな環境教育実践がなされてきました。

しかしながら、学校教育への要請は時代や社会情勢に依るところも大きく、学力低下・二極化やモラルの低下、国際化、IT 時代への対応などが指摘される中、幅広い教育課題に現場が苦慮していることも事実です。

学校教育での環境教育は「学び」の入口であるという考え方に立ち、生涯学習の観点から「感じ」、「学び」、「行動する」ことを目標に、教室から繋がる地球を感じ取る教育観を持つべきだと考えます。

■ 体験的環境学習のススメ

学校教育の中では、知識重視の環境教育や問題解決学習を取り入れた環境教育が、数多く実践されてきました。

そして、その根幹には体験的な環境教育があり、さまざまな自然体験や社会体験を、視覚・聴覚・嗅覚・味覚・触覚などの諸感覚を活用し、心と体で感じ取る環境学習が低学年から実践されてきました。

しかし、その基盤となる実感を伴った自然体験や社会体験が学校内でも、家庭・地域でも質的にも量的にも不足してい

る現在です。

そこで、学校教育現場から、さらに発展した「学び」として体験的環境学習を家庭・地域社会でも進めていこうと平成 20 年に鹿児島県体験的環境学習研究会を設立しました。体験的環境学習は、体験による実感を重視し、感性を磨く環境学習といえます。子どもから大人まで地球市民として、環境問題を実感できる体験を重ねることで、身近な問題としてとらえ地球規模で考え行動していける人間を目指すことができると思います。

■ 緑のカーテン&ピオトープを学校で家庭で地域で

生活科や理科の教材として、学校緑化の一環としてのヘチマやアサガオの栽培は以前からなされてきました。このつる性植物を、壁面緑化・緑のカーテンとすれば地球温暖化抑制につながる環境活動となります。栽培体験を通して、教科等とも関連を図りながら蒸散作用や光合成、遮光、放射熱の抑制の効果を学ぶことで、地球温暖化の抑制の一役を担う実感を持った子どもたちは「家庭でも実践してみよう。地域や街中にも緑のカーテンが広がったらいいな」という願いを声にします。県地球温暖化防止活動推進事業として平成 20 年から3年間取り組んだ「かごしま緑のカーテン&ピオトープコンテスト」は、メディアにも大きく取り上げられました。当時、鹿児島に



広がれ緑のカーテン！ 学校・事業所・家庭・地域へ

も徐々に広がりつつあった緑のカーテンと自然や生物との共生に繋がるビオトープを「学校で家庭で地域で公共施設や企業事業所でやってみよう!」という機運を盛り上げ、県内への普及啓発ができたといえます。現在、緑のカーテンや壁面緑化・屋上緑化が広がりを見せているようすをうれしく思います。

■ 環境学習セミナー ～楽しいノウハウ伝授します～

市の環境学習拠点施設『かごしま環境未来館』で、指導者向けの環境学習研修会を実施するようになって10年。教育行政主催の義務的な研修会ではなく、環境学習に関心を持ち、学びの意欲を持った希望者の研修会です。当初は、小・中学校教諭対象でしたが、現在では、幼稚園教諭、保育士、小・中学校教諭、こどもエコクラブ指導者、NPO関係者、大学生を対象に実施しています。学校教育に留まらず広く環境学習を学び、指導的立場を生かし子どもたちに還元しつつ、自らも地球市民として実践する人材の育成がねらいです。「教師としての立場を越えて、人として地球環境問題とどう向き合い行動するかを考えるきっかけとなった」という言葉は、その成果を物語っています。



指導者自らが楽しく学ぶ！そして、身近な方々に伝え、共に行動する！

■ 実感！校区生き物調査で生物多様性を学ぶ！！

これは、平成30年度市生物多様性保全活動推進業務として「国連生物多様性の10年」を踏まえた環境学習活動です。市内5つの保育園・小学校の校内・校区をフィールドに専門家の指導の下で、親子・教師が生き物調査を行い、採集や観察を通して生物多様性を実感し学びました。身近な場所での自然体験を親子で共有したことは、豊かな感性を育む一助となつ

たはずです。また、教師にとっては校内・校区の自然や生物に十分目を向けていなかったことに気づき、新たな発見となりました。後日、生き物調査参加者や一般市民の子どもから大人までに呼びかけ「生物多様性こどもサミット」を行いました。生き物調査の報告やネイチャーゲーム、グループミーティングで自然や生物、環境問題について世代間交流を図りながら、語り合い学び合うことができました。体験を重ねた大人たちと素直に理想を語る子どもたちの輝く笑顔や姿に、将来への希望が感じられる学習会となりました。



虫とりあみをふり回す「虫とり少年少女」を育てたい！

■ おわりに ～自然に学ぶ 生き物に学ぶ

子どもも大人も教室から飛び出し、会社から離れて、先ずは身近な自然を深く体感することから始めましょう。室内から一歩外に踏み出せば、自然があり生き物がいます。さまざまに繋がりを持ち、バランスを保ちながら地球には生命が息づいています。人間も地球の自然に生かされて生態系の中の一部であることを実感したとき、自分自身の生き方を問い直すことができるのかもしれません。

地球市民として、身近なところの物事が地球の問題に繋がっていることをしっかりイメージできる感性を育み、さまざまな機会で「学び」を創造していきたいと思います。

「センス・オブ・ワンダー」を書いたレイチェル・カーソンの思いを現在から未来へと受け継ぐ人々の一人でありたいと思っています。拙文を目にされた方々にも、自分なりの生き方で、その一人になっていただければ幸いです。



..... 編集後記

令和の時代を迎え、来年度からは新しい学習指導要領が実施されようとしています。前号に続き、今号も「課題研究にどう取り組めばよいか」を特集します。「課題研究」とともに、新教育課程ではSTEM教育も注目されています。次号は、21世紀型の新しい教育システムであるSTEM教育を特集に取り上げる予定です。

(財)理数教育研究所



エミリ・デュ・シャトレ ～『プリンキピア』全訳を 成し遂げた女性科学者の先駆者～

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらい すずむ

1759年、フランスでニュートンの『プリンキピア（自然哲学の数学的諸原理）』の翻訳本が出版された。250年以上経った現在でもなお、フランスではこの本が読まれている。その翻訳を行った人物こそエミリ・デュ・シャトレ（1706-1749）である。

1706年、ルイ14世の王宮で働く父と、聖職者の家で育った母の間にエミリは生まれた。両親がエミリに与えた教育が後の彼女をつくることになる。ラテン語、イタリア語、ギリシア語、ドイツ語をマスターし、ウェルギリウス、タッソー、ミルトンを学んだ。そして数学と自然科学、さらに、乗馬・ダンス・ハーブシコード・オペラのレッスンを受けた。

エミリが生まれた18世紀初頭とは、フランスでは女性が教育を受ける機会ほとんどなく、ましてや女性が学問をすることなど許されない時代であった。エミリはそのような厳しい状況をものともせず、自らの願望だけに忠実に従い生きようとし、実際に実現していく人生を歩む。

1725年、19歳のエミリはシャトレ侯爵と結婚しシャトレ侯爵夫人となる。3人の子供を産んだ後、エミリはシャトレ侯爵に別居を申し出て、これが認められた。24歳になったエミリはド・リシュリュ公爵と恋に落ちる。文学と哲学に関心を持っていたド・リシュリュ公爵は、ニュートン理論に傾倒するエミリに、高等数学を学ぶことを勧めた。モーペルテュイの最小作用の原理で有名な数学者・天文学者のモーペルテュイがエミリの家庭教師となった。モーペルテュイもニュートン理論をフランスに普及させることを願う一人であった。エミリはモーペルテュイとも恋に落ちてしまう。

1733年、27歳のエミリは哲学者・文学者・歴史家のヴォルテールと出会い、相思相愛の関係になる。二人はパリと宮廷生活の騒がしさから離れ、ブレーズ湖畔にあるシレー城で暮らした。本質的に理性的な二人は学問的好奇心に駆られ夢中になり、互いに助け合い仕事を続けた。二人は、ライプニッツとニュートンを理解することに全力を尽くした。1738年、エミリはフランス科学アカデミー主催の論文コンクールに論文『自然および火の伝播に関する論考』を応募するも受賞を逃し

た。ちなみに受賞者の一人は数学者オイラーである。1740年、エミリは当時13歳の息子のために『物理学の設立』を著し、デカルト、ホイヘンス、ケプラーらの物理学を概説するとともに、ライプニッツの形而上学的原理など科学者の思想の成果も要約した。驚くべきことに、エミリはエネルギーという新しい概念を理解し、物体のエネルギーが質量と速度の2乗に比例することを示している。

ところで、エミリは宮廷の社交生活、とくに賭け事を異常なほどに愛した。彼女は自著『幸福論』の中で次のように語っている。

賭け事への熱狂は理性の哲学者にはばかげてみえるかもしれないが、この情熱は人を幸せにする。わたしたちの魂は期待と恐れに揺り動かされることを好む。この魂の高ぶりこそ、幸福であるためのもっとも大きな要素のひとつなのだ。

1687年、イギリスでニュートンの『プリンキピア』は出版された。ニュートンの同時代の数学者でさえ難解とされたこの本を一般に普及させようとする者はいなかった。ヴォルテールとモーペルテュイはイギリスを訪ね、ニュートン主義の影響を目の当たりにした。ヴォルテールがエミリにラテン語の『プリンキピア』を仏語に翻訳することを勧めた。エミリはヴォルテールと過ごした15年間、ニュートン理論の理解と翻訳に全身全霊を注いだ。仕事の奴隷のごとく一日のほとんどを机の前で過ごした。1749年、エミリの数学の注釈・解説つき『プリンキピア』仏語全訳が完成。出版されたのは10年後、ヴォルテールによる序文が読者の心に響く。

ふたつの驚異がなされた。ひとつは、ニュートンがこの著作を著したことであり、もうひとつは、ひとりの女性がそれを翻訳し、解明したことである。

この1年前にエミリは詩人ランベル侯と出会い、彼の子を身ごもった。翻訳を完成させた43歳のエミリは女の子を出産したが、産後の肥立ちが悪く命尽きた。愛に生きたエミリが真の純粋な変わらない愛情を注ぎ続けたのが数学だった。

学問への愛は、男の幸福よりも女の幸福により大きく貢献する。女にとって、涸れることのない喜びの源となるのは、学問をおいてほかにない。学問は、不幸にならないためのもっとも確実な手段なのだ。

エミリ・デュ・シャトレ