

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No.

35

October

2022

特集

コロナ後の学校教育について II



Contents

表紙裏

巻頭言

協働・共創型エンジニア人材育成 ～新たな価値を創造するために～
奈良工業高等専門学校 校長 後藤 景子

特集 | コロナ後の学校教育について II

- 2 **I** フィンランドの数学授業視察を通して
武庫川女子大学 教育学部 教授・幹事教授 神原 一之
- 6 **II** 気づきから子供にとっての問いを創る算数授業
～教師と子供のインターラクティブなやり取りを通して～
広島大学附属東雲小学校 教諭 小林 秀訓
- 9 **III** 学びの保障と GIGA スクール構想につながるコロナ禍における教育実践
兵庫県伊丹市立天王寺川中学校 教諭 坂本 泰朗
- 13 **IV** 「コロナ禍」における「2022 共通テスト数学」が現場にもたらしたもの
広島市立舟入高等学校 教諭 吉田 浩一

- 17 **連載** | 1枚の図から地球を考える
～地球はどんなところか～ 第9回
過去の気候変動ー地球温暖化(その2)
開成中学校・高等学校 教諭 有山 智雄

- 20 **連載** | 統計の見方・読み方・使い方 第12回(最終回)
予測モデルの考え方 ～回帰予測～
立正大学 データサイエンス学部 教授 渡辺 美智子

- 23 **連載** | 物理法則の科学史 第12回(最終回)
歴史から見た物理法則
一橋大学大学院 言語社会研究科 准教授 有賀 暢迪

- 26 **座談会** | MATH コンと私
海城高等学校 卒業生 池田 準, 宇井 貴斗, 東風谷 順正
ファシリテーター 横浜国立大学名誉教授 根上 生也
寄稿 海城中学高等学校 数学科主任 川崎 真澄

- 30 **教育に新しい風を** | ー東京懇談会よりー
ファシリテーション能力を磨き、授業改善を目指す
元国土館大学 体育学部 教授 藤井 千恵子

- 32 **広場** | 地域教育で活躍する人々 第34回
探究活動を通じた生きる力の育成と生き方選び
科学教室力塾 塾長 小川 力也

裏表紙

数学と言葉 | 第3回

「かつ」と「または」
数学用語と日常の言葉のズレ
サイエンスナビゲーター® 桜井 進

巻頭言

Kantougen



独立行政法人国立高等専門学校機構
奈良工業高等専門学校 校長
一般社団法人全国高等専門学校連合会会長

後藤 景子 / ごとう けいこ

1954年生まれ。大阪府出身。1986年奈良女子大学で学術博士を取得。京都教育大学教授、奈良女子大学教授を経て、2016年から高等専門学校初の女性校長として奈良工業高等専門学校に着任し、現在に至る。2018年から4年間国立高等専門学校機構理事、2020年から全国高等専門学校連合会会長を務める。専門はコロイド界面科学・被服学、特に繊維を中心とした材料表面のプラズマ改質及び次世代型洗浄システムの構築を研究テーマとして取り組む。2016年日本油化学会賞、2021年日本家政学会賞などを受賞。

協働・共創型エンジニア人材育成 ～新たな価値を創造するために～

女子大学教員として教育研究三昧だったある日突然、高等専門学校(高専)の校長にとのお話がありました。日本では少子高齢化が進み、女性の活躍推進が課題です。女性就業率のみならず、女性リーダーの輩出が重要です。管理運営の仕事は不向きと思いつつ、未来を託す後輩たちに、「一步前へ」というメッセージを伝えるために、お引き受けすることにしました。「卒業生の質保証」を大切に、実践的エンジニア人材育成を続けてきた高専に親近感を覚えたことも引き受けた理由です。高専は小中高大の単線型学校種に比べて、知名度が低いので、まずは紹介させていただきます。

高専は昭和30年代から始まった高度経済成長期に、実践的な技術者養成機関として設立された15歳からの5年一貫の高等教育機関です。現在、国公立57校があり、本年度は高専制度創設60周年、人間で言えば還暦に当たります。殆どは工学系分野(機械系、電気・電子系、情報系、化学・生物系、建設・建築系)ですが、商船系や文系の学科を設置している高専もあります。

国立51高専を設置する国立高専機構では、学生が入学してから卒業までに技術者として備えるべき知識、技能、人間力に関する到達目標をモデルコアカリキュラム(MCC)として示しています。「コア」はミニマムスタンダードであり、「数学」「自然科学」「人文社会学」「工学基礎」といった技術者が共通で備えるべき基礎的能力と、「実験・実習」を含む専門分野別能力の到達目標が明示されています。「モデル」では、「汎用的技能」や「態度・志向性(人間力)」「総合的な学習経験と創造的な思考力」といった技術者が備えるべき分野横断的能力の到達目標が明示されています。さらに各高専は、地域性などを活かした科目を追加し、特色ある教育プログラムを提供しています。令和6年度から、社会環境の変化や産業界で必要とされる能力の変化に応じた新たな到達目標の作成など、MCCの改訂を行う予定です。

中学校卒業段階でエンジニアの道を志した高専生たちは、モノづくりに対する興味・関心が強く、体験的な学びや能動的な学びで鍛えられ、「アイデアを形にする」ことが得意です。高専卒業生の就職率は毎年ほぼ100%の実績で、第一志望の企業などに推薦で合格が一般的です。また、進学者も多く、高等教育機関とのシームレスな接続で、「高専発」高度エンジ

ニアリーダーや研究者が育っています。

そもそもモノづくりは世界に誇る日本の特技で、日本人特有の美の概念、こだわり、器用さなどが昔からすぐれたモノを創り出してきました。日本人の勤勉さや教育レベルなども加わり、日本は世界で有数の経済大国になりました。今後も引き続き世界の競合に打ち勝つには、性能や品質を重視した製品づくりが必要で、そのためには最新の研究成果を技術開発に生かして製品を創り出す社会実装が課題です。

近年、生産拠点の海外移転を契機に産業のグローバル化が進み、製品の開発、生産、流通、消費など、あらゆるところに波及しています。加えて、ICT、IoT、AIなどを活用した生産プロセスの革新、製品の高付加価値化、新たなビジネスモデルの創出などにより、さまざまな技術が融合複合化しています。産業の場には多様な背景をもつ担い手が集まっており、「協働・共創」に根ざしたイノベティブなモノづくりが今後の課題です。ハードとソフトの両面を理解できる高度なエンジニアは、単にモノをつくるだけではなく、その製品が人々の生活に変革をもたらすような「コトづくり」ができると考えられます。そのための人材として、男性とは異なるユーザー目線をもつ女性エンジニアの活躍を期待する次第です。女子学生比率は大学工学部では15%程度、国立高専では約23%で、進路選択時の年齢の違いも影響していると思われます。日本の工学系人材の約10%が高専出身者なので、高専への女子の入学が理工系女性人材の早期発掘につながればと思っております。

モノづくりの基礎分野はSTEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics)ですが、最近ではArtの学びを組み込んだSTEAM教育が提唱されています。本校では、工学の知識や技術に関する授業に加えて、アートやデザインを意識した異分野の学びを取り入れています。感性、表現力、リーダーシップなどを涵養する教育プログラムを導入し、工学教育とのシナジー効果により「和によるイノベーション創出が行える未来志向のエンジニアリーダー」の育成を目指しています。ダイバーシティ・インクルージョンの実現により産業の場における協働・共創が促進され、新たな価値が創造されることを期待しております。



コロナ後の学校教育について II

I フィンランドの数学授業視察を通して

武庫川女子大学 教育学部 教授・幹事教授

神原 一之 / かんばら かずゆき

広島大学学校教育研究科数学教育専攻修了。教育学博士，学校心理士。広島市公立中学校教諭，広島大学附属東雲中学校教諭，同副校長，武庫川女子大学准教授を経て教授，2021年より現職。専門は数学教育，特に学習指導論と学習評価。日本数学教育学会出版部幹事。おもな著書として、『これだけは知っておきたい 小学校教師のための算数と数学 15 講』（ミネルヴァ書房 分担執筆），『中学校数学新 3 観点の学習評価完全ガイドブック』（明治図書 分担執筆）など。



1 ◆ 「個別最適な学び」と「協働的な学び」の一体的充実

新型コロナウイルスは，第 7 波の感染急拡大の最中であり，社会経済活動に大きな制限はないが，楽観視できない厳しい状況にある（2022 年 7 月 27 日現在）。コロナ後，もしくは With コロナの学校教育は，子供たちの命と安全を最優先に学びを保証し，学校教育の不易を大切にしつつ，これからの社会で求められる資質・能力を育成するために，コロナ禍で進んだ ICT 環境をどのように効果的に活用するのが問われている。

そのような中，『「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す，個別最適な学びと，協働的な学びの実現～（答申）』（2021 年 1 月 26 日 中央教育審議会答申）は，2020 年代を通じて実現を目指す学校教育を「令和の日本型学校教育」として示した。そして，その姿を「全ての子供たちの可能性を引き出す，個別最適な学びと，協働的な学び」とした。前者は，ICT の活用と少人数によるきめ細かな指導体制の整備により，「個に応じた指導」を学習者視点から整理した概念である「個別最適な学び」である。後者は，これまでも「日本型学校教育」において重視されてきた「協働的な学び」である。この両者を一体的に充実される中で展開されることが想定されている。

しかしながら，そのイメージは今ひとつわかりづらい。例えば 1 時間の中で「個別最適な学び」と「協働的な学び」を取り入れるのか，その際に主となる学びは「個別最適な学び」か「協働的な学び」か，教科の単元の中で「個別最適な

学び」の時間と「協働的な学び」の時間を設定するのか，「個別最適な学び」を担当する科目と「協働的な学び」を主に担当する科目のように役割を分けるのか等々。イメージを広げるために，フィンランドのある学校の数学授業（6 年生，7 年生，8 年生）を見てみよう。

2 ◆ リーヒマキ市立ハルユリンネ学校 (Harjurinteen koulu) の授業スタイル

コロナ禍以前の 2019 年 2 月 26 日，ICT 教育先進国であるフィンランドの首都ヘルシンキから電車で 30 分ほど離れたリーヒマキ市にあるハルユリンネ学校を視察した（図 1）。今思えば「個別最適な学び」と「協働的な学び」を一体的に進める学校であった。全校生徒 485 名（6 年生・7 年生各 6 クラス，8 年生 5 クラス，9 年生 6 クラス，特別支援クラス 1 クラス）の規模である。なお，市には中学校がほかに 3 つ，小学校が 8 つある。シルバー・ヴィーローマー副校長によれば，この学校はロボット教育が盛んであり，ロボコン世界大会にも出場している。工作（6～8 年生）や自由選択のロボット研究（8～9 年生）の授業において，アメリカ製のロボット（フレックス）を組み立て，プログラミングを学んでいる。数学や物理の時間においてもロボット教育が行われて，音楽にも優れた成果を残している。



図1 リーヒマキ市立ハルユリンネ学校

(1) 数学授業

6 年生 (23 人) は 7 年生への移行を意識して、ノートに記述することと自律的に解決することを重視して学習を進めている。この学年は 7 年生、8 年生の授業と違って、生徒が個別にコンピュータを使用していない。ICT を活用するのにふさわしい時期と使い方が検討されている。授業始めに、教師は電子黒板に問題解決ストラテジーを示す (図 2 左)。「問題をよく読む、必要な数値を見いだす、図に描き関係を捉える、解決の見通しをもつ、解決する、うまくいかない場合は再度初めに戻る」というストラテジーである。これらを活用して教科書の文章題の中から 1 題を選んで解くことを指示する。生徒は自分で選択した問題 (旅人算、植木算、油分け算のような問題) を解き、解決したら教室前の教卓に置かれた解答と照らし合わせて正誤を確認する (図 2 右)。正解していれば別の問題をまた解いて、同じことを繰り返していく。教室の座席はグループの形態に配置されているので、わからなければ教え合うこともある。教師はこの間、机間指導を繰り返していく (図 3 左)。授業のまとめはなく、開始から 45 分が経ちチャイムが鳴ると、生徒は教室を出ていく。

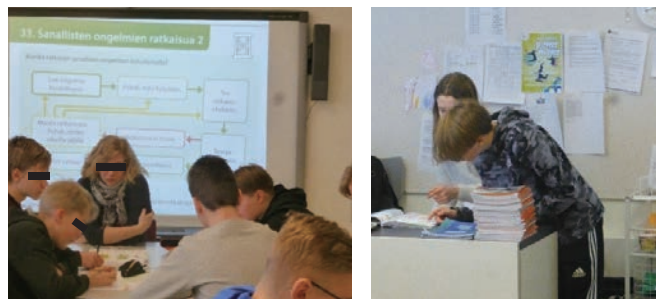


図2 授業始めの教師による説明と解答確認



図3 6 年生と 7 年生の机間指導風景

7 年生 (18 人) のクラスは、多角形の面積の授業である。教師は授業始めに短く指示をした後、生徒たちが課題に取り組んでいく (図 3 右)。教材は「大きなテキストブック」と呼ばれる公式やコンピュータとつながる QR コードが添付された解

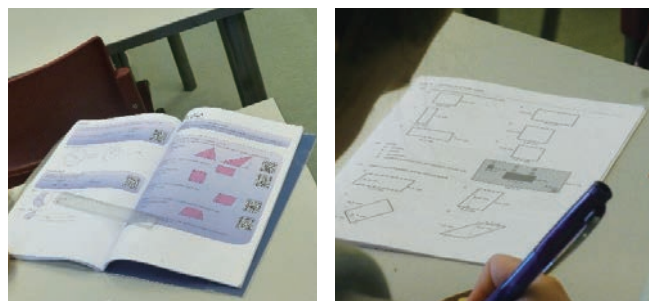


図4 7 年生の 2 種類のテキストブック

説書のようなもの (図 4 左) と「小さなテキストブック」と呼ばれる問題集 (図 4 右) とスマートフォンまたはコンピュータである。「小さなテキストブック」で学習を進め、わからなければ「大きなテキストブック」を取り出してスマートフォンで QR コードを読み取り、解説動画を見る。時折隣の生徒と相談をし、それでも理解できないときには、手を挙げて教師を呼ぶ姿も見られる。

8 年生 (13 人) のクラスは、円の面積の学習である。初めに家庭学習 (コンパスを使った模様づくり) の説明を簡単に行った後、7 年生と同様に、生徒たちはテキストブックとスマートフォン、ノートパソコンを活用して円の面積に関する問題を個別に解決していく (図 5 左)。机間指導を行っている教師 (図 5 右) が途中一度だけ全体に説明をする。円の面積の公式、円周の長さの公式を書き、「これは問題解決のとき、必ず書くこと、そしてべき乗に注意すること」と生徒たちへ伝える。なぜ公式がそうであるのかについては既習のためか説明されず、公式を覚えて書くことが強調される。他の学年と同様に、授業終わりに学習のまとめはなく、授業終了のチャイムがなると生徒たちは教室を出て行く。



図5 8 年生の授業風景

(2) 副校長へのインタビュー

3 つの授業を参観後、シルバー・ヴィーローマー副校長にインタビューを行った。

初めに、使用している教科書（「大きなテキストブック」と「小さなテキストブック」）は市販のものであるか尋ねてみた。数学の授業で使用している教科書は、この学校の教師たちが新しいカリキュラムに沿うようにチームで作成したものであった。市販の教科書は、カリキュラムに合っていないと判断したらしい。トゥルク大学が作成したシステム（Ville）を利用し、問題を選択して教科書を作ることができる。約8万2千題の中から問題を選ぶこともできるし、自作の問題をアップロードできるようにもなっている。1年生から9年生までの基本問題が大学で準備され、教師がチェックする問題、生徒が自己評価する問題に分かれている。フィンランドの多くの学校でこのシステムが使われている。

ちなみに、この学校訪問の前日に訪ねたフィンランド最大の教科書会社 sanoma pro の教科書基礎教育部長の話では、市販教科書は、現場の教師の意見をもとに試験の前に復習ができること、デジタル教材を子供の水準に応じて選択できるようにすることなどの工夫をしている。また、子供の自律性を大切に、個別支援に配慮されている。今回の改訂では特に「深い理解をすること」と「多様な評価方法を用いること」に重点を置いた教科書編集となっている。フィンランドの教師は信頼に足る高い専門性を持ち自律性が高いことや子供たちのスマートフォン保持率も高いことを背景として、市販教科書は編集されている。筆者の見る限りでは、よく作られたものであった。

副校長には次に、このようなすぐれた市販教科書を越えた教科書を自主編集できる教師の力量形成の方法について尋ねた。教師は学会や市の研修会に参加できる。教師となつてからの再訓練は1年間に2回（1回6時間）行われるが、これ以外に教師自身が興味のある科目などの研修に参加できるように保障され、実際教師たちは積極的に参加しているとのことであった。そして、「教員養成についても、従来の集団指導型から、個別支援型にすでに変わってきている」と付け加えられた。

最後に、「この授業システム導入により、学校は要らなくなるのではないかと尋ねてみた。教師は個別に指導する時間が以前より多く必要になり、生徒同士が以前よりかわり学び合うようになったという。つまり、教師が果たす役割は、個別の支援と生徒同士のコミュニケーションの促進である。

基礎的な知識・技能を個別支援で育成し、授業は従来よりも速く進めることが可能になった。そのことにより浮いた授業時間を生徒によるロボット研究の時間に充てている。つまり、思考力を働かせながら、プログラムを考え、ロボットを作成する協働的な学びが準備されている。筆者の問いに対する明確な答えはなかったが、学校はこれからの社会で生きていく子供たちの資質・能力を育成する重要な場であると考えられているようであった。

3 ◆ 日本の主体的な学びとICT活用への示唆

授業における教師の役割は、ハルユリンネ学校と一般的な日本の学校では異なる。日本の教師は、検定教科書をもとに授業をプラン（デザイン）する Coordinator であり、授業を進める Facilitator であり、子供の考えや思いを引き出す Educator である。もちろん、Teacher でもある。現行の学習指導要領において、主体的・対話的で深い学びを目指していることから、主体が子供にシフトされてきてはいるが、多くの場合、教師が授業設計の主体であろう。

一方、ハルユリンネ学校の教師の主たる役割は、子供の学びを支援する Supporter である。しかも、スマホの中には子供の数だけ教師のアバターが存在し、QRコードを読み込めば、個に応じた学習をサポートするために登場する。アバターでは子供の知的欲求を満たせないとき、リアルな教師が子供の前に降臨する。当然アバターよりも優秀な支援を子供に提供できる力量をリアルな教師は備えている。授業設計の主体は教師と子供たちである。

現在、我が国も1人1台のタブレットを持ち、教師はそれらを活用し生徒の考えを可視化して、情報を蓄え指導に活かそうと奮闘している。コロナ禍1年目に出会ったあるベテラン教師は、1人1台のタブレットが入っても絶対に使いたくないと話していたが、現在ではタブレットを使いこなし、子供たちの意見を瞬時に集め、注目される考えを電子黒板で共有したり、数分前に行った生徒の実験VTRを再現したり、効果的に授業実践に活用する姿に変容している。授業の中のICT活用は小学校低学年から高校生まで確実に進んできている。しかし、この姿とハルユリンネ学校の数学授業のICT活用の方法はまったく異なる。スマートフォンやノートパソ

コンは、生徒の学習を支援するツールとして発達段階を考慮しつつ適切な活用がなされている。日本の授業における ICT はどちらかといえば教師目線のツールであるのに対して、後者のそれは生徒の学びの支援者であり、生徒目線のツールである。ICT を活用することが必須のこれからの社会において、ICT を活用して自律的に深く学んでいくこと、教師は生徒に対して個別に必要な支援を行っていき、その学びをサポートすることをハルユリンネ学校では重視している。

このようにハルユリンネ学校の取り組みを振り返ると、子供が主体となる学びを学校現場で養成段階から一体的に取り組んでいる点、子供の健康や発達段階を考慮しながら計画的に ICT を導入している点などは示唆に富むものである。

4 ◆ コロナ後の数学教育

ハルユリンネ学校の実践では、知識・技能の習得に特化させて効率性を重視した数学学習と、工作やロボット研究を主とした真正な学びを行う PBL (Project Based Learning) をカリキュラム全体の中で大胆に分担している。換言すれば、数学教育の目的を実用的目的に特化することで、個別最適な学びと協働的な学びの棲み分けを行っている。仮に日本の数学教育にこの形態を導入した場合を想像してみる。

ハルユリンネ学校の3つの数学授業の生徒数は、それぞれ6年生23人、7年生18人、8年生13人であった。日本はおおよそ2倍の生徒に対して支援活動を行っている。そのような中、生徒自身がQRコードを読み取り、教師のアバターを登場させて、わからないところを説明させれば、これまで教師が支援したくても支援しきれなかった生徒たちを救う教育環境が生まれる。学習が進む生徒は特性に応じてどんどん学習を進め、理解が遅い生徒はその進度に合わせてゆっくり効率的に学べる。そして、機会学習を繰り返して進化した教師のアバターは、生身の教師より優秀な支援者となる。教師不足が深刻な社会問題になっているが、人件費を増やさず課題解決ができ、教育市場は拡大する。うまくいけばこのような世界が広がるのかもしれない。

反面、知識・技能の習得に特化させた効率性を重視した算数・数学授業は、学習進度や習熟度の差を増長させる可能性があり、以下のような世界的に評価の高い我が国の算数・数

学の授業文化を喪失させることにつながりはしないか。

伝統的に日本の教師たちは、教科指導と生徒指導を授業の中で一体的に行い、人間形成に寄与してきた。また、数学教育の目的として人間形成的目的、実目的、文化的目的を掲げて、数学的活動を通して資質・能力の育成を目指してきた。よい問題を作成し、問題提示の仕方を工夫し、発問を行い、子供の思考を揺さぶり、深い学びへと誘い、意図的・計画的にそれぞれの考えを取り上げながら、教室にいる子供たちとともに数学的活動を通して知を構成していく。学習が進む子も、理解に時間がかかる子も、無口な子も、大きな課題を背負う子も学習形態を工夫して授業に巻き込みながら、数学学習を通して人としての成長や発達を保障してきた。また、日本の教師たちは、丸暗記で得られる知識や機械的なドリル学習で身につく技能ではなく、意味理解の伴った知識・技能、思考力等の向上を目指してきた。疑問や驚き、葛藤、解決、共感などによるさまざまな人間らしい表情が観察されるこのような授業は、必ずしも子供たちにとっての最適な学びとも、効率的な学びとも言えないかもしれない。しかし、その学びの意義や意味、活用の仕方、文化的背景についても子供たちは深く学んでいる。

こうしてみると、数学教育の目的を実目的のみに特化すべきではない。個別最適な学びと協働的な学びを棲み分けた形態の導入は失うものが大きく、日本の数学教育には適していない。デジタル社会が進めば進むほど人間性の回帰や人間らしさの追求が拡大されてくるだろう。そうであるならば、実目的よりも、むしろ人間形成的目的や文化的目的に重心をおきつつ、バランスのとれた数学教育が重要になる。その実践方法としては、先人たちが築いてきた問題解決の授業を基本に据えた。ICTの活用は発達段階を見据えた上で、子供たちが自律的にICTを活用する授業づくりを目指す。授業外でもICTを活用して多様な他者や数学の対象とつながり、子供たちは学びを継続し深めていく。すなわち、子供たちが、数学的活動を通して数学の本性とその学び方を学び、ICTを主体的に活用して、学びを一層確かに、そして広げ深める数学授業の実現が求められよう。そのためには、教師が独占していた単元や年間の授業計画、目標設定、評価などにも子供たちが主体として関与することが必要となってくるだろう。



Ⅱ 気づきから子供にとっての問いを創る算数授業

～教師と子供のインターラクティブなやり取りを通して～

小林 秀訓 / こばやし ひでのり

千葉大学教育学部小学校教員養成課程算数科卒業。大阪府公立小学校、大阪教育大学附属池田小学校を経て、広島大学附属東雲小学校に勤務、現在に至る。今年度からは、広島大学大学院人間社会科学研究科にも在籍している。日本数学教育学会・全国数学教育学会所属。関西算数授業研究会副会長。共著に、『算数授業で学級づくり』『研究授業で使いたい算数教材 20（低・中・高学年）』『数学的に考える力』を育てる実践事例 30』（以上、東洋館出版社）などがある。



1 ◆ はじめに

コロナ禍において、学校生活を送る上で、これまで当たり前に行えたのに、行うことができなくなったことがたくさんあった。例えば、子供たちが肩を組んで大きな声で歌を歌うことや顔を突き合わせてグループで議論することなどである。“今は感染対策のために”と言われてできなくなり、2年以上が経った。

現代は予測不能の時代であり、いつまでこの我慢の生活が続くかわからない中、目の前の子供たちがどんな力をつけていく必要があるのか、また、私たち教師はどんな力をつけてやらなければいけないかを考えた。その結果、“自分で問いを見つけ、解決しようとする力”であるという結論に至った。まず、問いを見いだすことで、問いが自分事になり、学びが主体的になり、深い学びにつながっていくと考えたからである。そして、深い学びにするためには、答えがある問いばかりではなく、答えがない問いに対しても問題を解決しようとしたり、状況を打開しようとしたりする力が必要と考えている。そこで、自分で問いを見つける子供にするために何ができるかを考えることにした。

2 ◆ 気づきから問いを創る

子供は、さまざまなものを見聞きしたとき、「どうしてなんだろう」「なぜなんだろう」と疑問や違和感などの気づきをもつものである。授業の中でも、その気づきから子供にとっての問いにつなげていこうと考えた。教科書の問題を与えるだけでは、このような気づきは生まれにくい。子供が問いをもつための仕掛けが必要である。

（1）教師の立ち位置

私が意識して取り組んでいることは、子供たちの気づきから、子供と一緒にインターラクティブなやり取りで問いを創っていくことである。このやり取りは教師と子供の間の問い返しやりボイシング（再声化）など言語のものだけでなく、表情・ジェスチャーなど非言語のものも含め、子供の主体的な学びになるための立ち振る舞いすべてに関わってくる。

（2）3つの工夫

まず、子供たちの実態を考慮しながら、気づきが生まれやすいように教材を工夫する。そして、それを提示する際、子供たちの気づきを言語化させたり、ジェスチャーやつぶやきなどで表出させたりする。具体的には、この場面では、一人一人の気づきが稚拙なものや不十分なもののことが多く、子供たちも自信がないことが多いので、短時間のペアやグループでの活動を設けたり、より肯定的に受け止めるインターラクティブなやり取りをしたりすることを心掛ける。その気づきをさまざまな方法で表出させる場を設け、それらを取り上げ、価値づけるようにする。

次に、出てきた個々の気づきをクラスに広げ、共有していく中で、本時のクラスの問いを作っていく。ここでのインターラクティブなやり取りは、問いを焦点化するために、個々の気づきをつなぎ合わせたり、弁別したりするためのものになっていく。もちろん、ここでは、授業のねらいや教材の価値や本質を鑑みて、コーディネートすることが教師の腕の見せどころになってくる。

最後に、自分たちの問いに対する考えを見つけ、その考えを共有する中で、新たな気づきが生まれ、新たな問いが生まれるように授業を組み立てていく。その新たな問いは、授業内で

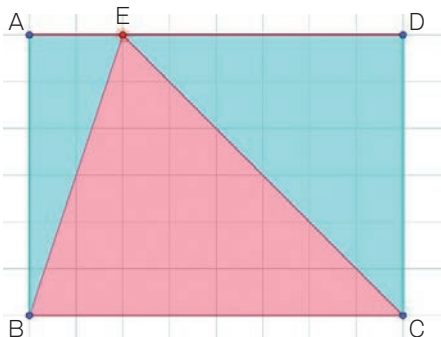
完結しなくてもよい。次の授業の問いになったり、授業が終わっても自主ノートや各自の頭の中で続いたりするような問いなら、なお素晴らしい。また、考えを共有するために説明し合う場、その説明を解釈する場を意図的に設定していく。説明し合う活動では、自分の考えが整理され、理解がより深まっていく。そして、解釈し合う活動では、他者の考えと自分の考えを比べ、修正し、関連づけるような場を設定する。一人では気づくことができなかったことに気づき、より数学的な価値の高い考えにつながると考えるからである。ここでのインターラクティブなやり取りは、初めの問いから発展させるものであり、授業のねらいに迫るものを子供たちの雰囲気や実態を考慮しながら考えていくようにする。

3 ◆ 気づきから問いを創る授業の実践

算数 5 年の「図形の面積」の実践を紹介する。この授業は、単元終了後、特設の時間（2 時間）として設定した。

（1）図形の面積【第 1 時】

① 気づきが生まれるまで



長方形 ABCD があります。点 E は長方形の辺上を動かすことができます。その動いた点 E から各頂点 A, B, C, D に直線を引くと、上の図のように、三角形ができます。

「点 E を動かすと、レッドとブルーはどちらが広いかな」と問うた。子供たちは、動かしてみないとわからないということだったので、各自のタブレット上で、図形シミュレーションソフトを使って自由に点 E を動かす時間を設けた。子供たちは、思い思いに点 E を動かした。「同じときもある、違うときもある」「いつも同じ」という反応だった。

② もし点 E が頂点 A なら

「では、どこだったら、確実にわかるかな」と問うた。点 E が各頂点だったらわかるという反応だったので、点 E が頂点 A に

あるときを考えた（図 1）。このときは対角線で区切るので、2 つの面積が同じということに多くの子供たちが納得したようだった。

ここで、「点 E が辺 AD 上にあるときは、面積が同じかどうかはわからない」という気づきが出てきた。

まず、気づきを出した子供を褒め、点 E が辺 AD 上にあるときを考えることにした。このように、勇気を振り絞って質問や疑問を発言する子供は、問いをもつ力のある子供だと考える。そういう力を育てながら、クラスとしても、気づきが出やすい授業の雰囲気を創っていかうと心掛けている。

③ もし点 E が辺 AD 上なら

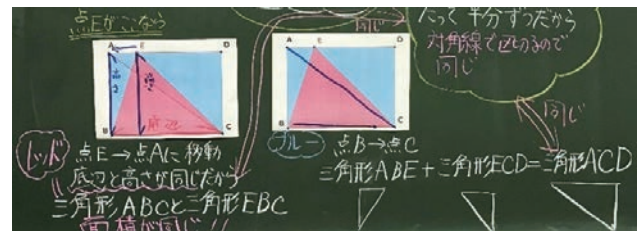


図 2 点 E が辺 AD 上にあるとき

点 E が辺 AD 上にあるときは、図 2 のように、点 E を移動させて、ブルーの 2 つの三角形を 1 つにすることで、頂点 A にあるときと同じ形に変形して解決していた。気づきから授業を創っていくことで、授業につながりが生まれた。前田（1979）は、「知識は、その知識が形成され、発見されてきた思考過程についての理解が伴わないと、その本質的な意義がつかめず、十分にその知識を活用することができないものである」と述べている¹⁾。

第 1 時はここで終わったが、振り返りには、「もし、点 E が辺 CD 上にあったら」「もし、点 E が内側にあったら」と次の授業への気づきが出ていた。

（2）図形の面積【第 2 時】

① 気づきが生まれるまで

「点 E が頂点 A や辺 AD 上にあるときはレッドとブルーの面積は同じだったね。いつも同じなのかな」と問うた。多くの子供たちは同じという雰囲気だったが、何人かが「他の辺で確か

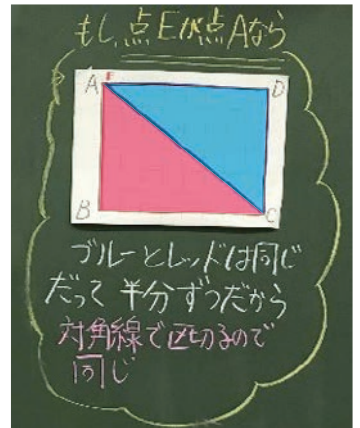


図 1 点 E が頂点 A にあるとき

めてみないとわからない」と主張した。「他の辺ってどこかな」と聞くと、「例えば、辺 CD とか辺 AB」と答えた。子供の気づきから授業を創るという以上、このような少数の気づきも大切にしようと日々心掛けています。

②もし点 E が辺 CD 上なら

点 E が辺 CD 上にあるときは、前時と同じく“点 E を頂点に移動する”考えともう一つの考えが出てきた。それは、小さな2つの長方形に分け、それぞれを対角線で分ける考え方であった(図3)。この考え方は好評だった。

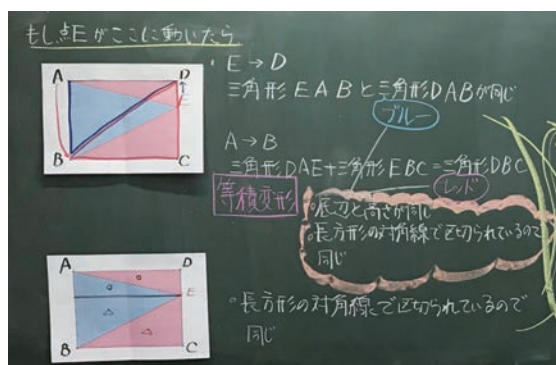


図3 点 E が辺 CD 上にあるとき

③新たな気づきが生まれるまで

「レッドとブルーの面積はいつも同じになるかな」と問うた。振り返りにもあったので、子供たちを信じて待った。ある子供が、「点Eって辺上以外も動くことができるんですか」と尋ねてきた。「例えば、どこを動くことを考えたのかな」と問い返した。「長方形の内側とか」という声に、「それありなの」と怪訝そうな子供も何人かいたが、多くの子供が賛同したので、学びを続けることにした。教師の設定を変えるというのは子供には難しいことだが、この展開をねらって、初めは点Eの移動範囲を辺上に制限していたので、授業を続けた。この後、点Eを自由に動かす時間を設けた。子供たちはさまざまなことをつぶやきながら動かしていた。



図4 点 E を動かす子供

④もし点 E が長方形の内側なら

点 E が長方形の内部にあるとき、子供たちにレッドとブルーの面積が同じか同じではないかを問うと、ほぼ半数ずつであった。

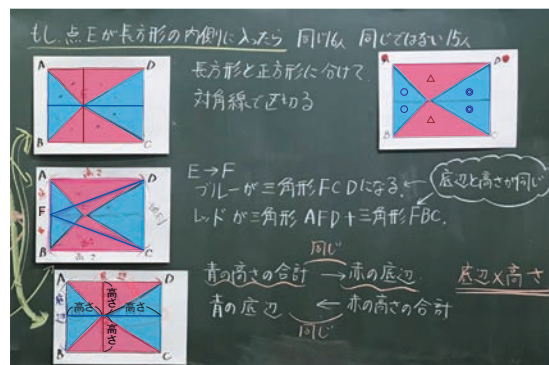


図5 点 E が内部にあるとき

その後、図5のような4つの考えが出てきた。小さな長方形に分ける考え方がここでも好評だった。また、ブルーの高さの合計とレッドの底辺の長さが同じで、ブルーの底辺の長さとしてレッドの高さの合計が同じになり、同じもの同士をかけたのだから、それぞれの面積は同じになるという考えも出た。

4 ◆ 実践を振り返って

“子供の気づきから問いを創る授業”は、多くのことを子供に委ねるので教師に覚悟がいる。しかし、子供の反応はよくなり、さまざまな気づきや質問や疑問、そして、「わからない」という声があがるようになった。それらの声から小さな手応えを感じつつある。また、今回の実践で使った図形シミュレーションソフト(ジオジェブラ^{ジョジエブラ} GeoGebra)には非常に可能性を感じた。自由に操作することでさまざまな気づきなどが生まれ、次につながるアイデアが生まれてくる。紙では表現しにくい動的な見方を働かせるためのきっかけになると考える。動的な見方ができるようになると、バラバラなものからつながりが見えてくる^{*2}。まさに、本実践の中でも、動的に見ることにつながりが出てきた。

ただ、本時で一番悩んだことは、どこまで制限をかけるか、どこでどう発問するかなどの子供との関わりであった。これからも“気づきから子供にとっての問いを創る授業”を実践するために、悩み続けていくことにする。

参考・引用文献

*1 前田隆一『算数教育論』金子書房 1979

*2 飯島康之『ICTで変わる数学的探究 to 2030』明治図書 2021

III 学びの保障と GIGA スクール構想につながる コロナ禍における教育実践

兵庫県伊丹市立天王寺川中学校 教諭

坂本 泰朗 / さかもと たいろう

兵庫教育大学学校教育学部卒、伊丹市立笹原中学校教諭、伊丹市立西中学校教諭を経て、現職



1 ◆ コロナ禍における学校教育

2020年2月27日に突如、全国の学校園を対象とした臨時休校要請があり、全国のすべての学校の教育活動が止まり、学校現場において多くの課題が浮き彫りになった。その課題に柔軟に対応し、生徒一人一人の学びを止めないよう我々教職員は、教育者としての自覚と責任、覚悟をもって、創意と叡智を結集し、迅速に解決策を見出さなければならない。

また、コロナ対策以外にも、急激に変化する時代にあって、生徒たちが予測できない変化に対して、主体的に向き合い関わり合い、自らの可能性を発揮し、未来社会を創り出す「生きる力」としての資質・能力を育てなければならない。

今後、個に応じた指導の充実や、ICT機器の有効活用、「主体的・対話的で深い学び」の視点からの授業改善、個々の家庭の経済事情に左右されない「個別最適な学び」と探究的な学び、異なる考え方を組み合わせてよりよい学びを生み出す「協働的な学び」を実現させ、生徒たちにとって学んだことが、日々の生活に役立つよう取り組まなければならない。そのため、「学びの保障と GIGA スクール構想につながるコロナ禍における教育実践」をテーマとして、日々の教育活動及び、専門教科である数学の授業を中心に研究に取り組んだ。

2 ◆ コロナ禍で見えた課題

コロナ禍で教育活動を行うにあたり、次々と多くの課題が我々にのし掛かった。そこで、コロナ禍で漂う閉塞感を打破し、職員が一丸となった取り組みについて紹介する。

1つ目は、生徒一人一人の「学びの保障」である。臨時休校の要請以降、学校が再会しても、さまざまな理由で登校することができない生徒が急増した。そのため、GIGA スクール構想により配置された一人一台のタブレット端末を有効に活用して、教育機会確保法でもある『誰一人取り残さず、すべての子どもたちが将来への希望を持って自ら伸び、育つ教育』を進めた。

2つ目は、「学習支援ソフトを活用した学習形態」である。臨時休校以前は、協働的な学習を行うため、他者との一定の身体的距離を離すことを考えることなく、ペア学習、グループ学習などを積極的に行い、他者との対話を重ねて授業を展開していた。そして、学習形態を工夫して数学的思考力の育成や、発表する場面などにおいて論理的思考における表現力の育成を図ってきた。しかし、臨時休校後は感染症対策を徹底させるために、他者との一定の身体的距離を確保する教育活動が求められた。マスクを着用し、他者との身体的距離を確保するため、グループ活動などに制限がかかり、対話的で深い学びを行うための教育活動に支障が出た。また、器具などを活用した操作活動においても、互いの器具を共有する場面などは、感染症対策を徹底しなければならないため、体験活動や実験などを実施することに支障が出た。

数学の授業において、器具を操作する活動や意見を交流する活動が行えないことは、これまで培ってきた数学的思考力の育成や、論理的思考の表現力の育成が損なわれる危険性をはらんだ。そのため、これまでの教育活動が行えない中、数学科教員の創意と叡智を結集し、組織的に感染症対策を徹底しながらも、タブレット端末を有効に活用して、「主体的・対話的で深い学び」の視点からの授業づくりに努めた。

3 ◆ 学びの保障

生徒たちの学びを止めることは、生徒たちの基礎・基本の学力の低下を招き、思考を深めたり、表現したりすることができない。特に、数学においては基礎的な計算力や数学用語の理解、図形の性質など基礎的な学力がなければ数学的思考を用いて考えたり、ある事象を推測したり、考察したりすることができず論理的思考力も深められない。コロナ禍を理由に生徒たちの学びを止めないよう工夫した。

これまででは、欠席した生徒への学びの支援の方法としては、授業で使用したプリントや授業のノートのコピーを家庭訪問にて配付したり、放課後の学習会などを利用して個別の学習補習を行ったりしてきた。しかし、コロナ禍により、出席停止や学級閉鎖などで登校できず授業を受けられない生徒たちが想像をはるかに超えるスピードで急増し、これまでと同様の対応が困難になった。そのため、授業を受けることができない生徒への学びの保障を確保するために、タブレット端末を有効に活用した。

当初4年間で一人一台の端末を配置するGIGAスクール構想が前倒しになり、令和2年度に配置されたことは、学校のICT環境の構築に大きな一歩となった。すべての生徒たちが、タブレット端末を毎日家庭に持ち帰り、リアルタイムで授業を視聴することができた。機器の不具合などで接続できなかった生徒には、後日、学習支援ソフトで板書や授業に関する動画を配信するなどの対応をした。生徒が家庭にいても、教室に設置しているタブレット端末にオンラインでつながることで、黒板と授業者を中心に、授業のようすを視聴できるようになった(図1)。

当初は、ICT機器に不慣れな生徒たちが、オンラインに入れなかったり、教師もタブレットの操作に慣れておらず音声や画面が思うように確認できなかったりする場面があった。ただ、導入して1か月も経過すると生徒も教師も操作に慣れはじめ、タブレット端末の画面共有の機能や、撮影方法など工夫して扱うことができた。生徒たちは、家庭にいてもオンラインで授業に参加することが当たり前になった。

その結果、欠席明けに授業の内容の話題についていけないということが少なくなった。特に、数学の授業では、証明問題や規則性を見いだす活動を共有することができたことで、欠席明けの学習活動がスムーズになったように感じた。さらに、次の単元や課題に対しても、抵抗なく学習を進めることが容易になった。

一方、教師自身が罹患したり、同居者が罹患したりした場合は、教師は当分の間、自宅待機しなければならない。そのような場合でも、教師は家庭から授業を配信した。例え罹患した教師の症状が重症化しても、罹患した教師と同じ教科の教員が他のクラスで行っている授業を視聴できるようにした。その際、教室に教師を1名配置し、オンラインでつないだり、学習の支援を行ったりした。そのことで、授業の内容における質問などがあれば、監督の教師に伝えて生徒の声が迅速に授業者に反映できるようにした。どのような局面になっても学びを止めないように努めることで、教師の授業に対する意識が向上し、本校の授業の質も変わってきたように感じる。

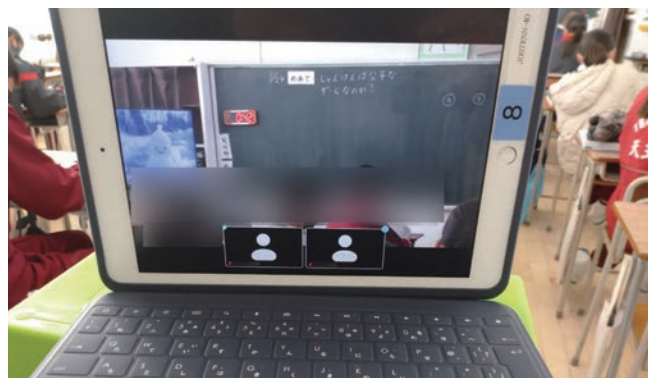


図1 オンラインを利用した授業配信

4 ◆ 学習支援ソフトを活用した学習形態

コロナ禍のため、学習形態にも大きな変化があった。意見や考えの交流を通して、学びを深める教育活動を行ってきたがでず、どのような対話の方法があるのか検討を重ねた。

これまでの数学における授業の流れは、問題を確認し、「①一人一人が個人で考える」「②グループ内で意見交流を行い考え、それぞれのグループが発表する」「③全体でのまとめを行う」「④再度、個人で考え、学習内容を振り返る」となっており、①では既習の内容や経験を基に自分の考えをまとめる。②、③では自分の考えを表現し、他者の考えとの共通点や相違点などを比較することで考え方を広げる。④では自分の考えを見直し、学習の振り返りを行ってきた。

しかし、コロナ禍により、グループ活動の制限がかかり、すべての活動を従来と同様に実施することが困難になった。しかし、コロナ禍とGIGAスクール構想は授業の変革のチャンスで

あると捉え、②、③において学習支援ソフトを活用した。

学習支援ソフトの中には教材を生徒に配付したり、ソフト内でそれぞれの生徒たちの意見を出し合い対話したりすることができるソフトがある。

学習支援ソフトを活用して、生徒たちが自分の意見や考えを他者に伝え、逆に他者の意見も容易に視聴できるようにした。生徒たちが互いにどのような意見を出したのか、確認することで、タブレット端末の中で対話的で深い学びが行えるようになった(図2)。

また、クラス内だけではなく、他のクラスの生徒の意見も確認できるようにすることができ、一度に大勢の意見や考えを知ることができ、生徒たちが他者の意見を読んで新しい発見や、疑問に思ったことなどを考えることができた。

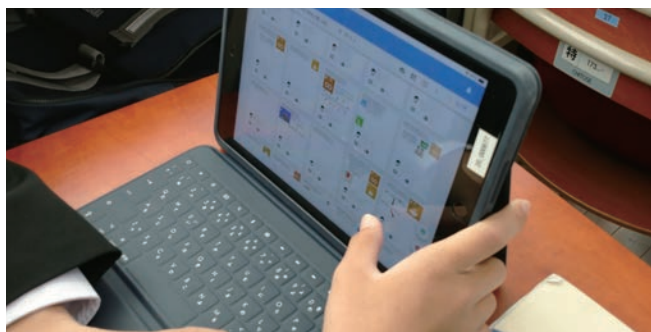


図2 学習支援ソフトの共同閲覧にて意見交流



図3 オンラインと学習支援ソフトを併用した場面

さらに、登校できない生徒も、オンラインでの授業配信だけでなく、学習支援ソフトを活用して家庭内でも教室にいる生徒と同様の学習問題などに取り組めるようにした(図3)。

また、学校で授業を受けている生徒たちとタブレット端末を通じて、意見や考えの交流が行えるようにもした。そのことで、生徒が教室にいても、家庭にいても同様に学習に取り組め、しかも、教師も生徒の学習状況を把握することができ、迅速かつ丁寧に一人一人に応じた学習支援につなげることができた。

学習支援ソフトの使用方法は教師によってさまざまではあるが、すべての教師が授業で活用できるようになった。

加えて、学級活動や総合的な学習の時間における学習活動でも取り入れることができた。例えば、総合的な学習の時間では、一人一人がさまざまな課題について調べ学習を行う際、学習支援ソフトで調べた内容をまとめ、共同閲覧で意見交流を容易に行うことができたようにした。また、学級活動ではクラスのルールづくりなど、家庭にいる生徒も意見交流ができるため、登校できない生徒もクラスの一員としての認識をもてた。

さらに、夏季休業などの長期休業中でも学習支援ソフトを活用して、配慮を要する生徒たちの状況を把握した。定期的に、生徒たちのようすが担任に伝わるようになり、緊急を要する場合などは、迅速に把握することができた。また、生徒から送られる内容を通して、学年職員も把握することもでき、組織的な対応も可能となった。

一方、これまでおもに活用してきた学習支援ソフトは、基礎学力の定着や、家庭学習の習慣化などを目的に授業に沿ったプリントを作成し、家庭で学習プリントなどに取り組めるものであった。各単元のまとめの確認テストとしても活用していた。

数学においては、練習量を多くこなす必要がある計算問題などは、これまで課題をプリントで配り、自己採点を行って一方通行的になる傾向があった。そのため、テストなどの限られた機会にしか定着度を確認することができず個々の支援も遅れてしまうことがあった。しかし、タブレット端末によるさまざまな学習支援ソフトを活用することで、タブレット端末の画面上で、学習に取り組むことができ、即座に生徒の定着具合を確認することが容易になった(図4)。

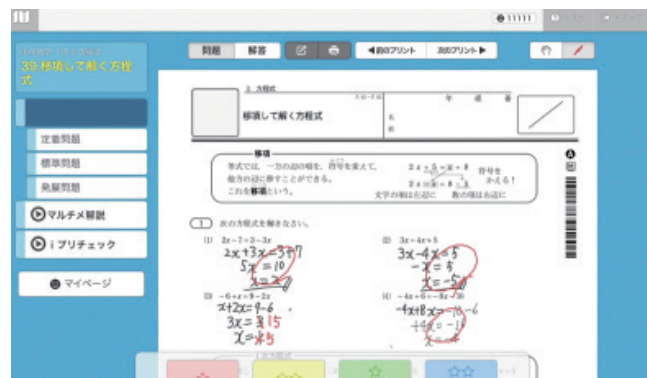


図4 学習支援ソフト

5 ◆ 期待できる生徒の姿

近年、人口減少や就業構造の急速な変化、グローバル化、AI等の技術革新による「Society5.0」の到来など、これから生きていく生徒たちの未来は、ますます不透明で予測不可能な時代となっている。その大きな社会変化を見据えて、生徒たちが人間ならではの強みを発揮し自立的に生き、社会の形成に参画するための資質・能力を育成することが求められる。「Society5.0」の時代を迎え、答えのない問いでも、他者と協働して知恵を出し合い、問題解決する力を付けさせるや、自ら問題を見つけ、議論を通じて修正していく力が必要である。

学習指導要領においては、自らが発見した問題について主体的に考え、多様な立場の人々と議論を重ね「正解」や「最適解」では解決できない課題と向き合って、「納得解」を生み出すことができる資質・能力を育成することが求められている。

そこで、タブレット端末を有効に活用して、生徒たちが主体的・探究的な学習に繋げる手立てとしていきたい。また、普段の授業において教科書どおりに解答する力だけでなく、自ら問題を設定して、答えを求める方法を知るための探究心や、他者と議論しながら意見を修正する力を育成していきたい。

さらに、ICT機器を効果的に活用して、へこたれず粘り強く取り組む力や意欲、コミュニケーション力、プレゼンテーション力も育成させていきたい。

昨年度の全国学力・学習状況調査において、「数学の勉強は好き」「数学の授業の内容がよくわかる」「数学の勉強は大切」「数学の授業で学習したことは、将来社会に出たときに役立つ」など、すべての質問項目が上昇し、全国を上回ることができた。

要因としては、これまでの全国学力・学習状況調査の結果から、「複数の文章や資料から必要な情報を見つけ出す力や日常の事柄を表やグラフを用いて数学的に解釈する力に課題がある」と捉え、ICT機器を効果的に活用しながら、思考力や表現力を重視した授業づくりに取り組んだ成果だと考えている。

図5は全校生徒を対象に実施したある教員の授業評価アンケートをレーダーチャートで表した2年間の変化である。チャートの右半分は授業の進め方や授業形態について、左半分は教科に対する生徒の思いや姿勢を表している。

学習支援ソフトなどを有効に活用した授業改善により、生徒の受け止め方も大きく変化したことがわかる。さまざまな項目

授業評価アンケートから昨年度の結果との比較
〈事例1〉同一授業者の1年経過後の変化

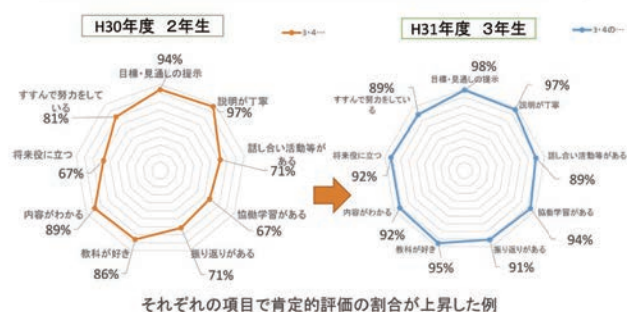


図5 生徒による授業評価アンケートの1年後の変化

で8割を超える結果となり、コロナ禍で行ったICT機器の活用による学習支援が生徒たちの中で一定の評価につながってきた。

今後、数学の授業を含めたすべての教育活動を通して、「①変化の激しい社会において、何が重要かを判断する力」「②自分の考えを明確に説明しながら、多様な人々と協働していく力」「③さまざまな課題に対して、解決方法を模索して解決方法を見つけ出し、新たな価値を創造する力」などを育成したいと考えている。

6 ◆ これからの学校教育について

コロナ禍で見えてきた学校教育の在り方において、従来のやり方に縛られるのではなく、ICT機器などを柔軟に効果的に活用した教育活動へと変化していかなくてはならない。

昨今、「生徒の居場所」について報道などで取り扱われているが、登校することが困難な生徒において、オンライン授業に参加できることが常態化してきており、生徒たちの学びが保障され、これまでとは異なる形の居場所となっている。

現在は、新型コロナウイルスの影響で世の中が大きく変化した。急激に変化する時代において、今後も、何が起こるかわからない。時代の変化とともに柔軟に学校教育の内容を変化させていくべきである。生徒たち一人一人がよりよい社会や人生を切り拓き、学びを生かす力を高めるために、学校教育の充実を図り、新たな取り組みを積極的に取り入れ、挑戦する心を大切にしていきたいと考えている。

参考・引用

*1 株式会社コードタクト『school Takt』

*2 日本コスモトピア『みんなの学習クラブ』

IV 「コロナ禍」における「2022 共通テスト数学」が現場にもたらしたもの

広島市立舟入高等学校 教諭

吉田 浩一 / よしだ こういち

広島県出身。教職34年目。平成元年3月広島大学大学院学校教育研究科数学教育専攻修了。同年4月広島市立高等学校教諭として新規採用。広島市立高校2校、広島大学附属中学高等学校、広島市立基町高等学校勤務を経て、令和3年4月より現職。県内外の生徒の指導や若手教員の育成に尽力中。



1 ◆ はじめに

2019年12月に中国河北省武漢市を中心に発生した新型コロナウイルスは、国内でも瞬く間に全国に拡大していった。2020年2月末に当時の安倍首相は全国の小中高등학교、および特別支援学校に一斉休校の要請をし、これを受け文科省は事務次官名で3月2日から春期休業開始までの間、臨時休業するよう通知を出した。4月には一旦学校は再開されたものの4月半ばには再び臨時休業に入り、全国の学校現場は日々対応に追われた。臨時休業は5月31日まで延長されることになり、このとき、現場は、授業の遅れを取り戻すためにさまざまな試みを行った。ネットや情報誌を通じて、先進的な取り組みが日々紹介され、オンライン授業のためのハード・ソフト両面の整備が喫緊の課題となった。併せて、オンライン授業の在り方や方法論などが話題となった。そのような「コロナ禍」で行われた「2021共通テスト数学」は、「センター試験の雰囲気」を若干残しながらの比較的穏やかな出題であった。しかし、翌年行われた「2022共通テスト数学」は打って変わって数学がIA、IIBともに大幅に難化し、その平均点が過去最低の結果となった。

「コロナ禍」における、数学教育、そして学校教育はいかにあるべきかが模索されていた中で2回の共通テストが実施された。とりわけ「2022共通テスト数学」が現場にもたらしたものは何なのか。このことについて私見を述べさせていただきたい。

2 ◆ これまでの経緯

大学入試センターが行う、いわゆる国公立大学入学試験の1次試験は、「共通1次」、「センター試験」と名称が変化しながら1979年度入試より2020年度入試までの長きにわたり実施されてきた。教育現場では、いわゆる「センター対策」として、マークシート方式の問題集を持たせ、問題文の誘導に乗り、短時間で結果を出すドリル形式の演習が繰り返されてきた。教師も、「立ち止まって考え込む時間など無い」との判断から、「考えることよりも答えを導き出すこと」を指導し、解法が思いつかなければ「途中で投げ出すこと」も勧めてきた。それは、「時間制限のある試験に対応するための必要悪」として、「大いなる後ろめたさ」を伴いながらの、やむにやまれぬ指導であった。しかしながら、こういった経験や指導により、高校生は初見の課題に対して怯むことなく挑戦し、考え続ける機会をことごとく奪われてきた。

これまで、センター試験そのものに対するさまざまな問題点が指摘されてきたが、学校現場は、入試が変わらない以上、センター対策を続ける以外になかった。そんな中、2004年5月30日の朝日新聞において、東北大学から、「1次試験のセンター試験数学と理学部入試における記述式の数学の成績に関して、相関が極めて低かった」との調査結果が紹介された。

こうして、2012年頃から「大学入学共通テスト」への移行が検討され始めた。さまざまな議論が行われ、当初は記述形式の設問の導入も検討されたが、結局全問マークシート形

式での出題に落ち着き、2021年度「大学入学共通テスト」を迎えることになった。

3 ◆ 日本の算数・数学教育について

振り返ってみれば、児童は小学校において「割合」を学ぶときに登場する「く・も・わ」や「速さ」を学ぶときに登場する「は・じ・き」など、Howを身につけて答えを当てることを経験する（芳沢 2019 p.6）^{*1}。そして、中学校においても、与えられた課題を教わったように解答することの精度を競い合い、精度が高ければテストで高得点を獲得することができ、結果高い内申点を与えられた。このような環境下で、小中高と教育を受けてきた学生は、「与えられた事や決められた事は効率よく覚えてこなすが、自分の頭で主体的に考える能力、自ら課題を発見する能力、答のない問題を解決する能力等が欠如している」という（白井 2016.4）^{*2}。

4 ◆ 自らの経験の中で

実は筆者にはかつての勤務校で、数学教師として忘れられない経験がある。それはもう随分前のことになるが、ある年の3年生理系数学（ⅠAⅡB）演習の授業での出来事である。授業では、扱う問題と、それぞれの問題を担当する生徒を事前に決めておいた。そして、順に板書してもらい、担当生徒と言葉を交わしながら解答の添削を行い、その問題内容に関わる補足説明を加える形式を採っていた。

自然数 n が不等式 $38 \leq \log_{10} 8^n < 39$ を満たすとする。このとき 8^n は $\overset{\text{ア}}{\boxed{}}$ 桁の自然数で、 n の値は $n = \overset{\text{イ}}{\boxed{}}$ である。また、 8^n の一の位の数字は $\overset{\text{ウ}}{\boxed{}}$ で、最高位で数字は $\overset{\text{エ}}{\boxed{}}$ である。ただし、 $\log_{10} 2 = 0.3010$, $\log_{10} 3 = 0.4771$, $\log_{10} 7 = 0.8451$ とする。

図1 関西学院大学 2010 年入試問題

図1の問題の「類題」を扱ったとき、担当の生徒は、丁

寧な文字で、かつ、とても読みやすく整理し、正に非の打ち所のない解答を板書してくれた。素直に感激した筆者は、「先生の出番はないね。素晴らしいです。せっかくだから貴方がみんなに説明してあげて下さい」と伝えと、衝撃的な言葉が返ってきた。「できません」と言う。驚いた筆者は理由を尋ねた。すると、「私たちは、このように進めると答えが出ると教わってきました。だから、理由はわからないのです。だから、できません」と言う。筆者は振り返り、他の生徒に対して「君たちも同じですか」と尋ねると、みな真顔で首を縦に振ったのである。このとき、筆者は「私たちはこんな教育をしてきたのか。いや、こんな教育しかしてこなかったのだ」と気づかされた。気持ちを整理し、生徒に謝罪した。「本当にすまなかった。申し訳ない。もう一度、常用対数の授業をさせてもらって良いですか」と尋ね、生徒の了解を得て、翌日に授業をやり直した。説明を終えたとき、これで理解は深まりましたかと尋ねると、生徒たちは笑顔で首を縦に振ってくれた。

恥ずかしながら筆者はこのとき、「正解を導き出した生徒の中には、理由もわからずに丸暗記して答案を書き上げる生徒が存在する」ことに気づかされたのである。それ以来、筆者は、授業中に徹底的に「なぜ」を投げかけることにした（『Career Guidance Vol.430』p.18）^{*3}。

年度が改まり、4月から教えることになった生徒たちには、「常になぜを忘れないこと。答えを求めることを目的とせず、深く考える過程こそ重要」と繰り返し述べるようになった。3年生には、まず、「三角形の外心とは何か。どうすればその位置は特定できるのか。コンパスで垂直二等分線を作図できる理由は？」と尋ねた。その後、三角形の3つの角の二等分線の交点が内心である理由や、コンパスで角の二等分線が作図できる理由について尋ねると成績優秀な生徒も下を向いてしまうことが多かった。この実践は毎年行ってきたが同じ状況が繰り返された。つまり、幼い頃からHowが学びの終着点であり、Whyにこだわらなくなってしまっていたのである。しかし、このことは学ぶ側の責任ではなく、教える側の責任ではないかと筆者は長年感じてきた。何とかこの状況を改善しようと、思いを共にする少数の仲間と日々ながいてきた。まだ、私たちが「コロナ禍」を知らなかったときの話である。

5 ◆ コロナ禍で行われた「2021共通テスト」

「コロナ禍」において、初めて行われた「2021 共通テスト」は過去の傾向からも予想されたとおり、穏やかな出題となった。平均点は数学ⅠAが57.68点、数学ⅡBが59.93点であった。そして、内容的には、出題方針に沿って日常の事象を数理的に捉えることや、課題解決のために見通しを立てること等々が求められる出題であった。すなわち、「主体的・対話的で深い学びの視点からの授業改善」に現場が向かっているかを強く問うたものであった。「2021 共通テスト」により、2022 年度以降の方向性と、対話形式の長文の要点を素早く捉える「読解力」や、過去の知識や問題文中に示された情報を的確に活かすことのできる「思考力・判断力」が求められることが示された。しかし、このときは、各教科とも適切な問題レベルであり、これまでの「センター対策」を行うことである程度の対応ができるのではないかといった受け止めが大半ではなかったか。各出版社から出された、いわゆる「共通テスト対策問題集」も、「2021 共通テスト」の傾向を踏まえた上で、「適切な負荷のかかった」良問が掲載されていたように思う。

「2021 共通テスト数学」が一定の評価を受ける中、2021 年度を迎えることになるが、前年度から続く「コロナ禍」により未だ学校現場は翻弄され続けていた。そんな中であっても高校生は、「コロナ禍だからこそできたこと、学べたこと

がある」と、日々希望を見いだしながら来たるべき日に向けて準備を重ねていったのである。

6 ◆ 「2022共通テスト数学」の衝撃

既に多くの受験雑誌やネットなどで「2022 共通テスト数学」について採り上げられ、そこでは、難易度・分量等々の分析や評価がなされている*4。

図2が示すとおり、「共通テスト数学ⅠA」は過去最低の平均点37.96となった。「共通テスト数学ⅡB」は過去最低ではないものの、その平均点は過去2番目の低さとなった。

平均点の大幅な下降の原因はさまざま指摘がされているので、ここでそのすべてを採り上げることは差し控えることにするが、数学ⅠAでは、図形問題・整数問題の難化が挙げられ、特に整数問題に関しては、最終問題のハードルの上がり方が急激すぎることで、また、数学ⅡBでは、解答時間は従来と変わらないにもかかわらず、読むべき文の量が大幅に増加していることなどが挙げられる。

繰り返しになるが、「2022 共通テスト数学」の課題を指摘するコメントが多いのは事実である。しかしながら一方で、出題の意図を受けとめ、現場は変わらなければならないとの前向きなコメントも多い。筆者はもちろん後者の立場を採る(『Guideline 2022.7-8』p.55)*5。

かつてセンター試験は、パターン学習の繰り返しによりある

程度の成果が期待できた。

しかし、共通テストにおいては、題材の多様化と融合問題の出題により、ほぼ初見の問題に当たる可能性が高まり、パターン学習が通用しないことはほぼ明らかとなった(『2022 年度大学入学共通テスト分析資料集』p.24)*6。教育現場を任された私たちは、「大学入試センターからの挑戦」を受けて立つしかない。

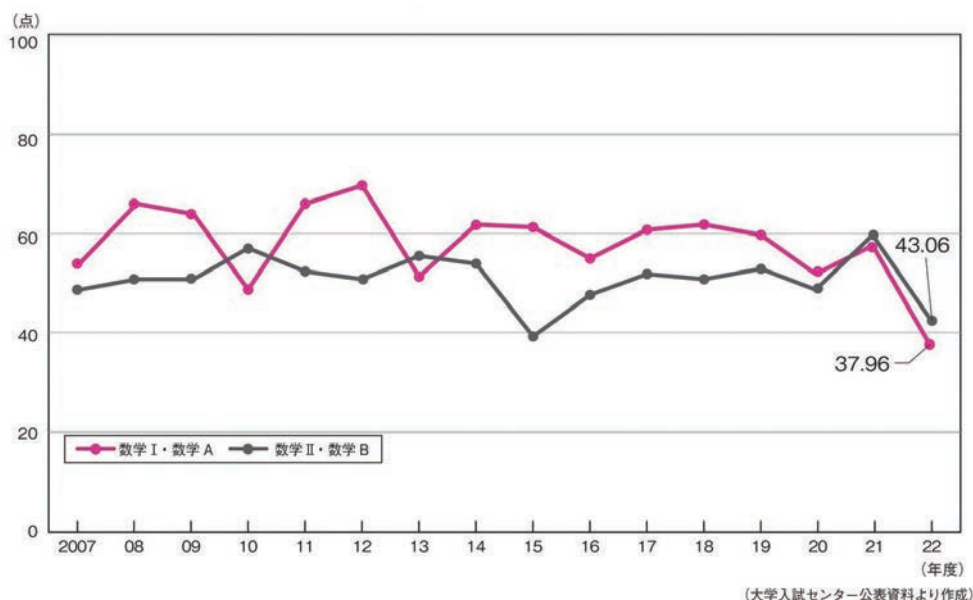


図2 センター試験・共通テスト数学の平均点推移(2007～2022年度)

7 ◆ 今後の数学教育について

一昨年度より続くコロナ禍において、2021年1月26日に中教審答申『「令和の日本型学校教育」の構築を目指して』が公示された（図3）。

第I部総論において、これまでの「日本型学校教育」の成果や課題が示されており、以降、「令和の日本型学校教育」の構築に向けた今後の目指す方向性が述べられている。その中で、「一斉授業か個別学習か、履修主義か修得主義か、デジタルかアナログか、遠隔・オンラインか対面・オフラインかといった「二項対立」の陥穽に陥らず、教育の質の向上のために、発達の段階や学習場面などにより、どちらの良さも適切に組み合わせて生かしていく」とも述べられている。さらに、『Society5.0時代における教師及び教職員組織の在り方について』の中で、「教師のICT活用指導力の向上方策」についても6点の指摘がなされている。

この部分について筆者は異論を唱えるつもりはまったくない。しかしながら、どのような方向に進もうとも、現場を預かる指導者がHow型教育を止め、「主体的・対話的で深い学び」を日々実践しない限り、「令和の日本型学校教育」に多くは期待できない。「2022共通テスト数学」は、現場教師の意識変革の必要性を衝撃とともに伝えてくれた。

かつて、「コロナ前」のある年に初めて授業を受け持つことになった3年の女子生徒は、「私が数学を嫌うのは、『それはそういうもの』が多い教科だからです」と、教える側に課題があることを的確に指摘していた。教える側が「Why」にこだわらず、「How」を押しつける指導を繰り返す余り、生徒は考えることを諦め、「ふーん」で終わってしまっている。限られた時間の中ではあっても、可能な限り「Why」にこだわり、生徒にあれこれ考える経験をさせたいとの思いをさらに強くしたことを思い出す。「2022共通テスト数

学」により教育現場が変わるはずだと期待するのは甘いだろうか。

既に「あれから」半年が過ぎた。出版業界も関係書籍の改訂へと動いているであろうが、今のところ十分に対応し切れていない。時間は刻々と刻まれており、目の前の生徒に残された時間も限られている。ならば、学校現場は、対策を出版物任せにせず、自分たちで教材開発へ向かい、授業改善を図るべきであろう。

コロナ禍における、「令和の日本型学校教育」実現のために必要なものは、「従来の日本型学校教育」の中で実現できなかった「教える側の意識改革」以外にない。❖

参考・引用

- *1 芳沢光雄 『「%」が分からない大学生』 光文社新書 2019
- *2 白井泰治（京都大学名誉教授）「センター試験の廃止に寄せて」『京都大学工学広報 No.65』2016.4
<https://www.t.kyoto-u.ac.jp/publicity/no65/essay/201605shirai>
- *3 吉田浩一 「『生徒にこうなって欲しい』から創る明日の授業」『Career Guidance Vol.430』pp.18-20 リクルート 2019.12
- *4 芳沢光雄 「『難しすぎる』共通テスト数学が抱える根深い問題」東洋経済ONLINE 2022.1.22
<https://toyokeizai.net/articles/-/504619>
- *5 『Guideline 2022.7-8』pp.47-55 河合塾全国進学情報センター
- *6 『2022年度大学入学共通テスト分析資料集』pp.13-25 河合塾

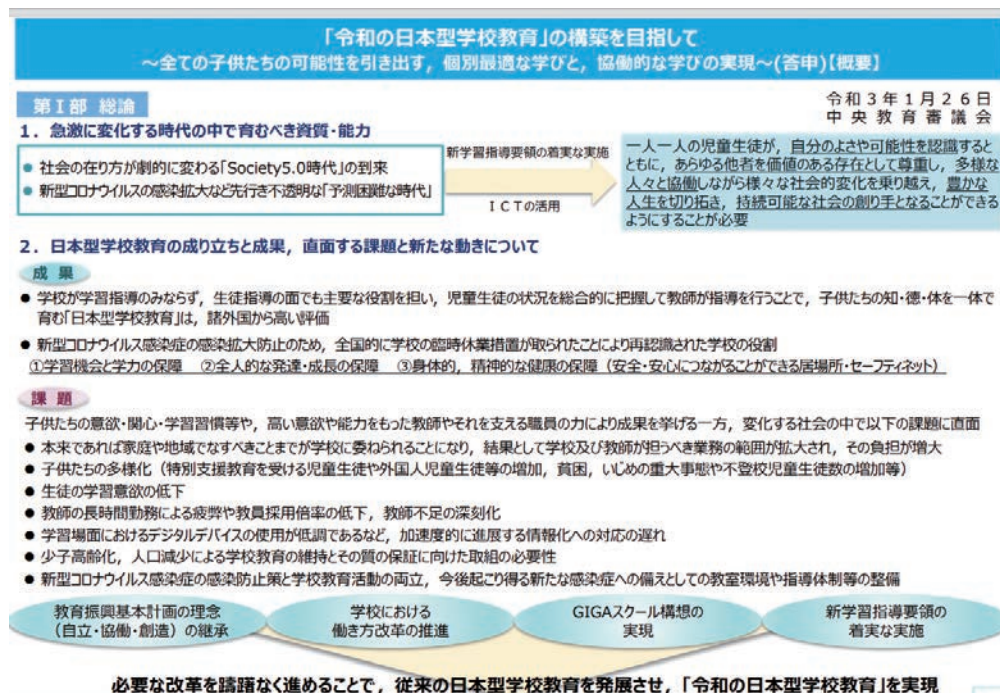
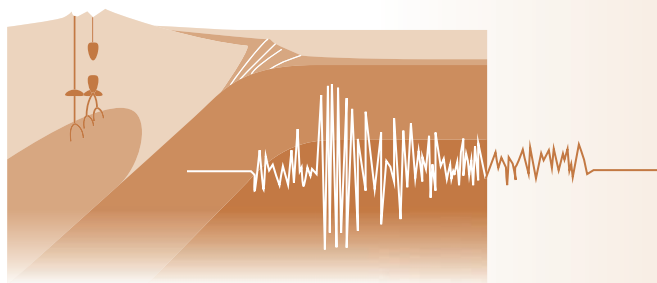


図3 中教審「令和の日本型学校教育」の構築を目指して

第9回

過去の気候変動
ー地球温暖化(その2)

開成中学校・高等学校 教諭

有山 智雄 / ありやま ともお



1960年生まれ。開成高等学校時代に受けた地学の授業でプレートテクトニクスや地震予知に興味を持つ。東京大学理学部地質学科卒業、同修士課程修了。修士での研究テーマは活断層の活動性の評価。1985年より東京学芸大学附属高等学校で、1989年より開成中学校・高等学校で地学を教える。高校地学の教科書の執筆にも携わる。趣味はトレッキングとロードバイク。常々伝えたいと思っていることは「地球に住むなら地球のことを知っていたほうがいい」

過去の気候変動

前回は地球温暖化が進行しているという事実があり、その原因として大気中の CO_2 など温室効果ガスの増加が考えられているということを、温暖化の起こる仕組みとともに見てきました。今回は過去の気候変動にスポットを当て、現在進行している地球温暖化が地球にとってどのようなものであるのかを考えていきたいと思います。

Q 温暖化が起こる前は地球の気温は一定だったのか？

答は NO です。図1は過去 80 万年間の気温変化を示したものです。およそ 10 万年の周期で 10°C 以上の幅（13 万年前は現在と比べて約 4°C 高く、2 万年前は約 10°C 低い）で変化していることが示されています。人類が石油・石炭などの化石燃料を大量消費し大気中の CO_2 の増加が顕著になってきた

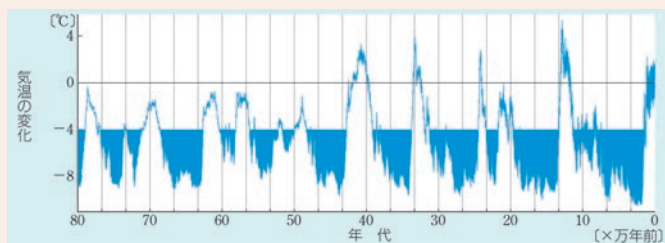


図1 過去 80 万年間の気温変化 『地学 改訂版』（啓林館）より引用。縦軸は、酸素同位体比から推定した過去の気温の、現在の平均気温との差。青色で塗りつぶした部分は氷期。

のは 1900 年頃です（第 8 回 図2参照）。そのはるかに前にも 10°C 以上の幅で平均気温が変化し、温暖化も起きていたのです。

Q 過去の気温はどうやって推定されたのか？

図1に示された過去の気温変化はどのようにして復元されたのでしょうか？

過去の気温は酸素の同位体比（ $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ）から推定されます。酸素には少し重い安定同位体（ ^{18}O ）が存在します。陸上の氷河は、蒸発した海水が雪として降り積もり融解せずに残ることで成長しますが、重い ^{18}O を含む水（ H_2O ）は蒸発しにくいので、陸上の氷河に固定される水（ H_2O ）は ^{18}O の割合が海水中より少なくなります。

そのため、寒冷な時期には陸上の氷河に含まれる ^{16}O が多くなり、海水中の ^{16}O は減少します。その結果、寒冷期の海水の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ が大きくなるのです。

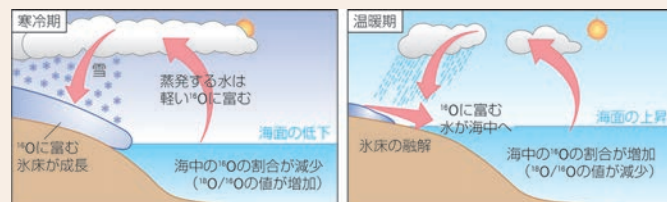


図2 気温の変動で変化する海水中の酸素同位体比 『地学 改訂版』（啓林館）より引用。

Q 過去の海水の酸素同位体比はどこに記録されている？

南極の氷などに記録されています。氷床の下の方にある氷には、過去の酸素同位体比が記録されています。図1は南極の氷床の氷の分析から推定した気温の変化です。

また、有孔虫などの化石（図3）にも生息していた当時の酸素同位体比が記録されています。炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）の殻を作るとき、海水中の酸素を取り込むためです。図4は有孔虫の殻の分析から推定した過去の気温変化です。

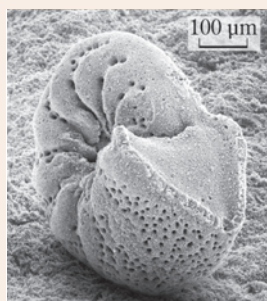


図3 有孔虫の化石
『地学 改訂版』（啓林館）より引用

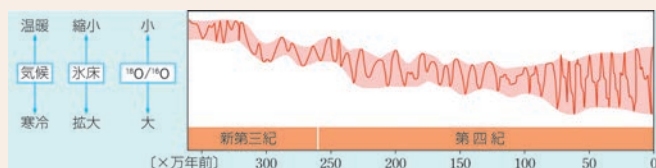


図4 有孔虫の殻の酸素同位体比と過去の気温
『地学 改訂版』（啓林館）より引用

ミランコビッチサイクル

図1や図4は、気温が周期的に変動したことを示しています。このような周期的な変化が生じるには何らかの理由があるはずですが、セルビアの地球物理学者のミランコビッチは1920年代に次の3つの天文学的な要素の周期的な変化が地球の気温の変化を引き起こすという学説を発表しました。

- (a) 地球の公転軌道の離心率の変化（約10万年周期）
- (b) 地軸の傾きの変化（約4万1000年周期）
- (c) 歳差運動（約2万6000年周期）

これらの変化がどのようにして地球の気温の変化を引き起こすのか、まず、(b) 地軸の傾きの変化の影響を見てみましょう。

地軸の傾きは現在 23.4° ですが、約4万1000年周期で $21.5^\circ \sim 24.5^\circ$ の範囲で変化します。地軸の傾きが変化しても地球全体に当たる太陽の光の量は変化しないはずですが、平均気温に影響が出るのはなぜなのでしょう。

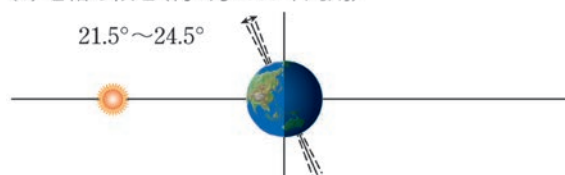
Q 地軸の傾きが大きくなると季節変化はどうなるか？

地軸の傾きが大きくなると、季節変化は大きくなり夏はよ

(a) 離心率（約10万年周期）



(b) 地軸の傾き（約4万1000年周期）



(c) 歳差運動（約2万6000年周期）

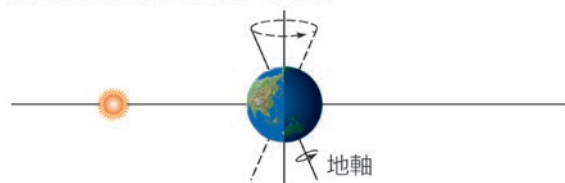


図5 ミランコビッチサイクル 『地学 改訂版』（啓林館）より引用（一部改変）

り暑く、冬はより寒くなります。逆に傾きが小さくなると夏は涼しく、冬はあまり寒くなりません。変化の幅が変わるだけで平均気温は変わらないような気がしますが、実は氷河の発達に違いが生じます。

Q 氷河が発達するのは季節変化が大きいとき、小さいとき？

氷河は降り積もった雪が融け残り蓄積することで成長します。どんなにたくさん雪が降っても夏にすべて融けてしまえば氷河は発達しません。氷河が発達するかどうかは実は夏の気温によって決まるのです。氷河が発達するのは夏が涼しいとき、つまり地軸の傾きが小さく季節変化が小さいときなのです。

Q 氷河が発達すると気温は上がる、下がる？

氷河の表面は白く、光をよく反射します。そのため氷河の面積が大きくなると地球全体の反射率が大きくなり、太陽から受け取るエネルギー量が減るため、気温はさらに低くなります。

逆に温暖化すると氷河が減少し、反射率が小さくなるので、さらに温暖化が進みます。このように氷河の増減を介して温度変化が増幅されていくことをアイス-アルベドフィード

バックと言います。なお、アルベドとは反射率のことで、フィードバックとは、ある現象の結果がその現象の原因に影響することです。現象が増幅されるような場合を正のフィードバック、変化が抑えられるような場合を負のフィードバックと言います。この場合は正のフィードバックとなります。

ここまでの話をまとめると、地軸の傾きが小さいと、夏が涼しく、氷河が発達し、気温が下がるわけです。そして地軸の傾きが約4万1000年周期で変化するのに伴い、同じ周期で気温が変化するわけです。

それでは次に、(a) 離心率の変化の影響を見てみましょう。地球は太陽の周りを楕円軌道で公転しています。楕円のつぶれ具合は離心率で表され、0の場合は円、1に近づくほど楕円はつぶれ、地球と太陽の距離は大きく変化するようになります(図5(a)右)。この場合、南半球の夏が太陽に近くてより暑く、北半球の夏は太陽から遠く涼しくなることになります。この場合は北半球では氷河が発達し、南半球では氷河が発達しません。地球全体を平均すると気温の変化はないようにも思えますが、実はこの場合には地球は寒冷化に向かいます。

Q 北半球で氷河が発達すると気温が下がるのはなぜ？

それは、北半球のほうが陸地が多く、大陸氷河が大きく発達できるからです。それに対して、図5(a)右図で、地軸の傾きが逆になった場合を考えると、北半球では氷河が発達せず、南半球では氷河が発達することになります。南半球は陸地が少ないため、大陸氷河はそれほど大きくはなれず、寒冷化もあまり進まないわけです。このように、(a) 離心率の変化は、地軸の向きの変化((c) 歳差運動)とセットになって、地球の気温の変化に影響するのです。

ミランコビッチは20世紀初めに、これら3つの天文学的な要素の周期的な変化が地球の気温の変化を引き起こすことを予測したわけですが、図1、図4に示された過去の気温の変化が、約10万年、約4万1000年、約2万6000年の3つの周期の波の重ね合わせでほぼ説明できることから、その考えの正しさがようやく1970年代に確認されました。

海水準変動

地球規模の気温の変動は海水準(海面の高さ)の変動を引き起こします。気温が上昇すれば海面が上昇しますが、それ

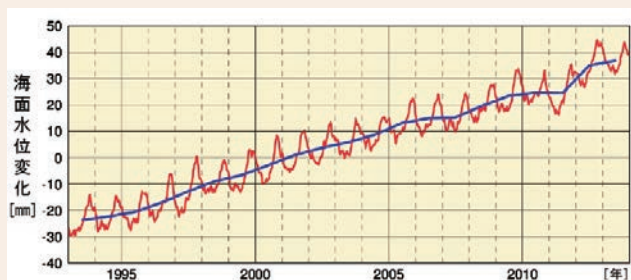


図6 衛星海面高度計における1993年以降の海面水位変化

気象庁 Web サイトより引用

は南極などにある氷床が融解して海水が増えたり、海水温の上昇で海水が膨張するためです。図6は気象庁が測定した1993年以降の海面水位の変化ですが、平均すると3mm/年の速さで上昇しています。



(a) 最終氷期(約2万年前) (b) 縄文時代(約6000年前)

海面は約120m低い

海面は約3m高い

図7 過去の海岸線 『地学 改訂版』(啓林館)より引用

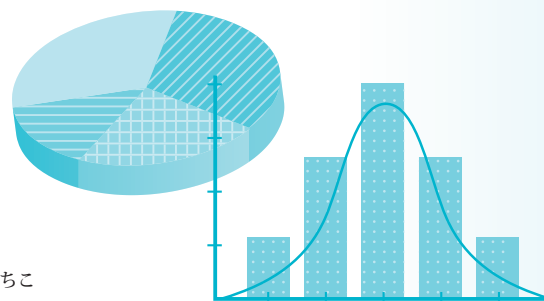
もう少し古い時代の海面の高さを見てみましょう。図7(a)は約2万年前の最終氷期最盛期の日本の海岸線です。今より120mほど海面が低く、日本列島は大陸と地続きになっていました。図7(b)は縄文時代の貝塚の分布から推定した6000年前の海岸線です。約3mほど海面が高かったと推定されます。海面の高さは決して一定ではなかったのです。最終氷期が終わった後、約2万年間で120m海面が上昇したわけですが、その平均の速さは約6mm/年となり図7で示されている現在の海面の上昇スピードの約2倍であったことになります。

今回は、地球が過去に温暖化と寒冷化を繰り返してきたことを見てきました。化石燃料は有限なので、人類はそれらを消費し尽くしてはならず、また可能な範囲でのCO₂排出の削減も重要です。一方で、今後も自然要因による温暖化・寒冷化は避けられないと考えるべきでしょう。地球の気候は、そもそも大きく変動するものだということを理解する必要があります。◇

第12回
(最終回)予測モデルの考え方
～回帰予測～

立正大学データサイエンス学部 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、慶應義塾大学大学院教授を経て、2021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。

AIと予測

戦後の日本の経済発展を支えた近代化の柱に、ファクトコントロールという考え方があります。ここで言うファクトとは、「客観的事実」、つまり、データを指しています。デジタル化とDXが謳われる現代社会では、あらゆる領域のマネジメントにおいてデータの活用が求められています。マネジメントの巧緻は、行動計画の前提となる先を読む力、即ち、予測力と予測される結果をいかに精度良く、良い方向にコントロールできるかどうかにかかっています。現在、身の回りにAIが普及している大きな源泉は、これまで専門家の分析に委ねられていた実社会における売上げ高や在庫量、天気、災害、流行などの予測業務の多くが、部分的に、または全体的に、AIによって自動化されていることに起因しています。このため、AI社会を生きるわたしたちは、データに基づいてAIが予測するという基本的な考え方をリテラシーとして知っておかなければなりません。どのような仕組みで数量的な予測ができているのか、また、その精度が何によって決まるのかの基本を知ること、そもそもAIの予測は100%当たるものではないこともわかります。AIの予測サービスが多くの領域で社会実装化される中で、予測値に踊らされないためにも、予測

に伴う統計的な枠組みの基礎を理解しておきましょう。

新たに高校での共通必修科目として設置された情報Iでは、これまで学校教育では教えられていなかった、回帰予測という予測モデルの基本を扱います。学習指導要領解説では、次のように記載されています。（下線は筆者による）。

『具体的に、気温や為替などの変動、匿名化したスポーツテストの結果やオリンピック・パラリンピックの記録などのデータを分析する学習活動を行う場合、グラフや表などを用いてデータを可視化して全体の傾向を読み取ったり、問題を発見したり、予測をしたりすることが考えられる。その際、データの形式や分析目的に応じた可視化の方法を選択する学習活動を通して、相関係数などの統計指標、相関関係や因果関係などのデータの関係性、調べようとするもの以外で結果に影響を与えている原因である交絡因子、データの関係性を数式の形で表す単回帰分析などについて扱うことが考えられる。』

回帰分析による予測モデルを構築するためには、予測したい変数と関係する他の変数をうまく見いだすことが肝心です。そのため、予備分析としては、同じく共通必修科目数学Iで学習する散布図、相関係数などを使った相関分析を行います。この回帰予測に至る一連の内容は、大学入試センター共通テストの情報サンプル問題として既に公表されています。

今回は、今後、社会人の基礎リテラシーとなる回帰予測に関して、情報入試サンプル問題も踏まえて解説します。

回帰予測とは？

図1は、出荷量（箱の数）と出荷時間（秒）の23個のデータを散布図上に表し、直線を当てはめて出荷時間を予測するようすを示しています。

いま、出荷時間をどうマネジメントしていくのが問題となっていると仮定しましょう。その際、多くの人は出荷時間の問題なので出荷時間だけのデータの値やその変動を見てしまいがちになります。すると、いつまでも平均値を計算し、その周りの変動幅（図の中の矢印の長さ）で、平均値を予測値としたときの誤差の大きさを見積もることになります（図1の右上）。

一方、出荷時間は出荷量に応じて変化するという知見とデータを活かせば、出荷量と出荷時間の散布図に直線を当てはめることができ、当てはめた直線の式から、どのような出荷量に対しても直線上の値が出荷時間の予測値として求まることがわかります。このとき、その予測値まわりの誤差の幅（矢印の長さ）も一挙に小さくすることができます（図1の右下）。

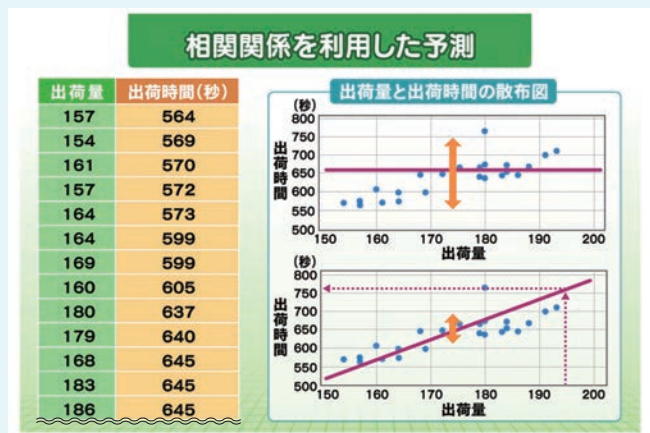


図1 相関関係を利用した単回帰予測

このように、相関する2つの数量データ（出荷量と出荷時間）に対して直線を当てはめて、予測のためのモデル式とする分析を**単回帰分析**と言います。ここで、予測されるほうの変数（出荷時間）を**目的変数**といい、散布図では縦軸 y に対応させます。また、予測に使うための変数（出荷量）を**説明変数**といい、散布図では横軸 x に対応させます。また、目的変数 y は説明変数 x の値によって予測値が決まることを仮定していますので、目的変数 y を**従属変数**、説明変数 x を**独立変数**とも言います。

N 個のデータ (x_i, y_i) に当てはめる直線 $y = a + bx$ を**回帰直線**といい、特に、傾き b のことを**回帰係数**と言います。説明変数 x_i が具体的に与えられたときに得られる直線上の値 $a + bx_i$ は、値 x_i のときに観測される y_i のだいたい中心くらいの位置にあるように回帰直線が引かれるので、 y の**条件付きの平均値（条件付き期待値）**と考えることもできます。横軸 x の連続的な変化に対応して、予測したい変数 y の条件付き平均を直線で表し、その値を y の予測値とする方法が**回帰予測**です。実際の観測値 y_i とその予測値 $(a + bx_i)$ との差を特に**残差**といい、個々のデータの値に対して残差が小さいほど、データに適した良い予測モデルということになります。回帰予測では、データが与えられたときに直線の式を具体的に決める、すなわち、直線の傾き（回帰係数） b と切片 a の値を決める必要があります。このとき、**最小2乗法**といわれる、数学の最適化の方法が適用されます。最小2乗法では、 N 個のデータからそれぞれ求められる残差の2乗の合計（**残差平方和**： S_E ）が最小になるように、回帰係数 b と切片 a が求められます（図2）。

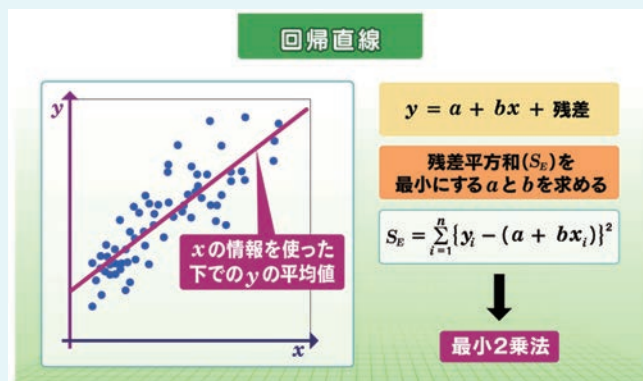


図2 回帰直線と最小2乗法

予測値と実測値のずれを誤差と言わずに残差という理由は、そもそも目的変数 y の値の違いを1つの説明変数 x の違いだけで当てるほうが一般には難しく、多くの要因が絡み合って目的変数 y の値が決まると考えるほうが自然なため、1つの説明変数 x で説明のつく部分（ x を使った予測値）とそれ以外の残りの部分という意味があるからです。説明変数を2つ以上想定して予測式を構築する分析手法は**重回帰分析**といい、情報Ⅱという科目の「情報社会とデータサイエンス」という単元で学習します。単回帰分析にしろ重回帰分析にしろ、データに当てはまる具体的な直線の式は、エクセルなどのソフトウェアを使って求めるので、実は、予測式を得るのも残差を得るのもPCを使えばたいへん簡単にできます。

例えば、単回帰分析の直線の式は、エクセルで散布図が描ければ、散布図の点をクリックしてマウスの右ボタンで表示されるメニューの中の「近似曲線の追加」を選び、「グラフに数式を表示する」をチェックすれば、最小2乗法による直線の式が表示されます(図3)。

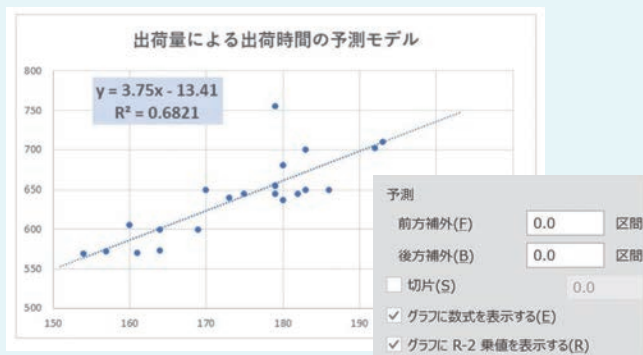


図3 散布図から回帰予測式の表示

回帰直線に関する性質として、残差の平方和が最小という以外に、データから計算される x の平均 $\bar{x}$ と y の平均 $\bar{y}$ の点 $(\bar{x}, \bar{y})$ を必ず通るという性質があり、切片はそうなるための位置の調整的な役割です。切片は x が0のときの y の値というような具体的な解釈はしません。次の直線の式

$$\boxed{\text{出荷時間 } y \text{ (秒)}} = 3.75 \text{ (秒/箱)} \times \boxed{\text{出荷量 } x \text{ (箱)}} - 13.41$$

における切片の値 -13.41 は、通常の直線の切片における「箱の数 x が0のときの出荷時間 y の値」というような意味づけはしないということです。

回帰分析で解釈上、最も重要な値は、回帰係数です。回帰係数は、 x の単位(箱の数)を y の単位(秒)に変換するもので、この場合の回帰係数 3.75 (秒/箱) は、出荷量1箱につき、平均的な傾向として 3.75 秒かかることを意味しています。このように、回帰分析では単に予測値を求めるだけでなく、出荷時間に対する出荷量の効果を求めることができ、出荷量は何箱増えると出荷時間がこれだけ伸びることになるなどの説明ができます。近年のAI技術の中で、説明力という観点で統計モデルが見直されている理由はここにあります。ちなみに、回帰の予測式と一緒に表示される **R^2 値(回帰モデル全体の寄与率)** は、説明変数 x が目的変数 y の変動をどれくらい説明できるかを表しています。単回帰分析の場合は、2つの変数 x と y の単相関係数 r の2乗が寄与率 R^2 値となります。この例では、出荷時間の変動の約68%が出荷量の違いによっ

て説明できることを意味します。この説明可能性が、マネジメントというところの管理や制御の可能性につながります。

情報サンプル問題での回帰予測

センター共通テスト情報Iサンプル問題では、ある年のワールドカップ出場チームの成績データに基づき、各チームが獲得した1試合当たりの得点はプレイの数と相関するという仮説から、決勝進出チームと予選敗退チームに分けて、ショートパス本数(x)で得点(y)を予測する散布図と回帰直線の式が表示された問題が出題されています(図4)。

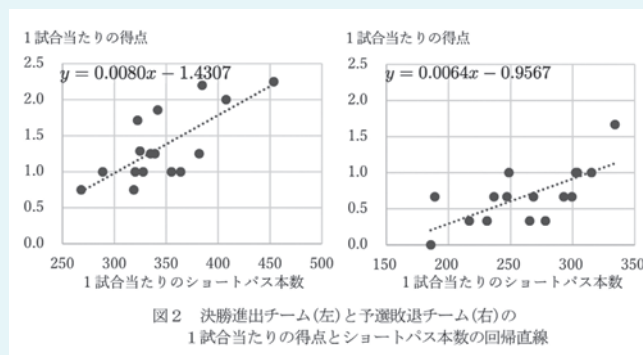


図2 決勝進出チーム(左)と予選敗退チーム(右)の1試合当たりの得点とショートパス本数の回帰直線

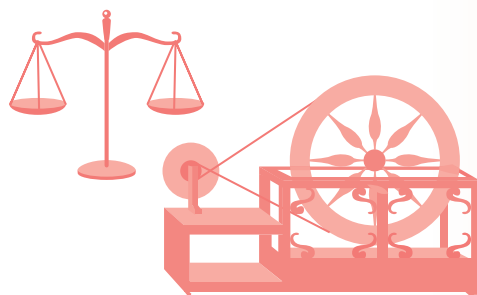
図4 回帰予測: センター共通テスト情報サンプル問題から

それぞれの回帰直線の傾きの違いに着目して、決勝進出チームではショートパス1本につき 0.008 点、予選敗退チームでは 0.0064 点増える傾向を読み取らせています。設問では、「ショートパス100本につき」という表現で、これらを100倍した値で答えること、さらに、ショートパス本数が320本のときの得点の予測値を $x = 320$ を回帰直線の式に代入して求めることの理解を問うています。また、最後の設問で、ショートパス本数が具体的に与えられたときの実測の値と予測値の差(残差)の大きさを求めさせ、予測値と実測値には違いが生じること、およびその具体的な大きさの評価ができることの理解が問われています。

このような一連の操作と分析は、大衆化した表計算ソフトの使用で中学生でも簡単にでき、また、社会人にとっては飛躍的に、実務のマネジメントの効率を向上させるスキルとなります。DX化が叫ばれるデジタル社会では、回帰予測のスキルがデータを見たら平均を計算することのように、国民の分析の基礎リテラシーとなることが求められています。

今回でこのテーマの連載は終了します。ご愛読ありがとうございました。



第12回
(最終回)歴史から見た
物理法則

一橋大学大学院言語社会研究科
准教授

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）。国立科学博物館勤務を経て、2021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、幅広い研究・教育・実践を行っている。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）、『サイエンス5000年史』（監訳、ニュートンプレス）などがある。京都大学博士（文学）。

意外に難しい「発見」というテーマ

この連載では毎回、小・中・高の理科教科書に登場する物理法則を取り上げて、いつ、誰によって述べられたかを見てきました。最終回となる今回は、これまでの内容を振り返りつつ、取り上げられなかった事項にも触れながら、物理法則の発見の歴史をたどってみたいと思います。

表1は、各回で取り上げた法則と、それに対応する原典を一覧にしたものです。ここでまず注意してほしいのは、必ずしも「原典＝最初に発見した人物による発表」ではないという点です。例えば、気体についてのシャルルの法則（第6回）は、実際にはゲー＝リュサックの論文で初めて述べられたものでした。光の屈折の法則（第2回）では、最初の発見者について諸説ある中で、後世に影響を与えた代表的な著作としてデカルトの本を取り上げました。

そもそも、ある法則を誰が最初に発見したのか、というのは非常に難しい問題です。エネルギー保存則（第8・9回）のように「発見者」とされる人物が複数いるようなケースでは、何をもって「発見した」と言うのかによって答が変わってくることもあります。

もう一つ気をつけておきたいのは、表1の「原典」に記した年号の解釈です。科学の歴史について書かれた本や年表で

表1 連載で取り上げた法則とその原典

注：原典のタイトルは略称。年は原則として出版年だが、*は成立年。

回	法則	原典
1	慣性の法則	デカルト『哲学原理』（1644）
		ニュートン『プリンキピア』（1687）
2	光の反射の法則	エウクレイデス『ディオプトリカ』（前300頃*）
	光の屈折の法則	デカルト『屈折光学』（1637）
3	振り子の等時性	ガリレオ『二大世界系対話』（1632）
		ホイヘンス『振り時計』（1673）
4	電磁誘導の法則	ファラデーの実験日誌（1831*）
		ファラデー『電気学実験研究』（1839）
5	万有引力の法則	ニュートン『プリンキピア』（1687）
6	ボイルの法則	ボイル『新実験』第2版（1662）
	シャルルの法則	ゲー＝リュサック『膨張の研究』（1802）
7	ケプラーの法則	ケプラー『新天文学』（1609）
		ケプラー『宇宙の調和』（1619）
8+9	エネルギー保存則	ガリレオ『新科学論議』（1638）
		マイヤー「力についての考察」（1842）
		ジュール「熱の仕事等量について」（1843）
		ヘルムホルツ「力の保存について」（1847）
10	オームの法則	トムソン&テイト『自然哲学論』（1867）
		オーム「伝導法則の決定」（1826）
11	運動の第2法則	オーム『ガルヴァーニ回路』（1827）
		ニュートン『プリンキピア』（1687）
		オイラー『力学』（1736）

は、同じ人物が発見した同じ法則であっても、違った年号が与えられていることがあります。この理由としてよくあるのは、その人物が実際に発見をした年と、それが公表された年が同じでない場合です。

例えば、ニュートンが万有引力の法則を最初に着想したのは1665年から1666年にかけてだと言われていますが、公表されたのは1687年出版の主著『プリンキピア』においてでした(第5回)。別の例としては、ファラデーが電磁誘導の現象を最初に発見したのは1831年で、その年のうちに王立協会(ロイヤル・ソサエティ)の会合で発表していますが、論文の出版は翌年でした(第4回)。「発見年」を特定することはふつう思われているよりもはるかに難しく、事項によって年号の意味が異なることも多々あります。あくまでも目安として理解しておくほうがよいでしょう。

物理法則の歴史をたどる

以上を踏まえた上で、改めて表1の年号(これは目安です!)を見てみると、大部分が1600年代と1800年代になっていることに気づきます。つまり、ほぼ17世紀と19世紀です。実をいえば、小・中・高の理科教育で学ぶ物理の事項はほとんどが、この2つの時代に発見された内容だと言うことができます。以下ではそのことを念頭に置いて、物理法則の歴史をたどってみましょう(表2も参照してください)。

ギリシアの数学

古代
前300—200頃

本連載で取り上げた法則のうち、最も古くから知られていた物理法則は光の反射の法則(第2回)です。これは古代ギリシアの数学者エウクレイデス(ユークリッドとも呼ばれる)の著作に登場するので、紀元前4～3世紀にはすでに発見されていたことになります(もっとも、そこでは「光線」でなく「視線」の理論となっていました)。

古代ギリシア文明は、西洋の科学や数学の源流と呼べる存在です。エウクレイデスの幾何学が特に有名ですが、物理ではアルキメデス(前3世紀に活躍)のほうがよく知られているかもしれません。「アルキメデスの原理」は、中学校1年で学習する浮力についての基本的法則です。

しかしこの後、中世と呼ばれる時代を通じて、現在の私たちが知っているような物理法則の発見はほとんどなされませんでした。ようやく15～16世紀になって、ヨーロッパでは科学的探究が活発になっていきます。これは一つには、古代ギリシアの原典と、それを継承・発展させた中世アラビアの著作が広く知られるようになったためです。

科学革命

17世紀
1600年代

17世紀初頭、そうした知的背景のもとで、大きな成果が生まれました。一つは天文学の領域で、ケプラーによる、いわゆるケプラーの3法則の発見です(第7回)。世紀の後半には、この成果を踏まえ、ニュートンが万有引力の法則に基づく惑星運動の理論を考えました(第5回)。

これと並行して大きな進展を見たのが、地上の物体の運動に関する研究です。ケプラーとほぼ同時代の人だったガリレオは、振り子や斜面を使った研究に取り組み、この方面での出発点を作りました(第3回・第8回)。次いでデカルトやホイヘンスといった人々の貢献が加わり、さらにニュートンの『プリンキピア』に至って、運動の理論の基礎となる慣性の法則が確立することになります(第1回)。

これらをはじめとするさまざまな進歩ゆえに、17世紀は「科学革命の時代」とも呼ばれます。物理法則の歴史という観点からは、光の屈折の法則(デカルト、第2回)や気体のボイルの法則(第6回)も見逃せません。ほかにも、本連載では紹介できませんでしたが、ばねの力に関する「フックの法則」(中学校1年で学習)もこの時代に起源があります。

数式と実験

18世紀
1700年代

これに続く18世紀は、相対的に見れば、物理学上の大きな発見が少なかった時代と言えるでしょう。しかし、この間に何も進展がなかったわけではありません。

第一に、微分・積分を含む数式の利用が定着したのがこの世紀でした。数学者オイラーによる力学の研究、とりわけ運動方程式の定式化はその代表と言えます(第11回)。数式は次の世紀になると、ほかの領域でも一般的になります。今日の私たちが物理と聞いて数式を思い浮かべるのは、この時代に起こった変化の結果なのです。

第二に、18世紀は静電気について、実験を通じて基本的な理解が得られた時代でした。電気にプラスとマイナスがあることが世紀半ばまでに発見され、世紀の終わり頃には電荷の間に働く力の法則も発見されます。これは高校物理で「クーロンの法則」として学ぶものです。そして18世紀が終わる1800年には、イタリアのヴォルタによって電池が発明されました。電流の研究とその利用がここから始まっていきます。



19世紀は、「古典物理学」と呼ばれているものが成立した時代と言うことができます。今日の理科で学ぶ内容のうち、力学以外の領域はこの世紀の間に飛躍的な発展を遂げました。

その一つは電磁気学です。電流と磁気の間に関係があるという事実は、まず1820年に実験で見いだされました。続く1820年代から30年代には、オームの法則（第10回）や電磁誘導の法則（第4回）が発見されます。小学校で学ぶ電気回路の基本が理解されるようになったのもこの時期です。やがて世紀の後半になると、電磁場や電磁波という考え方がイギリスの物理学者マクスウェルによって導入されました。これにより、現在に直接つながる電磁気学の理論ができあがってくることになります。

マクスウェルの理論によって、光は電磁波の一種であると理解されるようになりました。この前提となった「光は波である」という考え方も、19世紀に確立したものです。具体的にはヤング（イギリス）による干渉の実験や、フレネル（フランス）による「光は横波である」という解釈が、光の波動説の確立に貢献しました。このほか、波の現象としては、音や光の「ドップラー効果」もこの世紀の発見です。

さらにもう一つ、忘れてならないのは熱と温度に関する領域です。19世紀初頭には気体の性質が研究され、「理想気体の状態方程式」と呼ばれるものが見いだされます。またこれと並行して、蒸気機関に代表される熱機関の研究も進みました。こうした知見を踏まえて、世紀中頃には熱と仕事の関係（熱の仕事等量）が発見され、エネルギー保存の法則が確立します（第9回）。加えて、高校物理で学ぶ熱力学第2法則（エントロピー増大の法則としても知られる）がクラウジウス（ドイツ）とトムソン（イギリス）によって見いだされ、古典的な熱力学の枠組みができあがりました。

理科教科書と科学の歴史

20世紀に入ると、相対性理論と量子力学の出現という新たな展開が生じて、いわゆる「現代物理学」が生まれてきます。理科で学習する範囲では、原子、原子核、放射線といったテーマがこれに含まれますが、古典物理学に比べると少なく、「法則」と呼べるものはほとんど出てきません。この意

表2 理科教科書に登場するおもな物理法則の年表（一例）

注：年号と人物は代表的なものを挙げた。

年	法則（人物）
前4-3世紀	光の反射の法則（エウクレイデス）
前3世紀	アルキメデスの原理（アルキメデス）
1609-19	ケプラーの法則（ケプラー）
1632	振り子の等時性（ガリレオ）
1637	光の屈折の法則（デカルト）
1662	ボイルの法則（ボイル）
1678	フックの法則（フック）
1687	運動の3法則（ニュートン）
同	万有引力の法則（ニュートン）
1802	シャルルの法則（ゲー＝リュサック）
1826	オームの法則（オーム）
1831	電磁誘導の法則（ファラデー）
1842	ドップラー効果（ドップラー）
1842-43	熱の仕事等量（マイヤー、ジュール）
1847	エネルギー保存則（ヘルムホルツ）
1850-51	熱力学第2法則（クラウジウス、トムソン）
1865	電磁場の理論（マクスウェル）

味で、小・中・高で学ぶ物理法則というのは基本的に、19世紀末までに得られた「古い」内容だと言えます。

しかしだからと言って、学ぶ価値に乏しいということにはならないでしょう。物理学の大きな特徴は、物事を抽象化し、数理的に捉えることにあります。そうした考え方の基本を身につける上では、現代物理学よりも古典物理学のほうがむしろ適しているのではないかと筆者は思います。数学的に容易だからということに加えて、扱う現象としては感覚的に理解できるものが多いからです。

ただし、物理法則の原典では多くの場合、今日のような明快な説明は述べられていません。このことは、当初まだ曖昧だった理解のしかたが、後に続く人々によって洗練されてきたことを示唆しています。そのため、物理法則のエッセンスをわかりやすく説明するためには、原典を持ち出さないほうがかえってよい、ということが十分あり得ます。

そうだとすると、わざわざ原典に触れることの意義はどこにあるのでしょうか。その一つは、教科書から受ける科学の静的な印象を覆すことだと思います。つまり、科学的な理解というのは最初から完全な形で現れるのではないし、科学的知見というのは単純に積み重なっていくものではない、ということです。教科書は歴史を再構成して書かれているため、時間発展のダイナミクスは失われています。教科書と歴史は言うなれば相補的な関係にあり、科学を理解するためには、その両方が不可欠なのです。



MATH コンと私

2022年8月11日 Rimse 東京オフィスにて、第8回「算数・数学の自由研究」作品コンクール（MATH コン）で中央審査委員奨励賞を受賞された海城高校の卒業生のみなさんとの座談会を開催いたしました。

カルダノ変換による発見

～3次方程式の根の公式発見500年目の考察～

2. 定理1

カルダノ変換後の3次関数

$$y = f(x) = ax^3 + cx + d$$

を考える。この3次関数はx軸と異なる3つの交点を持つとする。このときx軸と3次関数によって囲まれる図形は2つできる。このとき、これら2つの図形の重心を結んだ直線は3次関数の極値を結んだ直線とx軸と一点で交わる。

3. 定理2

カルダノ変換後の3次関数

$$f(x) = (x-\alpha)(x-\beta)(x-\gamma) \quad (\alpha < \beta < \gamma)$$

を考える。

(根と係数の関係と、カルダノ変換から x^2 の係数が0ということより、 $\alpha + \beta + \gamma = 0$ が成り立つ...①)

このとき、

$$f(\alpha) : f(\beta) = (\gamma - \alpha) : (\beta - \gamma)$$

$$f(\beta) : f(\gamma) = (\alpha - \beta) : (\gamma - \alpha)$$

$$f(\gamma) : f(\alpha) = (\beta - \gamma) : (\alpha - \beta)$$

が成り立つ。



ファシリテーター
根上 生也先生



こちや
東風谷 順正さん



池田 隼さん



宇井 貴斗さん

根上：私は「算数・数学の自由研究」作品コンクールの中央審査委員長を務めている根上生也です。この3月で横浜国立大学を定年退職して、現在は名誉教授という身分をいただき、数学者として余生をのんびり過ごしています。今日はみなさんと一緒に、自由研究の楽しさや「よさ」についてお話したいと思います。それでは、みなさんから自己紹介をしていただけますか。

東風谷：東京大学理科一類に所属している東風谷順正と申します。高校時代はこちらの2人と一緒に、カルダノ変換とか3次方程式に関して研究しました。数学が個人的にもすごく好きで、こういったところに呼んでいただけたのがすごく有難いと思い、今日はいろいろ吸収できたらいいなと思っています。よろしくお願いします。

池田：カリフォルニア工科大学1年の池田隼と申します。入学は9月なので、実はまだ入っていないのですが…。高校時代は、数学でこの2人と一緒に興味のあることを追究してって、多方面にわたって自分の興味を爆発させました。よろしくお願いします。

宇井：東京工業大学情報理工学院1年の宇井貴斗です。自分は中学1年の頃からユークリッドの『原論』を読むというのを学校内でやっていて、その中でこの2人とも出会い、最終的に数学部の部長をやったりしました。後輩も賑やかにやっていて、自由に数学ができる場が広がっていくのは楽しいなと感じています。よろしくお願いします。

根上：みなさんは、2020年、海城高校の2年生のときにMATHコンに応募され、中央審査委員奨励賞を受賞されたのですが、応募のきっかけを教えてください。

宇井：高校の夏休みの課外授業の中で、3次曲線の図形的な部分に関するクイズのようなものが提示され、その答えを出した後、3人で話している中で、面白い内容が見えてきたので、それを数学科の先生に相談したら、MATHコンへの応募を強く推されたのがきっかけです。夏休みの宿題に追われながら、3人で一緒にオンラインで通話しながら書き上げていきました。

根上：私も審査委員長をしていますので、3人の作品を見ま

した。1人で書いたような体でレポートが書かれていましたが、実際には3人で議論して、1人がまとめたということですか？

宇井：最初は大枠の部分を分担して書いていき、最後に体裁を整えるというふうに仕上げていきました。

根上：3人の共作ということですが、全体を読んでみると、とてもスムーズに読めたので、レポートとしてはとてもいい感じに書けていたと思います。みなさんは、3次方程式の解の公式であるカルダノの公式がどういう経緯で生まれたのかを勉強する中で、面白いことを発見されたわけですが、いったいどうやって発見したのですか？

池田：ジオジェブラ GeoGebraで実験していて、東風谷くんが最初に気づきました。

東風谷：曲がった形の図形に深く接する機会があまりなかったもので、重心をとったら面白いんじゃないかと思ってプロットしてみたのが最初のきっかけですね。

根上：GeoGebraのようなコンピュータ上でいろいろな数学的な実験ができるアプリを利用して、自由研究に応募するに値するような発見をしたということですね。MATHコンに応募してよかったことって、何かありますか？

東風谷：面白いものを形にできたということに価値があると思います。思いついてもなかなか発表する場がないので、よい機会だったと思います。また、それまで3人で協力して作るという経験がなかなかなかったので、そこもよかったと思います。

池田：3人で何か発見しようといういろいろ深めたのはこれが初めての経験だったので、よいチームメイトを見つけれられたと思います。

宇井：締め切りに追われながらも、どこに出しても正しいと言えるように証明を書いたというのはよかったです。

「これを証明しなさい」という問題とは違って、たぶん合っていると思うけど、間違っているかもしれない命題を証明するというのは初めてだったので、とてもよい経験になりました。

根上：どこかに書いてあることではなく、自分で発見した真偽がわからないことを証明するという経験をされたので、いろいろな苦労もあったと思います。どんな点に苦労されましたか？

宇井：4, 5日式をいじっても、一向に解ける気配がなかったので、もしかすると、条件が足りないのではないかという不安を常に持ちながら進めていました。

池田：後の話なのですが、3次関数で偶然の一致のようなものがあるなら、5次関数でも何かないかという話になりました。それで、奇数次関数についていろんな仮説を立ててもことごとくダメで、今も苦労しています。

東風谷：形にするまでの期間が結構短かったです。教科書などの問題だと正しいことを証明すればよいので、続けていけば何とかかなりますが、合っているかどうかかわからない問題だったので、締め切りもあるし、結構焦りました。

根上：レポートを仕上げるのにどれくらい時間がかかりましたか？

宇井：実際、自分たちが気づいたのが遅かったというのもあって、夏休みの最後の2週間はずっとこの問題に取り組んでいる感じでした。常に3人のグループLINEでやり取りをしていたので、関わった時間は結構長かったと思います。

根上：3人で費やした時間が結構あったんですね。高校までの勉強は1人でできるかどうかを迫られています、

ある調査で、「数学は個人でやるもの」と思う人と「みんなでやるもの」と思う人とで問題の正答率との相関を見ると、後者のほうが正答率が高いという結果を得たことがあります。グループだと相手に正確に伝える必要があるのも、曖昧だったり間違っていたところがあり、お互いにチェックしながら高みに上がっていきけるんだと思います。みなさんはそういったことを経験されたのかなと思います。

ところで、みなさんはMATHコンに対してどのような思いがありますか？

宇井：普段、自分たちがしゃべっていることを数学科の先生に見せて、「面白いでしょ」で終わっていたことを評価してもらえたのも楽しいなと思います。

東風谷：同じことを見つけても、コンクールに応募するのとは違うと思います。時間的な期限があると焦りますが、期限がないと、面白いと思ってそのままやむやになってしまうことがあるので、形にするというのは重要だと思います。

池田：数学に関わる活動をする中高生は一定数いると思いますが、MATHコンのような自分の興味があることや正しいかどうか分からないことを自由に探究するという機会はなかなかないので、そういった場を中高生に与えられているというのは、大きな意義のあることだと思います。

根上：学校教育での学びは、大人が作った世界の中でどう教養を身に付けるかという勉強ですが、みなさんはもう大学生だからそういう段階は終わりました。4年生ぐらいからは研究室に所属して、専門の先生の指導を受けながら、そもそも何を研究すればよいかというところから考えて、グループでやっていくという勉強に変わっていきます。既成の事実を知識として吸収するのも勉強ですが、自分で何かを見いだしていくという勉強もあるということを体験されたみなさんのような若い人たちがたくさん出てきてくれると嬉しいです。

ここまでいろいろ伺ってきましたが、逆に、みなさんから何か質問はありませんか？

東風谷：根上先生はいろいろ本を書かれていますが、数学にそれほど詳しくない人に面白さを伝えるために心がけていることはありますか？

根上：面白いとか楽しいというのは、それに対する感性が育っていないと、いくら見せてもそう思ってもらえないので、私は「数学のよさ」を伝えるというスタンスです。自分なりに「数学のよさ」はわかっているけど、それを面白いと思ってもらえていないだけだと考えて、「よさ」を伝える努力をしています。だから、「数学は面白いでしょ？」とは言わずに、“面白いことが書かれている”というように文章を書くようにしています。

池田：僕は9月の入学までは、一時的に日本の大学で、線形代数とか解析などを勉強しています。高校までは自分の興味のあることを自由に勉強して深めていましたが、大学での数学は、まだ1年生だからというものもあると思いますが、数学の作法を学ぶみたいな印象で、もっと自分の好きなことを自由にやりたくて、正直退屈しています。根上先生も学生の頃、そういった悩みをおもちだったのかなというのが聞きたいです。

根上：例えば線形代数だと、ベクトルや行列などの個々のことが、実はベクトル空間というそれら全体が作る世界に目を向けることで新たな世界が見えてくるということに、私は1年生の後期になって気づきました。大学で一段階上の世界があるということに気づけたので、逆に面白くなりました。

宇井：自分は受験も経験し、“問題集を解いて覚えましょう”というような勉強をこなしてきました。ここ最近、何回か高校の数学部にOBとして顔を出す機会があるのですが、学校教育ではそのような勉強をして、そのまま進んでいくというのが中心となっているように思います。自分は離散数学の組合せや羊羹の切り分けな

どの話は楽しいと思ってきたのですが、どうすればそういう話題にも興味を持ってもらえるのかと毎回悩んでいます。根上先生は、そこをどのように考えておられますか？

根上：私自身が高校生のときには、受験勉強の合間に四次元空間のこととか考えていました。でもそういう子はいろんな学校に少しずついます。私はそういう人の声が小さくなってしまって、形骸化した数学が世に広まることを食い止めるような活動をしたいと思っています。みなさんに言いたいのは、学校教育を自分の人生のすべてにしないということです。学校のルールを守る中、学校とは違う何かをもっていることで自分の個性が伸びていき、次の勉強への動機になると思います。では最後に、先輩として、小・中・高校生のみなさんにメッセージをいただけますか？

東風谷：僕たちは、MATHコンで楽しい思いをさせてもらったのですが、始めるのが遅くて、あまり余裕がありませんでした。小中高って意外に短いので、数学に限らず、友だちを見つけて、遊びでも勉強でも何でも、思い立ったら全力でやったほうがいいよと伝えたいですね。

池田：中高の6年間には、部活とか学校の勉強以外にもいろいろやると思うのですが、自分が何に熱中できるのか

は1つのことではわからないので、数学に限らず、いろいろな自分で試してみて、一番じっくりくめる分野を追究して行ってほしいと思います。

宇井：思い切っているいろんなコンテストに応募してみるとよいと思います。出してみて、一度評価されると自信がついて、その後も学校外のイベントに参加するときにも勇気づけられるので、もっと気軽に踏み出せばいいんだよということを伝えたいと思います。

根上：実際、少し突っ込んでやってみると、自分には結構能力があるということを実感したり、コミュニケーション能力を意識したりなど、いろいろな効果があります。人間としての能力が開花する機会を得ることにもつながるので、いろいろなことにチャレンジするとよいと思います。

それでは時間になりましたので、この辺で会を閉じたいと思います。みなさん、今日はどうもありがとうございました。



● MATHコンから世界に羽ばたく生徒たち

海城中学高等学校 数学科主任 川崎 真澄

本校では、“高いレベルの数学を平易に解説する”ことをモットーとして、夏休み中の6日間、数学科教員がリレー形式で授業を展開する“数学科リレー講座”を2010年以来行っています。

第9回の「^{フーリエ}Fourier 生誕250周年記念」以来、この講座に参加していた宇井、池田、東風谷の三君から、第11回となった2020年の「3次方程式の根の公式発見500周年」の講座終了後に、「講義の内容を探究していたら思わぬ副産物を得ました」との報告があり、これをMATHコンに応募しました。

結果、中央審査委員奨励賞をいただいた彼らは、数学探究の面白さに目覚め、第9回の内容をもとに、昨年、^{リーマン}Riemann ^{ゼータ}zeta関数に関してある発見をし、欧州の数学専門誌である『NNTDM』に投稿。査読に合格し掲載に至り、現在も継続して研究中です。

ファシリテーション能力を磨き、授業改善を目指す

藤井 千恵子 / ふじい ちえこ

元国士舘大学体育学部こどもスポーツ教育学科教授（大学では初等理科教育、生活科教育、教員採用試験等を担当）、東京都公立小学校教諭から千代田区教育委員会指導主事、都立教育研究所指導主事、東京都教育庁指導部指導企画課指導主事、東京都教育庁指導部主任指導主事、東京都教職員研修センター研究部研究課長、足立区立梅島小学校長、港区教育委員会指導室長を経て国士舘大学へ



1) はじめに

コロナ禍において加速した GIGA スクール構想によるタブレットの活用が子供の学びにどのように効果を上げるのか、令和の日本型学校教育で示された個別最適な学びや協働的な学びが各教室の日々の授業にどのように反映されるのか、これからの取り組みに期待をしているところである。

これらの実践に向けて日々の授業を丁寧に検証することが必要である。幸い、各学校では校内研究、各地区では教科ごとの研究会が実施され、授業を通して教師が学び合う機会が設定されている。コロナ禍という制限はあるものの主体的・対話的で深い学びに向けた授業改善の機会を大事にしたい。これぞという授業にたどり着く道は遠く感じるかもしれないが、理想とする授業像を常に念頭に置き、努力を積み重ねていくしかその道を究める方法はない。教師自身が自らの個別最適な学びと仲間とともに創り上げる協働的な学びを通してよりよい授業づくりに努めたい。

2) どのような人材を育てるのか

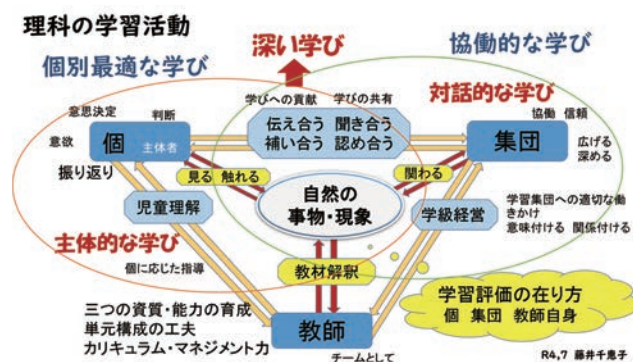
予測不可能な時代に社会で自立した人間を育てるために求められる人材として「OECD Education 2030 プロジェクトが描く教育の未来」^{*1}では、変革をもたらすコンピテンシーとして「新たな価値を創造する力、対立やジレンマを克服する力、責任ある行動をとる力」について述べている。また、予測不可能な時代だからこそ子供たちの三つの資質・能力^{*2}を日々の授業においてしっかりと育てる必要がある。

こうした人材を育成するためには、子供の考えを生かして授業を構築することである。そこで『令和の日本型学校教育』の構築を目指して^{*3}にて示された教師に求められるファシリテーション能力に着目して以下述べていく。

3) ファシリテーション能力を磨き、授業を創る

主体的・対話的で深い学びを目指した授業改善を目指す学習活動について理科学習を例に図に表してみた。

まずは、教材を徹底的に研究したい。授業をファシリテートするためには、指導する内容についての十分な教材解釈が必要となるからである。学習指導要領に示された単元の目標などに基づいて、三つの資質・能力の観点、単元構成の工夫という観点、その単元の縦のつながりや横のつながりを明らかにするカリキュラム・マネジメントの観点などから捉えるようにする。その際、同僚や研究会の仲間と協働的な学びを通して、この学習の意味や価値についての解釈を深めていく。実践に当たっては、一人一人の子供がどのように学んでいる



のか、学級の集団として学びを成立させる学級経営が充実しているのかなどについてつぶさに捉える教師の力量が必須である。個々の子供と集団としての子供を的確に捉え、指導に生かす。いわゆる指導と評価の一体化の具現化を行う。

さらには、一人一人が考えたことをみんなに伝えたい、みんなの考えを聞きたい、という意欲を高め学級全体での磨き合いや深め合いにつなげていく。ファシリテーション能力の基本は子供たちの声に耳を傾け、そこから学習の方向性を見極めることだと考える。

4) ファシリテーターとしてのモデルを示す

ファシリテーターとしてどのような指導をすることが望ましいのか、大学の講義において自らが実践してみることにした。まずは、学生が意見を出し合えるように事前にクラウド型教育支援システムを活用してプレゼン資料をアップした。その資料について学生から「この資料の”学びの質を高める”ということをみんなはどのように考えたか知りたい」という問題提起があった。指導経験はなくても学生の立場から考える、意見を述べ合うという学びを通して、その後の事例などを通した私の解釈に理解と納得を覚えたようだ。

意見を述べ合うことに抵抗を示す学生もいるが、自分の考えを話すことにより学びが深まる経験を積ませ、話し合うことの意味や価値について身をもって理解させることである。

この取り組みを実施した後の学生の感想には、「私も教員になったらこのような授業をしてみたい」「板書の在り方について

ついでの話し合いを通じて板書が自分たちの考えを表したり考えを深めたりする場、つまりみんなのノートであるのかと感じた」などの深まりが見られた。

5) まとめ

授業では、グループでの話し合い活動がよく行われているが、本当に話し合いになっているのか、何をどのように話しているのかなど、その内容の質を見取のようにしたい。子供たちのつぶやきも含めた言葉を聴くこと、どう考えているか尋ねること、意見や考えを受け止めることなどが基本となる。また、考えを深めるために「～だったら次はどうなるかな?」「この考えに加えるとしたら何があるのだろう」など、教え込むことから子供の考えを引き出す言葉かけを大切にしたい。

主体的・対話的で深い学びの授業改善では、指導者は十分な教材研究を行い、そこで準備したこと教え込むのではなく、子供たちから引き出すことに努めるといったファシリテーターとしての力量を高めるようにする。

予測不可能な時代に生きる子供たちを育てているという自覚を新たにして授業改善に取り組んでほしいものである。❖

参考文献

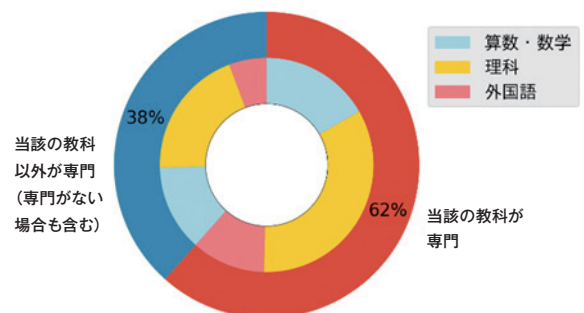
- *1 白井 竣 『OECD Education 2030プロジェクトが描く教育の未来』 p.151 ミネルヴァ書房
- *2 平成29年改訂 学習指導要領 改訂の基本方針
- *3 『「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す、個別最適な学びと協働的な学びの実現～（答申）』 p.85

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

Rimse 東京懇談会の調査研究で実施したアンケートより、「校内環境」の観点から分析した結果を紹介いたします。

ICT 教育対応のデジタル教材がある割合は、算数・数学 65%、理科 84%、外国語 87%で、デジタル教材の整備はかなり進んでいる実態が見られました。一方、デジタル教材をあまり使用していない割合は、算数・数学 23%、理科 8%、外国語 9%となっており、算数・数学を中心にデジタル教材の効果的な利用に関する研修を推進していく必要があることがわかりました。また、専科教員の配置は、右のグラフのように、算数・数学が専門の専科教員 57%、理科が専門の専科教員 67%、外国語が専門の専科教員 76%となっており、算数と理科に当該の教科以外が専門の専科教員が多いという課題点が浮き彫りになりました（2018 年度調査）。



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

探究活動を通した 生きる力の育成と 生き方選び

科学教室力塾 塾長

小川 力也 / おがわ りきや

1962年大阪府生まれ。府立学校33年間の教員(中高・理科担当)を経て、2018年「科学教室力塾」を開塾。富田林高校では「大臣賞」「知事賞」などの受賞へ導きSSH指定に貢献。同校の教育改革(中高一貫校開設)のプロジェクトリーダーも務めた。長年、国の天然記念物イタセンバラ(淡水魚)の生態研究や保護に取り組み、国交省や環境省の委員を務める。著書は『名まえしらべ 川や池の魚』、『淡水魚研究入門』、『絶体絶命の淡水魚イタセンバラ』ほか。



■ 探究活動を軸に学ぶ富田林中高校の誕生

2015年、文部科学省は「2030年の社会と子供たちの未来」と題し、予測が困難な時代が来るとして初等・中等教育の抜本的な改革の必要性に言及しました。あれから7年、新型コロナウイルスのパンデミックやウクライナでの戦争が発生しましたが、これらのことを誰が予想し得たでしょうか。想定外の難局が人類を待ち構えるこれからの時代を象徴するかのようですが、その時代を生きる子供たちはどのような力を育む必要があるのでしょうか。

国が教育改革を訴え始めた頃、大阪府立富田林高校でも学校改革の議論が活発に行われ、高校受験で分断されない中高一貫の6年間を「探究と貢献」を軸に、主体性をもって学ぶ学校の開設に向けて準備を進めていました。そして2017年春、大阪府立初の中高一貫校として富田林中学校・高等学校が誕生しました。また同時に富田林高校はスーパーサイエンスハイスクールに指定されましたが、その指定は学校改革

の一環として、試行的に行った探究と貢献の活動が評価された結果でした。

新たな富田林中学校・高等学校は地域と学校が協働



図1 地域の河川で魚類調査を行う高校生

して教育する「コミュニティースクール」でもあり、「地域学校協働本部」である「NPO法人 学びと育ち南河内ネットワーク(2018年発足)」が財的支援を行っています。2018年に開塾した「科学教室力塾」の「探究教室」は、同校の連携教育機関として、探究・貢献活動を深化させたいという中高生が学んでいます。地域の自然環境について調査・研究し(図1)、地域とともに行った環境保全活動は、科学

コンテストなどで評価され、その実績を持って推薦入試等で国公立大学へ進学する生徒も現れました(図2)。

2018年度	全国野生生物保護実績発表大会・文部科学大臣賞 大阪サイエンスデイ・最優秀賞(府1位)
2019年度	奈良県学生科学賞・知事賞(県1位)
2020年度	日本生態学会・優秀賞 サイエンスキャッスル関西大会・最優秀賞(関西1位) 大阪サイエンスデイ・最優秀賞(府1位)
2021年度	日本魚類学会・優秀賞 サイエンスキャッスル関西大会・最優秀賞(関西1位) 大阪府学生科学賞・知事賞(府1位)
推薦入試合格 (2019~2022年度)	大阪大学工学部2名、大阪市立大学理学部3名、 関西学院大学工学部1名

図2 探究教室の塾生の主な受賞実績と推薦入試での進学先

■ ポテンシャルを発揮させるには

「探究教室」は5年目を迎えましたが、毎年大きな科学コンテストの上位に入賞し、塾生のポテンシャル(潜在能力)の高さに驚かされます(図2)。面白いことには、多くの場合、受賞した本人も驚いています。その驚きは自らの潜在能力に対する気づきであり、意外とできる自分に気づくと、それが大きなモチベーションとなって、さらに高い目標に向かってポテンシャルを発揮したいというチャレンジ精神が掻き立てられるようです。このレベルになると、既に課題解決に夢中になっていることから、主体性は自ずと育まれ、困難なことにも負けない忍耐力が培われます。

さて、ポテンシャルを発揮させる指導には、いくつかのコツがあることがわかってきましたので、この機会に整理しようと思います。その第一はプレゼンテーションとディスカッションの機会をできるだけ設けることです。人前に立って自分の考えを伝えるためには、論理的思考が必要であり、繰り返し発表することで研究の筋道が明確になります。特に人前

に立つと、集中力が高まることから説明の質が向上し、また聞き手と議論することによって考えが深まったり、新たな発想が加わったりします。日常の「探究教室」は、前に立って発表していたり、周囲の人々と議論していたり、大学のゼミのような雰囲気です。

二つ目は活動の目標と目的を明確にし、常に意識することです。どのコンテストで発表するのかという長期目標を定め、そのために、いつ、どのような調査・実験を行い、資料を作って発表するのかという短中期の目標を明確にし、常にそれを意識しながら計画的に活動することです。そして、この調査は、何のために行うのか、その結果でどのようなグラフを描きたいのかなどの目的意識を持つことで調査の質が格段に上がります。指導者がことあるごとに目標や目的について問いかけることで、塾生は意識するようになります。

三つ目はできるだけ大きな目標に向うことです。一昨年、「探究教室」の高校生に英語での研究発表に挑戦しないかと持ちかけました。常々考えていた目標であり、英語の発表がこの学会の参加要件でした。すると、驚くことに全員が進んでエントリーしたのです。それはそれまでの活動を通じて「意外とできる自分」に気づき始め、新たな挑戦を求めているタイミングだったのかもしれませんが。活動の勢いが増してきたと感じたら、

思い切って大きな舞台に立たせることが飛躍的な成長につながります。学会で（場合によっては英語で）発表し専門家と議論したり（図3）、市民講座で自らの研究成果を発表し環境保全を訴えたり（図4）、気がつくときこれら

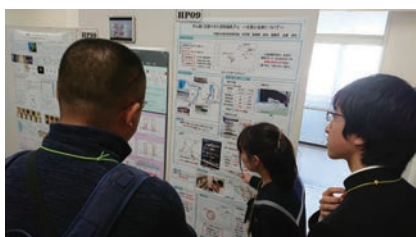


図3 学会で専門家に対して研究発表する高校生



図4 市民講座で環境保全を訴える高校生

の活動が「探究教室」のスタンダードとなっていて、塾生は切磋琢磨しながらさらに高い目標を目指しています。

■ 探究活動を通した生き方選び

大阪大学の「総合型選抜・学校推薦型選抜」の募集要項のなかで、総長はこれからの激動の時代には「決まった正解を早く出す」のではなく、「課題を発見し解決できる」人材が必要と述べています。この言葉が象徴するように、探究活動で培われる力が大学入試で評価される時代が来ています。「探究教室」では大学生や大学院生がメンター（相談相手）として塾生の活動をサポートしていますが、メンターたちは高校生が大学院生と同じ学び方をしていると言います。課題発見解決型の学びを通してポテンシャルを発揮し、自らの適性を知り、将来の社会で活躍する自分を想像しながら、「行ける大学」ではなく「行きたい大学」へ進学してほしいと考えています。どの分野に進むのか、大学選びは生き方選びと言えますが、その重要な人生の選択を選択幅の広い高校時代に、探究活動を通じてやりたいことや得意なことを確かめながら行うことに大きな意義があると思います。

国が新たな時代とした2030年は間もなくやって来ますが、できるだけ多くの子供たちにその時代をいきいきと生き抜く力を育ててほしいと思います。少しでも早い時期から課題発見解決型の学び方を身につけてもらおうと、昨年、小学生対象の理科実験教室を始めました（図5）。❖



図5 感動と気づきを与える小学生の理科実験教室

.....編集後記.....

まだ新型コロナウイルスが終息しない中、今年も「算数・数学の自由研究」作品コンクールに多数のご応募をいただき、ありがとうございました。

次号（No.36）では、受賞作品の紹介をいたします。

「かつ」と「または」

数学用語と日常の言葉のズレ

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらい すずむ

数学では「正確さ」が極端に要求されるのに対して、日常の言葉では「曖昧さ」が要求されます。数学と日常の言葉使いには正反対の性質があります。果たして一つの言葉が2つの世界で使われると、興味深い状況——意味が異なる使われ方をする——が生まれます。

数学用語「かつ」「または」は、2つの集合AとBについて「AかつB ($A \cap B$)」、「AまたはB ($A \cup B$)」や2つの命題PとQについて、「PかつQ ($P \wedge Q$) が成り立つ」、「PまたはQ ($P \vee Q$) が成り立つ」のように使われます。この「かつ」と「または」について数学と日常での言葉使いを比べてみます。

「かつ」はどちらの世界でも同じ意味

「AかつB」、「PかつQが成り立つ」の「かつ」は「両方とも」という意味です。日常では次のように使われます。

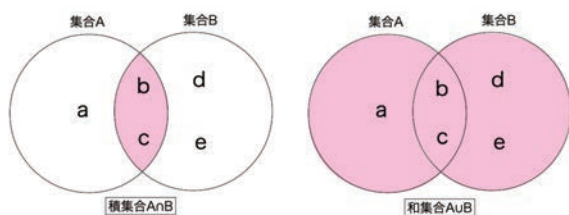
「大いに飲みかつ食べた」（平行して行われる）

「数学はおもしろくかつ役に立つ」（同時に成立する）

日常の「かつ」も「両方」という意味で使われます。

数学の「または」は「少なくともどちらか一方」

では、「または」はどうでしょうか。数学での「PまたはQが成り立つ」の「または」は「PとQの少なくともどちらか一方」という意味です。集合はベン図で説明するとわかりやすくなります。



いま、集合A = {a, b, c}、集合B = {b, c, d, e} とした場合、「または」と「かつ」は、

A または B ($A \cup B$) = {a, b, c, d, e}

A かつ B ($A \cap B$) = {b, c}

となります。

ポイントは、「A または B」には「A かつ B」も含まれていることです。

日常の「または」は「どちらか一方だけ」

日常での「または」の意味を2つの例文から考えてみます。

【接種会場にて】「ファイザー社またはモデルナ社のワクチンが接種ができます」

【役所窓口にて】「証明書を発行するには、マイナンバーカードまたは運転免許証を提出してください」

どちらの場面でも、「どっちにしようかしら」と思う人がほとんどです。つまり、日常の「または」は「どちらか一方だけ」の意味で使われています。

もしも、こんな変な人がいたら…

ところが中には「なら、わたしは両方を」と言い出す「変わった人」もいておかしくはありません（筆者は遭遇したことはありません）。接種会場では担当者に「ダメです。どちらか一方だけしか接種できません!」と言いつけられるでしょう。役所窓口では丁寧に「どちらか一方でいいですよ」と返されるでしょう。担当者は「変なことを言う人がある」と思っています。「変な人」は「“または”でしょ。“または”は両方を含むんです。だから両方を選んだんですけど…。数学の集合でそう習ったでしょ!」とたたみかけてくるかもしれません。担当者が数学に理解ある人ならば聞いてくれるかもしれませんが、「どういうこと??」と思われるのがオチです。

または	{	どちらか一方だけ	日常の言葉使い
		少なくともどちらか一方	数学の言葉使い

ここで興味深いことは、こんな変な人がほとんどいないことです。数学で習う「または」が「かつ」を含むことを意識していないこと。したがって、数学と日常における「または」を比較したことなどなく、言われて初めて気づく人がほとんどです。結果として、うまい具合に混乱することなく使い分けられています。

ちなみに、日常の「または」すなわち「どちらか一方だけ」は数学でも定義されています。「排他的または (exclusive or)」です。だからと言って、変な人に対してそのことを説くのも変な話です。日常では「または」の代わりに「どちらか一方だけ」を使えば済む話です。