

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No.

28

July

2020

特集 ICT教育の推進にあたって I

特別寄稿 塩野直道と『緑表紙』／数学の自由研究の支援・指導を通して



Contents

表紙裏

巻頭言

「水」が育んだ「知・好・楽」

東京理科大学理学部 教授／総合研究院ウォーターフロンティア
&テクノロジー研究センター長 由井 宏治

特集 ICT 教育の推進にあたって I

- 2 **I** 社会的背景と教育の情報化
ー今教育の情報化が謳われる理由ー
文部科学省 大臣官房審議官(初等中等教育担当) 矢野 和彦
- 7 **II** 情報活用能力を学びの基盤に
東北学院大学文学部 教授 稲垣 忠
- 12 **III** 教科等の指導における ICT 教育
[算数・数学] 東京学芸大学附属国際中等学校 教諭 小林 廉
[理科] 大阪市立味原小学校 教諭 岩本 哲也

特別寄稿

- 18 **1** 企画展「塩野直道と『緑表紙』
ー金沢高師第2代校長と伝説の教科書ー」を見学して
いづも財団 事務局次長／塩野直道先生顕彰会事務局 梶谷 光弘
- 21 **2** 数学の自由研究の支援・指導を通して
新潟第一中学校・高等学校 教諭／前 新潟市立両川中学校 校長 小畑 裕

- 25 **連載** 1枚の図から地球を考える
ー地球はどんなところかー 第2回
大陸の形から見えること
開成中学校・高等学校 教諭 有山 智雄

- 28 **連載** 統計の見方・読み方・使い方 第5回
公平な比較
ーアップル to オレンジ?ー
慶應義塾大学大学院 健康マネジメント研究科 教授 渡辺 美智子

- 31 **連載** 物理法則の科学史 第5回
万有引力の法則
国立科学博物館理工学研究部 研究員 有賀 暢迪

- 34 **教育に新しい風を**
夢にチャレンジする
元 呉市教育委員会理事 崎本 賢次

- 36 **広場** 地域教育で活躍する人々 第27回
Make Future by 掛け算
ー探究学習の先に見えてきた景色ー
一般社団法人シツクリ代表 山下 由修

裏表紙

知られざる女性数学者の素顔 第8回

キャサリン・ジョンソン

ーNASAの数学者としてアポロ月面着陸に貢献ー
サイエンスナビゲーター® 桜井 進

巻頭言

Kantougen



東京理科大学理学部 教授
総合研究院ウォーターフロンティアサイエンス&
テクノロジー研究センター長

由井 宏治 / ゆい ひろはる

1971年東京生まれ。1995年東京大学工学部応用化学科卒業。1999年同大学院博士課程中退。同新領域創成科学研究科助手。科学技術振興機構研究員を経て2005年東京理科大学理学部第一部化学科講師。同准教授を経て2013年同教授。2016年アメリカ航空宇宙局(NASA)-AMES研究所において惑星・生命起源探査に関する在外研究。同年11月より東京理科大学総合研究院ウォーターフロンティアサイエンス&テクノロジー研究センター長併任。専門は分光分析化学を用いた物質・材料の表面・界面・ナノスペースにおける水と生体系分子集合体の構造・物性・反応の研究。日本化学会、日本分析化学会、日本分光学会、高分子学会会員。2005年日本分光学会奨励賞、2006年日本分析化学会奨励賞、2013年堀場雅夫賞を受賞。著書『化学熱力学入門』(オーム社)他。

「水」が育んだ「知・好・楽」

「知・好・楽」。古代中国の思想家である孔子の『論語』の中にある「これを知るものは、これを好むものに如かず、これを好むものは、これを楽しむものに如かず」を略した言葉です。「これ」には、いろいろな言葉が入りそうですが、何かを「知る」こと、そしてよく知ることによって「好き」になること、そしていよいよ「楽しむ」境地に至って、良い仕事になる、というような意味でしょうか。大学を卒業して早 20 年がたち、さまざまな出会いや幸運に助けられて研究現場に身を置いてきましたが、今、この言葉の大切さを噛みしめながら、日々の勉学・教育・研究に取り組んでいます。

最初に告白すると、私は学生時代から「これ」がはっきりしていた人間ではありません。高校生のときは漠然と「宇宙」や「化学」、そして「工作」が好きで、自分はきっと「理系」だろう、と思って大学は理系に進みました。しかし当時はこの 3 つすべてを同時にかなえるような専攻は当然のことながら(?)見つかりません。結局、エイヤっと「化学」を専攻に選び、分析装置を作る「工学」の楽しみを得られそうな工学部で分析化学を専門に選びました。研究室に入り最初に与えられた研究テーマはパワープラントの冷却水や半導体の洗浄水の純度をリアルタイムで計れる装置の開発。そこで出会ったのが「水」という、ありふれてはいるけれどたいへん面白い、後の私の研究における鍵となる物質です。水は多数の水分子の集合体であり、水分子どうしは水素結合と呼ばれる組み換えが自由で柔軟な力で結ばれているため、おかれた環境に応じて、さまざまに構造や性質を変える特性を持っています。少し時間はかかりましたが、結局、特殊な環境におかれた「水」そのものの研究で博士号を取得しました。

その後、博士研究員を経て、大学に職を得たとき最初に任された講義は「化学熱力学」。例えば、水が水蒸気や氷になる条件を理論的に教えてくれる、たいへん重要な科目です。しかし大学生時代、実は最も理解不能で苦手な科目でした。講義を受けている最中、ふと、もし自分が将来大学で研究者になったとしても、この科目を教えることはきっとあるまい、と思ったほどです。しかし、教えずにはいけない。着任直前の春休み、教科書を多量に買い込んで、本当に必死に勉強しました。そうしたら、昔わからなかったことがどんどんわかり始める。ああ、そういうことだったのか。するとどんど

ん楽しくなってくる。そしていよいよ市販の教科書では飽き足らなくなり、さまざまな出会い・幸運にも恵まれ、とうとう自身の教科書を出版させていただく機会に至りました。このことは、必ずしも最初から「好き」ではない、むしろ「嫌い・苦手」と思ったことの中に、まさかの「知・好・楽」の種が眠っていることがあるのだ、そして自分でどんどん土壌を耕し、その種を育てていくことができるのだ、ということを知るたいへん貴重な経験となりました。

そして確か 40 歳をちょっと過ぎた頃、たまたま講演会で、地球だけでなく、太陽系には水(または氷)が広く分布していることを知ります。大学で専攻を選ぶ際に置き去りにしてきた「宇宙」と、卒研生のとき偶然携わった化学物質としての「水」。これらが結びついた瞬間でした。40 億年前、まだ太陽系に地球が生まれた頃の水環境、ひいては生命の誕生に至るまでに果たした水の役割にはまだまだいっぱい謎がある。これは「化学熱力学」の得意とする、温度・圧力環境を変えたときの化学の研究です。さらに続いて、「物質・材料表面の水」を集散的に研究する学際拠点を大学に設置する機会が訪れます。ここでは物質表面・内部における水の特殊な構造や性質、さらに材料機能と水との関わりを、物理・化学・生物・地学・材料工学・機械工学の先生がお互いの強みを活かした連携研究ができます。水が存在する環境で動作する機械の摩擦を減らす研究、生体中に埋め込んだ際に炎症を起こさず組織の再生を促す材料の開発。最近では統計学や情報科学、そして数学的なテクニックを駆使した「データサイエンス」という研究アプローチの持つ力に目を見張っています。気がつくとも「水」を中心に、専門の化学はもちろんのこと、新たに勉強したい項目がますます広がってきています。得意・不得意は脇に置いておくとして、この歳になって今、勉学が一番楽しい、というのなんだか不思議なものです。

皆さんの中には、もう「これ」が見つかった方がおられるかもしれません。一方、私のように、紆余曲折や出会い・幸運に助けられて、「点」と「点」が徐々に「線」で繋がっていくように、時間をかけて育まれていくこともあるかもしれません。日々の勉学や人々との出会い、そして時には苦手・嫌いと思う経験も大切に、皆さんの人生を豊かにする「これ」の種が見つかり、そして大きく育まれますように。❖

ICT教育の推進にあたって I

I 社会的背景と教育の情報化

— 今教育の情報化が謳われる理由 —

文部科学省 大臣官房審議官（初等中等教育担当）

矢野 和彦 / やの かずひこ

平成元年 4 月 1 日文部省入省、その後、在イタリア日本国大使館一等書記官（平成 16 年 1 月 1 日）、文部科学大臣秘書官事務取扱（平成 19 年 9 月 26 日）、文化庁文化財部記念物課長（平成 23 年 1 月 11 日）、文部科学省私学部私学助成課長（平成 25 年 2 月 1 日）、文部科学省初等中等教育局財務課長（平成 27 年 8 月 3 日）、文部科学省初等中等教育局初等中等教育企画課長（平成 29 年 4 月 1 日）、文部科学省大臣官房会計課長（平成 30 年 1 月 16 日）を経て、平成 31 年 1 月 22 日より現職。



1 ◆ なぜ今「情報活用能力」の涵養が必要なのか

(1) PISA調査が問うもの

令和元年 12 月、2018 年に実施された OECD の生徒の学習到達度調査、いわゆる PISA 調査「生きるための知識と技能」の結果が公表された (<https://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/>)。

メディアは一斉に、「読解力続落」「日本の読解力急落 15 位」「課題の読解力で 15 位」などと大々的に報じた。『「PISA ショック」再び』というセンセーショナルな見出しで報じた新聞もあった。

PISA 調査は、そのタイトルにあるとおり「生きるための知識と技能」を問うもので、子供たちが現代社会を「生きるため」の課題を強く意識したものとなっている。このため、そもそも網羅的に一般的学力を測るようなものではなく、かなり実用的・実践的なものである。

調査の概要であるが、2015 年に初めて導入された PC 使用型調査は、今回本格的なものになった。つまり 2015 年調査は PC 使用型といっても、単純に PC を「紙と鉛筆の代わりに使った」というだけのものである。

もう少し具体的にいうと、2015 年調査までは、「読解力」の定義は、書かれたテキスト（本や新聞など出所や校正・校閲がしっかりした書きもの）の中から「情報を探し出す」「字句の意味を理解する」「統合し、推論を創出する」「内容と形式について熟考する」などであった。つまり「従来型」の我々の常識の範囲内での「読解力」を問うものだったと言える（PISA 型の「読解力」と表現する人もいる）。

しかし、2018 年調査からは、オンライン上のさまざまなデ

ジタルテキスト（ブログ、投稿文、宣伝サイト、メール文）など、文責が誰にあるのか、出所が定かであるのか、校正・校閲がしっかりなされているのかなどが一見明確ではない文書について、「質と信^{しんびよう}憑性を評価したり」「矛盾を見つけ対処したりする」ことも求めており、問題自体もその 7 割が PC 使用型調査のために開発された新しいものとなっている。

つまり、前回までの「読解力」の調査からは大きく変化し、いかにも子供たちの日常生活に溢れていそうな実践的なテーマが選ばれるようになっていく。

OECD の責任者であるシュライヒャー局長も、現代社会においてデジタルの世界で求められる読解力に焦点を当てたこと、「フェイクニュース」が広がる世界での読解力がより重要な能力になっていることに言及している。

より具体的に言うと、例えば、「情報を探し出す」や「評価し、熟考する」に関して、ある商品について、販売元の企業とオンライン雑誌という異なる立場から発信された複数の課題文から必要な情報を探し出したり、それぞれの意図を考えながら、主張や情報の質と信憑性を評価した上で、自分がどう対処するかを説明したりする問題として以下のとおり出題している。

◆課題文1：企業のWebサイト

（商品の安全性を宣伝）

問1：字句や内容を理解する

問2：記載内容の質と信憑性を評価する（自由記述）

◆課題文2：オンライン雑誌記事

（商品の安全性について別の見解）

問3：課題文の内容形式を考える

問4：必要な情報がどの Web サイトに記載されているか推測し探し出す

◆課題文1と2を比較対照

問5：両文章の異同を確認する

問6：情報の質と信憑性を評価し自分ならどう対処するか、根拠を示して説明する（自由記述）

どうだろうか。いかにも、我が国の子供たちが「苦手」、あるいは、そもそも日頃ほぼ目にすることのない設問、テーマではないだろうか。これでは、従来型の「読解力」だけでは到底太刀打ちできない。2つの異なる立場の文章を見比べて信憑性を判断し、自分の考え方を述べる、これはもはや「情報活用能力」の域に入ってきていると言える。従来の国語科の「読解力」をかなり超えた領域であり、国語科のテリトリーにとどまらない課題とも言えると思う。

(2) PISA調査で明らかになったデジタルデバイスの活用現状

さて、あまり報道はされなかったが、今回の PISA 調査で明らかになった我が国の教育上の大きな課題はもう一つある。それは、デジタルデバイスについて、OECD 諸国と比較して授業に活用されていないという点(図1)*¹、そして、家庭での子供たちの自主的な使用が先行し、OECD 諸国に比較してゲーム遊

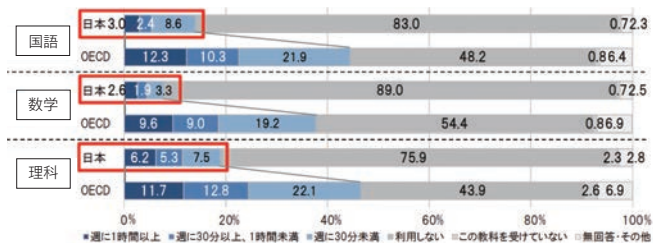


図1 1週間のうち、教室の授業でデジタル機器を利用する時間

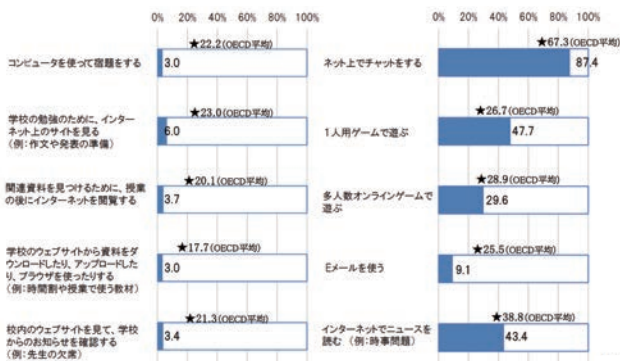


図2 学校外での平日のデジタル機器の利用状況

(青色帯は日本の、★は OECD 平均の「毎日」「ほぼ毎日」の合計)

びやチャットなど「遊び」に多く使われている反面、「宿題をする」「学校の勉強のためにインターネット上のサイトを見る」「関連資料を見つけるために授業後にインターネットを閲覧する」など、学校や家庭での学習にデジタルデバイスを使用している者の割合が非常に少ないという点である(図2)*¹。

つまり、デジタルデバイスは学習の道具であるということが、学校においても、家庭においてもあまり教えられていない状況にあり、子供たちが「自主的に」「遊び」に使っている実態が先行してしまっている。その結果「OECD 諸国の中で際立って、学習にデジタルデバイスが使われていない」ということがこの調査の非常に重要な点である。

デジタルデバイスに対する考え方は個人によりさまざまだと思うが、学校や家庭で、まずは「勉強道具」だという意識を身に付けさせる必要がある。

2 ◆ 「情報活用能力」と新しい学習指導要領

それでは、令和2年4月の小学校から順次実施される新しい学習指導要領では、「情報活用能力」はどのように扱われているだろうか。

まず、小・中・高等学校共通のポイントとして挙げないといけないこととして、「情報活用能力」を言語能力と同様に「学習の基盤となる資質・能力」として位置付けたことである。

これは、いわばすべての学問の「基」である「読み・書き・そろばん」に「情報活用能力」を付け加えたと言っても過言ではない。

具体的には、総則において、「児童生徒の発達の段階を考慮し、言語能力、情報活用能力(情報モラルを含む。)問題発見・解決能力等の学習の基盤となる資質・能力を育成するため、各教科等の特質を生かし、教科等横断的な視点から教育課程の編成を図るものとする」ことを明記している。

また、学校の ICT 環境整備と ICT を活用した学習活動については、総則において、情報活用能力の育成を図るため、各学校において、コンピュータや情報通信ネットワークなどの情報手段を活用するために必要な環境を整え、これらを適切に活用した学習活動の充実を図ることに配慮することを明記した。

次に、小・中・高等学校別のポイントである。

小学校においては、プログラミング教育を「必修」とした。

これは、文字入力など基本的な操作を習得し、新たにプログラミング的思考（注：自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号をどのように組合せたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力）を育成することとしている。学習指導要領では、各教科等（例えば総合的な学習の時間、理科、算数、家庭など）の特質に応じて、児童がコンピュータで文字を入力するなどの学習の基盤として必要となる情報手段の基本的な操作を習得するための学習活動や、プログラミングを体験しながらコンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動を計画的に実施することを明記している。

中学校においては、技術・家庭科（技術分野）においてプログラミング、情報セキュリティに関する内容が充実され、「計測・制御のプログラミング」に加え、「ネットワークを利用した双方向性のあるコンテンツのプログラミング」などについて学ぶこととしている。

高等学校においては、情報科において共通必修科目「情報Ⅰ」を新設し、すべての生徒がプログラミングのほか、ネットワーク（情報セキュリティを含む）やデータベースの基礎などについて学習することとし、「情報Ⅰ」に加え、選択科目「情報Ⅱ」を開設し、「情報Ⅰ」において培った基礎の上に、情報システムや多様なデータを適切かつ効果的に活用し、あるいはコンテンツを創造する力を育成することとしている。

なお、高等学校の「情報Ⅰ」については、令和元年6月のAI戦略(統合イノベーション戦略推進会議決定)では「大学入学共通テスト『情報Ⅰ』を2024年度より出題することについてCBT活用を含めた検討」とされており、令和6年度の大学共通テストへの導入が検討されている。

3 ◆ GIGAスクール構想

(1) 基本的な考え方

2018年のPISA調査の結果の背景、特に、学校でのデジタルデバイスの活用状況が低調な点について、たいへん残念ながら、我が国のPCなどの端末の整備、活用状況、ネットワーク整備が、OECD各国の中で依然として大変低い状況にあり、ある意味必

然的なことだったと受け止めている。

また、図 3 に示したとおり、都道府県ごとに見ても、佐賀県が 1.8 人に 1 台 PC などが整備されているのに対して、愛知県では 7.5 人に 1 台にとどまっている^{*2}。

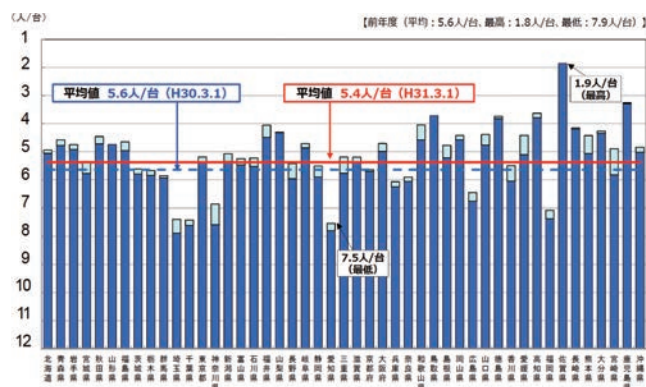


図3 都道府県別 学校における主な ICT 環境の整備状況
(教育用コンピュータ1台当たりの児童生徒数)

従来、ICT 環境整備は、設置者負担主義の下、地方財政措置、すなわち地方公共団体の「一般財源」で整備が行われてきた。その結果、このように ICT 環境整備が進んでいる自治体と遅れている自治体の格差が際立ってきた。

義務教育は「どこに住んでいても、誰であっても、妥当な規模と内容の教育が受けられる」ことが根本にある。にもかかわらず、地域間で著しい格差が生じている。市町村別に見るとさらに格差がある（下記 URL 参照）。

https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1420641.htm

このため、政府は、いわゆる「骨太の方針」2019年（令和元年）6月において、「学校ICT環境の整備状況に地方自治体間でばらつきが見られる中、国としてもその是正に努めつつ…」という文言を盛り込み、それまで自治体任せだったものを、国が学校ICT環境整備の積極的支援に乗り出すことを明確にした。

さらに言うと、ICT リテラシーは、経済的な格差が最も出やすい分野だとも言われている。

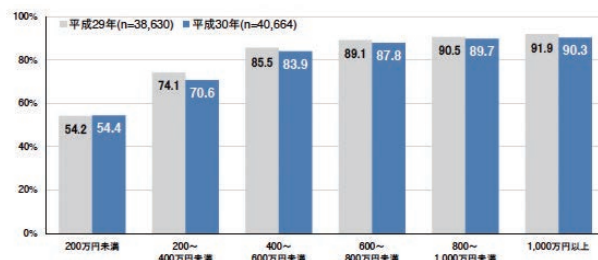


図4 世帯年収別インターネットの利用状況

図4の世帯年収別インターネットの利用状況を見ると、世帯

年収400万円のところで、「インターネットの利用状況」に大きな段差があることが確認いただけると思う^{*3}。

情報格差は、経済格差を生み、学力格差を生む。学力格差は経済格差を再生産する。このような悪循環に陥らないよう、情報格差を少しでも緩和することが必要だと考えている。

「教育の機会均等」は、学校教育にとっても最も重要な「哲学」であること、これをすべての学校関係者とぜひとも共有したいと考えている。

(2) GIGAスクール構想の加速

以上のような経緯や実情を踏まえ、文部科学省は令和元年12月の総合経済対策や令和元年度補正予算において、「GIGAスクール構想」（すべての小・中学校、特別支援学校（義務教育段階）にかかるPCなどの整備、すべての小・中・高校などの校内LAN整備）について総額2,318億円の予算を確保し、また、令和5年度までに、PC端末など1人1台の環境をすべての小・中学校などで整備することとした。

令和元年12月の段階では、学校のネットワーク強化やPC整備など地域間の格差是正を優先して行い、しかるべく後に、デジタル教科書への移行と併せて家庭へのPCの持ち帰りを実現し、学校と家庭をつなぐ。そのときは、BYOD (Bring your own device) を基本として、PCなどを用意できない家庭には就学援助などで支援する。というイメージを持っていた。

ところが、新型コロナウイルス対策により、我が国では、概ね令和2年3月2日から小・中・高等学校、特別支援学校で全国一斉の休校措置が取られ、約1,300万人の児童生徒が学校に通えなかったこと、また、世界各国でも同様の措置がとられ、令和2年4月現在、約15億人の子供たちが学校へ通えないことがUNESCOから報告された。

我が国でも、一部ではインターネットを活用したオンラインによる学習が続けられ、ますます地域間や経済的な「格差」が際立つこととなっており、学校と家庭を「つなぐ」ことの重要性が政府、国会において連日のように議題となった。

このため、政府は、令和2年度補正予算において、GIGAスクール構想の前倒しを決定し、端末整備のさらなる配備を支援するため、令和元年度補正予算措置済（小5、6、中1）に加え、残りの中2、3、小1～4すべてを措置するため、1,951億円を確保した。

また、緊急時における家庭でのオンライン学習環境の整備として、家庭学習のための通信機器整備支援147億円を確保し、Wi-Fi環境が整っていない家庭に対する貸与などを目的として自治体が行うLTE通信環境（モバイルルータ）の整備を支援することとしている。

このほか、障害のある児童生徒のための入出力支援装置整備として11億円を確保し、視覚や聴覚、身体などに障害のある児童生徒が、端末の使用にあたって必要となる障害に対応した入出力支援装置の整備を支援する。

さらに、GIGAスクールサポーターの配置として105億円を確保し、急速な学校ICT化を進める自治体などを支援するため、ICT関係企業OBなどICT技術者の配置のための経費を支援する。

これでGIGAスクール構想には、国費ベースで、令和元年度補正予算、令和2年度補正予算を合わせて総額4,610億円もの予算が投入されることになる。

このほか、総務省では、令和2年度補正予算において、在宅学習などを後押しする情報通信ネットワークの整備30.3億円を計上しており、高度無線環境整備推進事業の支援対象地域を条件不利地域以外の地域にも特例的に拡大し、光ファイバ未整備の学校を有する地域において、地方自治体や電気通信事業者などによる5Gなどの高速・大容量無線通信の前提となる伝送路設備などの整備を支援することとしている。また、経済産業省は、自宅でのオンライン学習のニーズが高まっていることも踏まえ、EdTechを用いる導入実証事業にかかる経費の補助（30億円）を民間企業に対して行うこととしている。

このほか、携帯大手3社は、新型コロナウイルスの影響でオンライン授業を始める学校が増加し、学生・生徒らの通信費負担が高まる懸念があるため、総務省からの支援要請を踏まえ、25歳以下のスマートフォン利用者を対象に1～2カ月程度、データ通信料を一部無償化することとした。

このようにGIGAスクール構想については、文部科学省のみならず、政府全体での対策が進められている。

(3) GIGAスクール構想の課題

文部科学省は、平成30年11月に「新時代の学びを支える先端技術のフル活用に向けて～柴山・学びの革新プラン～」を打ち出し、令和元年6月には「新時代の学びを支える先端技

術活用推進方策」(最終まとめ)を示した。今回の GIGA スクール構想の骨格となるものなので、ぜひご一読願いたい (https://www.mext.go.jp/a_menu/other/1411332.htm)。

さて、GIGA スクール構想の検討課題は山積しているが、いくつかを挙げておきたい。

① ICT環境整備についてどのような手順で整備するのか。地方負担への移行を含めて、どのようにサステナビリティを確保するのか。また、デジタルデバイスについてはBYODへどのように移行するのか。

② ICT機器や教材を使いこなす教師、人員をどのように養成・確保していくのか。日常的にICTを活用できる体制づくりをどのように進めるのか。

③ デジタル教科書と紙の教科書をどう取り扱うのか。教育用デジタルコンテンツの質をどのように確保するのか。

という3点が大きな課題である。つまり、ハードの整備だけではなく、指導にあたる教職員、サポートスタッフやソフト、コンテンツなどが重要と考えている。

このほか、例えば、

- ① 学校と家庭をつなぐ際に通信料を誰がどのように負担するのか。
- ② すべての授業でPCやタブレット端末が使えるようになる中で、各教科の指導方法をどのように発展、充実させていくのか。
- ③ 教員養成をどのように行い、教員免許をどのように変えていくのか、外部人材をどのように活用するのか。
- ④ 従来の教室、教材、教具をどのように見直していくのか。
- ⑤ 病気療養児、遠隔地、不登校児童生徒、外国人児童生徒などの支援にどのようにつけていくのか。
- ⑥ 学校の働き方改革にどのようにつけていくのか。
- ⑦ デジタルデバイスの負の側面をどのように教えていくのか。
- ⑧ 全国学力・学習状況調査のCBT (Computer Based Test) 化をどう進めていくのか。
- ⑨ 各種統計調査の改革にどのようにつけていくのか。

など挙げれば検討課題は尽きない。

また、この構想の行きつく先は、例えば、学校健診情報、歯科検査情報、学習情報などを、学校などが、個人情報の適切な取り扱いに留意しつつ、デジタルで共有することにより、それらの情報を学力対策、貧困対策、問題行動対策などの指導にどのようにつけていくのかなど、学校教育全体の充実・

改善につなげていくことである。

このため、文部科学省は、令和2年度において、図5、6に掲げるとおり、校務情報や学習情報のデータについて、学習指導要領のコード化を含めて検討することになっている^{*4}。

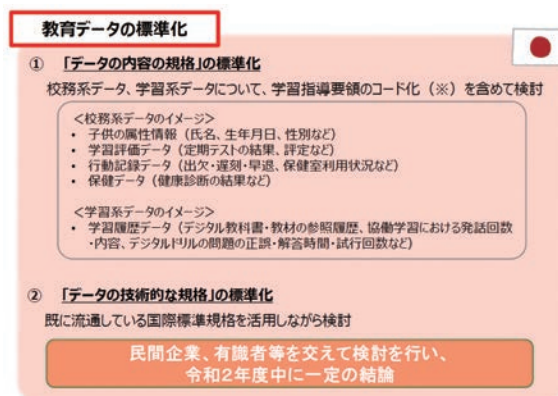


図5 教育データの標準化

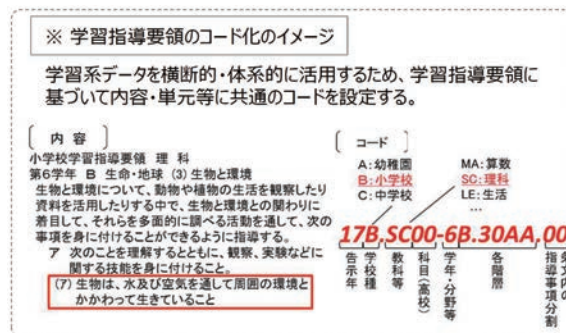


図6 学習指導要領のコード化のイメージ

もちろん、教育自体はコンピュータが行うものではなく、人が行うものであり、最後は「教育の成否は教師にかかっている」というところはいつの時代でも不変である。

デジタルデバイス、デジタル教材という新たな「武器」を、そして、そこから得られるデータを子供たちの成長のためにいかに使いこなすか。

やはりどこまでいっても学校教育では「教師」が主役なのである。

参考文献

- *1 文部科学省、国立教育政策研究所 OECD 生徒の学習到達度調査 2018 年調査ポイント
- *2 文部科学省 平成 30 年度学校における教育の情報化の実態等に関する調査
- *3 総務省 平成 30 年通信利用動向調査
- *4 文部科学省 (令和元年 6 月) 新時代の学びを支える先端技術活用推進方策 (最終まとめ)

II 情報活用能力を学びの基盤に

東北学院大学文学部 教授

稲垣 忠 / いながき ただし

1976年愛知県名古屋市生まれ。東北学院大学文学部講師などを経て現職。博士(情報学)。文部科学省『教育の情報化に関する手引』委員、経済産業省『未来の教室事業』教育コーチなど。著書に『探究する学びをデザインする！情報活用型プロジェクト学習ガイドブック』(明治図書)、『教育の方法と技術～主体的・対話的で深い学びをつくるインストラクショナルデザイン』(北大路書房)、『情報時代の学校をデザインする～学習者中心の教育に変える6つのアイデア』(翻訳・北大路書房)など。Web サイト：<http://www.ina-lab.net/>



1 ◆ 情報社会を生きる

大量の情報が日々作り出され、流通し、消費される社会、コンピュータやインターネットなどの情報技術に関連する産業が経済の中心となった社会、情報技術が生活の基盤となった社会、「情報社会」のイメージは多義的である。近年では、AI(人工知能)やIoT(モノのインターネット化)、AR(拡張現実)、VR(仮想現実)などの新たなデジタルテクノロジーが次々と登場し、暮らしや仕事を変革していくDX(Digital Transformation)という言葉も認知されつつある。

2020年、新型コロナウイルスが猛威を振るい、世界中に大きな被害をもたらした。人が多く集まることや、不要不急の外出への自粛要請の結果、テレワーク(在宅勤務)が広がった。情報技術を活用して仕事ができることの重要性が飛躍的に高まったと言えるだろう。筆者の勤務する大学でも、遠隔授業、オンラインでの履修指導など、さまざまな取り組みが進められている。一方、SNS上には真偽不明の情報や、ネットを使った詐欺、テレワークのセキュリティ面の課題など、情報コミュニケーションにまつわる問題も頻発した。

情報技術を適切に活用できること、情報を取捨選択し、批判的にとらえ、判断できること、情報発信のマナーに留意し、情報技術にまつわるトラブルを回避することが重要である。情報技術の光の面を人生や仕事に活用しつつ、影の面に適切に対処する力が情報活用能力である。2020年4月に小学校から順次実施されている新しい学習指導要領では、情報活用能力を、言語能力や問題発見・解決能力と並ぶ「学習の基盤となる資質・能力」であり、すべての校種において教科横断的に育成

するとされた。しかしながら、情報活用能力にはさまざまな側面があり、いつ、どの教科で、どのように育成するのかは明確ではない。本稿では、情報活用能力の構成要素を確認した上で、教科を横断して育成する上でのカリキュラムの考え方、育成方法として探究に着目したアプローチの3点について述べる。

2 ◆ 情報活用能力の要素

情報活用能力が最初に定義されたのは1986(昭和61)年、臨時教育審議会の第二次答申に遡る。平成元年改訂の学習指導要領から総則にコンピュータの使用が記載され、中学校技術科での関連領域の設定、高等学校情報科の設置などの充実が図られてきた^{*1}。現在の定義は「世の中の様々な事象を情報とその結び付きとして捉え、情報及び情報技術を適切かつ効果的に活用して、問題を発見・解決したり自分の考えを形成したりしていくために必要な資質・能力」である^{*2}。しかしながら、小学校から高等学校までの系統的な学習内容や、各教科等との具体的な関連部分の整理は十分にされていなかった。

その後の調査研究事業などの蓄積を経て2019年12月に公表された『教育の情報化に関する手引』^{*3}では、情報活用能力を細分化し、小学校低学年から高等学校までの5段階の「体系表例」が掲載された。資質・能力の3つの柱で分けられた上で、「想定される学習内容」として以下の4分野が示された。

- (A) 基本的な操作等 (B) 問題解決・探究における情報活用
(C) プログラミング (D) 情報モラル・情報セキュリティ

これらのうち、(C)のプログラミングは(B)問題解決・探究における情報活用の一部に位置付けられている。いずれにしても、

情報活用能力が含む要素は幅広く、単一の教科・領域で対応できるものではない。また、「問題解決・探究における情報活用」には、「情報の比較や分類の仕方」「聞き手とのやりとりを含む効果的なプレゼンテーション」のように、学習活動を進める基礎となるスキルが含まれる。情報活用能力が「学習の基盤」に位置付けられたのは、これらの理由に依る。

4つの要素の関係はそれぞれ独立している訳ではない。クローズアップする側面の違いと捉えればよい。図1は4つの要素の関係を2つの軸に整理したモデルである。

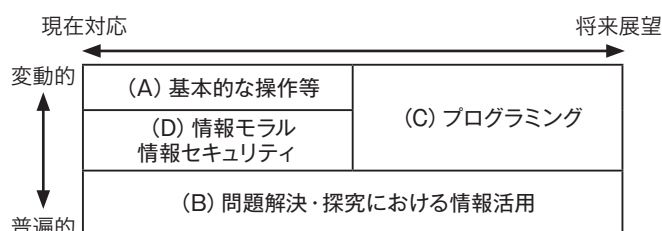


図1 情報活用能力の構成要素

縦の軸は、変動性と普遍性を示す。情報技術やそれによる社会の変化は激しく、小学校から高校までの12年間、通用する内容を決めることは容易ではない。その一方、数年単位で内容が変わるようでは、学校教育として体系的に育成することも難しい。変わらない普遍的なものと、時代に応じて変動するものとを整理する必要がある。図1では、普遍性の高いものとして「(B) 問題解決・探究における情報活用」を配置した。情報を集め、信頼性を吟味し、整理・分析し、考えをまとめ、発信するといった探究的な学びを支えるスキルは、手段にネットやICTが加わったとしても、本質が変わるわけではない。

横の軸は、現在対応と将来展望、つまり、身に付けた資質・能力をいつ使うのかに着目した。コンピュータの操作スキルは、学習の道具としてICTを活用していく上では子供たちが今、できるようになる必要がある。SNSのマナーやセキュリティといった情報モラル・情報セキュリティは、目の前の子供たちにとっても緊急性の高い、現在対応しなければいけない内容と考えられる。一方、情報技術の変化に対応するためには、コンピュータのしくみや動かし方を知っておくことで、将来登場する技術のそれまでとの違いを理解し、仕事や生活への役立たせることができるだろう。ここでの「プログラミング」はコンピュータ上でプログラムを作ることだけでなく、情報技術のしくみやコンピュータを使った問題解決の考え方なども意味する。小学校段階

階では基本的な考え方とその体験が中心となるが、中学・高校へと進み、「将来」が近づくに従って、プログラミングを道具として問題解決に取り組むことが、高等学校情報I・IIの学習指導要領に示されている。つまり、この4つの区分は、学年が上がるに従って重なりが濃くなっていくとイメージすることもできる。

3 ◆ カリキュラム・マネジメントの考え方

情報活用能力を学校教育の中でどのように育成していけばよいのだろうか。中学校では技術・家庭科の情報領域、高等学校でいえば情報科など、情報活用能力の育成を主たる目的とした教科や領域は存在する。しかしながら、すべての学習を支える基盤となる力という定義に立ち返るのであれば、教科・領域を横断的にとらえ、育成することが求められる。カリキュラム・マネジメントは一般に、1) 教科横断的な視点で教育内容を配列する、2) データに基づいたPDCAサイクルの確立、3) 学校内外の人的・物的資源の活用の3つの側面がある。

情報活用能力を教科・領域を横断して育成する上で、1) の側面に着目する。例えば以下のような手順が示されている^{*4}。

ステップ1: 育みたい資質・能力目標を明確に設定する。

ステップ2: 資質・能力の育成を目指して、子供の学びをデザインする。

(ア) カリキュラムをデザインする。

(イ) 学びの条件整備をデザインする。

ステップ3: データに基づいて、評価・改善する。

ステップ1では、前節で取り上げた『教育の情報化に関する手引』に記載された体系表例が手がかりになる。かつて、情報教育のカリキュラムとして、学年ごとに使用するソフトウェアや操作スキルによる系統化が試みられたことがあった。PCの使用がコンピュータ室に限定されていた時代には、一定の妥当性があったのだろう。ところが、タブレット端末などを教室で普段の授業で使用し、ソフトウェアもタッチ操作で容易になったため、特定のソフトウェアに依存した系統を持たせる必然性は高くない。例えば小学1年の生活科で動画を編集するといった実践も実際に取り組まれている。

そこで、操作の系統ではなく、質的な深まりを考えたい。つまり、個々の技能だけでなく、それを身に付けて行われる「学習活動の質」に着目した系統化を図るという考え方である。表1

表 1 情報活用能力の体系表（仙台市・宮城県）

	学習内容	レベル1（小学校下学年）	レベル2（小学校上学年）	レベル3（中学校）	レベル4（高校）
活動スキル	A1 記録と編集	写真や動画の撮影、音声の記録ができる	写真や映像、音声の加工・編集ができる	目的や情報の種類に応じてアプリケーションを選択、活用できる	複数のアプリケーションを組み合わせ情報を編集することができる
	A2 PCの操作	ローマ字で文字入力ができる	ファイル・フォルダの管理ができる	クラウド等を用いた協働作業のためにコンピュータを活用できる	クラウド等を用いてデータを安全に管理・活用することができる
	A3 ウェブ検索	キーワードで検索できる	サイトの構造を理解して情報を見付けられる	AND、ORなど条件を工夫して検索できる	目的に応じてデータベースや検索サービスなどを使い分けられることができる
	A4 図書利用	図書館内にある本を見付けられることができる	目次や索引を活用して情報を見付けられる	図書・新聞のメディアの特徴を理解して必要な情報を見付けられる	図書・新聞・文庫などのデータベースを活用して必要な情報を見付けられる
	A5 インタビュー	質問を用意することができる	下調べをしてインタビューするべき質問を選ぶことができる	インタビューが答えやすいように質問の順番を工夫することができる	インタビューの考えを引き出すために追加の質問ができる
	A6 アンケート	何を聞くか質問を考えられる	目的にあった質問の形式や内容を考えられる	集計・分析できるように適切な設問文や選択肢を作成できる	設問を組み合わせ集計・分析を想定して設問の形式や選択肢を考案することができる
	A7 メモ	大事だと思ったところを短い言葉で書くことができる	箇条書き・単語でポイントをまとめる	書く場所や矢印・強調などで工夫する	メモをとるべき場面を主体的に判断し、適切な方法で記録することができる
	A8 口頭発表	（物を見せながら）大きな声で分かりやすく話す	（資料を効果的に示しながら）身振りや声の抑揚など伝え方を工夫する	信頼性や信ぴょう性を考えて情報を選ぶことができる	オンラインサービスの特質に応じて伝え方を工夫する
探究スキル	B1 取捨選択	課題解決に役立つ情報を選ぶことができる	選んだ根拠を説明することができる	複数の情報から矛盾や欠けている情報を見付けられる	重要性や代表性を考慮して情報を階層化することができる
	B2 読み取り	ひとつの資料から視点を持って情報を読み取る	複数の情報から共通・相違点を見付けられる	情報を多面的に見て新たなアイデアを見いだす	情報を批判的に考察し、新たな価値を創出する
	B3 創造	情報から分かったことをまとめられる	情報を組み合わせで新たな意味を見いだす	アウトライン（目次）をつくり、内容を構成することができる	ウェブサイト等、複数の内容からなる情報を
	B4 伝達内容の構成	話の順番を組み立てることができる	相手を説得するために論理を組み立てられる	文字・写真・動画等のメディアを組み合わせ表現を工夫できる	色彩やフォント、映像・音響効果などメディアの特性を理解して表現を工夫できる
	B5 表現の工夫	メディアに応じた工夫ができる	伝えたいことに応じて表現を工夫できる	相手の関心や前提知識に配慮して伝え方や内容を工夫できる	グループメンバーの特性を生かして役割を分担し、計画を立てることができる
	B6 受け手の意識	相手を意識して伝え方を工夫する	相手の反応を見て伝え方や内容を工夫する	グループ内で役割分担を考慮して計画を立てることができる	グループメンバーの特性を生かして役割を分担し、計画を立てることができる
	B7 学習計画	決められた計画に見通しを持つことができる	自分で計画を立てることができる	振り返りをもとに改善策を立てられる	振り返りをもとに学習計画を修正・調節することができる
	B8 評価と改善	学びを振り返ることができる	振り返りをもとに次にやってみたいことを考えられる	物事の全体をシステム（部品の関係）で捉えることができる	物事の解決策をシステムとして捉え、表現することができる
プログラミング	C1 物事の分解	物事を部品に分けて捉えることができる	部品を組み合わせで物事を表現できる	情報の属性を意識して構造的に捉えることができる	コンピュータを用いて大量のデータを分類・整理することができる
	C2 情報の分類	情報を決められた観点に分類・整理できる	観点を考えて情報を分類できる	情報の規則性、順序性、一般性を図やプログラムで表現できる	シミュレーションによって情報の規則性や関係性を見いだすことができる
	C3 情報の関係付け	情報と情報の間にある関係に気付く	情報と情報の関係を図やプログラムで表現できる	問題解決の手続きを順序・繰り返し・分岐などを組み合わせて表現できる	問題解決の手続きを評価し、効率性等の観点から最適化することができる
	C4 問題解決の手順	問題解決の流れを手順に表すことができる	問題解決の手続きを順序・繰り返し・分岐などを組み合わせて表現できる	条件を切り分け、解決方法を論理的に考えて取り組む（デバッグ）	時間、コストなどの制約条件のもとで、問題解決の方法を最適化することができる
	C5 試行錯誤	うまくいかない時に繰り返し取り組もうとする	試作やシミュレーションを通して問題解決の方向性や改善策を見いだす	表やグラフを用いてデータを統計的に処理することができる	統計指標、回帰、検定などを用いてデータを統計的に整理・分析できる
	C6 データの傾向	大まかなデータの傾向を見出すことができる	データの変化を捉えて説明できる	新しい情報技術が社会や産業にどう活用されているか説明できる	ネットワーク上のコミュニケーションラブルに対して原因や対策を説明できる
	C7 情報技術の将来	新しい情報技術がどんなものか知る	新しい情報技術にどう関わるか説明できる	新しい情報技術が社会や産業にどう活用されているか説明できる	新しい情報技術が社会や産業にどう変化させていくのか説明できる
情報モラル	D1 コミュニケーション	相手によって受け止め方が違うことを理解する	発信する情報に責任を持つ	ネットワークの公共性を意識して行動する	情報技術の発達が発作権に与える影響を説明できる
	D2 法と権利	人のつくった作品や情報を大切に	著作権や肖像権に留意して情報を扱う	情報の保護や取り扱いに関する法律を理解することができる	健康や安全に対する情報機器・サービスのメリット・デメリットを説明できる
	D3 健康と安全	情報機器を使ってよい場所や時間を守る	情報機器を使う場所や時間を自分で管理できる	ルールやマナーを創造・遵守することで問題を解決しようとする	情報セキュリティを確保するための方法を説明できる
	D4 ルール・マナー	ルールやマナーが必要であることを理解する	ルールやマナーを相手と一緒につくる	健康や安全に対する情報機器・サービスのメリット・デメリットを説明できる	個人情報を法的な理解を踏まえて取り扱う
	D5 セキュリティ	パスワードを安全に管理する	なりすましやウイルスなどの危険を理解する	情報セキュリティの重要性を理解する	個人情報を法的な理解を踏まえて取り扱う
	D6 個人情報	自他の情報をむやみに他人にもらさない	自他の情報が伝わる範囲を考えて行動する	自他の情報を相手や範囲を考えて管理する	個人情報を法的な理解を踏まえて取り扱う
	D7 情報社会の将来	情報社会の特色を理解する	情報社会の中でどう生きていくか説明できる	情報社会がどうあるべきか説明できる	情報社会にどう関わっていくか説明できる

は、仙台市・宮城県・LINE 株式会社と協同で開発している『みやぎ情報活用ノート』で定義している情報活用能力の体系表である^{*5}。文部科学省の体系表例をもとに要素を整理し、学習活動の質的な高まりが伝わるように記述している。

ステップ2では、狭義の学びとしての（ア）カリキュラムのデザインと、広義の学びを支える（イ）条件整備の2つの側面がある。カリキュラムをデザインするには、教科・領域と学習活動と資質能力をつないで子供の学びの経験として形にしている^{*4}。ここでは、教科・領域の目標と情報活用能力の目標の関係に留意したい。両者の関係は、2つの考え方に整理できる。

① 教科の目標と情報活用能力の目標が一致する場合

② 教科の目標を達成する学習過程の中に情報活用能力の活用が含まれる場合

①の場合、その教科の学習指導として適切な授業を実施すれば、情報活用能力も自然に育成できる。ただし、カリキュラム・マネジメントの観点からは、教科指導の際に情報活用能力のど

の部分の育成につながっているのか、関係性を認識しておくべきである。中学校技術科の「情報の技術」、高等学校の「情報Ⅰ」「情報Ⅱ」のように科目や領域が情報活用能力そのものである場合はわかりやすい。小学5年社会科の「産業と情報との関わり」や道徳での情報モラル、算数および理科に記載されたプログラミングなども情報技術に直接関わる内容である。一方、小・中学校の国語科および高等学校「現代の国語」では「情報と情報の関係」「情報の整理」など、情報の扱い方に関する内容がある。これらは情報技術が必ず介在するとは限らない、より広範な情報活用である。教科によって情報活用能力との関係は多様であり、それぞれの関係性を把握した上で、カリキュラムを検討すべきである。

②の場合、情報活用能力を活用する学習過程をどうデザインするかが重要になる。その際、学習過程の中で、該当する情報活用能力の要素を習得する場合（②aとする）と、既に習得している情報活用能力の要素を「発揮」して、学習活動に取り

組む場合(② b)がある。aとbを区別し、教育課程全体の中で、いつ(どの学年で、何月に)、どこで(教科・単元)、どんな情報活用能力の要素の育成がなされているのか把握しておきたい。「新たな指導事項」として何度も教えてしまったり、「このくらいできるだろう」と曖昧な見通しのまま活動させることで混乱が生じてしまったりすることを防ぐためである。

条件整備に関しては、ICTの整備状況として特に児童・生徒がどんな機器をどの程度の頻度で利用できるのかを考慮に入れておく。加えて、探究活動を支援する学校図書館の役割は大きい。司書、司書教諭と連携して系統的に指導する機会を確保しておきたい。

ステップ3の「データ」にはどのようなものがあるだろうか。文部科学省では2022年度の実施を目指して「情報活用能力調査」の実施に向けた準備が進められている。過去に2013年度に第1回が実施されているが、残念ながら問題の公表は一部であり、学校で実施できるものではない。

現状で実施できることとしては、情報活用能力について、児童・生徒を対象にアンケートやチェックリストなどで実態把握を行う、あるいは、特定の教科・単元を児童・生徒が情報活用能力を存分に発揮する機会ととらえ、当該単元の学習成果(パフォーマンス)を重点的に評価するといった手法が考えられる。

以上のように、ステップ1から3まで課題は山積しており、情報活用能力を軸にカリキュラム・マネジメントのサイクルを回していくことは容易ではない。ただし、このステップは理念としての資質・能力の設定からデータに基づいたサイクルまで具体化する、いわばトップダウン型のアプローチである。学習指導要領を起点に学校のカリキュラムに落とし込むだけで情報活用能力を現実の教育課程に位置付けることが困難であることはここまで論じたとおりである。学校を基盤としたカリキュラム開発(SBCD: School Based Curriculum Development)の立場からは、カリキュラムを主体的に開発するリーダー教師によるマネジメントが重要である^{*6}。

4 ◆ 単元デザインから始める情報活用能力の育成

授業設計(インストラクショナルデザイン)の立場では一般に、学習目標の特性に応じて適切な指導の方法、評価の方法は異なる^{*7}。情報活用能力が資質・能力の3つの柱のいずれ

にも関わるものであり、かつ学習内容も(A)、(B)、(C)、(D)の4分野(第2節)で示されたように幅広いものである以上、単一の指導法を想定することはできない。

それでは、どのような授業を計画・実施していくことが情報活用能力の育成につながるだろうか。大まかに分けると(A)および(B)は学習方法として、情報や情報手段を活用しながら学ぶ際に働く力であり、(C)および(D)は、情報技術や情報社会に関する知識や態度的な側面が強い。そのため、(A)および(B)は、さまざまな教科で学習する際の学び方として取り扱う(前項の②)ことになり、(C)および(D)は、指導すべき機会を明確にして該当教科の学習内容として取り扱う(前節の①)。なお、小学校におけるプログラミング教育に関しては文部科学省から具体的な指導事例を含む手引が公表されている^{*8}。本項では、(A)および(B)に関する授業デザインを取り上げることとする。

「(A) 基本的な操作等」には、タイピング、アプリケーションの操作などの技能が含まれる。タイピングは、小学3年国語のローマ字の学習の際に指導することが学習指導要領には明記されている。習得するにはある程度の時間が必要となる一方、家庭での端末使用状況などによって個人差が大きい。また、タイピング練習のアプリケーションやウェブサイトは多くあり、教師が丁寧に指導する必要は高くない。放課後や朝学習など、授業時間外の時間や隙間時間を活用して練習機会を確保することが重要である。

「(B) 問題解決・探究における情報活用」には、情報の収集、整理・分析、表現、伝達といった一連の情報活用の過程で働く技能、思考、態度などが含まれる。情報活用の過程は探究のプロセスと共通点が多い。平成20、21年改訂の学習指導要領の解説、総合的な学習の時間編において「探究のプロセス」として「課題の設定」「情報の収集」「整理・分析」「まとめ・表現」のサイクルが示されてきた。新学習指導要領では「主体的・対話的で深い学び」の中でも「深い学び」において「習得・活用・探究という学びの過程」を取り上げ、各教科においても探究を含む授業の創造が求められる。情報活用能力が「学習の基盤」として機能するためには、各教科で探究的に学ぶ際、どんな情報活用能力を育成あるいは発揮する必要があるのかを意識した授業デザインが必要となる。

児童・生徒が教科において探究的に学ぶことを想定してみよう。単元内容に関して個々に自由に課題を設定して探究を始め

るのは、教科のねらいを達成する面からも、授業時数の面からも現実的ではない。児童・生徒に取り組みたいテーマへと教師が誘い、問題状況の大枠をクラスで共有した上で、グループあるいは個別に課題を設定する。その際、テーマが児童・生徒にとって魅力的なものでない限り、主体的に情報を集めたり、集めた情報を真剣に吟味しようとは思わないだろう。集団で取り組む探究は特にPBL (Project-Based Learning: プロジェクト型学習) と呼ばれ、近年注目されている。PBL のデザイン手法にならない、情報活用能力の育成を位置付けた「情報活用型PBL」^{*9}による授業デザインのアウトラインを解説する。

情報活用型PBLの単元モデルを図2に示す。学習過程は情報の「収集」「編集」「発信」の3段階に単純化し、さまざまな教科で短時間でも実施しやすくした。プロジェクトの目的を「ミッション」と呼ぶ。単元設計の概略を示す。

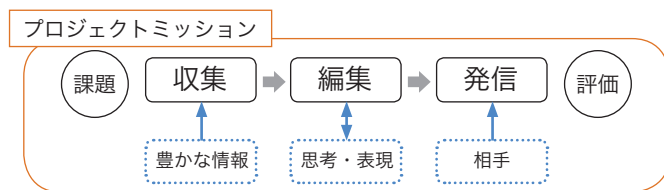


図2 情報活用型PBLの単元モデル

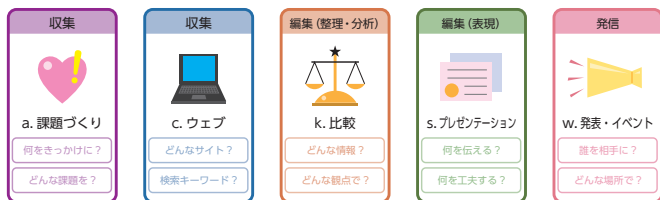


図3 学習活動カード（一部）

①物語る→プロジェクトのミッションと子供が作る学習成果物を想定する。学習活動カード(図3)を用いて子供の探究プロセスをシミュレーションする。

②分析する→子供がプロジェクトを遂行する過程で必要となる学習スキル(情報活用能力)を検討する。さらに、成果物の質を保障する内容(思考)と見た目(表現)の2観点のルーブリックを作成し、単元目標との関係を明らかにする。

③仕込む→収集・編集・発信のプロセスに子供たちを誘い、対話や振り返りの機会を設け、指導事項とタイミングを明確化し、必要な学習環境を整える。

情報活用能力は、「②分析する」において収集、編集、発信の各段階に位置付ける。収集場面では、ウェブ検索以外にもインタビュー、図書、アンケートなど、さまざまな活動が考え

られる。これらを適切に実行するための知識や技能が情報活用能力には含まれる。編集場面は、整理・分析と表現の2つの側面がある。まず、収集した情報を整理・分析するために、情報と情報を比較する、関連付ける、複数の情報から新たな価値を見出すといった思考活動が展開される。その際、ふせんや思考ツール、協働作業を支援するアプリケーションなどを扱う技能的な面だけでなく、それらを活用した思考活動そのものも情報活用能力には含まれる。表現では、得られた知見をプレゼンテーション、新聞、動画などさまざまなメディアで表現する。その際、メディアの特性を意識して手段を選択したり、情報の受け手に応じて表現を工夫したりする。最後の発信場面では、口頭で発表したり、SNSやウェブサイトなどで公開したりするなどして受け手に伝え、フィードバックを受ける。発表する際のパフォーマンスやフィードバックをもとに探究のプロセス(情報活用)を振り返り、評価・改善する。

すべての教科・単元がPBLに適している訳ではない。単元を選び、年間計画に位置付けられればよい。情報活用能力は教科横断的に育成する資質・能力であり、繰り返し活用することで、学習活動の質が高まり、教科学習の質の向上にもつながる。

「GIGAスクール構想」により、児童・生徒一人一台端末を含む急速なICT環境の整備が期待される。児童・生徒が端末を通して「学ばされる」ととどまらず、学びの質を高めるツールとして活用するために、情報活用能力を授業デザイン、カリキュラム・マネジメントを通して育成を図っていただきたい。

付記 本稿はJSPS科研費16K01123の成果の一部を含む。❖

参考文献

- *1 堀田龍也(2017) 情報教育の歴史と制度の成立、稲垣忠・中橋雄編『情報教育・情報モラル教育』ミネルヴァ書房、pp.11-30
- *2 文部科学省(2017)『小学校学習指導要領解説・総則編』
- *3 文部科学省(2019)『教育の情報化に関する手引』
- *4 松尾知明(2016)『未来を拓く資質・能力と新しい教育課程』学事出版
- *5 みやぎ情報活用能力育成共同プロジェクト事業(2020)学習目標リスト、<http://www.sendai-c.ed.jp/~frontier/jyouthou-katuyou/>
- *6 木原俊行、矢野裕俊、森久佳、廣瀬真琴(2013)「学校を基盤とするカリキュラム開発」を推進するリーダー教師のためのハンドブックの開発、カリキュラム研究(22)1-14
- *7 稲垣忠(2019)『教育の方法と技術～主体的・対話的で深い学びをつくるインストラクショナルデザイン』北大路書房
- *8 文部科学(2020)『小学校プログラミング教育の手引(第三版)』
- *9 稲垣忠(2020年出版予定)『探究する学びをデザインする! 情報活用型プロジェクト学習ガイドブック』明治図書

Ⅲ 教科等の指導における ICT の活用

①「算数・数学の問題発見・解決の過程」と ICT の活用

東京学芸大学附属国際中等教育学校 教諭

小林 廉 / こばやし れん

国立教育政策研究所教育課程研究センター学力調査官（非常勤）を経て、2008年4月より現職。2015年に東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科（博士課程）修了。博士（教育学）。平成27年度高等学校学習指導要領実施状況調査問題作成委員会（数学）委員、同調査結果分析委員会（数学）委員。



1 ◆ はじめに

文部科学省から2019年12月に出された『教育の情報化に関する手引』*1（以下『手引』）の第4章「教科等の指導におけるICTの活用」では、各教科等の特質に応じたICTの具体的な活用例が示された。算数・数学科では、小学校で2つ、中学校で5つ、高校で3つの場面が挙げられている。

一方、算数・数学科においてICT活用を積極的に進めるにあたっては、少なくとも次の2点が必要である。1点目は、『手引』にはその性格上示されていない具体的なICTソフトウェアの検討など、『手引』を授業実施レベルまで落とし込んでいくことである。2点目は、『手引』に示されている場面以外の具体例を開発し、ICTを活用する場面を増やしていくことである。本稿では、ICT活用にあたって算数・数学科として踏まえておくべき事項を確認した上で、『手引』には示されていない小・中・高それぞれの段階における活用例を中心に、ICTソフトを明確にしながら詳細に述べることにする。

2 ◆ 算数・数学科として踏まえておくべき事項

『手引』では、「情報活用能力を確実に育んでいくためには、各教科等の特質に応じて適切な学習場面で育成を図ることが重要であるとともに、そうして育まれた情報活用能力を発揮させることにより、各教科等における主体的・対話的で深い学びへとつながっていくことが一層期待される」*1とされている。算数・数学科における学習場面としては、中教審教育課程特別部会「算数・数学ワーキンググループにおける審議の取りま

とめ」*2に示された「算数・数学の問題発見・解決の過程」が参考になる（図1）。単元の内容や教材に応じて、この過程のうちどこでICTを活用するのが効果的であるのかを検討する必要がある。

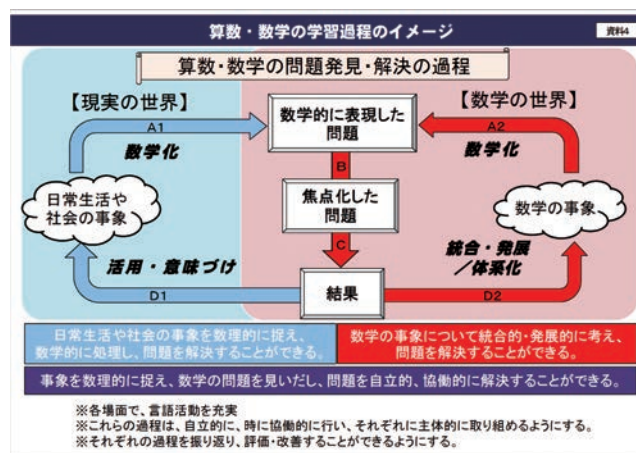


図1 算数・数学の問題発見・解決の過程

この点については、次の指摘も踏まえておく必要がある。すなわち、「ICTを活用して得られた結果から新たな疑問や問いを発して考えを深めたり、ICTを効果的に活用して対話や議論を進めたりすることができなければ、算数・数学の面白さなどを味わうことも、「数学的な見方・考え方」を成長させることも難しい」*2ということである。何のためのICT活用なのかを、図1の過程における資質・能力の育成を踏まえて検討する必要がある。

3 ◆ 小・中・高それぞれの段階における活用例

以下では、前節で述べた点を踏まえて、小・中・高それぞれ

の段階における活用例を詳細に述べる。その際、ICT ソフトとして GeoGebra を想定する。無料で質の高いアプリとして教育現場に普及しつつあること、スマートフォンでも動くため、BYOD (Bring your own device) への対応可能性も高いことが理由である。

(1) 小学校の事例—小6「データの考察」

2017 年告示小学校学習指導要領では、小6 D (1)「データの考察」においてドットプロットが明確に扱われることとなった。また、従来どおり柱状グラフ(ヒストグラム)も扱われる。ここでは、ドットプロットを既習として、2017 年告示の「小学校学習指導要領解説 算数編」^{*3}にあるようなアンケート調査を利用した統計的問題解決に臨むことを想定する。

例えば、家庭学習の一つの目安として、自分の学校における児童の、学校外での学習時間の分布を知りたいとする。このデータは個数が多く、また 1 時間を単位とすると値が小数になることが多い。そこで ICT の活用を考える。ここで用いるのは GeoGebra アプリの一つ「クラシック」である。

授業では、まずドットプロットだけを示すことを考える。「クラシック」の表計算・統計機能にて、画面左側の表にデータを入力し(Excel からコピーできるが、GeoGebra に貼り付ける際は Ctrl+V で操作する必要がある)、柱状グラフのようなアイコンから「1 変数解析」を選ぶことですぐに作成できる(図 2 上、このデータは筆者が本校の生徒にアンケート調査をした際の 中 1、105 名の学習時間である)。ここで、教室全体で、このドットプロットは、傾向は読み取れるものの観察しやすくはないこと、工夫しないと円が重なること(ちなみに、「クラシック」では、円の大きさも変えられる)、学習時間は 1 分単位まで細かく見る必要がないことなどを話し合うようにしたい。そのようにして問題意識を持たせた上で、0.5 時間を階級の幅とする柱状グラフを導入することを考える。

「クラシック」なら、ドットプロットと柱状グラフを上下に並べて表示することも可能である(図 2)。このことによって、個々の数値が反映されなくなった分(これは柱状グラフが失う情報ではあるが)、中心傾向や散らばりぐあいが比較的観察しやすくなったことを実感させたい。さらに「クラシック」では、ドットプロットと柱状グラフを重ねて表示することもできる。このイメージを持っておくことは、中学校以降において、ヒストグラムの縦軸は実は(相対)度数密度であり、(相対)度数は柱の高

さではなく面積で表されることの理解を促す可能性がある(詳しくは、小林(2017) 参照)^{*4}。

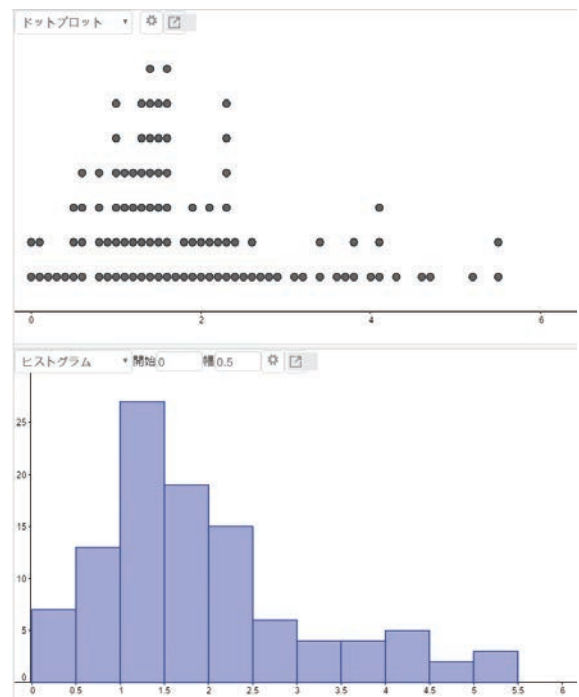
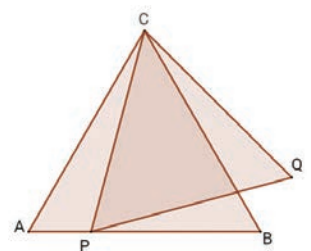


図 2 GeoGebra におけるドットプロットと柱状グラフ

(2) 中学校の事例—中2「図形の合同」

「図形」領域で ICT ソフトを用いるよさの一つは、図形を動かせることである。ここでは、中2 B (2)「図形の合同」において三角形の合同を活用する場面として、次の教材(問題)を考えてみる。

正三角形 ABC の辺 AB 上に、どこでもよいので点 P をとり、線分 CP を 1 辺とする正三角形 CPQ を作図する。ここで、辺 AB 上で点 P を動かすと、点 Q はどのように動くだろうか。



最初に予想させてみると、生徒の反応はいくつかに分かれる。そこから、実際に作図させてみたり、周りの生徒の作図と見比べさせてみたりすると、どうやら Q は一直線上を動くことが見えてくる。ここで、GeoGebra アプリ「クラシック」か「幾何」(生徒向けを意識して、「クラシック」よりツールが制限されている)を使う。これらのアプリでは、動点の残像を表示して軌跡を調べることができる。すると確かに、Q は B を端点とする直線上

を動かことがわかる(図3)。このようにして、生徒が「なぜだろう」と問いを持つことを期待したい。

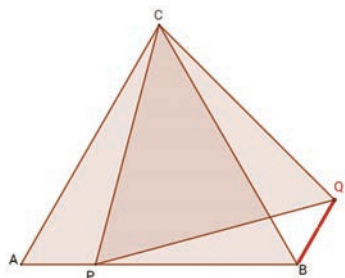


図3 点Qの軌跡(一部)

この問題の解決としては、点Pが辺AB上のどこにあらうとも $\triangle CAP \equiv \triangle CBQ$ が成り立つため(60°の回転移動と見られるようにしたい)、 $\angle CBQ = 60^\circ$ が保たれていると結論づける。なお、GeoGebraでは角度も簡単に求められるため、BQの方向として先に $\angle CBQ = 60^\circ$ を求めることも考えられる。

さらに、この教材では、図3を原題として、点Pが動く対象を辺AB上ではなく直線AB上にしたり、正三角形を正 n 角形として n を増やしたりするなど発展的な考察が可能である。図4は正方形や正六角形へと条件を変えた場合のものである。

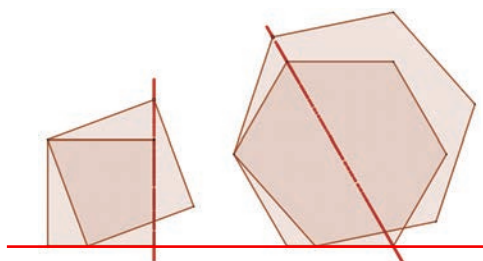


図4 正 n 角形の場合

このように、ICTの活用によって、図1のD2にあたる発展的な考察を実現しやすくなることを踏まえておきたい。

(3) 高等学校の事例—数学Ⅱ「図形と方程式」

ここでは、数学Ⅱ「図形と方程式」における不等式の表す領域に焦点をあて、領域における最大・最小を学習する場面として、次の問題を想定してみる^{*5}。

次の連立方程式の表す領域を D とする。点 $P(x, y)$ がこの領域 D 内を動くとき、 $x+y$ の最大値を求めよ。

$$x+2y \leq 8, \quad 3x+y \leq 9, \quad x \geq 0, \quad y \geq 0$$

ここで使うGeoGebraアプリは、「クラシック」か「関数グラフ」である。これらのアプリでは、不等式を入力すれば領域が

示されるのはもちろん、 $x+y=k$ のようにパラメータを設定すると、スライダーと呼ばれるツールでパラメータ k を変化させることができ、それに応じて直線 $x+y=k$ が動くようすを観察することができる。

本問題の自力解決として、領域 D の表示後、 D が表す多角形の各頂点の座標 (x, y) を $x+y$ に代入することが想定される。また、 $x+y$ が方程式の形になっていないためそのグラフを得られずに困ることも想定される。この点を教室全体でとりあげることで、 $x+y$ の右辺を文字で置くと方程式の形になり、それは直線を表すというアイデアを引き出したい。また、本問題の解決後は、 $x+y$ という式を変え、直線の傾きによって領域 D のどの頂点で最大値・最小値をとるかが変わることの実感を促したい。傾きの変更はGeoGebraなら簡単に行える。

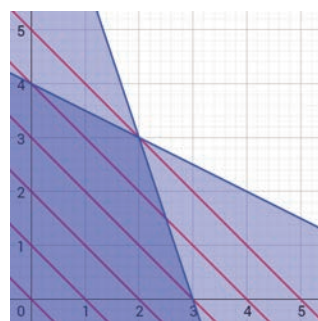


図5 領域 D と直線 $x+y=k$

さらに、本問題に取り組んだのであれば、その応用として、できれば生徒個人がアプリを自由に操作できる状態で、線形計画法の問題に取り組むことにしたい。領域は複雑になるが、だからこそこのICTである。ICTを活用することで、図1のCすなわち処理のプロセスをICTに任せ、A1の数学化やD1の活用・意味づけのプロセスに指導の重点を置くことができる。❖

参考・引用文献

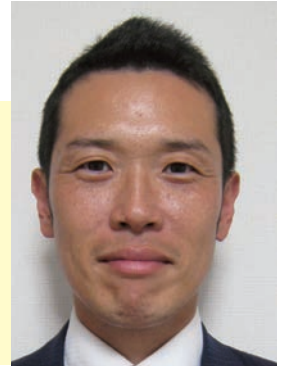
- *1 文部科学省『教育の情報化に関する手引』2019
- *2 中央教育審議会教育課程部会 算数・数学ワーキンググループ「算数・数学ワーキンググループにおける審議の取りまとめ(報告)」2016
- *3 文部科学省『小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 算数編』日本文教出版 2017
- *4 小林廉「算数科における統計教育のあり方に関する一考察—RME「データ解析」の事例から得られる示唆—」学芸大数学教育研究, 29, pp.53-62 2017
- *5 高橋陽一郎ほか『詳説 数学Ⅱ 改訂版』啓林館 2018

② ICT を「情報の収集・発信・共有」「記録の保存」で活用し、 資質・能力を育成する理科学習

大阪市立味原小学校 教諭

岩本 哲也 / いわもと てつや

大阪教育大学教育学部卒。理科教育専攻。日本理科教育学会、日本保育学会、日本生活科・総合的学習教育学会に所属。主な著書として、『板書で見る全単元・全時間の授業のすべて 理科 小学校 6 年～令和 2 年度全面実施学習指導要領対応～』（東洋館出版社、2020 年）、『小学校理科「深い学び」につながる授業アイデア 64 ～思考スキルで子どもの主体性を引き出す～』（東洋館出版社、2017 年）がある。



1 ◆ はじめに

今日の社会は、生活のあらゆる場面で ICT を活用することが当たり前となっている。さらに、社会の在り方そのものが劇的に変わる「Society5.0」時代の到来が予想されている。しかしながら、我が国の学校における ICT 活用状況は世界から大きく後れを取っている状況である。例えば、経済協力開発機構（OECD）の生徒の学習到達度調査（PISA2018）結果によると、理科の授業において ICT を「利用している」と回答した日本の生徒の割合は 19%（OECD 平均 47%）で、OECD 加盟国 15 か国の中で最も低かった*1。

そうした状況下、2020 年度から小学校学習指導要領が全面実施された。『小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説 理科編』では、「学習を深めていく過程で、児童が相互に情報を交換したり、説明したりする手段として、コンピュータをはじめとするさまざまな視聴覚機器を活用することが考えられる。これらの機器の特性を踏まえて効果的に活用することにより、理科において育成を目指す資質・能力の実現を図ることができる」と考えられる。*2 と記されている。また、文部科学省から 2019 年 12 月に『教育の情報化に関する手引』*3、2020 年 3 月に「GIGA スクール構想の実現」に関する説明資料*4 が公表された。そこには、理科における ICT の効果的な活用例や「1 人 1 台端末・高速通信環境」がもたらす学びの変容イメージが示されている。そこで、これらのことをもとに理科の学びを深める、理科の学びの本質に迫る「ICT の効果的な活用」について考える。なお、大阪市では、2012 年度から「学校教育 ICT 活用事業」として ICT を活用して協働学習や個別学習などの充実

を目指している。2016 年 3 月には全小中学校で、1 校あたり 40 台を基本としたタブレット端末など機器を整備し、ICT の効果的な活用に向けて先進的に取り組んでいる。本稿では、大阪市での実践を踏まえて紹介する*5。

2 ◆ 資質・能力の育成につながる「ICT の効果的な活用」

これまでの小学校理科における実践事例から、ICT を「情報の収集・発信・共有」「記録の保存」として活用することが有効であるとする。本稿では、問題解決の過程において、ICT を活用することで、どのような資質・能力の育成につながるかを詳述する。

2.1 ◆ 「情報の収集・発信・共有」で資質・能力を育成

(1) 情報の収集

学習内容によっては、情報通信ネットワークなどを用いて情報収集を行うことも必要となる。小学 5 年「動物の誕生」で母体内の成長のようすや、6 年「土地のつくりと変化」で火山の噴火や地震のようすを調べる際などで効果的である。「1 人 1 台端末・高速通信環境」が実現することで、一人一人が同時にさまざまなサイトにアクセスでき、必要な情報を主体的に収集・判断できる場面が増える。なお、確かな情報収集を行うために、情報の出典を記録するなどの指導が必要である。専門家とつないだ遠隔学習を通じて、効率よく確かな情報を収集することも可能である。ICT を活用して得たさまざまな情報をもとに、多面的に考察することができ、より妥当な考えをつくりだすことにつながる。

(2) 情報の発信・共有

観察・実験結果や情報通信ネットワークなどを用いて調べたこと、自分の予想や仮説、考察などの情報を発信・共有する際、ICTの活用は効果的である。実践例として、自分の考察を書いたノートをタブレット端末で撮影してサーバーに送り、全員の考察を画面で閲覧できるようにした。気になる考察は拡大して確認できる。そうすることで、自席から全員の考察を把握することができた。さらに、大型テレビに動画を映しながら説明できるようにした。考察の根拠となる結果について、注目すべき箇所を指し示したり、動画にマーキングしながら説明したりする姿が見られ、結果や解釈とその根拠を全体で共有することができた。このように ICT を活用することで、他者の考えを参考に、多面的に考察することができ、より妥当な考えをつくりだすことにつながる。

予想や仮説を発信・共有する際も同様に ICT を活用できる。6年「月と太陽」では、月の位置や形と太陽の位置について、モデルを使って根拠を説明し全体で共有することで、全員が根拠のある予想や仮説を発想することができた(図1)。



図1 複数のモデル実験の結果を並べて、月と太陽の位置関係についての予想を説明する様子

GIGA スクール構想の実現により、インターネットを用いて他校の子供たちや地域の人々と交流し、異なる考えにリアルタイムに触れることが可能となる。遠隔地や海外の学校、学校外の専門家などとの意見交換や情報発信・共有もできる。

2.2・「記録の保存」で資質・能力を育成

(1) 観察・実験結果を保存

理科では、考察する際のよりどころは観察・実験などの結果であり、それが不明瞭では結論を導くことができない。結果を明確にすることが非常に重要である。理科では、学習内容によって異なる特徴をもつ観察・実験などを行う。「野外観察」の結果をもとに考える学習内容では、観察時に ICT を活用して結果

を記録しておきたい。3年「身の回りの生物」ではさまざまな生物を観察し、比較することで生物の特徴を捉える。観察結果を「同時に比較する」際、ICTが効果的である。タブレット端末や大型テレビの画面に複数の生物の写真を同時に並べ、比較することで、生物の姿についての問題を見だしやすくなる。また、生物にはそれぞれに固有の形態があることを捉えることができる。

野外観察の中でも、3年「太陽と地面の様子」、4年「月と星」、6年「月と太陽」などは「長時間にわたる観察」を行う。このような観察では、インターバル撮影を活用したい。また、4年「季節と生物」では、動物の活動と季節や植物の成長と季節について「年間を通した観察」を行う。この場合も観察結果を写真や動画で記録し保存しておくといよい。ICTを活用して時間的な前後の関係で比べることで、差異点や共通点を明らかにすることができ、問題を見いだす力や観察結果をもとに、より妥当な考えをつくりだす力の育成につながる。

4年「金属、水、空気と温度」では、温まり方の違いを調べたり、5年「流れる水の働きと土地の変化」では、流れる水の働きをモデル実験で調べたりする。これらの実験の特徴として、「時間が経過するにつれて結果が変化していくこと」、「再実験を行おうとすると、準備に時間がかかること」などが挙げられる。この場合、実験を動画で撮影し保存しておけば、動画を何度も再生することで、正確に記録することができる。それにより、記録をもとに多面的に考察することができる。

ICTを活用して、実験前に用意した実験器具を撮影したり、実験中の様子を記録したりすることも効果的である。撮影した実験器具の写真に結果の見通しを書き込むことで、実験結果が一致していたかどうかを把握しやすくなる。実験中の様子を撮影することで、器具や機器を正しく扱いながら調べることができていたかを見直すことができる。

(2) 学びの記録を保存

学んだことをタブレット端末などに蓄積していくことで、自分の考えの変容を捉えやすくなる。また、過去の学びを振り返りながら、自然事象についての理解を深めることができる。ICTを活用することで、内容のまとまりや「理科の見方・考え方⁶⁾」について、内容の構成ごとにフォルダを作成することができ、自分の学びの記録を分類・整理しやすくなり、主体的に学びをつなぐ姿が期待できる。子供が「条件制御」の考え方を働か

せて学びをつなぐ実践例として、5年「植物の発芽、成長、結実」の学習後に「振り子の運動」で振り子の運動の規則性を調べる際の検証計画の立案場面を紹介する。

振り子が1往復する時間を変化させる条件について個人で予想し、解決の方法を考えた。すると、ある子供が「インゲンマメの発芽の条件を調べたときのように実験すればいいんじゃないかな」と発言した。その理由を聞くことで、全員がタブレット端末で記録していた「条件制御しながら植物の発芽の条件を調べた実験方法」(図2)を振り返りながら、振り子が1往復する時間を変化させる条件についての解決方法を発想することができた。



図2 タブレット端末で実験方法を撮影し、条件についてマーキングした記録

これら2つの学習内容の区分はそれぞれ「生命」と「エネルギー」で異なるが、まさに、「理科の考え方」で学びが繋がった瞬間だった。ICTを活用して自分の学びを保存することのよさは、実践例のように「いつでも」過去の学びを振り返ることができる点である。また、学びの記録を保存しておくことで、予想や仮説の設定場面では、既習の内容や生活経験をもとに、根拠のある予想や仮説を発想しやすくなる。例として、5年「物の溶け方」では、2年前の3年「物と重さ」での学びを根拠に、物が水に溶けると重さが変わるかどうかについて予想や仮説を発想することができたことが挙げられる。このように、すぐに振り返ることができるのはICTの強みであり、学年を超えて、学びをつなぐことができる。

他にも、気体検知管や電子てんびん、電流計など、正しい器具の扱い方を記録し保存しておくことで、いつでもすぐに振り返ることができ、技能の習得につなげることができる。

考察・結論場面では、自分の学習活動を振り返ることで、意味付けをしたり、身に付けた資質・能力を自覚したりしやすくなる。磁石の性質や電気の性質などを利用してものづくりをする際に、ICTを活用して作品を写真や動画で撮影して説明を付加

することも身に付けた資質・能力の自覚につながる。

「どこでも」記録できる点もICTのよさである。結論を導きだした後、再度自然事象や日常生活を見直し、気づいたことを写真や動画で撮影するようにすることで、学習内容を深く理解したり、新しい問題を見いだしたりすることにつながる。学習内容を深く理解することにつながった例として、4年「雨水の行方と地面の様子」がある。運動場で水は高い場所から低い場所へと流れて集まることを学習した後、「他の場所はどうだろうか」という問題を見いだしたので、個人にタブレット端末を渡し、他の場所を記録できるようにした。タブレット端末を自宅に持ち帰り、近くの公園や家の手洗い場や風呂場を撮影するなど、主体的に学習に取り組む態度が見られるとともに、自然事象についての理解を深めることができた。

3 ◆ おわりに

ICTの活用により、子供は「いつでも」「どこでも」「誰とでも」学ぶことが可能となる。また、教師は一人一人の子供の反応を把握しやすくなる。小学校で扱った教材や行った実験などの情報も、教師が撮影し保存しておくことで、中学校との連携もできる。他にも多くの効果的な活用があるだろう。

昨今、新型コロナウイルスの影響により、GIGAスクール構想の加速による学びの保障が進められている。今年度から使用する教科書にQRコードが記載されたこともあり、デジタルコンテンツを使用する機会が格段に増えるだろう。だからこそ、ICTを活用することが目的となってしまうように留意する必要がある。理科は「直接体験が基本である」ことを忘れてはいけない。あくまで、目指す資質・能力を育成するためにICTを活用するのである。理科教育の充実に向けて、ICTの効果的な活用を今後も検討していきたい。



参考文献

- *1 国立教育政策研究所『生きるための知識と技能 7 OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) 2018 年調査国際結果報告書』明石書店 2019
- *2 文部科学省『小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編』東洋館出版社 2018
- *3 文部科学省『教育の情報化に関する手引』2019.12
- *4 文部科学省「GIGA スクール構想の実現について」2020.3
- *5 大阪市「大阪市教育振興基本計画～“ええとこ”のぼそ 大阪の教育～」2020.3
- *6 鳴川哲也「理科における「見方・考え方」を働かせて資質・能力を育成する授業」『初等教育資料』2019 年 9 月号, No.984 2019

企画展「塩野直道と『緑表紙』 —金沢高師第2代校長と伝説の教科書—」を見学して

公益財団法人いづも財団 事務局次長／塩野直道先生顕彰会事務局

梶谷 光弘 / かじたに みつひろ

1975年から島根県公立小中学校、附属中学校に勤務。その間、兵庫教育大学大学院修了。その後、教育庁指導主事、小中学校長。2013年から島根大学特任教授を経て現職。著書には『華岡流医術の世界』、『松江藩校の変遷と役割』、『漢学と医学』、『西洋医学受容から衛生思想普及までの道のり』などがある。



2019年（令和元年。以下西暦で表記する）6月、一般財団法人理数教育研究所から塩野直道先生顕彰会事務局の筆者へ、金沢大学資料館で開催される塩野直道（1898-1969）に関する企画展（2019年7月5日～8月23日）のため、顕彰会が収集した資料の貸し出し要請があった。2019年はちょうど塩野直道没後50周年という記念すべき年にあたる時宜を得た企画であり、顕彰会はこの申し出を快諾した。

和算や教育史に関心を持ち、個人的にも塩野直道に関する資料を収集していた筆者は、7月29日、金沢大学資料館を訪れ、企画展を見学した。当日、資料館長の奥野正幸先生に案内していただき、展示資料約80点を見学した。そこでは、教科書編集に関わった時代だけでなく、これまであまり知られていなかった金沢高等師範学校校長時代の活躍も知ることができ、塩野が信念を持って科学教育の向上に取り組んでいたことに気づかされた。

▶ 1 文部省図書局図書監修官・第二編修課長として（1924-1945年）

島根県簸川郡園村（現島根県出雲市東園町）に生まれた塩野が地元を離れ、第三高等学校二部乙類（京都）、東京帝国大学理学部物理学科、松本高等学校教授を経て、文部省図書局図書監修官に就任したのは1924年のことだった。塩野の教科書に捧げた半生は、まさにこのとき始まった。

それから1945年に金沢高等師範学校へ異動するまでの21年間、塩野は文部省で教科書編集に没頭した。そのようすは、会場の「伝説の教科書誕生へ その1・2」・「緑表紙に注がれ

た新しい息吹」・「受け継がれる緑表紙の理念」のコーナーに展示されていた。



塩野直道が関わった教科書編集の説明と発行された小学算術教科書

1905年から使用され、何度か改訂されてきた国定教科書『尋常小学算術書』（通称「黒表紙」）の問題点を解決するため、1931年3月、塩野は文部省図書局のトップに「改訂に対する上申書」を提出し、本格的に改訂作業にとりかかった。そして、1934年、後に「伝説の教科書」と呼ばれる『尋常小学算術』（通称「緑表紙」）の「第一学年児童用 上」が発行された。

それまで教科書は3年生以上だったが、1年生から発行されたのはこのときが初めてだった。その上、それは生活や遊びに即したカラーの絵図・挿絵だけで構成され、それを通して算術的な関心を導き出そうとする斬新な内容で、教育界のみならず、子供や一般の人からも称賛された。

この絵図・挿絵を描いたのは、当時活躍していた画家多田北鳥^{ただ ほう}だった。多田が出版した『尋一算術書の絵を語る』を見ると、多田が塩野の考えを汲み取り、苦労して絵図・挿絵を描い



多田北鳥がインタビュー形式で答え、できあがった『尋一算術書の絵を語る』（モナス、1935年。顕彰会提供）

たようすがうかがえた。

また、緑表紙の特徴の一つである「四つ珠^{だま}そろばん」は、塩野が幼少時に愛用したものが出雲弥生の森博物館（島根県出雲市）から提供され、展示されていた。

1936年、この「緑表紙」が第10回国際数学会議（ノルウェーの首都オスロで開催）において「画期的な初等数学教科書」と高い評価を得たのも十分納得できる展示だった。

会場中央に展示された「緑表紙の問題をのぞいてみよう」も圧巻だった。1年生から6年生までの問題が原文と現代文とで展示され、緑表紙が目指した各学年の到達レベルを知ることができた。

筆者は6年生の問題の前で立ち止まった。それは「地球」について簡単な説明をし、「地球は、半径が6370kmの球と見ればよい」とした後、「飛行機が赤道の上で、5000mの高さを保って地球を1周するとすれば、この飛行機は赤道の周囲よりもどれだけ多く飛ばなくてはならないか。1時間300kmの速さで飛ぶとすれば、この飛行機が地球を1周するのに何日何時間かかるか。」（現代文。企画展「塩野直道と緑表紙」キャプション）という問題だった。

これは理科、社会科の知識を絡め、かつ日常生活と結びつけて算術的な関心を導き出そうとする総合的な問題で、小学校での教職経験がある筆者は、ぜひ今の6年生にも挑戦させてみたかった。

▶ 2 金沢高等師範学校校長として（1945-1947年）

1945年6月23日、塩野直道は金沢高等師範学校（以下、

金沢高師と表記する）第2代校長に就任した。

金沢高師は、約2年間にわたる誘致活動の結果、1944年3月、東京高師、広島高師に次いで設立された（「教員養成諸学校官制」）。修業年限は「師範教育令改正」で定められた4年で、学科は「高等師範学校規定」で定められた文科、理科、特科のうち理科のみでスタートした。同年12月に文部省の指定により特別科学教育研究班が設置された後、初代校長の倉林源四郎（元文部省図書監修課長、1944-1945年在職）が病気を理由に退職したため、その後任として、同じ文部省から塩野が着任した。

会場には「昭和二十年度 日誌」が展示してあり、6月30日、塩野が登校後、職員へ訓示した記事が記載されていた。



塩野直道の訓示記事が記載してある「昭和二十年度 日誌 金沢高等師範学校庶務課」（右側手前）の展示

金沢高師校長の塩野は、特別科学教育研究室長を兼務し、大きく二つのことに取り組んだ。

一つは、小・中・高の教員の資質向上である。特別科学教育研究室には塩野室長以下、金沢高師をはじめ金沢医科大学・第四高等学校・金沢工業専門学校・石川師範学校の教授と金沢高師のその他の教官15名の指導陣が揃っていた。そして、北陸三県の小・中・高から、研究意欲に燃えた教員が毎回20名～60名ほど入り、3か月程度の短期間、特定の教官の指導を受けながら一つの課題を研究し、科学の本質を追究した。

もう一つは、「科学に高度な天分を有する生徒の育成」を目指して開設された特別科学学級による理科の英才教育である。生徒は中学校などから6.9倍（1944年）、8.7倍（1945年）の入試倍率を経て選抜され、金沢高師の教官が特別なカリキュラムで指導した。

こうした取り組みの背景には、太平洋戦争による理数系教員の不足や軍部からの科学教育振興の要請があったためだが、

現実には戦時中の物資不足により実験設備は整わず、教材・教具も不足していた。その中で、教官は教材を工夫しながら指導し、所期の目的を達成していった。

一方、同窓会員から寄贈された当時の教科書、同窓会報誌『無限』なども展示されていた。『無限』の創刊号（1947年）には、塩野が「無限の創刊に寄せる」の一文を寄稿していた。

金沢高師は、存続した1944年3月から1952年3月までの8年間に415名の卒業生を送り出した。その間、塩野が校長として在職したのは、1945年6月から1947年7月（途中休職期間あり）までのわずか2年間ほどだったが、展示資料を見ると、この期間こそ教官と生徒との強いつながり、生徒の熱い愛校心が育まれた時期だったことがうかがえた。

▶ 3 新興出版社啓林館取締役として（1952-1969年）

敗戦後の1946年3月に開催された日米教育会議の日本側の委員として出席した塩野は、アメリカが提案した6・3制に反対した。これがきっかけとなり、教職追放（1946年12月）となった。すると、金沢高師で留任運動が起こり、塩野が退職したのは1947年7月のことだった。同年12月に公職追放となった塩野は、1951年10月に教職追放解除、翌年10月には公職追放解除となった。

戦後の新教育が始まり、1949年から教科書は国定教科書から検定教科書となり、多くの出版社が教科書を編集・発行していた。そんな中、1952年、塩野は新興出版社啓林館に入社し、文部省検定教科書の小・中学校を編集・主宰した。同年10月には取締役に就任し、高校の教科書の執筆も担当した。

会場には、1954年に編集した小学校の算数教科書の末尾に載った塩野からのメッセージ「先生と父兄の方々へ」が展示されていた。ここには、塩野が目指した教科書編集方針とそれを使用した指導法が、次の5点にまとめられていた。

- ア 子供たちの知恵の働きを、算数の面からできるだけ伸ばすことを目的として編集する。
- イ そのために重要な教材を選び、子供の心理を考えながら系統的に配列する。
- ウ 子供たちの考えようとする態度、考える力を養うため、考え方の筋道を示すとともに、考えることに興味を感じさ

せ、考える力を練ることのできる問題を数多く取り入れる。

エ 算数の指導に当たっては、子供たちが興味と必要を感じ、進んで追究するように仕向けていく。

オ 実際生活における問題解決学習に備え、各学年に設けた特別な単元では、実際の子供たちの生活について生き生きとした指導を行う。

こうして、学力低下が懸念される中、塩野は、これからの算数教育の在り方について、教師と保護者へ直接訴えて協力を求めたのである。

▶ 4 塩野直道先生顕彰会の設立・活動

金沢大学資料館へ資料を貸し出した塩野直道先生顕彰会（島根県出雲市）は、2017年に出雲弥生の森博物館で開催された「伝説の教科書を作った郷土の偉人 塩野直道物語」をきっかけにして立ち上がった。



「塩野直道先生を顕彰する講演会」で講演していただいた元大阪教育大学教授 松宮哲夫先生（2018年12月2日、出雲市長浜コミュニティセンター）

その後、塩野直道先生顕彰講演会の開催、DVD「塩野直道ものがたり」の制作・配布、ご家族・ご親戚をはじめ教科書編集に携わった関係者各位からの資料収集などを行った。これまでに寄贈いただいた約130点の資料は、母校である島根県立大社高等学校と出雲市立中央図書館に寄贈するとともに、その一部を大社高等学校有朋館^{ゆうほうかん}に常設展示し、「郷土の偉人」として塩野直道を後世に語り継いでいる。

参考文献

- 出雲弥生の森博物館「伝説の教科書を作った郷土の偉人『塩野直道物語』」2017年。
- 金沢大学資料館「塩野直道と『緑表紙』」2019年。

数学の自由研究の支援・指導を通して

新潟第一中学校・高等学校 教諭／前 新潟市立両川中学校 校長

小畑 裕 / おばた ひろし

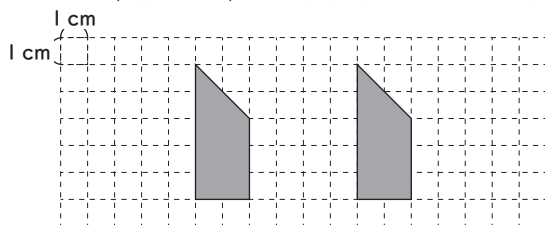
新潟県公立学校教員等を37年間務め、平成31年3月をもって定年退職。その間、新潟大学教育学部附属新潟中学校教諭、新潟市総合教育センター主任指導主事等を歴任。生徒が主体的に学ぶ姿を目指し、「課題学習」や「自由研究」を支援・指導した。新潟市立両川中学校では、3人の生徒が3年連続「奨励賞」を受賞した。



▶ 1 はじめに

令和元年度「全国学力学習状況調査・算数」の大問[1]では、次の問題が出題された。

(2) ちひろさんは、次のように、2つの合同な台形をつくりました。



上の2つの合同な台形を、ずらしたり、回したり、裏返したりして、同じ長さの辺どうしを合わせ、いろいろな形をつくります。

どのような形をつくりことができますか。

下の1から4までの中からすべて選んで、その番号を書きましょう。

上記の問題は「『台形』を『2枚』組み合わせてどんな図形ができるか？」と見ることができる。

この問題を「発展的に」考えてみる。

「『台形』を別な図形にしてみよう…。『正方形』にしたらどうだろうか？『長方形』にしたら？『平行四辺形』にしたら？それらを組み合わせるとどんな図形ができるだろうか？」「『2枚』を『3枚』にしたらどんな図形ができるだろうか？『4枚』にしたら？それらを組み合わせるとどんな図形ができるだろうか？」と新たな問題を考えることができる。

▶ 2 提案授業・小学校6年生

新たな問題…『直角三角形』を『4つ』組み合わせたら、どんな図形になるだろうか？

【問】直角をはさむ2つの辺が2cm, 1cmの直角三角形が4つあります。

この4つの合同な直角三角形をすべて使って、ずらしたり、回したり、裏返したりして、同じ長さの辺同士を合わせて、いろいろな四角形をつくります。どのような四角形ができるか考えましょう。

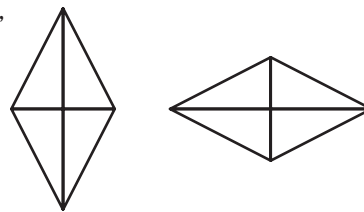
学習指導要領算数科の目標に「算数で学んだことを生活や学習に活用しようとする態度を養う」とある。

子どもたちは、1cmの方眼紙にかいたり、実際に4つの直角三角形を右左に動かしたりして四角形をつくっていく。

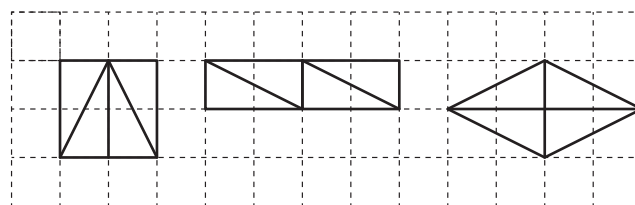
「図形に名前があるものは、その名前も言いましょう。」

教師のこの一言で、子どもたちは「正方形ができた」、「長方形ができた」、「ひし形は？」、「平行四辺形は、いくつもできる！」などと、この数学的活動を楽しみながら問題を解決していく。

ひし形では、の2つの



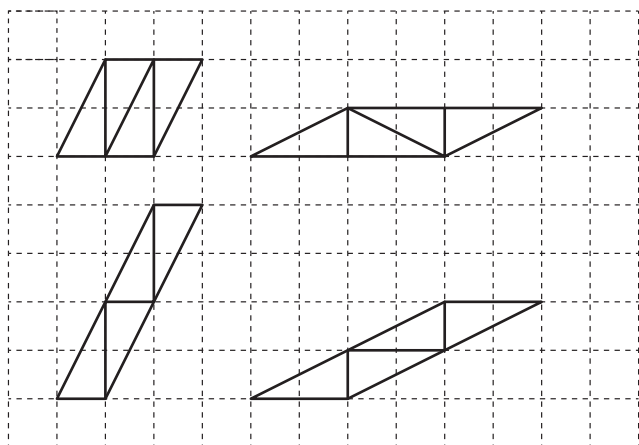
図形ができるのだが、子どもたちから「回せば2つの図形は重なります」との発言で、『合同』の復習ができる。



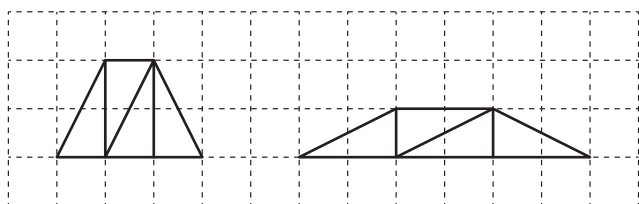
正方形
1種類

長方形
1種類

ひし形
1種類



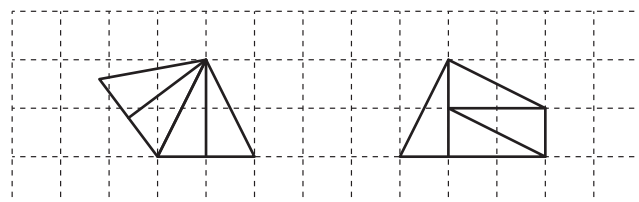
平行四辺形 4種類



台形 2種類

このように、最初9種類の図形を発見する。

そして、ある児童から「名前のない図形もつくってよいですか?」と発言が出る。どのようなものか?



(いわゆるたこ形四角形)

名前がつかない四角形

2つの図形が提示されたとき

「おー!」と歓声があがる。

もっと他にないでしょうか?

「先生、三角形ができました!」

「四角形ということなので、だめだと思います。」

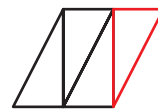
次のような発言も。

「先生、平行四辺形、台形、名前がつかない四角形のなりたちがわかりました。」



この3枚をもとにして、もう1枚をどこにくっつけるかで、3種類の図形ができます。

・直角三角形を逆さまにして、右にくっつける。
平行四辺形ができます。



・直角三角形の上の方を細くして、右に付ける。
台形ができます。



・直角三角形を倒して、下に付ける。名前のつかない四角形ができます。



またこの最初の調査問題は、台形を別な図形に、2枚を3枚、4枚にすることで、十分に「算数・数学の自由研究」の題材になりうるだろう。

素朴な1つの問題から、数字を変えたり、条件を変えたりすることで疑問がふくらみ、「算数・数学の自由研究」の題材につなげることができる。

▶ 3 3年連続全国奨励賞受賞

私が勤務した新潟市立両川中学校では、算数・数学の自由研究で生徒が全国第3席に当たる奨励賞を3年連続受賞した。

Rimse 奨励賞 中学校の部 (理数教育研究所のHPより)

平成 28 年度

循環する無限小数の循環節の長さに規則性はあるのだろうか?	新潟県 新潟市立両川中学校	3年	西 賢汰
------------------------------	---------------	----	------

平成 29 年度

1/9801の謎を解き明かしていくと、どこにたどり着くのだろうか?	新潟県 新潟市立両川中学校	3年	畑野 安奈
-----------------------------------	---------------	----	-------

平成 30 年度

循環する無限小数の循環節の長さに、規則性を見つけた!	新潟県 新潟市立両川中学校	3年	中村 和佳
----------------------------	---------------	----	-------

1年目の西賢汰さんは、「『1÷素数』を小数表記したとき、循環する無限小数の循環節の長さに規則性はないか?」と興味をもった。「無限等比級数がその鍵を握るのではないか?」と仮説を立て検証した。しかし、「循環節の長さの規則性の解明」までは、たどり着かなかった。



2年目の畑野安奈さんは、「『1÷9801』の小数表記がきれい



な数列になるのはどうしてか?」と興味をもった。「 $9801=99^2$ 」に着目し、「 $1 \div 99^2$ 」を展開し整理することで解明することができた。さらに

99^2 (2桁)でなく、 999^2 (3桁)、 9999^2 (4桁)や、2乗でなく3乗、4乗…はどうか?と探究していき、最終的に素数7の不思議さに魅了させられた。

3年目の中村和佳さんは、1年目の西さんの問題を受け、「循環節の長さの規則性」を探究していった。「1のぞろ目」に着目し、素因数分解をもとに、初めて素数が出てきたときに、「(素



数-1)桁」になると規則性を発見した。「(素数-1)桁」で循環する最初の素数は7であることも魅力的だと結んだ。

▶ 4 自由研究を支援して

「算数・数学の自由研究」の歴史は浅い。「理科の自由研究」に比べると、裾野ははるかに及ばないのが現状だ。全国で1万7千もの応募があるが、新潟県では毎年数点の応募と聞く。

通常、夏季休業中の自由課題で児童・生徒が作成したものの中から、算数・数学について課題研究したものを応募することになる。しかし、自由研究を募っても児童・生徒から「はい先生、できました」とはならない。広く募るものの、子どもたちが自ら算数・数学の自由研究を選択し、「それならやってみよう」とはならないのである。

本校の応募者は、校長である私が、理数系の強い一部の生徒に声をかけ「自由研究、私やってみます!」と返答した生徒たちである。いわば、一本釣りである。「やってみます」と言ってくれた生徒に、どう主体的な学びや興味・関心を掘り起こせばよいか。以下のように、支援・指導を進めていった。

(1) 題材は、教師が示す

生徒が「自ら課題をもって自由研究を進めていく」ということは、なかなかできないことだ。そのような生徒に「こんな題材があるけど、やってみる?」と誘った。

3年目の中村さんには「 $1 \div$ 素数を小数表記すると、(素数-1)桁で循環するものと、それより短い桁で循環するものとがある。1年目の西さんがそれを調べたけれど、できなかった。とこ

ろがあることをもとに調べていくと、解決できそうなんだ。調べてみる?」と題材を提供した。

(2) 研究の方向を示す

「やります。やってみます!」の言葉を受け、私は「研究の方向」を以下のように示した。

$1/7$ を考えてみよう。

これを小数にすると、 $0.142857142857\cdots$ になる。

これを再び分数にする方法は、

$$x = 0.142857142857\cdots \quad \cdots \text{ア)}$$

$$1000000x = 142857.142857142857\cdots \quad \cdots \text{イ)}$$

イ) -ア) をして、

$$999999x = 142857$$

$$x = \frac{142857}{999999} \quad \cdots \text{ウ)}$$

約分し続けていくと、答えは最終的に $\frac{1}{7}$ になるということから、142857 と 999999 には共通因数が多く、

$$999999 \div 142857 = 7 \quad \text{であることがわかる。}$$

素因数分解をする。 $999999 = 3^3 \times 7 \times 11 \times 13 \times 37$

$$142857 = 3^3 \times 11 \times 13 \times 37$$

ウの分母の 999999 は必ず9で割り切れるので、ウの上下を9で約分すると、 $\frac{15873}{111111}$ になる。このように、循環小数を分数にするとき、上記のようなやり方をし、上下を9で約分すると、分母は必ず「1のぞろ目」になる。

このことから「『1のぞろ目の素因数分解』を調べたら、おもしろい結果が出るのではないかな?」と示すのである。私自身どんな結果が出るか、この段階ではわかっていない。結果が楽しみ…。

(3) 実際に解決に取り組ませ、結論を導き出す

後は、中村さんに任せることになる。そして、中村さん自身で以下の結論を導き出した。

(書き表し方で、 $1111\cdots 1$ を 11_k と表すことにする。)

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{k\text{桁}}$

$$11_1 = 1 \quad (\text{素数ではないが、約数が1自身しかない特別の数})$$

$$11_2 = 11 \quad \text{素数} \quad (\text{赤の数字は、そのとき初めて出た素因数})$$

$$111 = 11_3 = 3 \times 37$$

$$1111 = 11_4 = 11 \times 101$$

$$11_5 = 41 \times 271$$

$$11_6 = 3 \times 7 \times 11 \times 13 \times 37$$

$$11_7 = 239 \times 4649$$

$$\begin{aligned}
 11_8 &= 11 \times 73 \times 101 \times 137 \\
 11_9 &= 32 \times 37 \times 333667 \\
 11_{10} &= 11 \times 41 \times 271 \times 9091 \\
 11_{11} &= 21649 \times 513239 \\
 11_{12} &= 3 \times 7 \times 11 \times 13 \times 37 \times 101 \times 9901 \\
 11_{13} &= 53 \times 79 \times 265371653 \\
 11_{14} &= 11 \times 239 \times 4649 \times 909091 \\
 11_{15} &= 3 \times 31 \times 37 \times 41 \times 271 \times 2906161 \\
 11_{16} &= 11 \times 17 \times 73 \times 101 \times 137 \times 5882353 \\
 11_{17} &= 2071723 \times 5363222357 \\
 11_{18} &= 32 \times 7 \times 11 \times 13 \times 19 \times 37 \times 52579 \times 333667 \\
 11_{19} &= \text{素数} \\
 11_{20} &= 11 \times 41 \times 101 \times 271 \times 3541 \times 9091 \times 27961 \\
 11_{21} &= 3 \times 37 \times 43 \times 239 \times 1933 \times 4649 \times 10838689 \\
 11_{22} &= 112 \times 23 \times 4093 \times 8779 \times 21649 \times 513239 \\
 11_{23} &= \text{素数} \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

<< わかったこと >>

k が素数のとき、「そろ目の数 $11_{(k-1)}$ 」の素因数分解で、初めて k が出現すると、

$\frac{1}{k}$ の循環節は、(k-1) 桁となる。

$1 \div 7, 1 \div 17, 1 \div 19, 1 \div 23, \dots$ は (素数-1) 桁で循環する。

(4) 結果を考察し、条件変更を促し「新たな問題をつくらう」と誘う

わかったことをもとに、中村さんはさらに次のような新たな問題をつくり、挑戦した。

$$11_6 = 3 \times 7 \times 11 \times 13 \times 37$$

$$11_{12} = 3 \times 7 \times 11 \times 13 \times 37 \times 101 \times 9901$$

このように、 11_6 の素因数は、 11_{12} にも含まれていることがわかる。 $101 \times 9901 = 1000001$ となる。そして新たな問題。

- ・両端が1で、中は0の数字が素数の積でつくれないか？

(例) $10001 = 73 \times 137$

- ・両端が1で真ん中も1、あとは0ばかりの数字が素数の積でつくれないか？ (例) $10101 = 3 \times 7 \times 13 \times 37$

など、自ら条件を変えて考察していった。

そして、 $1 \div$ 素数で、最初に(素数-1)桁になるのは、7であり、「素数7の不思議さ・魅力を発見できた」と結んだ。

▶ 5 算数・数学の自由研究とは

(1) 課題学習・選択数学・総合的な学習に似て

私は、昭和57年4月に新潟県公立学校教員に採用になった。その数年後、平成元年度版学習指導要領が告示された。中学校では「課題学習」や「選択数学」が導入された。そのねらいは「生徒の主体的な学習を促し数学的な見方や考え方の育成を図る」ことを目的とし、「各領域の内容を総合したり日常の事象に関連付けたり」した「課題学習」や「選択数学」が教育課程の中で取り入れることが示された。

当時「課題学習」、「選択数学」に取り組んだ教員は、生徒の興味・関心のある事柄をもとに、一人一テーマに即したまとめや結論にまで支援・指導を繰り返していった。それも担当する生徒全員に、である。一定の成果に仕上げることは、並大抵のことではなかった。「自由研究の元祖」と捉えることができる。一人一テーマというその流れは、現在の「総合的な学習」に引き継がれている。

(2) 塩野直道賞 顕彰委員会の趣旨

塩野直道記念「算数・数学の自由研究」作品コンクールの応募用リーフレットに掲載されている趣旨では、「日常生活や他教科の学習から興味をもった事象を、数学的な見方・考え方を活用して主体的に探究する姿勢を培うため」にこの作品コンクールを実施するとある。また、「自ら気づいたもの、つくりあげたもの、既習内容を積み上げたもの、(中略)みんなで発見したものなど優れた作品を表彰する」と記載がある。

(3) 多くの子どもたちから「自由研究」を

幸いにも、最後の勤務校3年間で3年連続全国奨励賞をいただくことができた。

算数・数学の自由研究は「問題解決学習」に他ならない。

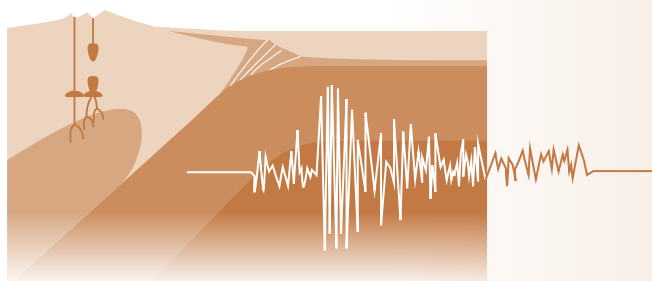
「▶ 1 はじめに」で扱ったように、素朴な疑問から自由研究が始まる。

児童・生徒が自分なりに結論づける。自分自身で「謎が解けた!」と思える瞬間、これこそ「自由研究の醍醐味」であろう。理数系好きの子どもたちを多く育てたいものである。

現在の勤務校でも、課題を自ら発見し解決していくような学びを目指した「総合的な探究の時間」を展開している。

今後も、全国の多くの児童・生徒の皆さんから「算数・数学の自由研究」に応募されることを願ってやまない。❖

第2回

大陸の形から
見えること

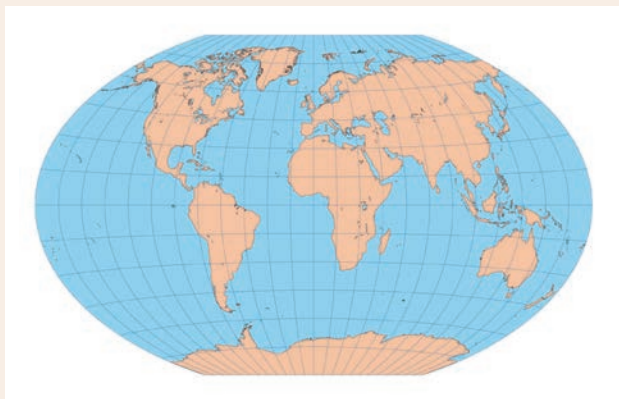
開成中学校・高等学校 教諭

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」

海岸線のパズル合わせ

世界地図（図1）は誰もが目にしたことのある図だと思います。今回はこの図を手掛かりに、地球がどんなところなのかを探っていってみましょう。



© ぶんこ

図1 世界地図

Q 世界地図を見て気がつくことは？

いろいろあるでしょうが、「南米大陸東岸とアフリカ大陸西岸の海岸線の形が似ている」ことに気がつく人は多いのではないのでしょうか。しかし、そこに何か意味があるのではないかと考える人はあまり多くないかもしれません。このことに注目して、初めて科学的に扱ったのがドイツのウェゲナー（1880-1930）でした。

ウェゲナーの大陸移動説

ウェゲナーは南米大陸東岸とアフリカ大陸西岸の海岸線の形が似ているのは決して偶然ではないと考えました。そしていくつもの証拠を示し、「元々一つだった大陸が分裂して南米大陸とアフリカ大陸に分かれた」という考えを提唱したのです。この考えは大陸移動説として『大陸と海洋の起源』という本にまとめられ、1912年に発表されました。図2は大西洋の両側の大陸をくっつけた図ですが、1978年に発行された全集のカバーに使われていました。地球科学にとっていかにインパクトのある図であるかを伺い知ることができると思います。

ウェゲナーが示した証拠をいくつか紹介してみましょう。

a 古生代末の氷河の分布

古生代末の地層から氷河堆積物や、氷河の擦痕（氷河が流れるときに付けた傷）が発見されており、その時代に氷河が存在していたことがわかります。その分布を示したのが図3（a）です。



図2 古生代末の大陸の分布『地球科学1』（岩波書店）

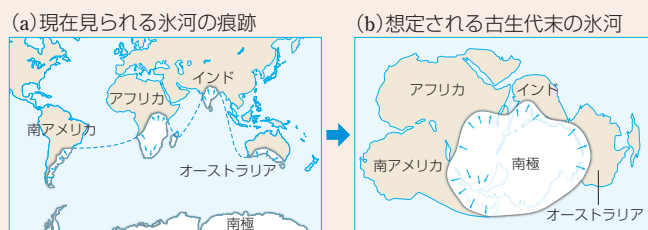


図3 古生代末の氷河の分布 『地学 改訂版』(啓林館)より引用

Q 古生代末には南極から赤道を超えてインドまで、広範囲に氷河が広がっていたのか？

ウェゲナーはそうは考えませんでした。図3 (b)は大陸の海岸線のパズル合わせで復元したパンゲアのようなすと氷河の分布を示したものです。古生代末の氷河は南半球のまとまった範囲に存在していたことになり、パンゲアを想定したほうがその分布が合理的に説明できると考えたのです。

b 古生代末の古生物の分布

古生代ペルム紀にメソサウルスという陸生爬虫類やグロッソプテリスという裸子植物が繁栄し、その化石が図4 (a)のように南米やアフリカ大陸などから発見されています。

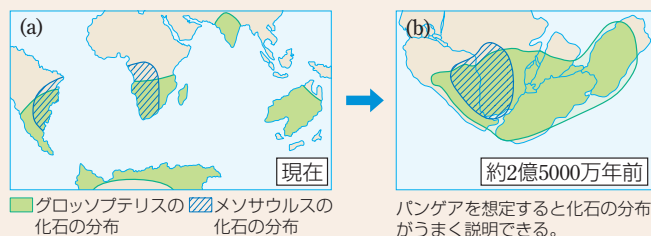


図4 古生代末の古生物の分布 『地学 改訂版』(啓林館)より引用

Q グロッソプテリスは南極から赤道を超えてインドまで多様な環境で繁栄していたのか？

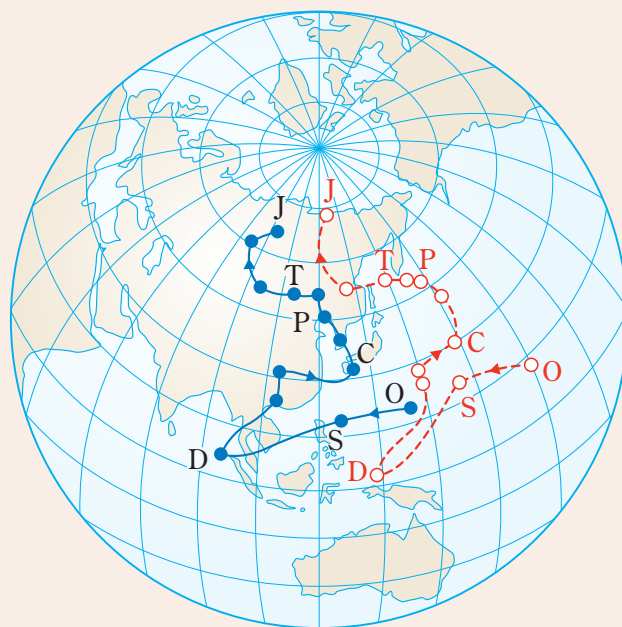
ウェゲナーはそうは考えませんでした。図4 (b)は大陸の海岸線のパズル合わせで復元したパンゲアのようなすと化石の分布を示したものです。グロッソプテリスは南半球のまとまった範囲に分布し、メソサウルスの分布もひとまとまりになり、海を渡ることができないメソサウルスの化石が南米東部とアフリカ西部だけから発見されることも合理的に説明ができたのです。

上記の証拠だけ見ても、その論拠は非常に明確であり、大陸移動説は科学的にほぼ実証されていたと言ってもいいでしょう。しかし、当時の人々は大陸が移動するとはとても信じられませんでした。それは一般の人が感覚的に受け入れられなかっただけでなく、地球物理学者も巨大な大陸を動かす原動力が説明できないことなどを挙げ、ウェゲナーの大陸移動説を受け

入れませんでした。メソサウルスの化石の分布も「陸橋説」(現在は沈んでしまったが、当時は陸地の橋があった)という、荒唐無稽とも思える説のほうが受け入れられていました。そのような状況の中、ウェゲナーが命を落とした1930年以後、大陸移動説はほとんど顧みられることがなくなっていました。

大陸移動説の復活

すっかり忘れ去られた大陸移動説でしたが、1950年代に劇的な復活を遂げることになりました。その立役者は古地磁気学です。岩石はその当時の地磁気を記録している場合があります。これを残留磁気といいます。ある時代の岩石の残留磁気を測定すると、その場所の当時の磁場がわかり、現在の地球磁場と比較することで当時の磁極の位置を知ることができます。1950年代にイギリスの地球物理学者たちが古地磁気の測定を精力的に進めました。その結果をまとめたのが図5です。



O: オルドビス紀
S: シルル紀
D: デボン紀
C: 石炭紀
P: ペルム紀
T: 三畳紀
J: ジュラ紀
○ ヨーロッパの岩石より
● 北アメリカの岩石より

図5 極移動曲線 『地学 改訂版』(啓林館)より引用

この図は「磁極の移動の経路(極移動曲線)はヨーロッパの岩石が示すものと北アメリカの岩石の示すものが、一致しないが形はよく似ている」ということを示しています。

このことを模式的に示したのが図6です。

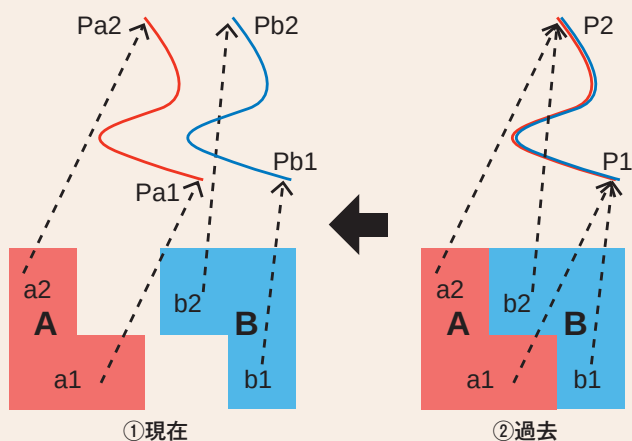


図6 大陸と極移動曲線の関係 矢印の示す位置は、岩石の残留磁気を示すその時代の磁極の位置

図6①で現在の大陸Aの岩石a1が示す磁極の位置Pa1は、大陸Bの同じ時代の岩石b1が示す磁極の位置Pb1と異なります。昔は大陸ごとに別の磁極があったのでしょうか？大陸A、Bを海岸線のパズル合わせで分裂前の状態に戻すと(図6②)、同じ時代a1とb1が示す磁極の位置はP1で一致し、極移動曲線も重なり、合理的に説明ができるわけです。

図5の2本の極移動曲線が重なるように観測地点の位置を移動させるとどうなるのでしょうか？なんと、観測地点のある北アメリカとヨーロッパの海岸線がぴったりとくっつくのです。この研究結果を受け、ようやく地球物理学者の多くは大陸が移動したことを認めるようになったのでした。

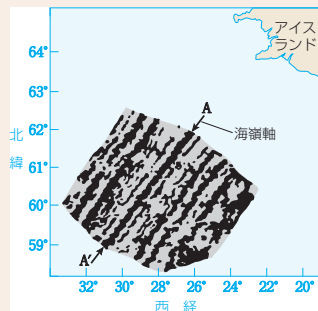
海洋底磁気異常の縞模様

1960年代に入り海域の地磁気の強さが広範囲で測定されるようになり、図7のように地磁気が強い部分と弱い部分が縞模様になっていることが発見されました。

Q 縞模様にはどのような特徴があるか？

A—A'を軸とした対称性があります。ボートと眺めたほうが対称的に見えるかもしれません。

図7 アイスランド南西部、大西洋中央海嶺付近の地磁気異常の縞模様『地学 改訂版』(啓林館)より引用



Q 対称性のある地磁気異常の縞模様はどうやってできたのか？

この問いに答えを出したのがバインとマッシュューズの1963年の論文でした。当時、海嶺で新しい海洋底が形成され、両側に拡大していくという海洋底拡大と、地磁気が数十万年毎に反転する地磁気の逆転が明らかにされつつありました。バインとマッシュューズは、図8に示すように、海嶺で海底が生産されるときにその時代の地磁気が残留磁気として海洋底に記録されると考え、海洋底拡大と地磁気の逆転を組み合わせ、縞模様の成因を見事に説明してみせたのです。

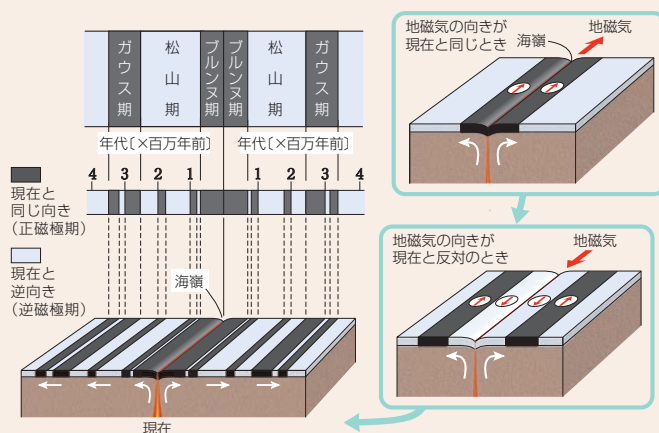


図8 地磁気異常の縞模様の成因『地学 改訂版』(啓林館)より引用

極移動曲線と地磁気異常の縞模様という古地磁気学の研究により、大陸移動や海洋底の拡大は地球科学の世界で受け入れられていきました。そしてさらに研究が積み重ねられ、プレートテクトニクスへと発展していったのです。地球の理解の枠組みが劇的に変化したわけで、まさに地球科学におけるパラダイムの転換でした。

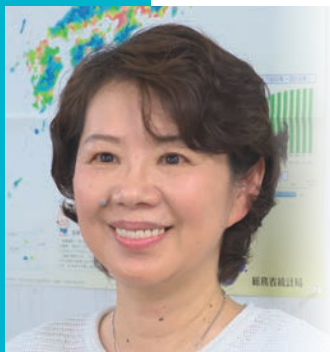
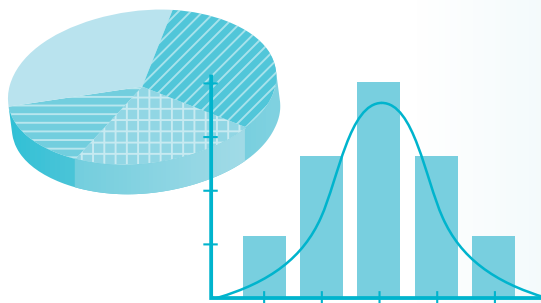
ウェゲナーの示した大陸移動説の証拠は十分科学的なものでしたが、「大陸が動くはずがない」という「常識の壁」を突破することはできませんでした。現在では「プレートが動き、大陸も移動する」のは小学生でも知っている常識です。今の時代にも、「大陸移動説」のように「常識の壁」に阻まれている考え方があるのかもしれません。



第5回

公平な比較

～アップル to オレンジ？～



慶應義塾大学大学院 健康マネジメント研究科
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。

新型コロナウイルスに見る統計の見方

世界をパンデミックの混乱に陥れた新型コロナウイルス。日本でもこの目に見えない脅威を何とか捉えようと、感染者数、死亡者数、致死率などさまざまな統計数値が公表されました。本連載の第1回でも「統計は見えない、大きな全体を見るマクロスコープである。」ということと1854年のロンドンで発生したコレラの大流行時の疫学統計の話題で扱いましたが、まさに同様の状況です。また、本連載第4回で解説した「偽陽性」、「偽陰性」という用語も、感染の有無を判断する検査の科学リテラシーとしてニュースで耳にするようになりました。

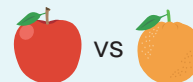
一般に100%完全な検査は存在しないため、私たちは、常に、判断（検査）に伴う4つの可能性——①真陽性（「感染あり」で陽性）、②偽陰性（「感染あり」なのに陰性）、③偽陽性（「感染なし」なのに陽性）、④真陰性（「感染なし」で陰性）を意識し、偽陽性と偽陰性の2つのリスクの確率を踏まえたうえで、検査結果をもとに作成される感染者数、死亡者数、致死率などの統計数値を読み解く必要があります。特に、今回のコロナ関連の統計では、日本国内の状況だけではなく、各国の状況が統計数値の比較によって語られています。実は、**発生数や平均、中央値や比率**などの統計数値の比較は、身長や体重など

の個別の測定値の大小の比較のように、単純にその値の大きさだけで判断できるものではありません。海外の小学校の教育では、男子や女子の集団比較において、平均値や中央値の比較で解釈する際に、「統計数値の比較＝男子と女子のグループ比較」の生徒の意見に対して、必ず教師は、

「それは**公平な比較**か？」

の問いを發し、統計数値の比較を批判的に見直す習慣を付ける指導が行われています。今回は、この「公平な比較」の意味するところを見ていきましょう。

アップル to オレンジ？



グローバル化するビジネスの現場で、英語をネイティブにする海外のビジネスパーソンと話す機会が多く、その中で、compare（比較）の次のような定型文が使われます：

You need to compare apples to apples.

You are comparing apples to oranges.

前者は、「リンゴとリンゴ、つまり、同じ条件で比較しないといけないよ…」、後者は、「リンゴとオレンジ、つまり、条件が違うから比較にならないよ…」と、いずれも、統計数値をその前提条件を考えずに不適切に比較しているときに注意を受けるビジネス上の決まり文句です。海外のコンサルティング企

業に勤める人から、「日本人はクリティカルマスができない。」と聞いたことがあります。これは、批判的に統計数値を読むことができないという意味です。

正確に計算ができ、数値を単に示すだけでは仕事の意味がありません。統計数値を扱ううえでは、その数値は何を比較対象（ベンチマーク）としているのか、良い傾向を示す数値なのか悪い数値なのか、どういう定義と対象から求められたのか等、数値の背景と経緯に沿って、だから何が言えて何が言えないのか、そして、どうするのかの意思決定や判断までの一連の議論が必要になってきます。日本の教育課程では、この訓練がこれまで弱かったのではないのでしょうか。

■ コロナ感染統計に見る比較の公平性

表1は、国別コロナ関連統計（3月28日 worldometers）です。日本も当初は、感染者数とその国際比較が話題になっていました。その後、「感染者数」という統計数値を比較する場合の各国の背景の違いも語られるようになりました。

表1 新型コロナウイルス各国の感染状況

<https://www.worldometers.info/coronavirus/#countries>

国	感染者数	死亡者数	致死率	死亡者数 /人口100万人
中国	81,394	3,295	4.0%	2
イタリア	86,498	9,134	10.6%	151
アメリカ	104,256	1,704	1.6%	5
ドイツ	53,340	399	0.7%	5
イラン	35,408	2,517	7.1%	30
イギリス	14,543	759	5.2%	11
韓国	9,478	144	1.5%	3
日本	2,211	59	2.7%	0.4

個々の統計数値は集団から得られる測定や観測値の集合から、集計によって得られるものです。その際、集団を構成する観測対象（観測単位）が存在します。この観測対象から個々の測定値が得られるわけです。この場合は、各国の一人ひとりの人間が対象で、検査後に陽性であれば感染者としてカウントされ、その合計数が感染者数という統計数値になります。

このように集団から得られる統計数値を比較する場合、その生成過程に照らして、例えば国別の比較であれば、

- ・定義は各国で同じかどうか
- ・測定や集計方法は各国で同じかどうか
- ・観測（調査）対象は各国で同じかどうか

に注意して、比較の公平性を考察する必要があります。

今回のコロナウイルス検査では、「感染者数」に含める「感染」の定義が、検査結果が陽性であっても無症状であれば感染者として集計に含めない中国と、陽性であれば含める他国とでこの時点では違いがありました。また、測定方式に関しても、韓国のように早くからドライブスルー方式で簡単に検査ができる国と日本のように検査対象者を絞り込んだ国があり、検査（者）数の背景が各国で大きく異なります。そのため、検査数に大きな影響を受ける「感染者数」の比較には注意が必要です。また、この検査方式の違いからくる検査者（観測対象者）の違い、症状の軽度・重症度が違うなどの注意も必要となり、「死亡者数」÷「感染者数」で求める「致死率」の比較も同様に注意が必要です。その意味では、各国の人口比による死亡者数（死亡率）の比較可能性は高く、日本のこの時点での数字の低さは特筆されるでしょう。

■ 第3の変数（big X）への考察

国別の感染者数の比較をパス図で表してみます。パス図とは、変数間の関連性を矢印で示したモデル図です（図1）。図の上段の右矢印は、国の違いが感染者数の違いに繋がっていることを示した矢印です。図の下段の両方の斜め矢印は、「国の違い」と「感染者数」の2つの変数の双方に影響する第3の変数「？」があることを示しています。

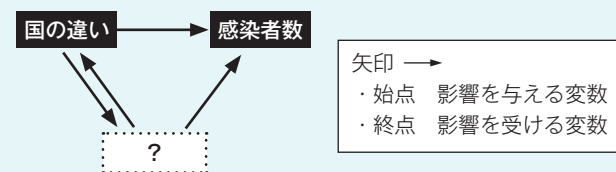


図1 感染者数の国別比較の関連図

もしこのような第3の変数「？」があれば、想定した2つの変数の関係—「国の違い」が「感染者数」の違いに影響するという関係は、「国の違い」→「？」→「感染者数」という、第3の変数「？」を介した間接的な関係も含んでいることを意味します。コロナウイルスの国別感染者数の比較では、第3の変数は、例えば「検査総数」が考えられます（図2）。

もちろん、「検査総数」以外にも「高齢化率」や「マスク着用率」などいろいろな変数（要因）が考えられ、私たちが国別に感染者数を比較する場合は、間接効果を含めた総合的な効果を国別に比較していることに注意しましょう。

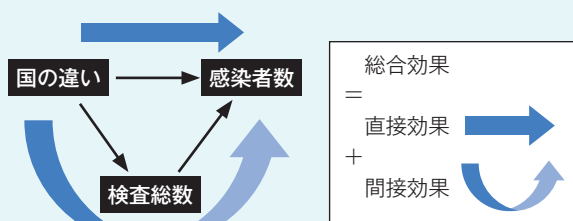


図2 感染者数の国別比較の関連図（第3の変数）

この第3の変数は、見かけ上の2つの変数の関係を説明する隠れた重要な要因であり、統計数値を批判的に読み解いたり、背景の因果関係を考察したりする場合には、常に意識して何が隠れた要因なのかを突き詰めなくてはなりません。その姿勢のことを、疫学統計では、『big Xを探せ』と言っています。bigとは“大きい”ではなく、“重要な”という意味で、Xは未知の変数を指します。これは、疑似相関を説明する**交絡変数**（高校で共通必修修化される情報Ⅰ「データの活用」指導要領解説）に相当します。

事例で考えるbig X

I 男女差別はあったのか？

ーカリフォルニア大学大学院での合格率の男女比較

表2は、統計学のテキストで良く取り上げられる実例です。1973年の秋のカリフォルニア大学大学院バークレー校の合格率を男女別に比較すると、男子学生が44%、女子学生が35%で、9ポイントも女子学生が低かったため性差別の懸念が浮上しました。そこで大学は統計学の教授たちに、比較の妥当性に関するデータの精査を依頼しました。受験者の総数は1万人を超えており、合格率の差は統計的に高度に有意です。この一見すると明らかに男性であることが有利に働いているように見える結果も、実は学科別に男女で合格率を比較して見ると、女子学生のほうが合格率が高い学科のほうが多く、かつ、男子学生の合格率が高い学科でもその差は小さいことがわかりました。この場合の第3の変数big Xは、学科ごとに異なる合格難易度だったのです。学科ごとの受験者の男女比を見てください（表2）。合格率が高い機械工学などの理工系学科A、Bは男子学生が多く受験し、逆に、合格率が低い語学系の学科は女子学生が多く受験していることがわかります。パス図は図3になります。

表2 性別・学科別に見た合格率

	男子学生	女子学生	受験者の男女比	
応募者数	8442	4321		
全体合格率	44%	35%		
学科別合格率			男子学生	女子学生
A	62%	82%	88.4%	11.6%
B	63%	68%	95.7%	4.3%
C	37%	34%	35.4%	64.6%
D	33%	35%	52.7%	47.3%
E	28%	24%	32.7%	67.3%
F	6%	7%	52.2%	47.8%

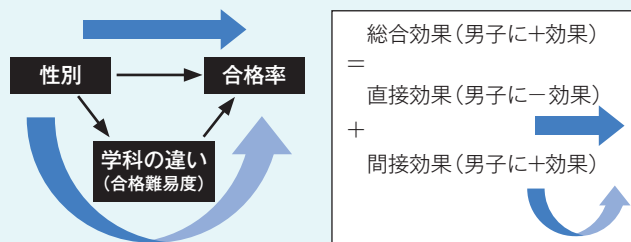


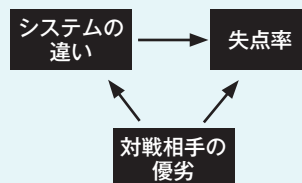
図3 合格率の性別比較の関連図

II サッカーの戦術評価ー3バック VS. 4バック

スポーツにはいろいろな戦術があり、その効果を得点や失点で比較することがあるかと思います。表3は、以前に学生の演習でジーコジャパンのサッカー72試合の結果から取られた戦術フォーメーションのシステム別に、1試合当たりの平均失点数を比較したものです。この結果から、3バックは4バックより失点数を少なくする効果があるとすぐに言えるでしょうか？ これは公平な比較になっているのでしょうか？ 考えられる第3の変数はないでしょうか？

表3 ジーコジャパン72試合の結果

システム	試合数	平均失点数
3バック	40	0.85
4バック	32	1.13



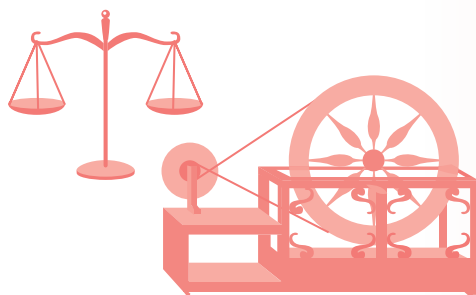
例えば、「対戦相手の優劣」はどうでしょうか。相手の実力に応じて戦術は変わり、また、相手の実力が試合の失点数にも影響します。

このように、私たちは統計数値を比較して意味を持たせることを日常的に行っています。その際、比較の前提条件（apples to apples）を考察したり、なぜ、そうなっているのか、big Xを考え、隠れた間接効果がないか十分に議論することが、統計の見方・読み方として大切な視点と言えます。❖

訂正のお知らせ

前回の図2の「真陰性」の説明で、「妊娠している（－）」は「妊娠していない（－）」の誤記でした。お詫びして訂正いたします。

第5回 万有引力の法則



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、あらゆる物体に働く引力がテーマです。

■ 重力と引力

科学の歴史の中で特によく知られたエピソードの一つに、ニュートン（1643-1727）による万有引力の発見があります。リンゴの実が木から落ちるのを見て、地球がリンゴを引っばっていることに気づいたというお話です。

理科の教科書では、必ずしもこのエピソードが紹介されているわけではありませんが、次のように説明されています。中学校1年の「力による現象」に出てくるものです。

◎ 中学校理科

ボールから手をはなすと、ボールは地面に向かって落ちるように、地球上のすべての物体は、支えをなくすと下に落ちる。これは、地球から物体に、地球の中心に向かって引っばる力がはたらいているからである。このような力を重力という。重力は、地球上にあるすべての物体にはたらいている。

ここでのポイントは二つあります。物体が落下するのは、

実は地球が引っばる力、つまり引力によるのだということが一つ。もう一つは、そのような重力（＝引力）は、地球上のすべての物体に対して働くということです。

中学校で勉強するのはここまでですが、高校物理になると、その先の説明があります。つまり、引力は地球と地上の物体の間だけでなく、太陽と惑星など、あらゆる二つの物体の間に働いているということです。これが万有引力と呼ばれるものです。

もっとも、引力そのものを私たちが体感するのは困難です。例えば、生徒さんどうしにも引力が働いているのですが、物理学によればその引力はあまりにも小さいため、感じられません。このように経験的ではないことが、小学校で引力について教えない理由の一つかもしれません。

そうすると、ここで疑問がわきます。ニュートンはどうして、リンゴが落ちるのを見て、そこに引力が働いているとわかったのでしょうか？

■ ニュートンのリンゴ

まず、話の出どころから説明しましょう。リンゴのエピソードは、ニュートン自身が晩年、親しい人に語ったとされるものです。ステュークリという人物は1726年に、ニュートンが次のように語ったと伝えています。

食事ののち、暖かい天候だったので、われわれは庭に出てお茶を飲んだ。リンゴの木の蔭で、彼と私だけだった。ほかの話の中で彼は私に言った。重力の考えを思いついたあの時もちょうどこんな具合だった。思いにふけて坐っていると、リンゴの実が落ちてきて、はっとそれに気がついたのだった。

〔渡辺正雄「ニュートンのりんご」〕

『ニュートンの光と影』（1982年）所収を一部改変〕

この回想に出てくる「あの時」とは、1665年から66年にかけての時期のどこかを指します。当時、ニュートンはケンブリッジ大学で学んでいたのですが、疫病が流行したために大学が長期にわたって閉鎖となり、実家に戻って一人で勉強・研究を続けていました。そしてその間に、極めて大きな成果を三つ挙げます。流率法(微積分法の一つ)の発明、プリズムを使った光と色の実験、そして万有引力の着想です。このため、この時期は「奇跡の年」と呼ばれます。

私たちにとっては幸いなことに、当時ニュートンが使っていた研究ノートが残されています。リンゴが落ちるのを見た、とは書かれていませんが、中心のまわりを周回する物体に働く引力のことが確かに出てきます。またそれだけでなく、ニュートンは、地上での重力の大きさと、月を地球に引きつけている力の大きさを比較することも行っています。こうした点については証拠があるのです。

ここから逆に考えると、仮にリンゴのエピソードが本当だとするなら、ニュートンが発見したのは「リンゴが地面に落ちるのと同じように、月も地球に向かって引かれている」ということだったように思えます。しかし、いくら天才でも、リンゴを見て月のことを突然思いつくとは考えにくいでしょう。むしろ、月や惑星の運動について考えている中で、リンゴが着想を与えたというのが真相ではないでしょうか。またニュートンがこの時点で、万有引力の存在だけでなく、その法則も考えていたというのは重要なポイントです。

万有引力の法則

そこで現代の教科書に戻って、万有引力の法則とは何かを確認しておきましょう。これは高校物理にしか登場しませんが、そこまで難しい内容ではありません。

◎高校物理

一般に、二つの物体の間に働く万有引力の大きさ F は、それらの質量 m_1 と m_2 の積に比例し、距離 r の2乗に反比例する(図1)。これを万有引力の法則といい、次の式が成り立つ。ここで G はすべての物体に共通する定数なので、万有引力定数とよばれる。

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

〔※教科書の記述を若干編集してあります〕

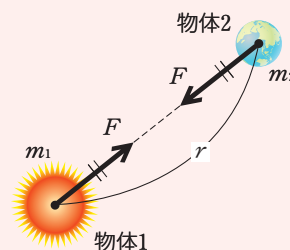
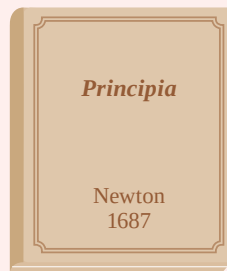


図1 万有引力の法則

引力は、二つの物体の質量が大きいほど強くなり、物体と物体が離れるほど弱くなります。地上の物体で引力を感じるのは困難ですが、地球のように巨大な質量を持つ物体になると、引力の効果がはっきり表れてきます。だからこそ、ニュートンは月や惑星の運動の検討を通じて、この法則を打ち立てることになったのです。

『プリンキピア』に記された万有引力の法則

「奇跡の年」からおよそ20年後の1687年、ニュートンは主著『プリンキピア』（正確な表題は『自然哲学の数学的諸原理』）を出版しました。万有引力の考えは、この本で初めて公表されます。



『プリンキピア』は三部構成となっていて、第1篇と第2篇では物体の運動一般が数学を使って議論されます。これに対して第3篇は、実際の天文観測データを使い、天体の運動を論じる内容です。

万有引力は第3篇に登場するのですが、実は現代の教科書のようにまとまった形では書かれていません。それでも一番近い表現を挙げるなら、次の「命題7」になるでしょうか(以降の引用も含め、日本語は既存の訳から変更しています)。

重力はありとあらゆる物体に存在すること、そして各物体に含まれる物質の量に比例すること。

ここでは「重力」となっていますが、ニュートンはこれを引力だと理解しています。また、「物質の量」は質量のことだと思っただけで差支えありません。さらに、この命題には関連する主張（「系」と呼ばれるもの）がついていて、そのうち「系2」には次のように書かれています。

物体の相等しい微小部分のそれぞれに向かう重力は、微小部分からの距離の2乗に反比例する。

これらを総合すると、現在の万有引力の法則とほぼ一致すると言えるでしょう。ただし万有引力定数という考え方はまだなく、重力と質量と距離の間に成り立つ比例・反比例の関係だけが述べられています。

惑星の運動から万有引力へ

ところで、先にも書いたように、万有引力そのものは私たちには感じられません。ニュートンも、身のまわりの物体は互いに引き合っているが、それは非常に小さいため知覚できないと言っています（命題7の系1）。

そこでニュートンは、天下一の万有引力を主張するのではなく、惑星の運動に関する観測事実から引力の法則がわかる、という議論の立て方をしています。今回の記事の最後に、それを紹介しておきましょう。

具体的には、まず、木星や土星を回る衛星、太陽を回る五つの惑星（水星・金星・火星・木星・土星）、地球を回る月のそれぞれについて、観測データに基づき、いわゆるケプラーの第2法則（面積速度一定の法則）が成り立つことを指摘します。そしてそこから、距離の2乗に反比例する引力が働いていると推論します（命題1, 2, 3）。このように言えるのは、『プリンキピア』の第1篇の中で、これに相当する内容が証明されているからです（図2）。

しかし、ここまでは星の話しかしていません。そのようにして天体に働く引力が、地上の重力と同じものかどうかという大きな問題がまだ残っています。そこでニュートンは、20年

前に試みたのと同じように、地球と月の間に働く引力の大きさ（これは月の運行の観測データから計算されます）と、地上での重力の大きさ（これは実験で計測できます）を比較してみました。その結果は、「月がその軌道に保たれる力は、地球の表面まで降りてきたときには、我々のいる所での重力に等しくなる」というものでした（命題4）。したがって、地球と月の間の引力は地上の重力と同じものだと考えられ、そこからさらに、太陽と惑星の間の引力や惑星と衛星の間の引力も同様に違いない、と考えることができます（命題5）。

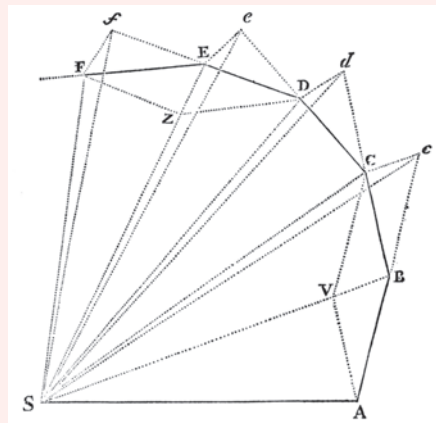


図2 ケプラーの第2法則の証明の図

物体（例えば惑星）は $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ のように軌道を描き、中心 S （例えば太陽）に向かって距離の2乗に反比例する力で引かれている。（『プリンキピア』第1篇命題1の図を引用）

そこで最後に、各惑星による重力（あるいは重さ）が質量に比例すること（命題6）を考え合わせると、先に見た「命題7」になります。ここでは細部を省略して紹介したのですが、以上のニュートンの論述は、一般的な法則を打ち立てるときの議論の進め方として興味深いものです。

なるほど、リンゴが落ちるのを見て万有引力を着想したというエピソードは、本人が語っていることもあり、ある程度の信ぴょう性はあるのだらうと思います。しかし『プリンキピア』での万有引力についての書き方を見ると、科学というのは単に思いっただけではまったく不十分だ、ということがよくわかるのです。ニュートンを「天才」と呼ぶのであれば、万有引力を立証する場面にもぜひ注目してみてください。❖

原典についての参考情報

○ Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, 1687. / 【日本語訳】河辺六男訳『自然哲学の数学的諸原理』、『世界の名著 ニュートン』（中央公論社、1971年）所収；または、中野猿人訳『プリンシピア 自然哲学の数学的原理』（講談社ブルーバックス、2019年 [1977年の本の再刊]）。

教育に
新しい風を

夢にチャレンジする



元 呉市教育委員会理事

崎本 賢次 / さきもと けんじ

● 義務教育学校が設置される

令和5年度、呉市において義務教育学校が誕生する。

私が33歳で呉市教育委員会指導主事となり担当したのが、当時の文部省の研究開発学校の研究推進だった。

現行の学習指導要領によらない特別の教育課程の研究である。算数科と国語科は、数や文字を操作する教科だから併せて記号科としてはどうかなど先生方と熱く議論したものだ。学習指導要領の小学校、中学校、高等学校併せて三冊を一冊に束ねて学習内容の系統を意識して授業研究したことを思い出す。

今、全国的に小中一貫教育に取り組んでいるが、始まりは呉市からであると自負している。学校教育法第1条の改正もあり義務教育学校が1条校として位置付き、ようやく呉市にも誕生することになった。感慨深い思いがする。

ただ、現在取り組まれている小中一貫教育の内容は、小学校と中学校との接続の部分が問われ、いじめの解消、小学生と中学生との交流などが少し強調されているように思える。

研究に着手した当時は、9年間を見通したカリキュラムはどういったものか悩んだ。小学校4年生までに、徹底して基礎的基本的な知識や技能などの内容を身に付けさせる、5年生から中学校1年生までにその知識や技能の使い方を学び、そして中学校2年生、3年生には状況に応じて適切に活用することができるようにしよう、とカリキュラムを考えた。

呉市では9年間で4, 3, 2と区分して継続したカリキュラムの作成を目指すこととした。子どもの発達段階に合わせて何を、いつまでに、どう身に付けさせればよいかなど議論したものだ。

呉市において、義務教育学校が設置されるにあたり、その教育課程の作成に当たっては、当時悩み、取り組んだ先生方の熱い思いも踏まえていただきたいと考えている。

● 算数・数学の自由研究が始まった

Rimse 財団の参与として算数・数学の自由研究作品コンクールの表彰式に出席させていただいている。

今、4年目が過ぎた。毎年子どもの発表に驚かされる。発表に接するうち、教えることについて、自分の考え方が変わってきたことを再認識するようになった。

教員として算数の授業を何度してきたことか。教科書の教材を子どもの実態に合わせて提示し、子どもが興味・関心をもって学習するのがよい授業だと思ったときがある。いわゆる「教科書を教える」という教員であった。

次に、指導内容を踏まえ、子どもの実態に合わせた教材づくりに専念し自分独自の資料作りに力を入れたものだ。今にして思えば、資料作りが授業、すなわち私の「教えるということ」だったように思う。

指導主事となり多くの先生方の授業を参観する機会が得られた。その授業に接するうち、先生方の授業のデザインはどうかということが自分の課題となった。

単元観、児童生徒観、指導観に書かれるその先生の授業への考え方である。指導要領や指導本を転記しているのかなと思えるものもあった。

どのように書いたらいいかと悩んでいる先生がおられたので「ニンジンを食べる」という単元を例に授業のデザインについて話したことを思い出す。ニンジンにはどのような栄養素があるか調べる。その栄養素について書き出すのが単元観だと思いと伝えた。そのような栄養豊富なニンジンに対する子どもの実態はどうか。臭いが嫌い、色が嫌い、形が嫌いという実態があったとする。これがニンジンに対する児童生徒観と考えたい。

そのような実態を踏まえ、子どもに食べたい気持ちにさせるのが指導観ではないかと話した。臭いの嫌いな子どもには香辛料を加えたり、色の嫌いな子どもには着色料を加えたり、形の嫌いな子どもにはみじん切りにしたりなど、いろいろ工夫して子どもが食べたくするようにする。

指導主事のころは、授業をデザインすることに力を入れてきたように思う。最近物忘れも出始め、仕事をする際手順について考えるようになった。「簡単に」、「順序よく」、「時間をかけない」がよく視点として浮かぶ。筋道立てて考えている自分に気づく。日常生活に算数・数学を感じることも多くなった。

そんな折、算数・数学の自由研究作品コンクールに参加する機会を得た。子どもたちは自分たちの身の回りの事象を数理的にとらえ考え、判断し、表現し、処理している。音楽のリズムが数学的に分析処理されている発表もあった。

音楽も数学と関係があるのか。芸術も、科学もやはり人間

の営みは算数・数学との関わりがあるのか。

この会に参加して自分の周りの世界が輝いて見え始めた。

● 課題を宝に 夢にチャレンジする

広島県呉市音戸町は呉市の南部に位置する島である。平清盛が海洋航路の要として音戸の瀬戸を掘削し、そこに現在は二つの音戸大橋が架かっている。音戸町も少子高齢化の波にもまれている。空き家、空き地、一人住まいの高齢者等まちづくりの課題が山積している。

そのような状況の中、音戸町に風が吹いてきた。「音戸町魅力化推進協議会」が立ち上がり、「島まるごとユニバーシティ」の事業が展開されているのだ。音戸町の島をまるごと大学に見立て、その大学に学ぶ学生を全国から募集した。

「起業したい、そのノウハウを学びたい」という学生が全国から参加した。講師は全国から招かれた。それぞれ地域の町おこしを実践された方である。学生は島で学び、起業家として自立し、いつかは島に在住していただくことを目指している。

教材は、島のひと、もの、こと等である。学生たちと私の住んでいる地区を歩いてまわった。地区の空き家、空き地、高齢者の暮らしぶり、昔懐かしい料理、牡蠣養殖、牡蠣いかだ等いろいろ紹介した。高齢者の方は昔懐かしい料理が提供できる。観光客を招いたらその料理を提供し、牡蠣打ち体験し牡蠣を食べる、いかだに乗って魚釣り体験をする。空き家はシェアハウスに利用する等「これはいい仕事となる、宝物だ」と学生は納得した。一緒に歩いた学生から、課題が宝になると気づかされた。

歳を重ねるにつれ、次第に夢が萎みつつある私に夢がわいてきた。残りの人生、地域の一員として、豊かで住みよい町を目指して夢にチャレンジしていきたい。



Make Future by 掛け算 ～探究学習の先に見えてきた景色～



一般社団法人シヅクリ代表

山下 由修 / やました よしのぶ

1 静岡に忍び寄る危機と(一社)シヅクリの誕生

モノづくりで日本を引っ張る静岡に大きな危機と転換期が訪れています。

地方創生の鍵は教育にあり。未来を創る方程式『教育界×産業界＝未来』を打ち立て、掛け算を仕掛ける一般社団法人シヅクリを設立しました。シヅクリのシは、志のシ、子どものシ、教師のシ、静岡のシ。ヅクリは創り、クリエイトを表しています。

少子高齢化が進み、経済が停滞しがちな日本の地方創生、人材育成モデルとして全国の魁となる方程式の実践を静岡から始めました。

2 「Make Future by 掛け算」の要素

(1) 要素一：シヅクリプロジェクト始動

地元企業とともに、静岡を担う企業人や次世代の人材を持続的に育てるシヅクリプロジェクトというコミッティを誕生させました。新たなソーシャルムーブメントを起こし、地域創生を図るために教育界と産業界をつなぎ、ビジョン検討を行います。



(2) 要素二：企業探究プログラム実施

2019年に大人も子どもも学び続ける企業探究プログラムを実施しました。子どもたちが地元企業と深くかわかり、企業に対してイノベーション企画を提案するという学びを通して、正解のない時代をクリエイトする静岡の人材育成を図ります。

企業探究プログラムの概要

SECTION1 企業に出会う

・企業について知る。・希望の企業を選択し、チームを作る。

SECTION2 企業を理解する

・フィールドワーク ・企業人に質問する。

SECTION3 イノベーション企画を考案する

・企業に対して、チームで新たな企画を練り上げる。

SECTION4 企業に提案する

・自分たちが考えたオリジナルの企画をプレゼンテーションする。

3 「Make Future by 掛け算」の成果

企業探究プログラムトライアル 実施2019.10-2020.1)

実施校 静岡市立大里中学校 第2学年 214名

実施時間 総合的な学習の時間 50分×15コマ

協賛企業 静岡鉄道 あいネットグループ

SBS情報システム トヨコー

(1) 子どもたちはMake Futureの当事者に成長

地元企業のコンサルタントとしてイノベーション企画を立案・提案していくプロセスにおいて見違えるように成長する子どもたちの姿が見られました。



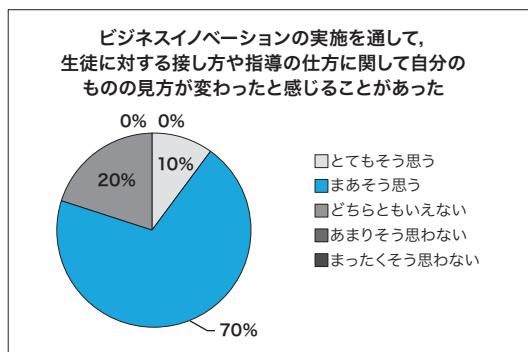
最終発表会では「私の〇〇社では…」と胸を張り、「…こうすることで、静岡の未来がきっと明るくなり…」と地元企業を自分事として捉え、実社会とつながる学びが子どもたちの視野を広げ、視点に変化をもたらしました。本体験は、原風景としての静岡愛を育み、イノベーターとしての資質を引き出しました。

生徒アンケート及び感想 80%以上の生徒が、成長実感

今まで自分が見ていた世界は、この大きな地球の
たった一部であることに気づいた。だから今自分が見て
いるものだけに集まるのではなく、1つのことを、もと
より下げるようにして考えていく、本当の差が表れて
くる。このビジネスイノベーションは、青森県初の試みとい
うだけではなく「私」という人間自身にも、大きな変化を
もたらしてくれた。この活動を生かして、これから生きてく
社会と、その先の世界まで、長くような新しい「イノベーション」
を築いていきたい。

(2) 教師はMake Futureの伴走者に変容

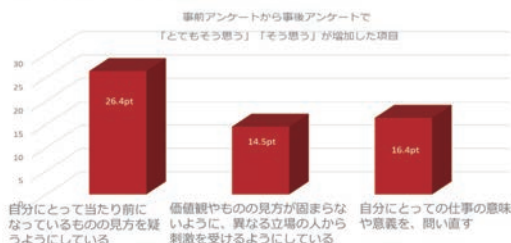
「生徒の可能性を感じた。」「ぐんと成長する生徒の姿を見て、教師としての働き甲斐、やりがいを感じた。」「だれも想像できないイノベーション企画を創り上げていくプロセスに感動した。」教える教師像から、ともに学び伴走する教師像への転換が徐々に図られていきました。



(3) 企業人はMake Futureの担い手を自覚

「子どもたちの成長率が凄い。自分たちも負けないように頑張りたい。」「考えることの大切さを中学生から学んだ。」「近い将来一緒に仕事ができることが楽しみになった。」

仕事内容のみに関わらず、自分自身の考え方や価値観に対して内省的な姿勢への変化が見られ、仕事の意味や意義を問い直すような刺激を求める意識が芽生えた



関わった企業人にとっては、企業人研修や子どもたちとの創発的な授業によるモチベーションの高まりとともに、新たな自社や自身の未来への展望につながっていきました。

また、業種を越えた企業人同士のより良い関係性が育まれ、今後のさまざまなコラボレーションへの期待が高まりました。

4 「Make Future by 掛け算」の未来

チャーチルは言っています。「少年は大人の仕事をさせられた時、成長する」と。川喜田二郎氏は言っています。「子どもから大人になる途中で、子どもながらに全力傾中で、創造的行為を行い、それをいくつか達成した、そういった成功体験が累積した場所だから『ふるさと』になったのだ」と。

子どもたちに社会への仲間入りの機会を用意することはできないだろうか。社会が期待していることを実感する場を準備することはできないだろうか。

貧困、紛争、テロ、気候変動、資源の枯渇等のさまざまなグローバル課題や昨今のコロナウィルスの拡散、正解のない問いに、ゴールの見えない諸課題にひるむことなく、真正面から向かい合うこと。それはいつの時代も未来を創る者たちに課せられてきたことでしょう。先人たちは、その道程がどんなに厳しく困難だとしても、同志とともに不安と苦悩を払しょくし、勇気をもって行動に移してきたのです。

子どもたちは大人がどこかに置き忘れてきてしまったものを想起させる大いなるエネルギーをもっています。

自分の役割を認識し、仲間と協働する子どもたちは、この子たちと一緒に素晴らしい未来が描けるのかもしれないという希望を皆に抱かせる力があります。

今こそ、未来の主人公であり、共通の故郷を持つ子どもたちをど真ん中に据えて、あらゆる人々が手をつなぎ、未来を共に展望すべきときです。

そのために私たち一般社団法人シヅクリは、未来を創る方程式『教育界×産業界＝未来』を掲げ、掛け算を実行していきます。

Make Future by All Shizuoka



.....編集後記.....

新型コロナウイルスによる非常事態宣言は解除されましたが、引き続き、警戒が必要です。コロナ禍の中で飛び交うさまざまな情報に対し、自分で思考し判断することの大切さを実感された人も多いと思います。教育のデジタル化の動きにもいっそう拍車がかかることでしょう。次号でも、引き続き、「ICT教育」を特集します。

(財)理数教育研究所 事務局

キャサリン・ジョンソン ～ NASA の数学者として アポロ月面着陸に貢献～

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらいすすむ

本日、我々は彼女の101年の人生を祝い、人種のおよび社会的障壁を打ち破った、彼女の卓越した遺産を称える。

2020年2月24日、NASAはツイッターで一人の女性数学者の死を伝えました。なぜNASAがそこまでしたのか。それは彼女なくしてはアポロ月面着陸が達成できなかったからに他なりません。

1918年8月26日、キャサリン・コールマン・ゴープル・ジョンソンはウェストバージニア州ホワイト・サルファー・スプリングスでジョイレットとジョシュア・コールマンの間に4人兄弟の末っ子として生まれました。

黒人——アフリカ系アメリカ人として生まれたキャサリンの人生は苦難の克服の連続でした。彼女を支えたのが自身の卓越した能力——数学です。幼い頃から計算に卓越した能力を示しました。しかし、キャサリンが住む所では黒人の公立学校への入学は許されていませんでした。両親は子どもたちが入学できる高校を見つけだします。キャサリンは3学年飛び級をして14歳で高校を卒業、ウェストバージニア州立大学に入学します。

大学時代、キャサリンははずば抜けた数学の実力のおかげで、優秀な指導者にも恵まれます。化学者で数学者のアンジー・ターナー・キング、数学で博士号を取得した3番目のアフリカ系アメリカ人ウィリアム・シーフェリン・クレイターなどです。中でもクレイターは、大学にキャサリン専用の新しい数学コースを追加するという待遇ぶりです。キャサリンは18歳で数学とフランス語の学位を取得し卒業します。

キャサリンは小さいときからの夢を見続けていました。数の世界を探索する数学者になることです。しかしそのときは女性数学者の職はありません。キャサリンは小学校の数学の先生になりますが、夢を諦めることはできませんでした。

1953年、彼女の夢が実現するときがやってきました。アメリカ航空諮問委員会（NACA）に数学者として就職することができました。キャサリンは「コンピューター（計算する人という意味）」として働き始めます。組織での差別——

黒人と女性であること——に負けることなく、キャサリンはキャリアを確実に積んでいきます。

1957年、ソビエトが世界初の人工衛星の打ち上げに成功——スプートニク・ショックをきっかけに米ソ宇宙開発競争が幕を切りました。1958年、NACAはNASAに変わり、アメリカはマーキュリー計画——有人宇宙飛行計画をスタート。キャサリンは航空宇宙技術者として働き始めます。

1961年のアラン・シェパード氏によるアメリカ初の宇宙飛行およびマーキュリー計画における弾道飛行実験、1962年の宇宙船フレンドシップ7による地球周回飛行の計算をキャサリンが担当。そのときの宇宙飛行士ジョン・グレンは、導入し立ての電子計算機の計算結果を信じることができず、キャサリンに再度計算させない限り飛ばないと言わせるほど、キャサリンは信頼されていました。

そしてキャサリンの実力が発揮されることになる大舞台がやってきます。1969年から始まるアポロ計画です。1969年7月20日、アポロ11号、史上初の有人月面着陸に成功。同年11月14日、アポロ12号も有人月面着陸に成功。続く1970年、アポロ13号は月に向かう途中で爆発事故を起こします。クルーを地球に戻すための死闘が宇宙船とヒューストンの間で始まりました。キャサリンは最も困難な軌道計算を行います。クルーが地球に戻るための安全な軌道を見つけることです。アポロ13号は自由帰還軌道からそれてしまっていました。いかにして軌道に戻すか。ついに数時間に及ぶキャサリンの計算は完了し、そのおかげでアポロ13号は無事地球に生還しました。

その後、キャサリンはスペースシャトル計画、火星探査などのプロジェクトに取り組みます。在職中に著した共著論文は26本。1986年に引退しました。2015年に、バラク・オバマ大統領はキャサリンに大統領自由勲章を授与。まさにアメリカンドリームを実現したキャサリン。彼女の足跡のすべてが、自らの数学とともに登り続けた栄光の階段（steps）だったのです。2020年2月25日、前日に続けてNASAはツイートしました。

私は道路までの歩数(steps)、教会までの歩数(steps) …
数えられるものは何でも数えました。 キャサリン・ジョンソン

少女時代、キャサリンはすべてを数えた。数学者として、彼女の計算は、宇宙旅行における我々の初期の成功に決定的であることが判明した。