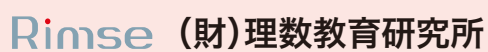


Rinse

No. 38
October
2023

特集



Contents

表紙裏

巻頭言

ICT 分野から広がる多文化共生

～宮崎～バングラディシュ・モデル／スタイル～

宮崎大学 副学長（国際連携担当）／村上 啓介

特集 学習指導要領に対する教育現場の受け止めと課題 I

- 2 **I 「主体的・対話的で深い学び」を教室で実現するために**
岐阜聖徳学園大学 教育学部 教授 玉置 崇
- 7 **II 「学びひたる」子供の育成を目指した授業デザインの工夫**
～メタ認知力と自己調整力をもった、主体的な学び手を育てる～
愛知県岩倉市教育委員会 教育長 野木森 広
- 12 **III <主体的・対話的で深い学び>×(コロナ禍+GIGA)×3年
＝「学びの構造改革」**
岐阜県岐阜市教育委員会 教育長 水川 和彦

連載 やさしい電気化学 ～化学変化で起こす電気, 電気で起こす化学変化～ 第2回

身の回りの電池 -空気亜鉛電池

東京学芸大学 教育学部自然科学系 教授 鎌田 正裕

連載 確率の現代的活用 第3回

シグモイド関数が世の中を説明する

東京大学 名誉教授／(株) ペイズ総合研究所 代表取締役 松原 望

連載 物理用語の成り立ち ～万物の根源を求めて～ 第2回

原子（アトム atom）I -古代ギリシャにおけるアトム

元徳島県公立高等学校 教諭 西條 敏美

特別寄稿 数学的な考え方と和算

- 主体的・対話的で深い学びを目指す授業改善に向けて -

NPO 法人 和算問題教材化研究会 理事長（元京都女子大学教授） 平野 年光

教育に新しい風を -東京懇談会より-

「省察（リフレクション）」を取り入れた「指導と評価の一体化」へ

元東洋学園大学 教授 加藤 良則

広場 地域教育で活躍する人々 第37回

算数・数学のよさ、美しさ、楽しさを多くの子供たちに

NPO ちば算数・数学を楽しむ会 理事長 山本 幸人

裏表紙

数学と言葉 第6回

数学用語 その1

無理数とは無理な数なのか

サイエンスナビゲーター® 桜井 進



Kantougen



宮崎大学 副学長（国際連携担当）

村上 啓介 / むらかみ けいすけ

1961年千葉県生まれ。1996年九州大学で博士（工学）を取得。1989-1997年に九州大学工学部助手。1997年より宮崎大学工学部助教授、2007年に同准教授。2015年に工学部国際教育センター教授となり、2019年より宮崎大学副学長（国際連携担当）。2000-2001年にはデンマーク工科大学数学モデル研究所で研究員を務める。専門は水工学、海岸工学、特に、沿岸防災。主な著書には、『みやざきの自然災害 - 地震・津波・火山・気象災害を知って備える』（共著、みやざき公共・協働研究会）など。地域防災に貢献し、2014年宮崎市政功労者表彰を受賞。

ICT分野から広がる多文化共生

～ 宮崎－バン格拉デシュ・モデル／スタイル ～

近年、地方における高度外国人材導入の好事例として「宮崎－バン格拉デシュ・モデル」が脚光を浴びている。本モデルは、バン格拉デシュの優秀なIT人材に日本語・IT・ビジネスマナー等を指導して日本就職を支援するJICA技術協力事業「日本市場をターゲットとしたICT人材育成プロジェクト（B-JET: Bangladesh-Japan ICT Engineers' Training Program）」と、これを修了した宮崎への就職予定者に宮崎大学で3か月の日本語教育とインターンシップを行う短期留学プログラムにより、外国人雇用経験が少ない地方企業での円滑な就業開始を支援する、宮崎市、地域企業との産官学連携高度ICT人材導入事業である。2017－2021年に265名がB-JETを修了し、7割の186名が日本に、その3割の54名が宮崎に就職している。

背景には、地方での人材不足だけではなく、2030年には59万人に至るとされる日本全体のICT技術者不足がある。一方、バン格拉デシュ側にも事情がある。2009年よりデジタル・バン格拉デシュ政策によりICT分野の人材育成に力を入れており、毎年数万人以上が育っている。ICTに特化した理数系教育施策において、バン格拉デシュは日本に先んじているといえる。加えて、高等教育を英語で行うため、TOEIC平均点895点と非英語母語国では世界トップクラスでもある。しかしながら、同国内には魅力ある就業機会が少ない。そこで、日本・宮崎のIT人材不足とバン格拉デシュの就業機会不足、双方の課題解決を目指して「宮崎－バン格拉デシュ・モデル」が生まれた。

B-JETは、JICAが事業を終了後、現地大学と宮崎大学、企業・関係機関による連携事業体が承継し、渡日前教育（JICAのB-JET）と留学・インターンシップを統合した「外国人ICT技術者人材育成プログラム（B-JET）」として2021年10月から第2フェーズを実施している。この推進力となっているのが、株式会社新興出版社啓林館による宮崎大学の寄附講座「外国人ICT技術者人材育成学講座」である。B-JET事業を中核に、増加する高度外国人へのより効果的な日本語教育とキャリア教育の在り方について研究し、我が国における高度外国人技術者の活躍と定着に貢献することを目的としている。啓林館とバン格拉デシュの縁はB-JET以前に遡る。同社が提供する

「スマートレクチャーコレクション（スマコレ：約10万人の高校生が活用）」での英語ライティング添削者が最も多いのがバン格拉デシュであり、約40%が同国の大学生等である。添削者の中には、添削を通じて日本への関心を高めてB-JETに参加し、宮崎に就業した者がおり、同社とバン格拉デシュ、宮崎との深い縁を感じる。

B-JETの第2フェーズはコロナ禍での開講となり、募集・選考から教育提供までICTを活用したオンラインで全て行われた。コロナが落ち着いた現在は、対面とオンラインのハイブリッドとなっている。この間に培われたICT教育のノウハウが次の展開、オンライン日本語／英語交流「B-JET CAFE」を導いた。B-JET CAFEは、バン格拉デシュで日本語を学ぶB-JET生と日本の中高校生、学生・社会人等を結び、若い世代が互いの『今』を学ぶことができるプログラムとなっている。宮崎県立高千穂高校では英語授業の一環として取り入れており、新しい高大連携ICT活用相互学習プログラムとしてだけでなく、両国の次世代交流として外務省の「日本－バン格拉デシュ外交関係樹立50周年事業」にも認定されている。

また、宮崎に就職したB-JET修了生が高校でプログラミングを教えるなど、B-JETは就業企業だけでなく地域の次世代教育にも繋がっている。これをさらに地域社会に展開するため、2022年からはバン格拉デシュと宮崎との間での関係をより深めて互恵的な経済交流体制を築く取り組みとして、JICA草の根技術協力事業「宮崎－バン格拉デシュICT人材育成事業（B-MEET: Bangladesh-Miyazaki ICT Engineers' Educational Training）（代表：宮崎市）」を実施しており、B-JETと併せた一連の事業は「宮崎－バン格拉デシュ・スタイル」と呼ばれている。

今後、ICT分野の拡大に伴い理数系人材の需要は益々高まり、また同時に、増加する在留外国人との多文化共生社会の実現が望まれている。そうした中、理数系人材こそ英語による一次情報を活用した最新技術の発展への適応が必要となり、国際的であることが求められる時代となっている。宮崎－バン格拉デシュ・モデル／スタイルが、若い世代の理数系分野と国際交流への関心を高め、地域や日本を活性化させる一助となることを期待している。



I 「主体的・対話的で深い学び」を教室で実現するために

岐阜聖徳学園大学 教育学部 教授

玉置 崇 / たまおき たかし

愛知県の小中学校教諭，教頭，校長，教育委員会指導主事・主査，教育事務所長を経て，2015年度から現職。文部科学省の各種事業委員なども歴任。『落語流 教えない授業のつくりかた』（共著），『中学校数学授業 発問・言葉かけ大全』（単著），『スクールリーダーの“刺さる”言葉』（単著）など著書多数。



1 ◆ 学習指導要領が廊下で止まっている

「学習指導要領が廊下で止まっている」

20年ほど前の学習指導要領改訂後に，この言葉を耳にした記憶がある。学校現場では，新たな学習指導要領の本質が理解されていないことをうまく表現していると感心した覚えがある。

さて，現学習指導要領の浸透度はどうだろうか。自分が関わっている学校や，私と同様にいくつかの学校で指導助言をされている方々から話を聞くと，浸透度には学校によってかなりの格差があると捉えている。コロナ禍であっても，学習指導要領の理解と実現に向けて校内研修を重ねた学校もあれば，コロナ禍を言い訳に学習指導要領を踏まえた授業改善研修や研究授業をまったくしなかった学校もある。

例えば，コロナ感染拡大が始まったときには，小学校ではちょうど新たな観点「主体的に学習に取り組む態度」で評価する時期であった。だが，次のように実態を話した校長がいる。

「新年度早々に新しい評価についての校内学習会を開こうと考えていました。しかし，コロナ感染拡大が始まって学習会より優先すべきことが多発したことはご存じのとおりです。今は仕方がないとあきらめ，そのうちに必ず！と思っているうちに1学期末になってしまいました。『評価の方法がよくわからない』という声もありましたが，教員はそれなりに評価をしたのです。保護者からの質問も苦情もありませんでしたので，実は，まだそのままになっているのです。」

あまりにも正直な発露に，どう言葉を返したらよいかわからないほどだった。もちろん，こうした学校はごく一部だと考えている。

しかし，少なからず理解に格差があることは否定できない。ここでは，玉置流の学習指導要領の解釈を述べながら，学校現場がこれなら取り組んでみようという気持ちになっていたできるように提言する。

2 ◆ 学習指導要領を教室で実現するために

学習指導要領で示された授業改善のためのキーワードは「主体的・対話的で深い学び」であることを知らない教員には，さすがに出会ったことはない。しかし，その具現化について意識したり，実践を重ねていたりすると質問すると，なかなか明確な回答が返ってこない。こうした折に，私は，次のように助言している。

（1）「主体的な学び」の捉え方

① 振り返りの大切さ

学習指導要領では「主体的な学び」は次のように示されている。

学ぶことに興味や関心を持ち，自己のキャリア形成の方向性と関連付けながら，見通しを持って粘り強く取り組み，自己の学習活動を振り返って次につなげる「主体的な学び」

私は、「子供に『主体的になりなさい』と言ったところで、そのようにはなりませんよね」と確認し、文言「主体的な学び」の前にある「自己の学習活動を振り返って」というフレーズに注目するように伝えている。「振り返り」をすることで主体的になると読み取ってほしいと補足している。

その上で、「振り返りをする」と、なぜ主体的に学ぶことになるのか」を考えてもらっている。皆さんはどのようにお答えになるだろうか。

すでに「振り返り」に取り組まれている先生方は多い。また、「振り返り」の意義について、それなりに答えられる方も多い。しかし、それが主体性を育むことにつながるという意識は薄い。

私が心配するのは、子供に「振り返り」の意義を伝えているかどうかだ。授業の終末に形式的に書かせているのであれば、それは書かなくてはならないので書いているだけであり、子供自身が「振り返り」のよさを実感しているかは疑わしい。つまり主体性を育むところではない状態なのだ。

助言をする際には、次のように「振り返り」の指示内容を例示している。

「はじめは難しいなあと思ったけど、最後は簡単に思った」「Aさんの考えがよかった」「もっと練習して早くできるようになりたい」「他の場合も調べてみたい」「どうしてそうなるか、まだもやもやしている」など、今日の授業で、心に浮かんできたことを書いておこう。

つまり、「振り返り」＝「心に浮かんできたこと」として、子供に伝えるように提案している。さらに、関わっているいくつかの実践校の知見から、「もやもやしていることを書こう」と指示すると、「振り返り」が豊かになったことを伝えている。

「もやもやしていること」を書くように推奨してから、子供の「振り返り」に目を通すのが楽しみになったという教員がいる。「もやもや」＝「すっきりしない」ということから、これを確かめてみたい、この場合はどうなのだろうかといった次の課題を書く子供が多くなったという。まさに振り返りを通して、子供の主体性を育てている事例だ。

② 自己選択の大切さ

もう一つ、主体性を育てるために、自己選択をする場面を

設定するべきだと話している。自己選択は、人に指示をされず、自分で決定する経験をする事だ。小さなことでよい。自分で物事を決める経験を重ねることで、子供の主体性は育まれる。

大人であれば、人生、誰しも自己選択の連続である。朝起きたときに、「この洋服を着なさい」という指示されている大人は、まずいない。その日の気温や予定を考えて、着る物を自己選択しているはずだ。仮にその日の気温が予想以上に高くなり、自分が選んだ服がその日にはふさわしくなかったと思っても、自己で選択したのだから、他人を責めることはできない。すべては自己責任になる。私は、学校教育の中でも、子供にこうした経験を積みせると、主体性が育まれると考えている。

自己選択の例として、次の問題と発問例を紹介する。

(小学校問題例)

- | | | |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| ① $0.3 \overline{) 4.7}$ | ② $5.4 \overline{) 3.78}$ | ③ $0.24 \overline{) 3.84}$ |
| ④ $0.92 \overline{) 4.048}$ | ⑤ $3.5 \overline{) 63}$ | ⑥ $0.28 \overline{) 64.4}$ |
| ⑦ $9.5 \overline{) 2.66}$ | ⑧ $1.6 \overline{) 6}$ | ⑨ $3.14 \overline{) 2355}$ |

令和2年度版『わくわく算数5』p.63

(中学校問題例)

次の方程式を解きなさい。

- | | |
|--------------------------------------|---|
| (1) $2(x+1) = x+3$ | (2) $3(x-8) = 9(4-x)$ |
| (3) $-3(2x-4) = 5(x-2)$ | (4) $80-30(x-5) = 110$ |
| (5) $0.1x = 0.4(x-2)-0.2$ | (6) $\frac{1}{4}x-1 = \frac{1}{2}x$ |
| (7) $\frac{3x-7}{5} = \frac{x+1}{2}$ | (8) $5 + \frac{3}{100}x = \frac{7}{100}x$ |

令和3年度版『未来へひろがる数学1』p.90

(発問例 小中学校共通)

「自分が間違えそうな問題からやりましょう。それを選んだ理由も言えるといいね」

さて、実際にこの発問を子供たちにしてみたところ、単に「この問題に取り組みなさい」と指示した場合と比較して、子供たちはより思考することがわかった。

例えば、小学校の問題では⑧を選んだ児童が数人いた。その理由は、「教師の指導（学級全体）で学んだわり算の問題と形が違うので間違えそう」「簡単に見えるけど一番難しそう」といったものだった。中学校問題では(7)を選んだ生徒が数人いた。分数が入っていることや、分母が違うので計算ミスをしやすくなったと考えたとのことだった。

小学生も中学生も、「問題の型」を見ている。これは「自己選択させる発問効果」だと考えている。基本題との違いを意識できることはとても良いことで、さらに、解き方の違いをも意識しながら取り組むはずである。

(2) 「対話的な学び」の捉え方

学習指導要領では「対話的な学び」は次のように示されている。

子供同士の協働、教職員や地域の人との対話、先哲の考え方を手掛かりに考えること等を通じ、自己の考えを広げ深める「対話的な学び」

この「対話的な学び」の理解を深めてもらうために、私は、「この定義の中で、一番重要だと思うフレーズは何だと思いますか？」と問うことにしている。

子供がペアや4人で話し合えば、「対話的な学び」ができるという捉えでは認識が浅い。話し合いを通して、自己の考えを広げ深めないと対話ではないと定義されていることに注目してほしい。

この定義を踏まえた上で、4人で話し合っているようすを観察していると、自分の考えを順に発表するだけで終わっていることが多い。これでは単なるミニミニ発表会で、「真の対話」とは言えない。

「真の対話」を生み出すには、「わからない」と気軽に発することができる空気が大切だと伝えている。そうした「心理的安全性が高い教室」であれば、自分の困りごとを躊躇なく伝えることができる。仲間に「ここがわからない」と伝えると、仲間でとことん教えてくれる学級こそ、「真の対話」が生まれるはずだ。



図1 わかりそうでわからないと言っている3人の生徒

私は、実際に研修等で子供たちが話し合っている動画を見せながら解説している(図1)。3人で話し合っているある動画では、一人の子供が「わかりそうでわからない」と仲間に伝えている。それを聞いた子供は「180度という答えは正しいと思うけど、なぜそうなるのか説明できない」と返している。そこにもう一人が「三角形の外角と内角の関係が使えるかもしれない」と話し出した。

このように、「わからない」という仲間に寄り添いながら、自分も自信がないことや、頭に浮かんだことを伝え合っている子供の話し合いを見て、「真の対話」をしようとしている彼らを微笑ましく感じた。このような場面を積み重ねることで、「真の対話」が生まれていくと考えたい。

ちなみに、佐藤学氏(東京大学名誉教授)が提唱している「学びの共同体」では、「わからないから教えて」ということから学びが始まると言っている。図2は、その重要点を示している。

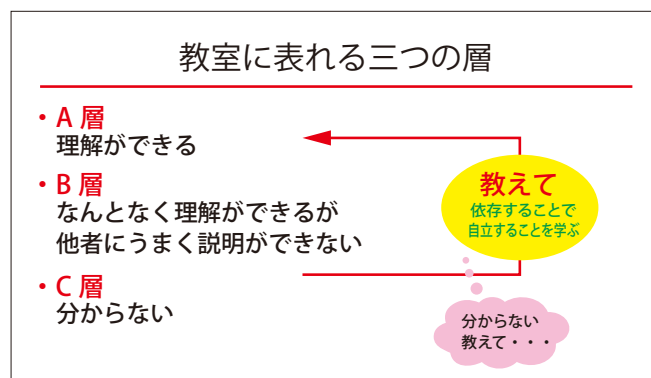


図2 教室に表れる三つの層

教室では、「A層＝理解ができる／B層＝なんとなく理解ができるが、他者にうまく説明できない／C層＝わからない」という三つの層が表れる。望ましい学びは、C層の子供が「わからないから教えて」と素直に言えることが重要だと言っている。

よく理解ができるA層の子供をミニ先生にして、C層の子供に教えるように指示する教師がいる。この際の留意点は、C層の子供が「教えて」という気持ちになっているかどうかだ。教えてほしくない状態の子供に無理に教えては、「真の学び」は成立しない。

(2) 「深い学び」の捉え方

学習指導要領では「深い学び」は、次のように示されている。

各教科等で習得した概念や考え方を活用した「見方・考え方」を働かせ、問いを見いだして解決したり、自己の考えを形成し表したり、思いを基に構想、創造したりすることに向かう「深い学び」

「深い学び」を実現するには、「見方・考え方」が働くことが重要であると読み取れる。この「見方・考え方」は、各教科等を学ぶ本質的な意義の中核をなすもので、教科等の教育と社会をつなぐものであるとも示されている。

ちなみに「数学的な見方・考え方」は、「事象を数量や図形およびそれらの関係などに着目して捉え、論理的、統合的・発展的に考えること」とされている。

これに異論はないが、小学校においては、全教科（道徳科を除く）にわたって「見方・考え方」が示されており、教師がそれを全て理解して授業づくりをしていくのは難しい。

そこで私は、玉置流と称して「見方・考え方」を図3のように定義している。

見方・考え方は？

今日の授業で、
一生覚えておくの良いことから

図3 玉置流「見方・考え方」

「見方・考え方」は、前述のように「教科等の教育と社会をつなぐもの」と示されていることから、このように捉えてもよいと判断している。

具体例を示しておく。図4は、算数の教科書の「長さ」の単元の冒頭に示されている図である。ここでは、うさぎとりすの電話での会話を受け、「りすがつった魚のほうが長い」といってもよいですか」という投げかけがされている。

私は、この図を活用した授業を見たことがある。子供たちの発言内容は、「一生覚えておくの良いこと」ばかりで、小学2年生でもこうした発言ができるのだと感心した。

「うさぎさんのほうがりすさんよりこぶしが大きいから、そう言うてはいけない」

「うさぎさんとりすさんのこぶしの大きさが違うので、こぶしがいくつ分あると言っても、長さは比べられない」



図4 算数2年「長さ」単元の導入場面 令和2年度版『わくわく算数2上』p.34

「同じ大きさのおはじきを持ってきて、いくつ分あるかを言うといい」

小学2年生であるため、子供たちは同じようなことを何度も発言していたが、長さを比較するときは「単位を揃えなくてはいけない」と、子供なりに気付いていることがよくわかった。この「比較するときは単位を揃える」は、「一生覚えておくの良いこと」である。言い換えれば、この授業での子供たちは「見方・考え方」を十分に捉えていたわけで、「深い学び」に向かっていたと言っても過言ではない。

こうした説明をして、深い学びを実現するためには、まずは教師が「今日の授業で一生覚えておくの良いこと」をしっかりと意識しておくことが肝要だと伝えている。

3 関らせていただいている学校からの学び

ここでは、「学習指導要領の理念」が教室に溶け込んでいる学校はどのような特長があるかを、関らせていただいている学校から得た知見をもとに述べる。

(1) 管理職の授業研究への関わり

私は、管理職の授業研究への関わり具合によって、学習指導要領の浸透度が違うと感じている。

その一つが、管理職も授業をしっかりと観察して、その後の協議会にも一教員と同じ立場で参加して意見交流している学校である。

A校では、先生方の話し合いを聞いていても、実にフラットで、校長自身も「あの場面での教師の対応の是非はよくわからない」「主体性を大切にしたい展開だったと思うが、なるほど！　そういう見方もできますね」などと、授業検討そのものを楽しんでいる。A校では、授業について語り合うのが日常的で、教員間の垣根もないように感じる。だからこそ、学習指導要領の理念が教室でも感じられるのだと思う。

私が若い頃に経験した授業検討会では、会の最後、校長に「では、指導助言をお願いします」と依頼して、何かしらの言葉をもらう習わしがあった。心の中では、指導助言ができるなら授業が始まる前にすべきだと思っていた。管理職はより長い経験を持つことは理解していたが、授業づくりや検討においては同格であるべきだという考えは今も変わらない。だからこそ、上記のような検討会に魅力を感じる。

(2) 授業研究の体制改善を続けている

訪問するたびに授業研究の体制が工夫されており、感心する学校がある。

B校では、年度ごと、あるいは半期ごとに授業研究体制に変化がある。研究テーマに合わせて研究部を組織したり、育てたい教員を意識して研究推進に関わらせたりしている。

また、授業検討会の方法を固定せず、新しい授業を創る意識を高めようと、検討会そのものを改善し続けている学校もある。

C校では、今回の授業での検討テーマを明確にして、4人前後のグループで、30分間の協議時間を設定している。検討会の進行はそのグループ内の若手と決めていたり、検討は模造紙に書きながら行うことで、互いの気づきを明文化させたりしている。さらに、各グループでの検討内容を共有化するために「ワールドカフェ方式」をとり、グループに説明役を1名残して、他のメンバーは違うグループに移動して、そのグループでの話し合いを聞いた上で、最初のグループに戻ってさらに協議を重ねている。こうした方式は、教員間のコミュニケーションを増やし、互いの教育観・授業観を交流する機会を生んでいる。

ある教師が「先生は、あの場面ではまず書かせるのですね。私は書かせると時間がかかるので、発表させることを優先するのですけど…」と言えば、「書かせることで自分の考えが

はっきりすると思うのです。自分の考えがないままの子供は、話し合いの傍観者になりがちです。私はずっと前から書くことを重要視しています」などと、授業に対して自分が何を重要視しているかといったところまで話が及ぶからこそ、互いに認め合い高め合う風土が校内にできるのだ。

(3) 授業についての定期的な勉強会

校内で定期的に、自由参加による授業改善に向けての交流会を開催している学校がある。

D校では、授業づくりこそ重要と考え、月1、2回程度、部活動などの活動を止め、より良い授業を求めて話し合いをしている。強制参加をせず、有志による参加だが、定期開催ができてるのは、それなりの参加者があるということだ。『授業検討会』ではなく、『授業悩み事相談会』となりつつあります」と校長が苦笑していたが、校長自身がそこに参加していることも素晴らしい。この学校の教師から「プラス思考」が感じられるのは、こうした身近で気軽な勉強会があるからだと捉えている。

ここまで、学習指導要領の理念を学校現場に浸透させるための私なりの提言を行ってきたが、次項からは、学習指導要領を学校現場で具現化するためにさまざまな取り組みをしている愛知県岩倉市教育委員会と岐阜県岐阜市教育委員会の教育長より、具体的な実践例を紹介していただく。

また、次号では、小・中・高で精力的に授業改善等に取り組んでいる学校を紹介する。



参考・引用文献

- * 『小学校学習指導要領(平成29年告示)』文部科学省, 2017年3月
- * 『中学校学習指導要領(平成29年告示)』文部科学省, 2017年3月
- * 『わくわく算数』啓林館, 2020年2月10日
- * 『未来へひろがる数学』啓林館, 2021年2月10日

Ⅱ 「学びひたる」子供の育成を目指した授業デザインの工夫

～メタ認知力と自己調整力をもった、主体的な学び手を育てる～

愛知県岩倉市教育委員会 教育長

野木森 広 / のぎもり ひろし

愛知県の公立小学校教諭，愛知教育大学附属名古屋小学校教諭，公立小学校教頭，愛知県教育委員会義務教育課指導主事，尾張教育事務所管理主事，公立中学校長を歴任後，愛知教育大学教職大学院特任教授を経て2020年より現職。



1 ◆ 解説動画で学習指導要領の理念を発信

平成29年に告示された学習指導要領の特色は，内容重視から資質・能力重視になったことだと言われる。そして，その資質・能力は，「言語能力」「情報活用能力」「問題発見・解決力」など学習の基盤となる資質・能力であり，また，各教科レベルでは見方・考え方を発揮することであるとされる。これらは，これからの予測困難な時代に未来の創り手となるために必要な汎用性のある力であると解釈でき，各教科の見方・考え方もまた，他教科の学習や日常生活などでの問題解決にも生きて働くとされる。そして，これらの資質・能力を伸ばすために，カリキュラム・マネジメントとアクティブ・ラーニングとが一体的に導入されたのが今回の学習指導要領である。

実によくできた理論である。これに基づいた実践が適切に行なわれれば，これまで以上に資質・能力を伸ばすことができるであろう。しかし，学習指導要領は難解である。180ページに及ぶ本文や総則だけで140ページに及ぶ解説を，現場の教員が読み解いて理解するのは至難の業である。

そこで，令和2年に教育長として赴任した私の最初の仕事は，学習指導要領の理念を実践と結び付けてわかりやすく解説する動画をつくることであった。解説動画のタイトルは，「働き方改革時代の，学び続ける教職員を支えるための岩倉市教職員研修デジタルコンテンツ～新学習指導要領が目指す授業づくりと学習評価～」である（図1）。配信した動画は1本平均30分。国語，社会，算数，理科，体育，特別活動などの実践を織り交ぜ，シリーズで計4本を配信した。視聴した教員からの感

想や，その後の各校の実践から，学習指導要領に対する一定の理解を深めることができたと思う。

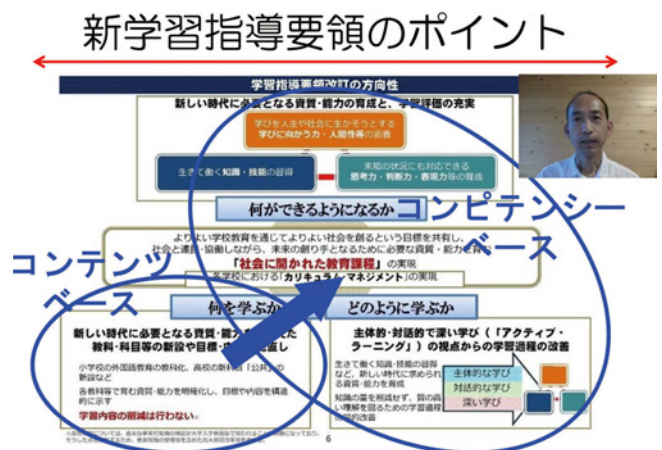


図1 「岩倉市教職員研修デジタルコンテンツ」の一場面

2 ◆ 岩倉市授業デザイン研究会の取り組み

岩倉市には，授業デザイン研究会という組織がある。目指しているのは「学びひたる子供」の育成である。

「学びひたる」とは，人が夢中になって学ぶ状態を指し，「今日の自分」が新しい知と出会い，他者と知を交流させながら，自分なりの新たな意味付けや価値付けを行うことで，「昨日の自分」を「明日の自分」に拡大していく知的な営みの過程で生まれるものである。

本研究会では，このような学びを生み出すために，共通の授業イメージとしての授業デザインを策定している（図2）。授業デザインは，以下に掲げる3つの理念と，それを実現するた

めの6つの方策から成り立っている。

1. すべての子供に学びの機会を保障する
2. すべての子供に向上の変容を約束する
3. 仲間と支え合いながら、安心して学べる環境を準備する

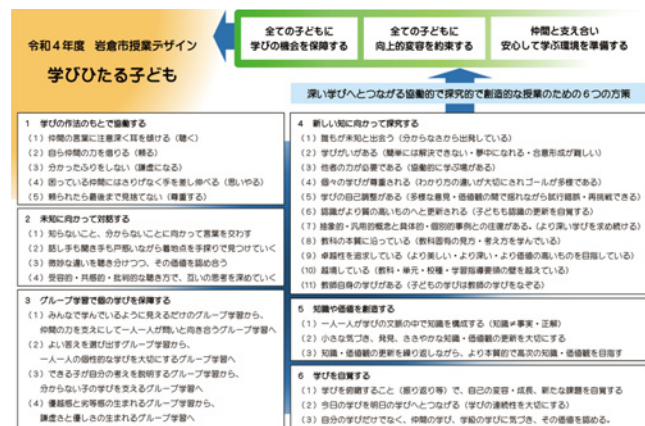


図2 学びひたる子供を目指した岩倉市の授業デザイン

この授業デザインは、市内7校の教務主任と研究主任とが中心となって、互いに公開する複数の授業研究で、子供の学びのようすを確認しながら絶えず見直している。

本稿では、現行の学習指導要領が告示されて以降、この授業デザインがどのように見直されてきたかに視点をあてることによって、「教育現場の受け止めと課題」というテーマに迫りたい。

3 ◆ 学びの本質は同じ

学習指導要領に示された「主体的・対話的で深い学び」や、「令和の日本型学校教育」に示された「個別最適な学び」と「協働的な学び」は新しい言葉ではあるが、「学ぶ」という行為が、未だ知らない新しい知と出会い、それを自分の中に取り込みながら何かを認識し、学習者自身がその場その場で知を構成していく営みであるという学びの本質と異なるものではない。むしろ「対話的で深い学び」や「協働的な学び」の概念である「異なる考え方が組み合わせり、よりよい学びを生み出す」とことは、本市がこれまで目指してきた学びと一致する。

心理学や教育学など学問的に裏付けられた学習指導要領の記述が本市の目指す学びと共通する部分が多いことは、「学びひたる子供」を追求することがより重要であることに確信を得る内容であった。また、それだけに、学習指導要領に示された学問上の知見を効果的に取り入れることによって、今まで以

上に子供たちを有能な学び手に育てていく授業デザインを工夫すべきという考えに至っている。

4 ◆ 子供たちを有能な学び手に育てるために

子供たちを有能な学び手に育てるためのポイントとして本市が着目したのは、中央教育審議会答申（2016年12月）にある次の記述である。

「子供たちが自ら学習の目標を持ち、進め方を見直ししながら学習を進め、その過程を評価して新たな学習につなげるといった、学習に関する自己調整を行いながら、粘り強く知識・技能を獲得したり思考・判断・表現しようとしていたりしているかどうかという、意思的な側面を捉えて評価することが求められる。」

このような記述に代表される知見に基づいて、「岩倉市授業デザイン」に加筆した主な内容は以下のとおりである。

- ・学びの自己調整がある（多様な意見・価値観の間で揺れながら試行錯誤・再挑戦できる）
- ・学びを俯瞰すること（振り返りなど）で、自己の変容・成長、新たな課題を自覚する

つまり、学習指導要領に示された新たな理念のうち、「主体的に学びに向かう態度」こそが「学びひたる子供」の育成に最も重要な要素であると考え、学びの自己調整力とそのため

の振り返り力を共通の授業イメージとして付加したのである。このことにより、日々の授業づくりや授業研究の視点として「学びに自己調整があったか」「学びを俯瞰できたか」という視点を、教師一人一人がより意識するようになったと感じている。

5 ◆ ステップアップシートを用いた実践

A小学校では、主体的な学習者を育てるために、次の2点を目指す児童像として研究実践に取り組んだ。

- ・自分の学びを見通し、学ぶ中で自己の評価や修正を繰り返す自己調整力を育む。
- ・他と比べるのではなく、深く自分を理解し、過去の自分からの成長を実感することで自己肯定感を育む。

そのための具体的な手立てとして、毎時間の振り返りを累積する「ステップアップシート」を用いた。

図3は、5年算数「合同な図形」におけるステップアップシー

トの例である。

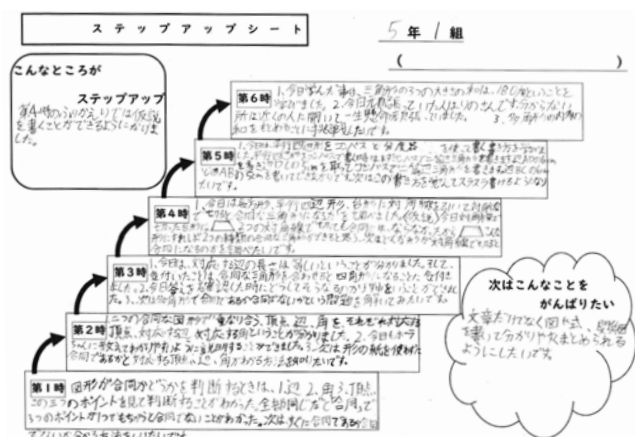


図3 ステップアップシートの例 (5年算数「合同な図形」)

以下に、授業毎の記述を一部抜粋する。

第1時「図形が合同かどうかを判断するときは、辺、角、頂点の3つのポイントを見て判断することがわかった。全部同じだと合同で、1つでも違うと合同でないことがわかった。次はすぐに合同であるかないかがわかる方法を知りたい」

第2時「2つの合同な図形で重なり合う頂点、辺、角を、それぞれ対応する頂点、対応する辺、対応する角と言うことがわかった。今日もAさんにわかりやすいように説明することができた。次は形の紙を使わずに合同であることがわかる方法を知りたい」

これらの記述からは、学びの内容のみならず、学びの過程をも振り返り、次への目標をもっていることが伺える。

また、単元終了時の以下の記述からは、自己の伸長をメタ認知するとともに、次の学びの方向性をも自覚していることがわかる。

・こんなところがステップアップ

「第4時の振り返りから仮説を書くことができるようになった」

・次はこんなことをがんばりたい

「文章だけでなく図や式、関係図を書いてわかりやすくまとめるようにしたい」

これらは、振り返りによって、めあてや方法など次の学びへの見通しがもてたことを意味し、学びを自己調整する力が伸張しつつある姿であると捉えている。

また、自らの成長をさらに自覚するための手立てとして、ステップアップシートに「単元を貫く問い」を加えた実践もある。

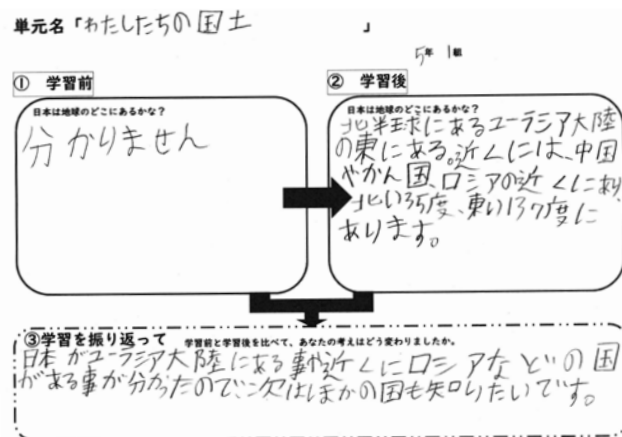


図4 単元を貫く問い (5年社会「わたしたちの国土」)

図4は、5年社会「私たちの国土」の例である。「日本は地球のどこにあるかな？」という「単元を貫く問い」に対して、来日5年目の外国籍児童である本児は、学習前には「わかりません」と答えていたが、学習後には「ユーラシア大陸の東にある」など、かなり詳しく日本の位置を表現している。さらに、単元学習前後の自らの記述を比較して「次は他の国も知りたいです」と、さらなる学習への意欲を示している。

このように、過去の自分と今の自分とを比較することで自らの学びに意味を見だし、さらなる学習意欲をもつ児童の姿を確認している。

6 ◆ 「ふり回りキー」を用いた実践

B小学校では、「学習を調整し、深い学びを実現する」ことを目標に、「ふり回りキー」(図5)を用いて、振り返りの質の向上に取り組んでいる。

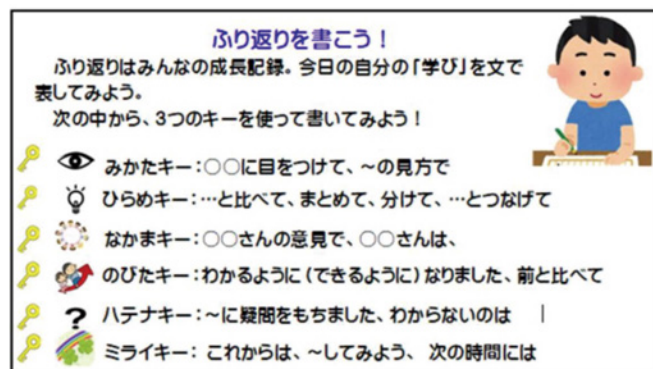


図5 ふり回りキー

「ふり回りキー」は、学習の視点である「みかたキー」、学んだ内容である「ひらめキー」、友達からの気づきである「なか

まキー」, 成長を自覚させる「のびたキー」, 新たな疑問である「ハテナキー」, 次の見通しである「ミライキー」の6つから成り, より詳細な自己評価を促すための視点として活用している。

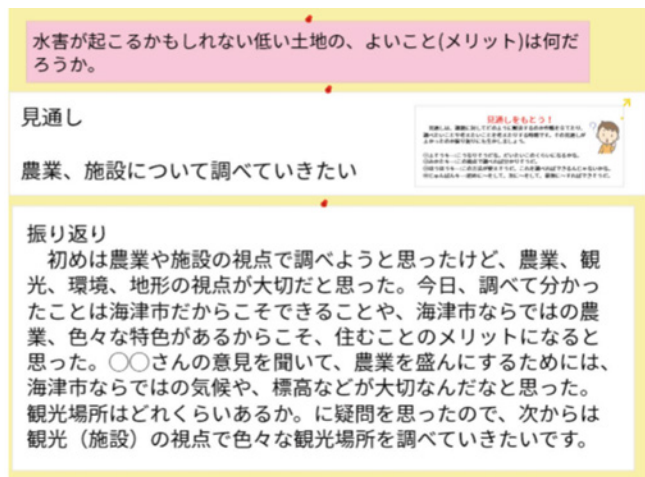


図6 「ふり回りキー」を活用した振り返りの例

図6は, 5年社会「低い土地の暮らし」における振り返りの例である。この振り返りには5つの「ふり回りキー」に対応する記述が見られ, 本児が「ふり回りキー」を利用して多面的に自らの学びをメタ認知したことが伺える。

このようにさまざまな視点で振り返る力は, 自分の学びがどれくらいうまく進んでいるかをモニタリングしてコントロールするという学びの自己調整に直結する力であり, 振り返りの質の向上は, 自己調整力の伸長に欠かせない要素であると考えている。

7 ◆ 「時空を超えた振り返り」による実践

C小学校では, 自己の振り返りをクラウドに蓄積し, 未来の学びに生かす取り組みを行っている。

具体的には, 単元全体の振り返りを, ロイロノートのマイフォルダ内に整理して保存することにより, 学年をまたいで学びの履歴を活用できるようにしている(図7)。

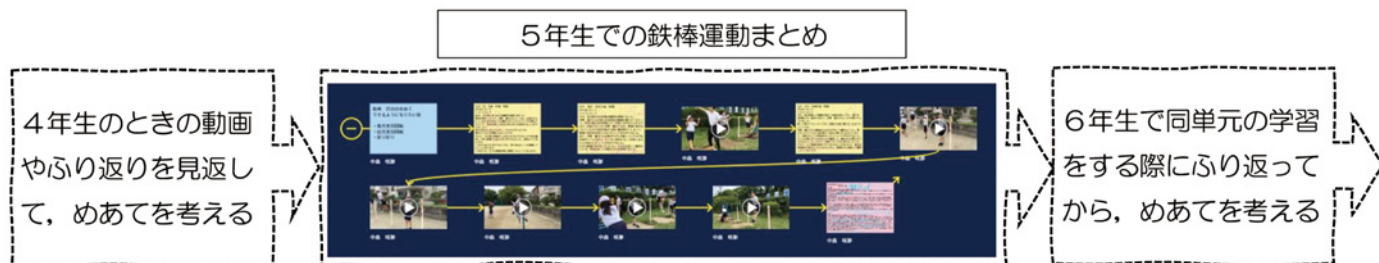


図7 学年をまたいだ振り返りの活用イメージ



図8 マイフォルダ内の振り返り(5年体育「器械運動」)

また, 図8は, 5年体育「器械運動」における振り返りの例である。前時の振り返りや, 前単元の振り返り, 前学年の振り返りなど, 長期に渡って振り返りを活用するためには, 常に過去の自分を振り返ることを意識付けける必要がある。そのための手立てとして, 過去の振り返りを超える記述を心掛けさせたり, 単元最終時の振り返りを「みらいのじぶんへの手紙」と題して, 将来の自分が今の学びを生かすことをイメージして書かせたりしている。また, 「何がどのようにできたのか(できなかったのか)」「次は何がしたいのか」などを具体的に思い出せるような記述の仕方を意識させるとともに, 具体的な記述を教師が評価したり, 共有機能でよい振り返りを広げたりしている。その結果, 振り返りの質は, 少しずつ, 具体的, 連続的なものに高まってきている。

ジーマーマン Zimmerman,B.J.(1989)によれば, 自己調整学習に必要な要素は, 自分が学ぶ目的や学びに向かう理由は何か(学習意欲), 自分に合った効果的な学習方法は何か(学習方略), 今自分はどのような状況にあるか(メタ認知)の3つに關与することである。したがって, 自己調整型の学びを志向する際には, 「学習意欲」「学習方略」「メタ認知」の3要素を意識した振り返りが大切である。

図9は、5年体育「マット運動」における振り返りの例である。この振り返りには「腰が反らないようにする」「足を伸ばせるようにしたい」などの学習意欲、「動画を見て分析する」「上手な子の技を見る」などの学習方略、「手足のバランスが取れていない」「今回は腰がまっすぐになっていた」などのメタ認知が表現され、自己調整学習に必要な3要素が揃っている。「前々回の振り返り」や「前回の練習」との関連、学校と家庭での練習の連動も振り返っており、まさに時空を超えた学びとなっている。

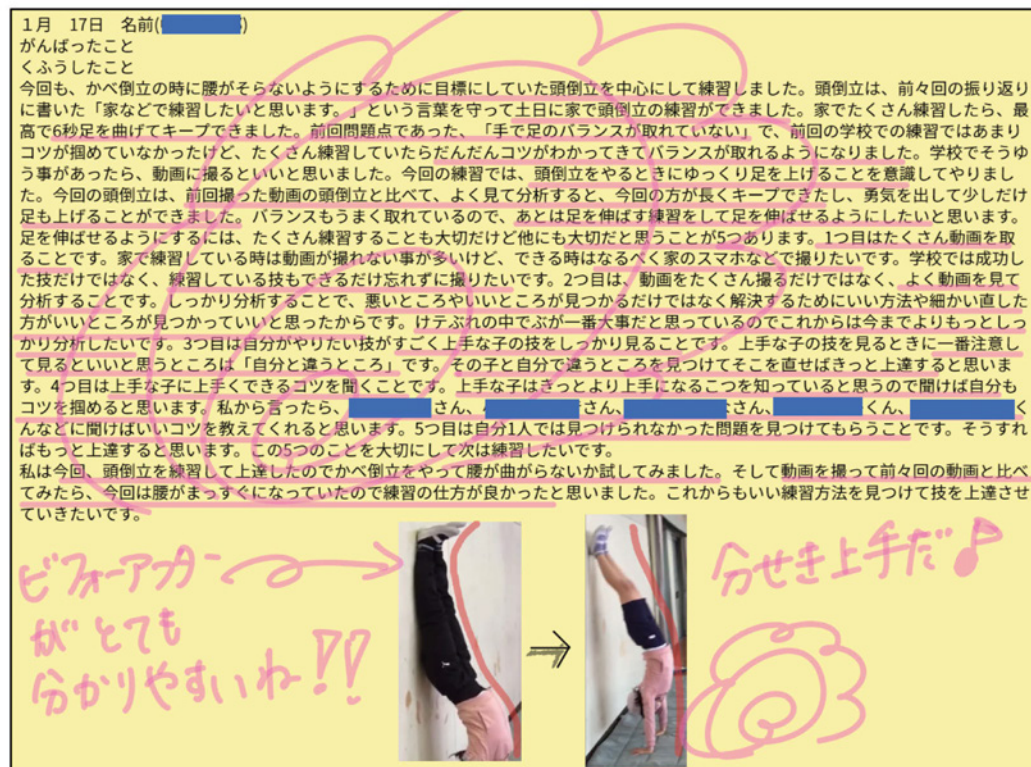


図9 自己調整学習の3要素(学習意欲, 学習方略, メタ認知)が入った振り返りの例

8 ◆ 単元内自由進度学習へのシフト

振り返る力の伸長は、授業デザインにも変化をもたらす。

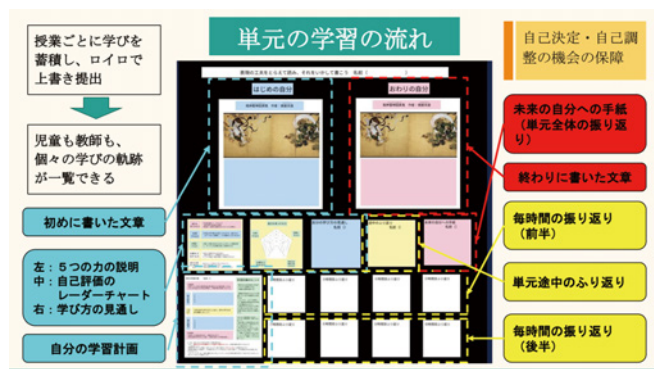


図 10 単元内自由進捗学習の例（6 年国語「鳥獣戯画を読む」）

図 10 は、単元内自由進度学習の例である。6 年国語の教材文「鳥獣戯画を読む」による表現の「習得」と他の美術作品紹介への「活用」からなる単元を、あえて「活用」（風神雷神図屏風などの紹介文を書く活動）から始めることによって、自らの学びの出発点を自覚させる。その上で、魅力を伝える文章を書くために身に付けるべき力（魅力を見つける力、分析する力、言葉にする力など）を示すことにより目標を意識させるととも

に、時間配分や評価観点などを示して個々の学習計画を立てさせる。「魅力が伝わる文章を書きたい」と意欲付けられた子供たちは、目標レベルを自己決定したり、教材文のよさを分析したり、友達と相互評価をしたり、学習計画を練り直したりしながら学びを自己調整していく。

子供自身が学び方や学ぶ相手、学ぶ順序などを選択する、いわば単元内自由進度学習が、市内そこかしこの学校で始まっている。

9 ◆ 岩倉市「授業デザイン」のこれから

自己調整型の主体的な学習は、自らをメタ認知するとともに、学習者自身が学習目標や学習方略に関与して学びを方向付けたり調整したりして課題に取り組む学びである。子供たち自らが問いを生み出すため、学びに終りが無い。

反面、子供に時間、場所、人、道具、計画、評価などを手渡すことになるので、教師の手からこぼれ落ちる子に対するフォローが欠かせない。従来型の授業以上に、子供一人一人に対する丁寧な見取りとケア、そして授業全体の省察が必要となる。授業デザイン研究会の課題は尽きない。

Ⅲ <主体的・対話的で深い学び> × (コロナ禍 + GIGA) × 3年 = 「学びの構造改革」

岐阜県岐阜市 教育長

水川 和彦 / みずかわ かずひこ

岐阜県の公立小学校・中学校で勤務，教育事務所課長補佐，岐阜県教育委員会教育主管，岐阜教育事務所長，岐阜県教育委員会義務教育総括監，東海初の義務教育学校白川郷学園校長等を歴任後，岐阜聖徳学園大学教育学部教授を経て，2021年度より現職。



1 ◆ 学習指導要領実施のアクセルとブレーキ

学習指導要領は，いわゆる「社会に開かれた教育課程」の具現を目指して改訂された。それは，これまで培ってきた主体的な学びを深化させ，より未来に生きて働く汎用性のある能力として育てる大きなねらいがあったと考えている。

「令和の日本型学校教育」が示す「個別最適な学び」や「協働的な学び」も，持続可能な社会の担い手となるための資質・能力を求めており，その意味からも「主体的・対話的で深い学びの実現」は不可欠の概念であることが読み取れる。

しかし，全面実施後の学校現場は，新型コロナに翻弄され，教育活動は制限を余儀なくされた。通常の授業さえ，ままならなかったわけである。逆に，GIGA スクール構想の前倒しで整備された一人1台のタブレットが，これまでは考えられなかった学校現場における新しい学びのスタイルを加速させたことも事実であろう。

この，コロナ禍というブレーキと，一人1台のタブレットの活用というアクセルが，学習指導要領全面実施後の3年間，教育現場にもたらした影響をまず整理してみたい。

(1) 「自ら学ぶ力」を育て切れなかった教育の現実

岐阜市でも，全国一斉の臨時休業の開始時は，タブレットがまだ配付されておらず，学校から出された課題を子供たちが自宅で計画的にこなすことから始まった。

しかし，考えてみれば，主たる教材である「教科書」は子供たちの手元にあり，子供たちが，自分で教科書を開き，自分でわから

ないことを調べることは不可能ではなかったはずだ。一部の教科内容を除き，子供たちが自分で教科書を読んでも，ある程度の理解ができるように編集されている，それが教科書だからである。

ただ，おそらく日本中の多くの学校で，教科書の新しいページを開く権限は教師側にあるという事実と，個々の学習状況に合わせた自由進度学習を前提とはしないことが，我が国の教育の基本であることを，私たちは自覚することになった。

加えて，家庭では，学校から与えられた学習課題を解きながら，「仲間と一緒に考える」ことができないことに，子供たちがずいぶん苦しんだだろうことも容易に想像できる。

そして，この事実には二つの重要な意味が内在することを忘れてはならない。一つは「子供が求めてもいないのに，安易に学び合いの場を位置づけていなかったか？」 もう一つは，「学習者自身が自らの学びを俯瞰することをおざなりにしてはいなかったか？」という反省である。

(2) 「リアル」な学びとカリキュラムマネジメント

コロナ禍の学習は，教室から飛び出す学びをことごとく制限してきた。校外に出かけて自分の目で見たり，育てたり，人と触れ合ったりすることを通して学ぶことはほぼできなくなった。とりわけ直接体験を重視してきた小学校低学年や，理科・社会科などの教科の学び，そして実技系の教科は言うまでもなく，教科の学習そのものが成り立たない危惧さえある中で授業実践は重ねられた。

そのため，学校は子供たちの深い学びを保障するために，2つの授業改革の視点を取り入れる必然に迫られた。

一つは、学習意欲を喚起し、主体的な探究を促すための、教材の開発である。オンラインでも知的好奇心を喚起し、主体的な追究を促す導入や活動を仕組むことが必然となった。

二つ目は、指導の重点化である。単元のねらいを焦点化し、例えば、従来 10 時間で指導していた内容から、必要な活動のみを精選・指導し、その余剰時間を、単元末の習熟や発展、さらには、学びを発信する活動へとマネジメントすることが、児童生徒の次なる学びを誘発することに教師は気づき始めたと感じている。このカリキュラムマネジメントが、この 3 年間で教師にとっての必然になった。

(3) 一人1台のタブレット活用とオンライン学習の導入

そんな困難な学習状況にあって、GIGA スクール構想による一人1台のタブレット導入は、コロナ禍にあっても子供たちの学びを止めないための必然アイテムとして、すべての教室の日常を支えることになった。しかしリアルこそ大切と考えていた教師にとって、やむなく実施するオンライン双方向の授業は、新たな発見をもたらした。画面上につながる子供たちが見せる表情は豊かで、学習状況が手に取るようにわかった。これは意外な発見であつたに違いない。

加えて、ロイロノートをはじめとする新たなコミュニケーションツールの活用は、一人一人の考えを確実に授業に反映させるだけでなく、学習を「見える化」し、子供相互の協働的な学びを促すツールとして位置付くことがわかった。

これまで挙手しなければわからない友達の考えを知ること、自分の考えを表出することも当たり前の状況が生まれた。それは、新たな「協働的な学び」の誕生であった。

以下、この 3 年半、本来なら推進できたはずの新しい学習指導要領に基づく教育実践が、コロナ禍という外的要因で制限される反面、タブレット導入という新たなアイテムを得たことで、教育現場がどのように進化してきたのかを、岐阜市教育委員会、そして学校の取り組みをもとに紹介したい。

2 ◆ 児童生徒の「主体的・対話的で深い学び」を保障するコンパス・カリキュラムの開発

(1) 岐阜市独自の「コンパス・カリキュラム」の開発と活用

岐阜市では、すべての小中学校における全教科、全時間の

図1 岐阜市で活用するコンパス・カリキュラム

指導計画および評価計画（以下、「コンパス・カリキュラム」という）を独自に開発し、統合型校務支援システム上で、岐阜市の全教職員が閲覧・活用できるようにしている。

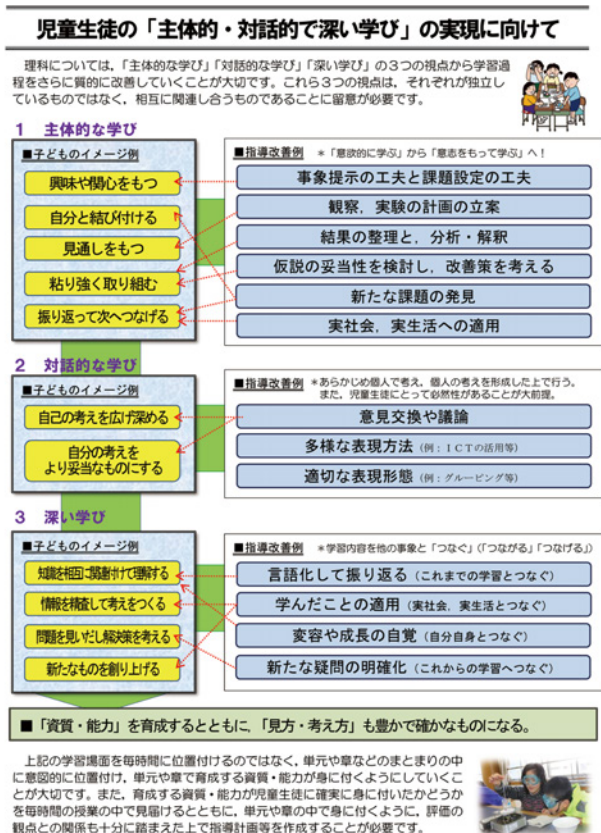
この「コンパス・カリキュラム」は、市教育委員会が「教科等指導員」として任命している市内の各教科専門の教員に加え、教科指導の実績をもつ教員を集め「授業・評価改善委員会」を組織して編集したものである。学習指導要領の告示とともに全面改訂し、それぞれの単元、題材や単位時間における「主体的・対話的で深い学び」の実現に向けた授業改善の視点を位置付け、若手からベテランまで、教科専門でない教員も、授業のねらいに迫れる授業実践を可能としている。

さらに、このカリキュラムには、上記視点に加え、岐阜市全体で大切にしている「生命の尊厳＝生き方の探究学習」の視点や、GIGA スクール構想に基づく「ICT 活用の視点」も位置付け、市内の各学校で同質の授業が展開されるようにしている（図1 指導・援助の項目を参照されたい）。

(2) 授業改善と学びの開発を支援する岐阜市教育研究所

岐阜市教育研究所は、教職員の経年研修及び専門研修を実施する研修センターとして位置付いており、年間のべ 5,000 名、一人当たり年 2 回の利用実績を持つ。とりわけ、キャリアと自己課題に応じた具体的な実践型研修を強みとしており、主体的・

対話的で深い学びの実現に向けた授業改善研修を展開してきた。さらに、主体的・対話的で深い学びを具現するための各教科の基本的な学習過程や留意点についても、岐阜市型授業のモデルを具体的に示し、教職員の実践につなげている（図2）。



家庭、技術・家庭（家庭分野）の学習過程

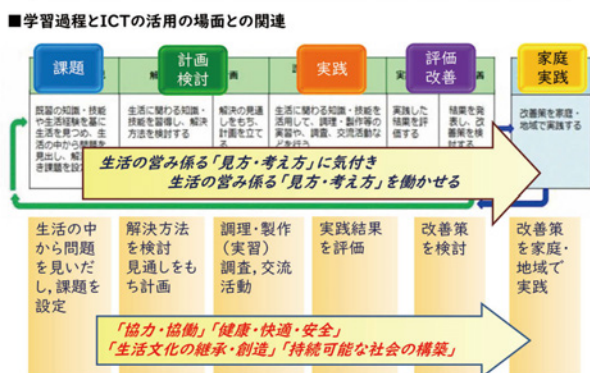


図2 主体的な学びをつくりだす岐阜市型授業モデル例

3 コンパス・カリキュラムを現場からアップデートする

各学校では、上述したカリキュラムをベースとして日々の授業を展開しているが、この指導案を基に改訂し、より主体的な学びを目指す授業研究会も実施して、アップデートされている。

○コンパスカリキュラムを基にした授業展開案（朱書きは授業者加筆）

【単元名】電流のはたらき	4/7
本時のねらい 乾電池2個のつなぎ方によって、モーターが回る速さが違うのはなぜか、既習の内容や生活経験を基に、根拠のある予想を予想し、乾電池2個を直列つなぎにしたときと並列つなぎにしたときの電流の大きさを調べる計画を立てることができる。	
学習活動 1 事象提示 【直列つなぎと並列つなぎの自動車を同時に走らせる】 ・どちらも電池の数は2個なのは、同じだけれど車の速さは違うね。 ・直列つなぎは車が速く走って、並列つなぎはそれに比べて遅いよ。 ・どちらも電池は2個なのに不思議だね。何が違うんだろう。 ○どんな問題をつくることができましたか？ 直列つなぎとへいりつなぎで、モーターの回る速さがちがうのは、なぜだろうか？ 2 予想 つなぎ方によってモーターの回る速さが違う理由を考える。 ○つなぎ方によって何が違うのかな？ ・電流の向きによってモーターの回る向きが変わったし、電流が関係してるといいたいね。 ・直列つなぎはきつと電流が大きいのじゃないかな。理由は、3年生のときにゴムを2本にしたら車が速く走ったから。同じように、電気のパワーが大きくなっているのではないかな。 ・私も同じで、直列つなぎはきつと電流が大きいのじゃないかな。理由は、3年生の時に豆電球の明かりをつけるときに友達と電池を2個つなげてみたことがあって、そうしたら豆電球が明るく光ったから。 ・けん銃時計に数字がついていたよ。電流にも大きさがあるってことじゃないかな。さらに、<u>はた何の考えを働いて</u>、ゴムと同じようにパワーが大きくなっているという説明があるんじゃないかな。 ○へいりつなぎはどう考えますか？	指導・援助 ・つなぎ方以外、導線の長さなど同じ条件になるようにしておく。 ・差異点や共通点を基に問題を見出すことができるように、子どもの発言を整理して板書する。 →電流の流れる様子を図で示す姿を価値づけよう。（根拠にならない） 【主・対・深の実現に向けて】 ※予想で時間を十分に取って、自分の考えもって話し合う必然性をもてるようにする。 【ICT活用場面を明示しながら話す】 ・予想の交換時、ロイノートを活用して、仲間と考えを交流し、自分の予想を見直す。 【学習状況を見届ける視点】 乾電池2個のつなぎ方によってモーターが回る速さが違う理由について、根拠のある予想を予想している。＜思考・判断・表現＞ 【板書・方眼】

図3 コンパス・カリキュラムのアップデート（朱書き部分）

図3に示したのは、小学校理科4年「電流」の実践の学習指導案（改訂版）である。授業者は、コンパス・カリキュラムをもとに、市のカリキュラムの朱書きの部分を改善して、研究授業に臨んだ。主な改善のポイントは、次の点である。

- ①導入では「条件」を明確に「比較」させることで、強い問題意識を引き出す。
- ②既習内容や生活経験を基にした科学的な見方・考え方につながる言葉（理科の用語）を意図的に位置付ける。
- ③タブレット端末の活用は、予想を交流する場に位置付け、実験や考察は対話を中心とする。
- ④確かめ・振り返りの場面には、本時のねらいに即して高まりを自覚することができるような子供の発言を価値付ける。

この授業では、終末に「モーターを回転させるパワーは、3年生で学習したゴムで車を走らせる実験と同じように考えればよいことがわかりました。直列つなぎと



図4 問題を見発見する場面

並列つなぎとではパワーに違いがあるのか、次の時間に調べたいです」と振り返る児童がおり、「量的・関係的」な見方を働かせ、既習内容とつなげて考えていることが推察された（図4）。

その後の、授業研究会でも、児童の発言やつぶやきの中で、

「パワー」「電流の大きさ」「電流の強さ」「電流の量」など、科学的な見方・考え方につながる表現を明確に価値付けることで、エネルギー概念の理解が深まることを確認できた(図5)。



図5 KJ法を用いた授業分析

4 ◆ 一人1台×LTE×ロイロで授業の在り方を変える

(1) LTE仕様のタブレットの導入

岐阜市では「デジタル・シティズンシップ教育」を前提としたGIGAスクール構想を掲げており、LTE仕様の端末を、学校でも家庭でも積極的に活用している。場所を選ばず通信ができることから、体育の授業で運動場へ持ち出して使ったり、遠足や社会見学などの校外学習に持ち出して使ったりするなど、学校という枠を飛び越えて幅広く活用している。

さらにMicrosoft Teamsを活用したオンライン学習は、重要な学びのアイテムであるとともに、交流や発信の活動にも活用できるなど、新たな学びの形をつくりだしている。

(2) 授業におけるICT活用モデルの提案

「ICT活用は子供の学びをどう変えるのか？」を周知するために、以下の取り組みをしている(図6)。

- ① ICTを活用した新しい授業のイメージビデオ制作
- ② ICTを活用した授業改善重点校の設置(4校)
- ③ 岐阜県教育委員会との研究授業の指導に係わる連携
- ④ 「ロイロ認定ティーチャー」育成研修の実施(70名以上)

①のイメージビデオには、ロイロノートで仲間の考えを共有することで、仲間の考えを知った子供たちが

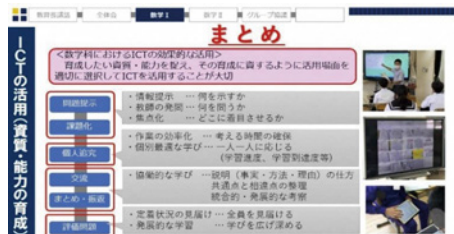


図6 ICTを活用した授業のイメージ図

教師の指示を待たず自発的に学び合いをするようすを紹介した。教師の役割は、個別に学びを続けている子供の状況を把握し必要な場で支援をしたり、仲間の考えの相違点に着目させて話

し合いの論点を明確にしたり、授業のねらいに迫る深めの発問をすることであることも示している。

この動画は、ロイロノートの自治体共有資料箱(先生専用)に保存し教員がいつでも見られるようにしてある。

GIGA 端末は、教師が一人一人の学びの状況を、誰一人取り残すことなく把握することができることに加え、子供も仲間と考えを共有し、必要に応じて直接交流するなどして、自分の考えをブラッシュアップすることができる。さらに、本市が導入している講義動画のある「スタディサプリ」を見て学び直しをしたり、タブレット端末上で練習問題に取り組んだり、教師はその取り組み状況を把握したりするなどGIGA 端末を活用することで、効率的で深い学びができる。

また、④については、ICT活用推進教師がGIGA 端末を活用した授業改善を校内で推進するとともに、さらに市全体から希望者を募って「ロイロ認定ティーチャー」制度を導入している。この教員がインフルエンサーとなって、学校内だけでなく学校外にも講師として出向き、授業改善に向けてのアドバイスをもらえるような仕組みを整えている。

5 ◆ 授業の構造が変化してきた…ロイロノートの活用実践

コンパス・カリキュラムをもとにした岐阜市型授業とICTの活用で、私は、少しずつ子供たちの「学びの質」が変わってきたことを実感している。以下、生徒のノートをもとに、先ほど紹介した授業改善重点校の実践の一例を紹介する。

(1) 生徒自身が学びを俯瞰する

図7のシートは、1枚の木から1枚の葉を作る彫刻(木彫)の授業で、題材の終末に提出した全時間の記録である。この記録には、



図7 単元全体を俯瞰するシート(中1美術)

逆目と巡目に着目したことや、彫り方を工夫したこと、意図した表現に適した彫刻刀を選択したことなど制作の振り返りが残してある。このよう

に毎時間の学習をポートフォリオ化することで、次時の制作の
願いと見通しを立てて進められる。このように自己の学びを調
整しながら進められることで学びが連続するようになってきた。

(2) 思考を支える個人ノートの活用

中1理科「細
胞のつくりと働
き」では、4時
間を内容のまと
まりとして、
カード(図8)
を用いて、個々
の探究ができる
ような場や環境

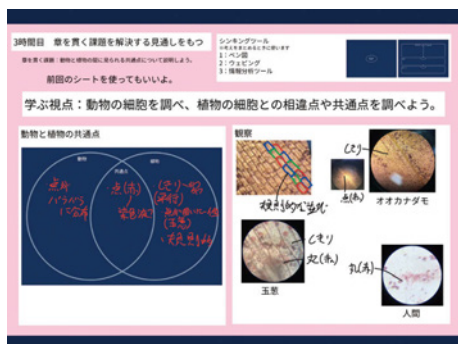


図8 1時間の学びを構造化するノート
(中1理科)

(教材・教具)を整えた。植物の細胞を観察している生徒、
動物の細胞を観察している生徒、観察した二つの細胞の特徴
についてシンキングツールを使って考察する生徒など、各自
の学ぶ視点に沿って探究する姿が見られた。また、ロイロノ
ートを活用することで、互いのカードの情報を教師だけでなく、
生徒間で共有することで、仲間の結果や考察を取り入れ易
くなり、より対話的な学びが、深い学びにつながっている。

(3) パフォーマンステストで自らの学びを評価する

図9は、中学
2年英語の学期
末パフォーマンス
テストでの活用
である。教師か
ら、Video と 丸
の無い白紙の
ワークシートを

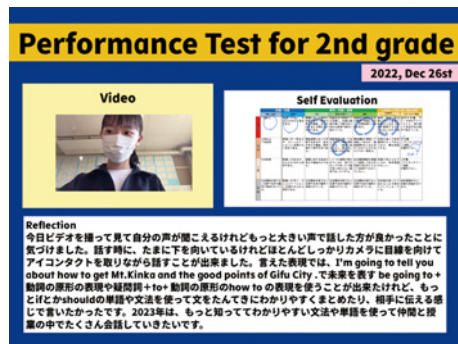


図9 動画を含むパフォーマンステスト
(中2英語)

配付する。受け
取った生徒は、目的・場面・状況に応じたスピーチを録画、客
観的に自分のスピーチを分析し、観点別に5点、3点、1点、
0点で自己評価、Reflectionを記載して教師に提出した。
Reflectionからは、自らの学びを調整して次の単元につなげよ
うとする態度が表れている。教師はこのSelf Evaluationが適
切かどうかを評価した上で生徒へ返却すると同時に、本単元の

評価として活用している。

(4) シラバス&ポートフォリオの活用

中3社会「二
度の世界大戦と
日本」では、図
10のようにカー
ドが連なったシ
ラバスを節ごと
に作成し、毎時
間の学びの記
録や振り返りを

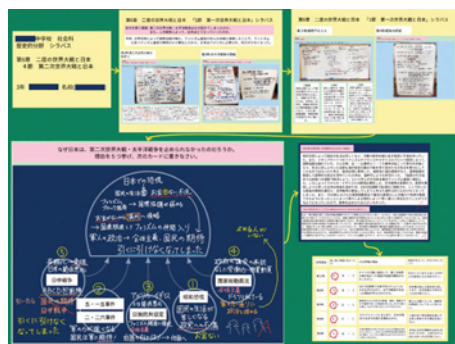


図10 シラバス&ポートフォリオとしての活用
(中3社会)

まとめ、ポートフォリオ化した。全5時間のうち第1時から第
4時まで、「第二次世界大戦はなぜ起こってしまったのか、ま
たこの戦争によって日本はどうなっていったのだろう」という
単元を貫く課題の下、この生徒は仲間と協働的に学んだ。そ
して、その学びを生かし、第5時では、「なぜ日本は、第二
次世界大戦を止められなかったのだろうか」という問いにつ
いて、自分の考えをシンキングツールで整理し、自分の言葉
でまとめた。この一連の学びは、ロイロノートで共有するこ
とで、さらに生徒同士の学びに生かされていった。まさに「連
続する学び」に対する省察である。

6 ◆ 総合的な学びを目指す学習活動の構造改革

本年度より岐阜市の全小中学校では、総合的な探究活動と
しての「ぎふ MIRAI's (みらい)」の取り組みを開始した。これ
は、ふるさと学習の枠を超え、「ふるさと岐阜を深く知る探究活
動×事実につながる人の生き方=自らの生き方を創造する」と
いう公式の下、「問いと学びの往還」、そして「課題認識→収
集→分析→理解→発信」の連続を目指す学習である。

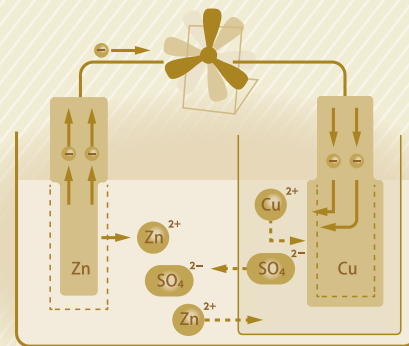
岐阜の自然・歴史・伝統文化・産業等々はすべてリアルな
目の前の事実であり、その事実を徹底的に探り、自分なりの結
論にまでたどり着くことこそ、子供の未来づくりの礎になるに違
いないと私は信じている。学制発布から150年、学校教育は、
今まさに構造改革のときを迎えたに違いない。



【第2回】

身の回りの電池

ー空気亜鉛電池



東京学芸大学 教育学部自然科学系 教授

鎌田 正裕 / かまた まさひろ

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

使用の前後で電池の重さは？

前回は、最も身近な電池の一例として、アルカリ乾電池を取り上げましたが、今回は、アルカリ乾電池と同様に負極に粉末の亜鉛を、電解液にアルカリ性の水溶液を用いた空気亜鉛電池について少し解説します。

本題に入る前に、クイズです。「使用後の乾電池の重さは、使用前と比べて、①軽くなる、②変わらない、③重くなる、のどれでしょうか？」

電池の中に蓄えられていた電気が使われてしまったのだから軽くなったのでは、と感じる人も多いのではないのでしょうか。電流を取り出すときには電池の内部で化学変化が起こるので、変化してなくなる物質もありますが、新たに生まれる物質もあります。化学変化については外界との間で物質の移動がなければ、系全体の質量は変化しないという法則（質量保存則）があり、これが乾電池にも当てはまります。したがって、廃棄間近の使用済み電池も、その重さは新品のときと同じです。10年以上昔のことだとは思いますが、この話を大学の授業で紹介したら、授業が終わった後で一人の女子学生が私のところに来て、「先生の説明は納得できません。これまで、私は電池を手を持って、その手応え（重さ）で交換の時期を決めてきたのです。」と言って食い下がってきたことがありました。もちろん、放電に伴って電池が軽くなることはありません。想像するに、古くなったマンガン乾電池を

交換するとき、たまたま新しい電池がアルカリ乾電池であったため、使い切った電池のほうが新品の電池より軽いといった認識になってしまったのではないかと思います。確かに、単1くらいの電池で比べるとマンガン乾電池とアルカリ乾電池の重さの違いは、手で持ってもはっきりわかります。

通常の乾電池は、外界との間で物質のやり取りがない（閉鎖系である）ため、重さは変化しないと書きましたが、例外的に閉鎖系ではない電池も身近なところにあります。これが、空気亜鉛電池で、その構造は図1に示したとおりです（同形状のボタン型アルカリ電池の構造を比較のために図2に示しておきます）。どちらの電池も、負極物質は亜鉛粉末で、その反応は以下のとおりです。

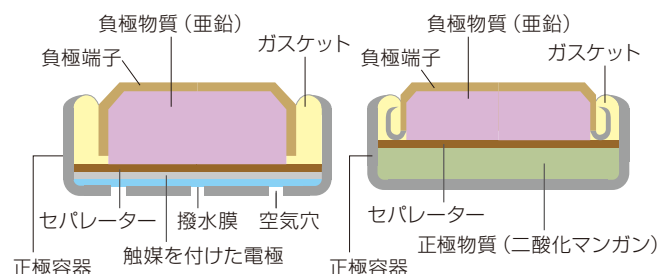
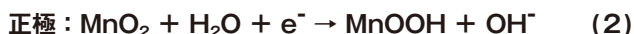


図1 空気亜鉛電池

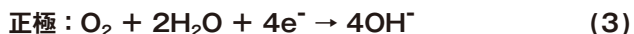
図2 アルカリ電池

二つの電池を見比べてすぐに気づくことは、いずれの電池にも負極物質は充てんされているのに、空気亜鉛電池には正極物質（二酸化マンガン）が含まれていないことです。

アルカリ電池の正極反応は、前回も説明したように、



です。一方、空気亜鉛電池は、二酸化マンガンの代わりに電池の周囲にある空気中の酸素を正極物質として使用するので、反応は、次のように書けます。



電池の外観は図3に示したとおりで、空気中の酸素を電池内に取り込んで反応させるため、空気が通過できる小さな穴が正極側に空いています。また、穴が空いているということは、電池内の電解液が漏出によって失われる可能性もあるので、それを防ぐために、気体は透過するが液体は透過しない撥水膜で、電解液を保持したセパレーターや正極触媒を押さえる構造になっています（図1参照）。



図3 空気亜鉛電池 (PR44)

使用前の空気亜鉛電池には、図3(右)に示したようにシールが貼られていて、酸素を遮断しています。このシールをはがして電池を補聴器などに入れると、上で述べた式(3)の反応が起こり、機器に電流が流れます。同式が示すように、周囲から酸素を取り込みながら反応が進むので、この電池は、使うにつれて取り込まれた酸素の分だけ重くなることになります。もっとも実際の放電容量が100mAhくらいなので、重量変化は0.03g以下とごくわずかです。空気亜鉛電池の用途としては補聴器に使うのが一般的ですが、このように重量変化はわずかなので、使用中に補聴器が「重くなってきた」と感じることはありません。

空気亜鉛電池の特徴

上で述べたように空気亜鉛電池は二酸化マンガンが必要としないので、その分負極物質である亜鉛をたくさん詰め込むことができます。このことは、電池の寿命を長くするうえでとても有効なのですが、開放系の電池には保存性に弱点があ

り、特にシールをはがしたのちは短期間に使い切ってしまう必要があります。また、もう一つの大きな弱点として、取り出せる電流の大きさがとても小さいことが挙げられます。具体的には、アルカリ電池LR44は標準放電電流が100mA程度であるのに対し、同形状の空気亜鉛電池PR44では2mAと、1桁以上小さくなります。その理由は、空気亜鉛電池の正極（空気極）の構造が影響しています。図を見ればわかるように、触媒を塗布した金属のメッシュの外側は酸素、その反対側は電解液に触れる構造になっています。そのため、実際に反応が起こるのは、メッシュ（触媒）と酸素と電解液の三者が触れている部分のみで、アルカリ電池のように、電解液と接触している二酸化マンガンの粒子全体が正極物質として機能するものに比べると、だいぶ不利になります。前回、電池の内部抵抗の話をしてきましたが、空気亜鉛電池の電圧は1.4Vとアルカリ電池の1.5Vに近いものの、その内部抵抗については同形状のアルカリ乾電池に比べてはるかに大きいことになります。したがって、この電池がその力を発揮できるのは、大きな電流が不要で、シールをはがしてからは一気に使い切れるものになります。このような視点から、補聴器のような器具に向いた電池と言えます。

空気亜鉛電池を用いたファラデーの法則の確認実験

数多くある市販電池の中で、放電とともに重さが変化する電池は他にほとんど存在しないため、空気亜鉛電池は、私のように理科の教材開発を専門としている人間にとってはとても興味深いものです。もう25年くらい前の話ですが、何かこれを利用してできないものかと考えていたところ、高等学校の化学に登場するファラデーの法則（1. 電極で変化するイオンの物質量は流れた電気量に比例する。 2. 同一の電気量で変化する各イオンの物質量は物質の種類や電極の種類に関係なくそのイオンの価数に反比例する。）の確認実験に使用できそうなことに気づき、さっそく試してみました。当時は、ポケットベル用に500円硬貨くらいのサイズの空気亜鉛電池PR2330があったので、その質量変化を追うことも難しくはありませんでした。しかし、放電量と質量変化の関係を正確に求めようとすると、どうしても精度の高い天秤が必要となり、なかなか学校現場にあるものだけでは対応が難しくなることがわかりました。そこで、電池の重さの変

化を測るのではなく、電池が吸収した酸素の体積を測れば、高価な天秤を使用しなくても精度の高い実験ができるのではないかと考えて開発したのが、以下に示す方法です^{*1}。

実験装置は図4に示したように、PR44を4個、直列に接続したものを試験管に封入し、これにガスピペット（1 mLのプラスチックピペットにエタノールの液滴を入れたもの）を取り付けました。放電に伴って、PR44が試験管内の酸素を吸収すると、その吸収した量に相当する体積分だけ液滴がピペット内を移動する仕組みになっています。

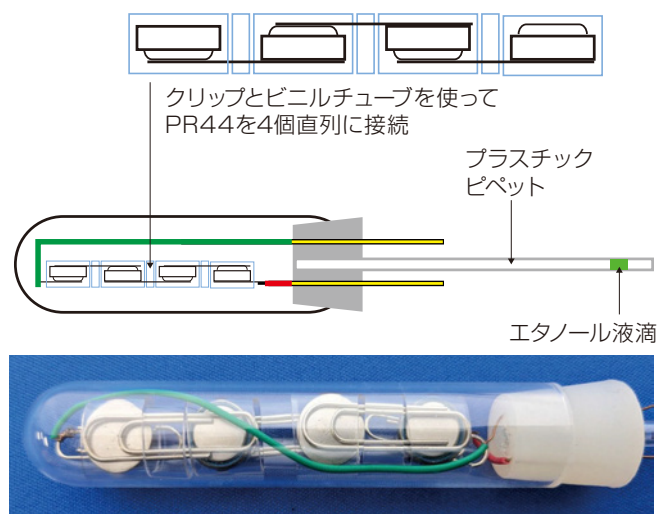


図4 実験装置の構造と外観

放電電量は、実際に電池から取り出した電流の大きさと放電した時間から算出できますし、吸収した酸素の量はガスピペットで直読できます。これらの間に比例関係が成り立ち、その比例計数が、ファラデーの法則より算出されたものに一致すれば、同法則の有効性を確認できたことになります。教科書などでファラデーの法則を確かめる実験としては、硫酸

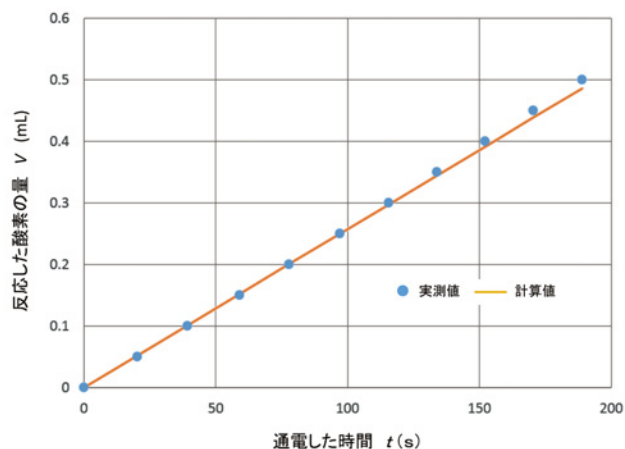


図5 実験結果の一例

銅の電解実験が紹介されていますが、これを丁寧に行おうとすると、やはり精密な天秤が必要で、銅板の前処理などを含めるとどうしても手の込んだ実験になります。空気亜鉛電池を用いて得られたデータを整理してみると図5のようになり、同電池を使えば簡単に精度よくファラデーの法則を確認できることがわかります。

空気亜鉛電池を用いた酸素センサー

空気中の酸素を使用する空気亜鉛電池には、空気中の酸素の濃度が低くなるにつれて電池の電圧や取り出せる電流が小さくなる性質があり、この性質を利用すれば、安価な酸素センサーを作ることができます。このような視点で、空気亜鉛電池を酸素センサーに利用した酸素検出器が高橋三男教授（大妻女子大学）によって開発され、学校の理科実験等で使用するための教材として市販されています。



図6 空気亜鉛電池を用いた酸素センサー 提供：ケニス株式会社

まとめ

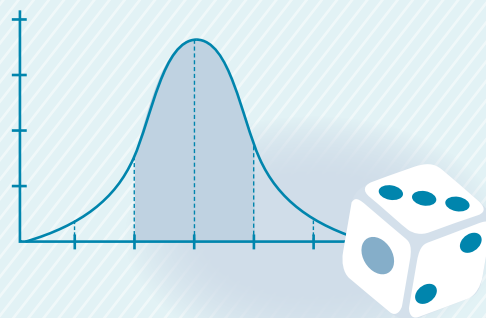
空気亜鉛電池のお話、いかがだったでしょうか。電気化学を専門としているものからすると、多くの人に電池という最も身近な電気化学リアクターの中身に興味を持ってほしいのですが、閉鎖系の電池ではなかなか内部の変化を実感できません。そのような中で、ちょっと変わりものの電池を紹介させていただきました。電源以外に教材としても活用できる貴重な例だと思います。興味のある方は、ぜひ挑戦してみてください。

参考文献

- *1 Chemistry Education in Taiwan
<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=22469>

【第3回】

シグモイド関数が世の中を説明する



東京大学 名誉教授

松原 望 / まつばらのぞむ

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

高級ブランドを買う統計的確率

世の中には高価な宝飾品や高級時計を購入する顧客層があります。宝飾品は実用価値がありませんが時計は実用品なので、実用価値にふさわしい値段が付くはずですが、デパートなどでは、実際に驚くほど高価な輸入品が売れているそうです。宝飾品や高級時計に関心がなくても、高級家具や高級寝具などの高級消費財に関心を持つ人もいます。高価な海外旅行を考える人もいるかも知れません。購買には所得が関係することではありますが、所得が高いからと言って必ずしも買うわけではなく、買う「確率」を考えることになります。

そこで、所得を x 、確率を p とすると、 p は x の関数 $p(x)$ で、 x が小さければ p も小さく（確率が低く）、 x が大きくなれば p も大きい（確率が高い）とひとまず仮定できます。しかし、 p が x に直線的に比例するとは言えません。確率なので、いくら大きくても1（100%）を超えません。数学ではこのような関数はどんな関数になるのでしょうか。

シグモイド関数

ここで数学が出てきます。「シグモイド関数」です。訳せば「S型関数」とか「擬S関数」を意味し、グラフをかくとSを横に大きく引き伸ばした形になる関数です。アルファベットのS

の起源がギリシャ文字のΣ（シグマ）なので、その名が残っているのです。この形になる関数は多くありますが、一例として「ロジスティック関数」（式は最後にかいておきました）もシグモイド関数で、簡単に各方面に応用されています。図1は標準形ですが、いろいろな応用形があります。 x が大きくなると p は1に近づきますが、決して1になりません。 x はマイナスになることもあります。 x が（左の方に）小さくなると p は限りなく0に近づきますが、決して0にはなりません。 $x = 0$ で $p = 0.5$ になることに注目しておいてください。

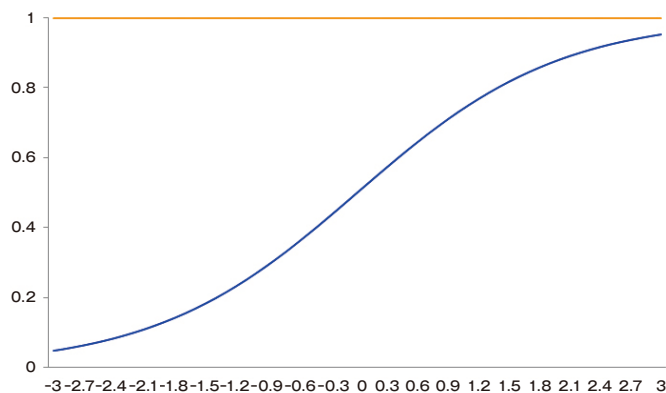


図1 ロジスティック関数（シグモイド型）のグラフ

購入の確率をシグモイド関数で

日本の統計では、全体として、所得（年収）の概ね6割強が消費に使われ、残り4割は貯蓄に回ると言われています。

もっとも、この 0.6 というのは所得階層により変動するので、ここでは平均で b 万円と表しましょう。さらに消費の内絶対必要な生活費を a 万円としますと、 $bx - a$ が余裕のお金となります。この大小から高級消費財が購入される確率が決まります。シグモイド関数では横軸 x は $bx - a$ になります。

ここから先は実際例ではありません。 $b = 0.65$ 、 $a = 325$ とします。 $0.65x - 325$ によって確率が決まります。これがマイナスになること自体は構いません。例えば、たまに貯蓄から購入するかも知れません。これをロジスティック関数に当てはめますが、ここで標準形そのままではなく 0.015 倍すると実際のケースに当てはまりそうです。0.015 ($0.65x - 325$) がロジスティック関数の変数 x になります。

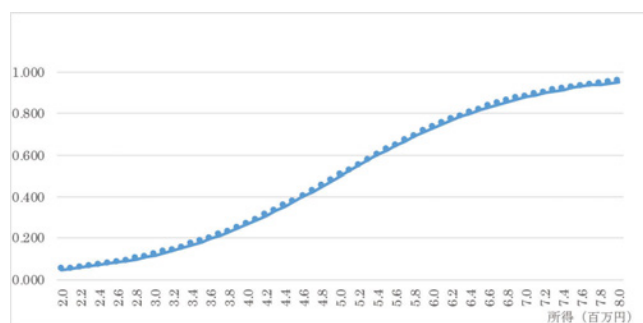


図 2 耐久消費財の購入確率

図 2 から、所得 500 万円の人は購入確率 0.5 で、600 万円なら確率 0.726、つまり 7 割強となります。400 万円ならどうでしょうか。計算は Excel 関数を使うので、最後にしました。

医薬が効く統計的確率：量-反応関係

生物統計学でもシグモイド関数は大きな働きをします。摂取する医薬の効果には大きな個体差（個人差）があり、同じ摂取量（ x ）でも効く人もいれば効かない人もいますし、程度もまちまちですから、効果は摂取した人々の集団で効いた人の割合が効く統計的確率 p になります。当然 x の関数ですが、 x そのままでなく何倍とか何分の一（ b 倍として bx と表す）で作用するかも知れませんが、またある量（ a ）を超えた差額部分が重要となるかも知れません。すると、 x の代わりに $bx - a$ を計算することになり、シグモイド関数と同じ型ですが標準形からは変わります。

例 ある学会誌（医学統計雑誌）に載っていた医薬（麻酔薬）の例では、 $b=2.78$ 、 $a=1.92$ となっていて（この解説に関係ありません）、従って $2.78x - 1.92$ を改めて x と考えて、ロジス

ティック関数を計算しています。

ここでその意味を一つだけ考えてみます。ちょうど半数 50% の割合だけ効くとき、 x はいくらでしょうか。標準形では $x = 0$ でした。この応用では $2.78x - 1.92 = 0$ のことで、この方程式を解くと、答は $x = \frac{1.92}{2.78} = 0.69$ となります。

答としてはこれでよいのですが、実は医薬の専門分野では量を対数で表すことがあります。0.69 は 1.99 の対数で（単位は体重 1kg 当たり mg）、この 1.99 が「半数効果量」ED50 とされる医薬摂取の目安です。体重 50kg の人なら約 100mg で、言うまでもなく、この量を大きく超す摂取は副作用をもたらす危険性があります。

生物統計学ではこれらシグモイド型の関係は一般に「量-反応関係」と言われています。

環境汚染をもたらす汚染物質を分析

「量-反応関係」は環境汚染物質を対象とする環境科学の基礎で、数学、確率、統計が広く科学的に社会に役に立っている場面です。

医薬では「反応（レスポンス）」とは健康によい有用な効果を言いますが、環境科学では、逆に、汚染物質の人体の健康・生命への悪い作用（広い意味での毒）を言い、これを正しく数量分析しコントロールします。いずれの場合も、物質の濃度 x が大きければ（小さければ）、反応の確率 p は大きく（小さく）なることが同じシグモイド関数で表されます。かつて重要とされたのは、大気汚染物質濃度（例えば窒素酸化物）と喘息反応の量-反応関係です。とりわけ、環境汚染物質は微量の x でも許容できませんが、ここに関係式がエビデンスとして役立つのです。

オッズ

「確率」は数学的には 0.25 などのように、0 ～ 1 の数で表されますが、「日常では？」と言われることもあります。どのようにして出てきた数値かと尋ねられてしまうのです。実際はそれほど正確に言わなくても用が足りることが多く、別の言い方（後述）をすることがあります。もちろん、0 ～ 1 の数に直すこともできるので心配はいりません。

社会に出てからはこちらのほうが使うことが多いので、覚え

ておいてください。それは7対3とか8対2とか9対1などの言い方です。もちろん5対5なら「五分五分」で、「あ、そうか」と思うでしょう。さらに、4対6とか2対8とか1対9は「分が悪い」ことで、きちんと意味が通じますね。この言い方を「オッズ (odds)」と言います。オッズは比で、「対」というところがポイントで、どれくらい可能性が高いかを表します。

計算は確率からやってみましょう。オッズが、

$$99 \text{ 対 } 1 \text{ なら, } \frac{0.99}{0.01} = 99 \text{ (倍)} \quad (\text{ほぼ } 100 \text{ 倍})$$

$$9 \text{ 対 } 1 \text{ なら, } \frac{0.9}{0.1} = 9 \text{ (倍)} \quad (\text{ほぼ } 10 \text{ 倍})$$

$$8 \text{ 対 } 2 \text{ なら, } \frac{0.8}{0.2} = 4 \text{ (倍)}$$

.....

$$5 \text{ 対 } 5 \text{ なら, } \frac{0.5}{0.5} = 1 \text{ (倍)}$$

となります (比ですので、5対5を1対1と言っても構いません)。この調子で「不利」(マイナスの有利)も言えます。

例えば、オッズが、

$$1 \text{ 対 } 99 \text{ なら, } \frac{0.01}{0.99} = \frac{1}{99} \text{ (倍)} \quad (\text{ほぼ } 0.01 \text{ 倍})$$

$$1 \text{ 対 } 9 \text{ なら, } \frac{0.1}{0.9} = \frac{1}{9} \text{ (倍)} \quad (\text{ほぼ } 0.1 \text{ 倍})$$

$$2 \text{ 対 } 8 \text{ なら, } \frac{0.2}{0.8} = \frac{1}{4} \text{ (倍)}$$

という具合です。

このように、オッズは「可能性のものさし」として使えるのです。99対1と1対99ではまさに「天国」と「地獄」の違いですが、オッズでも100と0.01のわり算から1万倍の違いになって表れています。確率にはこういう面白さがあります。かけ算、わり算の世界なので、対数に直しておきましょう。対数(log)には10を基準(底)とする常用対数と自然対数があります。自然対数の底は $e = 2.71828\cdots$ という神秘的な数です。Excelでは常用対数はLOG10、自然対数はLNで、2.3倍程度の違いがあります。試してみてください。

オッズ	オッズの値	(常用対数) 対数オッズ	(自然対数) 対数オッズ
99対1	99.00	1.996	4.595
9対1	9.00	0.954	2.197
8対2	4.00	0.602	1.386
7対3	2.33	0.368	0.847
5対5	1.00	0.000	0.000
3対7	0.43	-0.368	-0.847
2対8	0.25	-0.602	-1.386
1対9	0.11	-0.954	-2.197
1対99	0.01	-1.996	-4.595

図3 オッズの値と対数オッズ

さて、これだけでは「だからどうなの」という声も聞かれそうです。こういうこともあります。逆算もできるのです。600万円に対して確率は0.726となりました(解説は最後にあります)。この確率の対数オッズ(自然対数)を計算すると $\log \frac{0.726}{0.274} = 0.975$ と復元され、後は逆算すると $x = 600$ 万円となります。購入確率から対数オッズを通じて平均年収が求められるのです。

計算

指数関数 e^x 2^x は倍々ゲーム式に、 $x=0, 1, 2, 3, \cdots$ に対し、1, 2, 4, 8, $\cdots$ のように増え、 $x=10, 20$ なら、それぞれ1024, 約100万と爆発的に増加します。 3^x も同様ですが、さらに急激になります。逆に 2^{-x} なら、1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\cdots$ のようにだんだん減り、 $x=10, 20$ なら、それぞれ1024分の1, 約100万分の1と限りなく小さくなりますが、どこまで行っても正確に0にはなりません。これらを広い意味で「指数関数的増大」「指数関数的減少(減衰)」と言います。

以上はわかりやすい例ですが、厳密な数学的意味の「指数関数」は2を e に替えた e^x で、この e は $e = 2.71828\cdots$ という特別な数と約束されています。 e^{-x} は限りなく小さくなりますが、決して0にはなりません。Excelでは指数関数はEXPで、 $\text{EXP}(2) = 7.39$, $\text{EXP}(-3) = 0.05$ のように計算されます。

ロジスティック関数 次の指数関数を利用した関数

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

をロジスティック関数といい、最もよく知られたシグモイド関数です。

確率の計算 所得 $x=600$ 万円の人について計算しましょう。使えるのは $0.65 \cdot 600 - 325 = 65$ 万円ですから、 $0.015 \cdot 65 = 0.975$ をロジスティック関数 $f(x)$ に入れ、 $\text{EXP}(-0.975) = 0.377$ から、 $\frac{1}{1.377} = 0.726$ と出ます。

第4回予定 メンデルの遺伝の「独立の法則」



前回の解答

s_1, s_2 の確率を $w, 1-w$ とおくと、 a_1 の平均損失は $w \cdot 0 + (1-w) \cdot 5$, a_2 の平均損失は $w \cdot 2 + (1-w) \cdot 2$, a_3 の平均損失は $w \cdot 5 + (1-w) \cdot 0$ となるから、最小は w が $0 \sim \frac{2}{5}$ なら a_3 , $\frac{2}{5} \sim \frac{3}{5}$ なら a_2 , $\frac{3}{5} \sim 1$ なら a_1 のときである。以下、 s_1 の事後確率 w を求める。(i)ベイズの定理から、それぞれ z_1 なら $\frac{7}{8}$, z_2 なら $\frac{4}{7}$, z_3 なら $\frac{2}{7}$ 。上の分類から、 z_1 なら a_1 , z_2 なら a_2 , z_3 なら a_3 の行動をとるべきである。(ii)同じく、 z_1, z_2 なら a_1 , z_3 なら a_2 の行動をとるべきである。これら、場合に応じた最適行動は自動運転の原理である。

【第3回】

原子 (アトム atom) I

ー古代ギリシャにおけるアトム



元徳島県公立高等学校 教諭

西條 敏美 / さいじょう としみ

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

語の基礎にあるものを捉えるべきである。
というのは、それに帰着することによって、
判断・吟味・問題の対象となるものを判定
しうためである。説明を続けるばかりで
何ひとつ判明にならなかったり、無意味な
語を用いたりすることのないためである。

エピクロス(紀元前341頃～270頃)
「ヘロドス宛の手紙」(記述年不明)より

元素とともに原子という重要な用語があります。原子はその英語名アトム(atom)とともに科学用語の枠を超えて日常の言葉としても広く用いられています。この用語は、古代ギリシャにおいて哲学用語として使われていた言葉に起源を持ちます。物質を細かく分割していくとき、もうこれ以上分割できないと考える立場の人は、この最小の微粒子にアトムに相当する名前をつけていたのです。

古代原子論はレウキッポス、デモクリトスに始まり、エピクロス、ルクレティウスへと継承されました。今回は古代ギリシャにおけるこの用語の意味と使われ方を見えます。

■ アトモン, アトモス

古代ギリシャにおいて使われていたアトムに相当する語は、「アトモン」(ατομον)と「アトモス」(ατομος)で、前者は中性名詞、後者は女性名詞です。これらの複数形が「アトマ」(ατομα)と「アトモイ」(ατομοι)になります。α-は否定を表す接頭語で、後段は分割を意味するので、いずれもこれ以上「分割できないもの」(不分割体)を意味します。

初期の原子論者の記述には、中性形と女性形が共存していたが、後のエピクロスになると、女性形「アトモス」の使用が大半を占めると指摘されています。ルクレティウスでは、

これらの語が使われず、多様な語が使われています。

■ レウキッポスとデモクリトスのアトモン

紀元前5世紀から4世紀の頃、レウキッポスは弟子のデモクリトスに原子の考えを伝えたとされます。彼らの著述もまとまって残っておらず、他の哲学者の著述の中に断片が引用されているのにすぎません。しかし特にデモクリトスは、人物像やエピソードを含めて、その引用は少なくはなく、当時及び後代の人によく知られていました。ここでは、紀元前4世紀のアリストテレスの著作から重要な部分を抜き書きします。

アリストテレスは『形而上学』第1巻第4章でこう述べています。

「レウキッポスと彼の弟子デモクリトスは、ストイケイア(στοιχεῖα)はブレレス(πληρες)とケノン(κενον)であると述べた。彼らによれば、一方が有るもの、他方が有らぬものである。すなわち、両者のうち、ブレレスが有るもの、ケノンが有らぬものである。」

最初のスโตイケイアは第1回で述べたスโตイケイオンの複数形で、英語のelementの元になった語で、基本要素という意味です。次の2つが独自の用語で、ブレレスとは「充実体」、ケノンは「空虚」などと訳されます。したがって、「基

本要素は充実体と空虚である」という文になります。「充実体」とは詰まったもの、言い換えると「分割できないもの」（不分割体）という意味の語で、これがアトモン、あるいはアトモスの語と同義になります。一方の「空虚」はアトモンの入れ物で、隙間、空間、さらには真空という概念にも繋がります。したがって、アトモンは有るものであるが、ケノンは空間のことだから物質は無いものという論法です。

アリストテレスの『生成消滅論』第1巻 第1・2章ではこうあります。

「デモクリトスとレウキッポスの言うところによれば、アトモン（不分割体）が元になって他の事物は構成されている。元になる物体は数的にも多様な形態においても無限であり、事物がそれぞれ異なっているのは、それらを構成している物体の形態や物体の向きや配列の差によるものである。」

「デモクリトスとレウキッポスは、さまざまな形状のアトモンをこしらえて、これによって性質変化や生成を行わせ、生成と消滅は結合と分解によるもの、性質変化は配列と向きによるものとしている。彼らは目に見える現象のうちに、真実はあると考えたが、現象は相対立し無限に多様であることから、さまざまな形状のもの（アトモン）を無限であるとした。」

簡単にいえば、アトモン（不分割体）と名づけた根本物質はケノン（空間）の中を動きまわっている。アトモンの種類や配列は無限にあって、これらの結合と分解で種々の物質ができるというよいでしょう。

ここで、アトモンを認めるということはケノンを認めることです。何もない「真空」を認めることです。アトモンとケノンはセットになった概念です。ところが、権威者のアリストテレスは真空の存在を認めていません。物質はどこまでも連続していると考えていたのです。それゆえ、レウキッポスとデモクリトスの原子論は広くは支持されませんでした。真空否定の考えは、その後ずっと当然のこととして受け継がれ、真空の存在を実証したのは、近代になって、トリチェリやパスカルの実験を通してでした。

しかし原子論は一部の人には引き継がれていきました。

エピクロスのアトモス

エピクロスはアリストテレスが亡くなる20年ほど前に生

まれ、紀元前4世紀から3世紀の人です。彼も多作だったらしいですが、著述の大部分は残っていません。わずかな断片と何通かの手紙が残されました。このうち弟子たちに「小摘要」と呼ばれていた「ヘロドトス宛の手紙」には、彼の原子論が書き記されています。

エピクロスは、「アトモスは、形状、重さ、大きさ、および形状に必然的に伴う性質を持っている」と書いています。ここで、アトモスは重さを持っているというのがエピクロスの原子論の特徴とされます。デモクリトスはアトモス固有の性質として形状と大きさのみしか与えていなかったのです。このアトモスはたえず永遠に運動する、あるものは垂直に落下し、あるものは方向が偏り、あるものは衝突して跳ね返る、全宇宙は物体の数においても限りがないし、空虚の大きさにおいても限りがない。こんなアトモスによる自然観が短い手紙の中で生き生きと語られています。

ここで『資本論』の著者マルクスの学位論文（1841）に目を通してみるとよいかもしれません。その論文はデモクリトスとエピクロスの原子論の差異をテーマにするものでした。

ルクレティウスの原子

紀元前1世紀、古代ローマのルクレティウスは、エピクロスの「小摘要」をもとにして、原子の歌といえる壮大な叙事詩を詠みあげました。題して『物の本質について』。原著はラテン語で、全6巻、総行数7,400余行にのぼります。これだけの長編詩が原子という微粒子の視点をもとに書かれ、しかも散逸せずに伝えられたのも驚きです。

第1巻は物質と空間、第2巻は原子の運動と形をテーマにして、基本的性質が歌われています。1行目から、「アエネーアースの子孫の母、人間の、また神々の喜び、ものを生み増やす愛の神よ」などとの呼びかけから始まり、50行目からは、原子についての基本的記述が続いています。

「君のために、天体に関し、また神々に関する最高の理論を、私は始めようとし、万物を形成する原子を説き明かそうとしている。この原子でもって、自然は万物を作り、増加させ、成育させるのだ。死亡したものは、同じく、自然が、この再び原子に還元分解してしまうのだ。この原子とは、物の理を説くときに、通常、素材とか、諸物を生む原体とか、我々が物の種子とも称し、またこれを基にして万物を生じる

ところから、同じく原始的物質とも称しているものである。」

そして、原子の性質が繰り返して述べられています。

○自然はあらゆるものを分解して、各々の原子に帰せしめるのであって、物を無に帰せしめるのではない。

○万物はどこもかしこも物質のみが凝結して保たれているのではない。物の内部にまで空虚が含まれているのである。

○いかに緊密だと思われる物でも、それを構成している物質は、粗なるものである。

○万物の本質は原子と空虚から成り立っている。空虚の中を原子はいずれの方向にも運動する。

○物質とは一部は原子であり、また一部は原子の結合によって形成されているものである。

○原子は、外部から打たれて打撃を加えられても分解することが不可能であり、内部から浸透されて、崩れることも不可能である。

などなど。さらには、原子の形には差異があるが有限であること、形と感覚、原子は色を持たないこと、熱、音、味を持たないことなどが歌いあげられています。

続く第3巻では生命と精神、第4巻では感覚と恋愛、第5巻では宇宙と人間社会、第6巻では気象と地質をテーマにして、例えば、風、波、雨、光、雷などの自然現象、宇宙、星、太陽と月、大地などの自然の事物から、精神と体、五感の問題まで、終わりのほうでは天地創造の話、男女の交わりまでが、原子との関わりで述べられていますのです。

ただ、アトムに相当する語を使っていません。このことは注目すべきことです。日本語訳者は前書きで、訳出の難しさを述べ、その例として原子の概念を表すにも十種にあまる語が混用されているとして、相当語をあげています（和名はその訳者による）。primordia（源始）、materies（素材）、genitalia corpora（産体）、semina（種子）、corpora prima（原体）、corpora materiai（素材体）elementa（要素）、principia（原素）、corpora（物質）、corpuscula（小物質）、figura（形体）などです。このほか、同時代の哲学者キケロは相当する語を individua（不分割素）と訳していると注記しています。別の訳者は「ルクレティウスは原子を表すのに多くの言葉を使っているが、それらの言葉の間にそれほどニュアンスの違いがあるようにも思えない」と付記しています。また別の訳者は解説で、これらの言葉の由来と語源についても詳しく述べています。

ルクレティウス本人も、古代ギリシャの哲学者の思想をラテン語に綴っていくことが難しいことだと述べているくだりがあります。興味深いので、その全文を引用しておきます（第1巻136行目～）。

「ギリシャ人のわかりにくい発見を、ラテン語の詩に綴って説明するのは、至難の業であることは、私とても心に気づかないわけではない。ことにラテン語の言葉の貧困さと、説く内容の新しさとのために、新語を用いて多くの事柄を論じなければならないので、なおさら困難である。とはいえ、君の人格と嬉しい友情をつなぎたいという楽しい期待とは、私にいかなる困苦をも忍べ、と教えてくれる。そればかりか、私に静かな夜を幾夜も徹夜させ、どんな表現を用いたら、どんな詩を書いたら、君の心に明らかな光明をくりひろげてあげることができるのであろうか。それによって君がわかりにくい真理を深く洞察できるようにしてあげられるものかと苦心させる。」

■ むすび

レウキッポスとデモクリトスに始まったアトム思想は、ルクレティウスによって、花を咲かせたように見えます。しかし近代を迎えるまで大きく前進することはありませんでした。アトム思想は異端の思想でした。アトムを認めることは、アリストテレスに反して、空虚という無を認めることでした。アトム思想は無神思想でもありました。アリストテレス学派からも神学者からも受け入れられませんでした。

そうはいつても中世においても、アリストテレスの著作、注解書を通してアトム思想は読み継がれてはいました。ルクレティウスの著作は埋もれてしまい、その写本がドイツの修道院で発見されたのは15世紀のことでした。❖

文献案内

○アリストテレス、エピクロス、ルクレティウスの著作の日本語訳は複数あり。岩波文庫のほか各種「全集」に所収。マルクスの学位論文の日本語訳も複数あり。詳細略。

○西川亮著『デモクリトス研究』、『古代ギリシャの原子論』（いずれも理想社）。労作、精読の価値あり。

○ディオゲネス・ラエルティオス著『ギリシャ哲学者列伝』岩波文庫。3世紀に書かれた書。

訂正のお知らせ 前号No.37, p.24, 左段、下から8行目

（誤）酸素のほか、窒素、過酸化窒素、塩化窒素などを発見しました。

（正）酸素のほか、アンモニア、酸化窒素、塩化水素などを発見しました。

数学的な考え方と和算

—主体的・対話的で深い学びを目指す授業改善に向けて—

NPO法人 和算問題教材化研究会
理事長（元京都女子大学教授）

平野 年光 / ひらのとしみつ



▶ 1 はじめに

和算に興味をもち始めたのは、大学勤務も3年を終えかけた頃だ。元々小学校教員として算数教育一筋に歩んできた筆者にとって、大学勤務は青天の霹靂だった。が、勤めてみると教員志望の学生たちの反応も上々で、結構、「おっ！ 筆者にも勤まりそうだ」と好感触だった。

ところが、勤めて3年目、学生たちの反応の微妙な変化に気付く。講義の山場、学生たちを大きく唸らせる筈の場面になっても、反応は今一微妙になって、教室の後方で、コクリコクリとする学生も出始めていた。何だ、これは…？ 何のことはない、筆者が持ち込んだ筈の教育現場の熱気が、わずか3年で失せかけていたのだった。

教育現場の後輩たちに、「教育は結局教師次第、わからんと子供たちが言うのなら、わかるようにするのが指導者としての君の責任」と言い続けてきた筆者にとって、大学でのこのはない現実がブーメランのように返ってくる。さてどうしようぞ。懸命な暗中模索が始まる。とは言え、解決すべき名案が浮かんできたわけでもない。「ええい、ままよ」と講義内容に取り込んだのが、図1に示した問題だった。

今日からこの問題に挑戦してもらおう。

▶ 2 学生と和算

展開1 和算との出会い

「何、これ？」、「これ数学？」、「上州、碓氷郡、里見村、…、ウムッ？」などと、的外れの反応が飛び出してきて、ざわめ



図1 接触多数円 中曾根慎吾宗邦著『数理神篇』

きが教室中に広がっていく。シメシメ、これは使えそうだ。感触を得て、次のようにまとめて講座を閉じた。

- (1) 江戸時代、わが国では数学の問題を解くことが盛んになり、『塵劫記』を始めたくさんの数学本が刊行された。
- (2) 『塵劫記』という数学書は、京都・嵯峨野の吉田光由の著書だ。よく売れて、今で言うミリオンセラー第1号本である。
- (3) 江戸期1700年代末期からの寺子屋急増に伴い、『塵劫記』は教科書としても使われるようになって、この京都におい

て、一家に一冊どの家にもあったと聞いている。

- (4) 当初は算盤の習熟が中心だったが、次第に人々は、競って数学難問を解くことに熱中するようになった。そして難問が解けたら1枚の額に仕上げて、神社や寺に奉納する習慣が広がってきた。算額といって、この京都にはたくさん遺っている筈だ。

▶ 3 二つの事件

後日、一人の学生が研究室に飛び込んできた。このことが一つの事件となる。講義で知った「日本の数学」を求めて、京都市中の社寺を探し回ったと言う。これだけ見つけてきたと、撮ってきた社寺奉納算額写真 10 枚ほどを興奮気味に見せにきたのだ。何と、大学近辺東山区域とその周辺社寺の算額がほとんどで、筆者は江戸期数学文化遺産宝庫の真只中で仕事をしていたことを知る。興奮は筆者の胸にも転移して、平成 26 (2014) 年 3 月に『和算・算額問題の教材化』と題する一冊の和算書を刊行してしまったほどだ。

もう一つは、学内改革の中で、特色ある教養講座開講の必要性から、大学から筆者に和算講座の要請があったことだ。開講は平成 23 (2011) 年 4 月からで、おもに新生が対象であったが、当時、全国唯一の和算講座として、必死の思いで全 15 回分の内容構成に集中したことを、昨日のごとく覚えている。

ある学生の研究室訪問と和算講座の開講、もし、この二つのうち一つでも欠けていたら、上記一冊の和算書の刊行もなかったと思われる。ともかく、この二つの事件を生み出し得た「接触多数円」には、感謝以外の何物もない。

▶ 4 和算、その教育的価値

◆わかった、わからん、どちらが先?

さて、和算の教育的価値について、図 1 に示した「接触多数円」を基に論じてみる。

見ればわかるように、この問題解決には漢文解読が前途に立ちただかる。数学のスタートラインに立つまでが大変なのだ。筆者は学生たちに、「一人での解読は嫌になる。友達と

議論を交わし合いながら…」と助言の第 1 報を伝える。助言の第 2 報は「議論に際し、自分の考えをぶつけること。」この程度の漢文なら、高校での漢文力があれば解読可能だ。なお、この助言二つは、後の問題解決時にも貫いた。

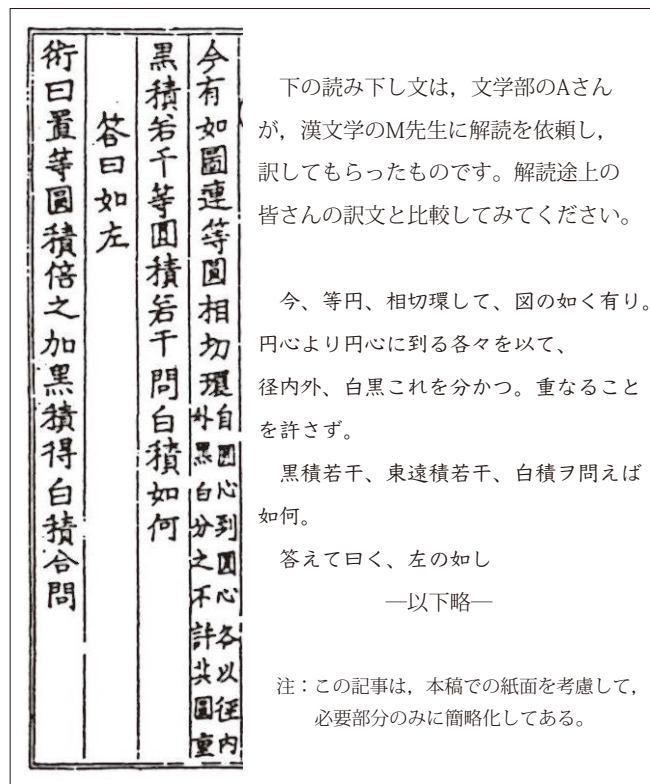


図2 ニュース・レター 第1号

学生たちの解読作業が一定進んだ頃を見計らって、まずは研究室前に「ニュース・レター 第1号」(図2)を掲示した。部屋の前に立ち止まる学生たちの動きを見るだけでも、提示した課題への浸透度がわかる。佇む何人かを研究室に招き入れて、筆者と学生間の対話を開始する。「なぜ、立ち止まったのか」と問うと誰もが「問題の解読が進まず、イライラ、モヤモヤしていたからだ」と返してくる。何もなければ、廊下をそのまま通り過ぎるだけ…。その「イライラ、モヤモヤ」があったればこそ、掲示物前に佇んだのだ。「わかった」の前に生じる心的状況なのだ。因みに生活の中では、「わかった」と「わからん」どちらが先かも問うてみた。誰もが「わからん」が先で「わかった」がその後と返してくる。そのとおりで、

「わかった」という心的状況は、

「わからん」という心的状況の後にしか来ない

のだ。「君たちは今、わかったとの心的状況の直前を歩いて

いる。次の授業日からは問題解決に入るが、この「わからん」という心的状況を大切にしないと、問題の解決には届かないぞ。」学生たちは、きょんとして研究室を去る。

招き入れる学生は少数であっても、意図は、スマホを通して、即受講生全域に伝わる。

展開2 問題文の確認（読み下し文と現代訳）

講座「算数科教育論」は、毎週土曜日の午前に開講される。問題解決に挑む「接触多数円」は、1 講座時間 90 分のうち、30 分を超えないように配慮する。短いときは 10 分少々で終わることもある。

本時の場合、「ニュース・レター 第 1 号」を全員に配布し、読み下し文（図 2）と現代訳（図 3）を確認して、20 分程度で終えた。なお、数学的な考え方、その基礎・基本となる三つの思考と発展的思考の一つは、「ニュース・レター 第 2 号」（図 4）にて次週後半に研究室前に掲示する旨伝えておく。

今、同じ円が互いに接して環になり、図のように並んでいる。中心から中心に至る直径（半径二つ）にて、白部分と黒部分に分けてある。白部分と黒部分のそれぞれの総面積がわかっているとき、白い部分の総面積と黒部分の総面積の差はいくらかを問う。

図 3 現代訳

数学の難問に遭遇したとき

問題解決上基礎・基本となる三つの思考

順序良く整理して考える
簡単な(単純な)場合に置き換えて考える
具体物は無論、絵や図、表やグラフ等に表して考える

それでも問題が解決しないとき

もう一つの思考

見方・考え方を変えて(観点変更して)考える

図 4 ニュース・レター 第 2 号

展開3 数学的な考え方、その基礎・基本

ニュース・レターは A4 判であるが、本稿ではその中の最重要文言のみ掲載した（図 4）。問題解決上基礎・基本となる三つの思考と一つの発展的思考、この 3+1 を内面に習慣化しておかないと、問題解決には届かなくなる。逆にこの 3+1 が習慣的に使えるなら、難問といえども恐れることはない。「ニュース・レター 第 2 号」を受講生に配布しながら、筆者は学生たちにそう語りかけた。

しかしながら、学生たちの実際は、このような思考の方法を、問題解決の手段として活用する体験が希薄である。よって、具体でもって、筆者が示すこととする。

ところで、解説した問題文から次の文字式を導き出すのは、難しいことではない。すなわち、

$$\boxed{\text{白部分の総面積}} - \boxed{\text{黒部分の総面積}} = \boxed{?}$$

である。要は $\boxed{?}$ のところがわかればよいのである。そのためには $\boxed{\text{白部分の総面積}}$ と $\boxed{\text{黒部分の総面積}}$ がわかればよいのだ。

問題解決の最初の一步として、筆者が示した基礎・基本の具体は、図 5 の通りである。

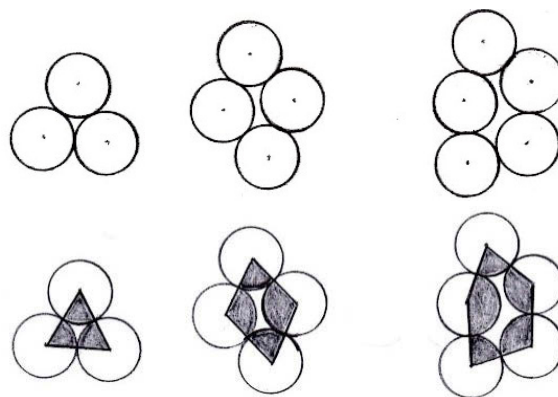


図 5 基礎・基本の具体

図 5 は、簡単な場合に置き換えて、わかりやすく図で表現しており、円が 3 個、4 個、5 個と、順序良く抽出もしてある。

この簡単・単純な場合から、何か規則性が見えてきたら、その規則性を円が 31 個の場合（図 1）に応用すればよい。

しかし、面積を向こう正面にして問題解決に突き進めば、いずれは行き詰まりだす。その際生じる「モヤモヤ」と「イライラ」を最大限に醸成して、発展的思考を用いての次の授業を最も効果的に演出すべく、最終授業を 1 週間先延ばし

にし、思考の時間を確保した。なお、「ニュース・レター 第3号」(図6)は、次週後半に研究室前に予定どおり掲示する。

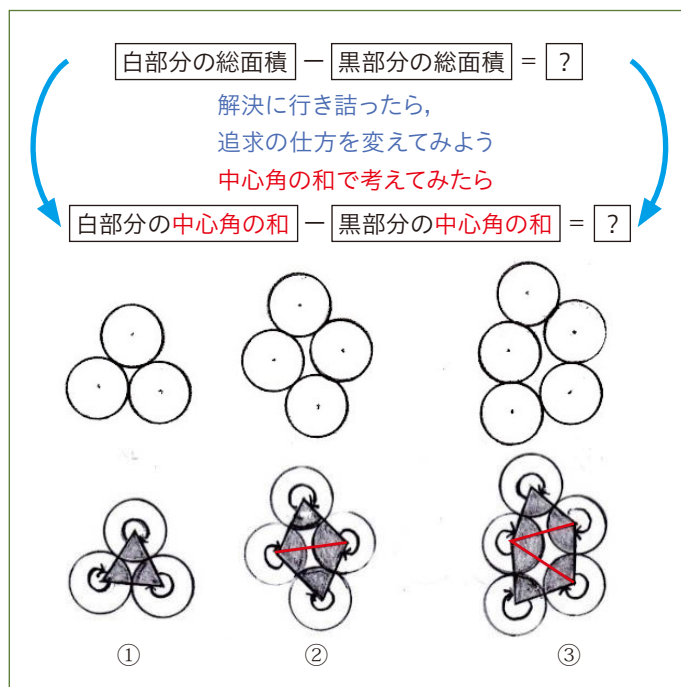


図6 ニュース・レター 第3号

展開4 数学的な考え方、その発展的思考

最終授業は、新たな思考(中心角の和で考える)でもって問題解決に迫る本学びの最大の山場である。講座時間の90分を丸々この場面に充てた。圧巻は、単純な場面①, ②, ③から関係式を生み出す場面と、関係式から一般式を生み出す場面であった。「モヤモヤ」は常に図に戻って解消し、学生たちの口角泡を飛ばす様相に、筆者も改めて感動した。

$$\boxed{\text{白部分の中心角の和}} - \boxed{\text{黒部分の中心角の和}} = \boxed{?}$$

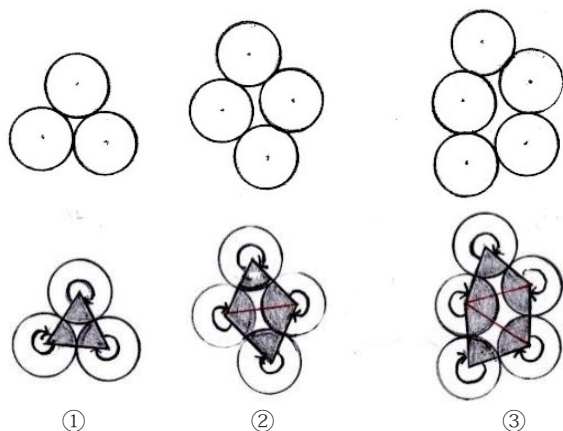


図7 中心角の和で考える

・図から式を作ってみよう

$$\textcircled{1} (360 \times 3 - 180) - 180 = 720$$

$$\textcircled{2} (360 \times 4 - 180 \times 2) - 180 \times 2 = 720$$

$$\textcircled{3} (360 \times 5 - 180 \times 3) - 180 \times 3 = 720$$

・計算してみよう……

・720°とは? 白い円2個分の中心角の和

・等円の数を n として、左辺を一般式で表すと?

$$\{360n - 180(n-2)\} - 180(n-2)$$

・では、円が31個の場合の式は?

$$(360 \times 31 - 180 \times 29) - 180 \times 29 = \boxed{?}$$

・計算したら720°になるか? やってみよう。

$$\boxed{?} \quad 720^\circ \text{ になった!}$$

面積の差は白い等円2個分

▶ 5 まとめ

「主体的・対話的な深い学び」を念頭に、大学勤務時代の実践を振り返ってみた。和算教材を用いて、「算数科教育法」の間隙を縫っての5週間に及ぶ実践は、問題解決とは何かを再認識することにもなった。いくつかの新しい発見も掴むことができた。その幾例かを述べて、本稿を閉じる。

●数学的な考え方、その基礎・基本と発展的思考については、学習者の内面に習慣化されていないと、問題の解決に挑むことが難しくなる(筆者は三つの基礎・基本と一つの発展的思考を提示した)。

●数学的な考え方の習慣化は、問題解決過程の失敗と成功、「わからん」と「わかった」を繰り返す過程で、徐々に徐々に醸成される。

●問題解決過程を豊かに指導するには、認知心理学も含めた「教師の数学体験」の豊かな積み重ねが必要となる。

●和算教材は、数学的な考え方、その基礎・基本と発展的思考を習慣化する上で、貴重な教材源となり得る。❖

参考文献

- * 下道成人「新学習要領算数・数学科の理念と和算への期待」『和文化数学第3号』NPO法人和算教材研究会編著 2019
- * 丸山圭三郎『言葉とは何か』ちくま学芸文庫 2008
- * 佐伯胖『「わかる」ということの意味—学ぶ意欲の発見—』岩波書店 1983
- * 伊藤洋美「和算を取り入れた授業—中学校で」『数学文化 第4号』日本数学協会編集 日本評論社 2005

「省察（リフレクション）」を取り入れた 「指導と評価の一体化」へ

加藤 良則 / かとう よしのり

千葉県生まれ。東京都立中学校教諭、東京都教育委員会指導主事、新宿区教育委員会指導主事、板橋区教育委員会指導室長、東京都立中学校長、東洋学園大学教授などを歴任。博士（教育学）。Rimse 東京懇談会委員（2018～2023年）。



1) 現状と課題

中央教育審議会答申（2021）『「令和の日本型学校教育」の構築を目指して』では、子供の学びとして「個別最適な学び」「協働的な学び」、教師の姿として「子供一人一人の学びを最大限に引き出し、主体的な学びを支援する伴走者としての役割を果たしている」などが示されました^{*1}。子供や教師のこのような「姿」は、日々の学習評価を充実させることによって実現していくものと考えられます。学習評価は、「教員が指導の改善を図る」とともに「児童生徒自身が自らの学習を振り返って次の学習へ向かうことができるようにする」ことを目指して行われるものです（文科省、2019）^{*2}。つまり、「指導と評価」は一体的なものだと言えます。

ところが、児童生徒から「先生によって評価の観点の重みが違う」との声が聞かれるなど、学習評価に対して児童生徒に戸惑いや不安があるとの指摘もあります（文科省、2020）^{*3}。このような指摘がなされる背景には、教師自身が学習評価の意義や「指導と評価の一体化」の必要性を十分に理解していない状況であることが推察されます。なぜ、教師の中にそのような状況に陥る傾向が見受けられるのでしょうか。考えられる理由の一つとして、教師自身が自らを「省察（リフレクション）」する機会を持とうとしない傾向があることが推察されます。

2) 「省察（リフレクション）」とは

「省察」とは、「自分自身を省みて、その良し悪しを考えること」（大辞泉）です。教師の「省察（リフレクション）」は、ショーン（Schön, 1983）によって注目されるようになりました。ショーンは、教師による「省察」が実践へと結びつくことの重要性を

指摘し、「省察的实践者としての教師」を提言しています^{*4}。「省察的实践者としての教師」とは、児童生徒が自分自身の直感的な理解について気づくことを援助したり、混乱に陥った中から新しい理解と行為の方向・探索が進むのを支援したりする技法を身に付けている教師のことです。このような教師は、自らの指導法を絶えず改善し、児童生徒の学習状況をより良い方向へ導こうと努めます。まさに「指導と評価の一体化」を実践している教師と言えます。

3) PDCAサイクルにおける「省察（リフレクション）」

「指導と評価の一体化」における Plan（指導計画の作成）⇒ Do（授業の実施）⇒ Check（学習状況や指導計画等の評価）⇒ Action（授業や指導計画等の改善）の重要性については、これまでもたびたび指摘されて来ましたが、この PDCA サイクルにおいて、「省察」が大きな役割を果たすのは、Check と Action の場面であると言えます。教師は、児童生徒の学習状況などを評価し、授業のねらいとした力が児童生徒に身に付いたかを評価しますが、もし十分に身に付いていないのであれば、その原因を児童生徒に求めるのではなく、教師が自らの指導技術や専門知識を「省察」することになります。「省察」によって、教師自身が教育力をさらに向上させることはもちろんですが、結果的には、それが児童生徒へ多様なプラスの波及効果を与えることになります。

4) 「省察（リフレクション）」の具体的な方法例

「省察」の代表的な例として、研究授業を実施した後の研究協議での振り返りがあります。また、「教師のためのリフレクション・ワークショップ」を実施することも効果的です。

このワークショップでは、予め「リフレクションシート」(A4用紙1枚程度)を用意します。シートには、例えば「省察と成長の力」「対人関係の力」「教育者としての力」(教師教育学研究会, 2014)^{*5}などに関する具体的な項目と自己評価点をそれぞれ記入できる欄を設けます。最初に参加者が各自で記入し、その後各自のシートを基にグループで話し合い、教師としての具体的な力を「省察」します。

さらに、教育実践の中での方法例として、目黒(2010)が次の8つを提案しています^{*6}。VTRを使った授業リフレクション／カード構造化法／リフレクションシート／学びの履歴シート／「日記調」形式による実践報告／対話による授業リフレクション／集団による授業リフレクション／「参加者用振り返りシート」を使った集団による授業リフレクション。ここではすべてを詳述できませんが、いずれも有効な方法と考えられます。特に、小中学校の教師が日頃から比較的容易に取り組めると考えられる「学びの履歴シート」については、次のように説明されています。「毎時間、学生たちに授業の中で気づいたこと・感じたことをシートに自由に記入させる。単元終了後、授業者はこのシートを読み返し、各時間ごとに、その時間の学生のようにと考え合わせながら、読み取ったことを記入する。記入が済んだら、改めて『自分が読み取ったこと』を時系列で読み返し、振り返りを行う。」(p.21)

この方法は、教師自身のポートフォリオによる省察の実践と言えるかも知れません。いずれにしても、教師が「省察的実践者」になることによって、自らの指導法を絶えず改善し、児童生徒の学習状況をより良い方向へ導いていくことが重要です。

5) 終わりに

教育を取り巻く状況は急激に変化していますが、いかなる状況においても、教師一人一人が常に「省察(リフレクション)」を取り入れ、より効果的な「指導と評価の一体化」を進めて行くことを期待します。❖

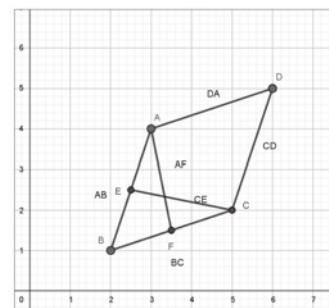
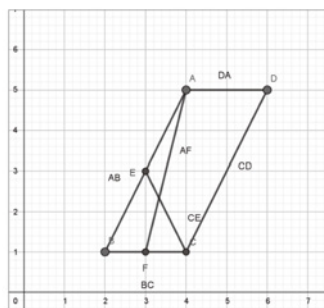
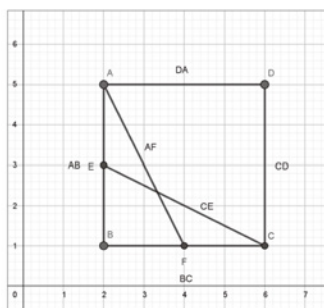
参考・引用文献

- *1 中央教育審議会(2021)．『「令和の日本型学校教育」の構築を目指して—全ての子ども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)』
- *2 文部科学省(2019)．『児童生徒の学習評価の在り方について(報告)』
- *3 文部科学省(2020)．『新学習指導要領の全面实施と学習評価の改善について』
- *4 Schön, Donald A. (1983) . *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action* 柳沢昌一・三輪建二監訳(2007)．『省察の実践とは何か—プロフェッショナルの行為と思考』(pp.345-352) 鳳書房
- *5 教師教育学研究会(2014)．『教員のためのリフレクション・ワークブック 教員研修・教員養成テキストVer.3』
- *6 目黒 悟(2010)．『看護教育を拓く 授業リフレクション—教える人の学びと成長』(pp.20-68) メディカルフレンド社

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

全国学力・学習状況調査において課題があるとされる学習内容と、Rimse 調査においてデジタル教材の活用が効果的であるとされる学習内容との関連付けを行いました。例えば、令和元年度全国学力・学習状況調査「中学校数学」では、「証明をすることや反例をあげることを通して、統合的・発展的に考察すること」に課題があるとされています。Rimse 調査では、「平面図形の作図、直線や平面の位置関係」の学習内容は、デジタル教材の活用が効果的であることを特定しました。そこで、「平面図形の作図、証明と反例」に関するデジタル教材「AF = CE」(下図)を使ってし、生徒の統合的・発展的な考察を促す授業アイデアの提案を行いました(『研究紀要 特別号』2021)。



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

算数・数学のよさ、美しさ、楽しさを多くの子供たちに



NPOちば算数・数学を楽しむ会 理事長

山本 幸人 / やまもと ゆきひと

算数・数学が大好きな子供の育成に向けて

21世紀を迎えたころ、子供たちの理数離れが話題になっていました。そこで、千葉市内の算数・数学教育に携わった元教員、現職の教員有志が集まり、学校とは異なる舞台で生涯学習の一環として、算数・数学のよさ、美しさ、楽しさを味わってもらおうと「ちば算数・数学を楽しむ会」を発足しました。2002年10月のことです。

その後、公民館などで、子供たちを対象とした算数体験教室や保護者・地域の方を対象とした学習会、教職員を対象とした施設見学（伊能忠敬記念館）や講演会（千葉大学名誉教授 杉岡司馬先生）を実施してきました。

NPOとしての「ちば算数・数学を楽しむ会」の活動

2006年度には、NPOとして「ちば算数・数学を楽しむ会」を発足させ、内容だけでなく会としての骨格も堅固なものとなりました。現在では、千葉市小中学校教員約170名が会員として活動しています。

「ちば算数・数学を楽しむ会」の大きな目的は、

- 1 市民が算数・数学に親しむ活動を通して、算数・数学への興味・関心を高める
- 2 算数・数学教育の推進を通して、子供たちが算数・数学に親しみ、楽しさや面白さを体験できるようにする
その目的を達成するために、事業内容として、
- 1 子供と共に保護者も交えた「おもしろ算数体験教室」の実施
- 2 会員相互の親睦、教育力を高めるための交流活動
- 3 会の事業の報告をまとめた広報紙の発行を行ってきました。

ちょうど同時期に開講した千葉市科学館の「算数・数学おもしろ土日講座」を中心に、子供たちと共に大人たちも交えて「算数・数学面白体験教室」を催すことになり、少しずつではありますが、私たちの活動が市民に浸透してまいりました。

また、2011年から、千葉ロッテマリーンズ球団より、千葉市の約46,000人の全小学生を対象とした算数ドリルの作成依頼を受け、長期休みを利用して学習する、マリーンズと算数を関連付けたドリル（春、夏、冬の3号）の問題を作成して市内小学校を通じて全小学生に配布し、算数の楽しさを広めることができています。

多種多様な現在の活動 —算数・数学に親しむ事業—

NPO ちば算数・数学を楽しむ会は、千葉市科学館や千葉市生涯学習センターなどで「算数・数学おもしろ土日講座」というタイトルで60分の講座を開催しています。この講座では、子供が主体となって楽しめるような直接体験や本物に触れるということを重視した教材を扱っています。これまでに行った主要なものとして、

- 「紋切り遊び」
- 「湯分け算に挑戦しよう」
- 「和算で遊ぼう」
- 「オセロ・おはじマジック」
- 「知恵の板でハンズオン」
- 「幾何学模様を描いてみよう」など



図1 紋切り遊び

わくわくしながら取り組める知的好奇心をくすぐるような内容となっています。

受講者はほとんどが小学生ですが、操作や作業の中から解決の糸口を見つけていく低学年から、ある程度算数の内容を理解している高学年まで、夢中になって取り組むようすを多く

見ることがあります。お子さんの付き添いとして訪れた保護者の方々もいつの間にか、その教材に引き込まれ、実際に手を動かし、お子さんそっちのけで取り組んでいる姿を見かけることもあります。

作業や体験を重視し、実物に直接触れることを通して、算数・数学の楽しさ、よさを実感できる機会となっていると思います(図2)。



図2 算数・数学おもしろ土日講座

そのほか、本会は、

- ・大人の工作教室(千葉市科学館)
「ビルディングパズル」
「カッティングパズルで脳トレ」
「立方体に潜む不思議を解き明かそう」など
- ・「算数・数学の自由研究」相談会(千葉市科学館)
- ・親子ふれあいさんすう工作教室(千葉市教育会館)
- ・青少年の日フェスタ(千葉市生涯学習センター)
- ・科学フェスタ(千葉市科学館)
- ・まなびフェスタ(千葉市生涯学習センター)

にも講師を派遣し、訪れた子供たち、保護者の皆様に、算数・数学の楽しさ、魅力を伝えているところです。

情報提供、外部への広報に関する事業

本会では1年間に3回ほど広報誌を発行しています。内容は、算数おもしろ講座や親子算数体験教室など、どのような教材を活用して子供たちに算数・数学の楽しさを伝えていったかを記録したものが主になっています。多くの会員が、自分の担任する子供たちに、教室でも活用できるようにと考えています。

また、HPを開設し、子供たちや保護者に本会の活動を幅広く知ってもらおうと、その内容を工夫しています。

・・・編集後記

今年の夏はとても暑かったですね。「MATHコン」にも、それに負けないくらい熱くて素敵な作品がたくさん寄せられ、児童生徒の皆さんが一生懸命レポートに取り組まれたようすが伝わってきました。受賞者の発表は12月末に弊所のWebサイトにて行います。

次回も「学習指導要領に対する教育現場の受け止めと課題」を特集します。

算数・数学の楽しさを広める事業 『マリーンズ算数ドリル』

千葉ロッテマリーンズ球団が、千葉市内の全小学生に配布している『マリーンズ算数ドリル』の問題作成に協力しています。春号、夏号、冬号と年3回発行の、A3判2枚のドリルです。内容は、野球に絡めた問題で構成しています。例えば、「佐々木選手、藤原選手の背番号は偶数か奇数か?」などの背番号を活用した問題、ZOZOマリンスタジアムの広さを利用した問題など、基礎・基本の問題とともに、今日課題となっている「活用する力」を育む問題も加味して、何より楽しく問題解決できるように作成しています。

2022年12月19日には千葉市立鶴沢小学校でマリーンズの小島投手が参加し、2023年7月4日には千葉市立打瀬小学校で池田選手が参加し、『マリーンズ算数ドリル』贈呈式が行われました(図3)。

『マリーンズ算数ドリル』に楽しく取り組み、千葉ロッテマリーンズを応援しながら、算数が大好きな子供たちになってほしいと願っています。



図3 小島投手とマリーンズ算数ドリル

©千葉ロッテマリーンズ

今後に向けて

算数・数学の楽しさ、美しさを伝えるためには、会員相互が切磋琢磨し、幅広い視点を持つことが大切だと考えます。また、市民とともに学ぶ姿勢が個々の人間性を高めてくれると思います。私たち会員が算数・数学を大好きになっていくことが何より大切だと考えています。そのためには、子供たちから素直な感想を聞き、事業を改善することと、会員相互の交流を活発化させていくことだと思います。❖

数学用語 その1

無理数とは無理な数なのか

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらいすすむ

rational numberと有理数

自然数、整数、実数は「名は体を表す」漢字の名前ですが、有理数と無理数はその逆です。漢字からどんな数なのかをイメージするのが難しい数学用語です。

「有理」は数学用語の中で初めて知る言葉です。広辞苑には「有理 道理があること」とありますが、一般には使われない言葉なので、有理+数という漢字の組み合わせからは意味はわかりません。一方、「無理」は使い慣れた言葉です。広辞苑には「無理 ①道理がないこと ②強いて行うこと ③するのが困難なこと」とあり、どれもよく使われます。しかし、無理+数からはどんな数なのかは想起できません。いったい何が無理なのか、とツツコミを入れたくなる用語です。

英語の rational number の日本語訳が有理数です。rational が「有理」となった経緯をざっとみてみましょう。rational は合理的という意味で、rational thinking は合理的思考と訳されます。rational にはその他に、論理的、理性的という意味もあります。これらに共通するのが「理」なので、理なる数、「有理数」が考えられたと推察できます。では、rational はもともと○理的という意味なのかというと、そうではありません。名詞形 ratio はレシオと呼ばれるほど日本でも知られた言葉で、「比」という意味です。『ジーニアス英和大辞典』の「ratio 初 17C; ラテン語 ratio (計算すること、数える) より、① [数学] 比 ② [金融] 比率」からわかるように、ratio はもともと「理」の意味ではありません。計算を意味する ratio から形容詞 rational は「合理的な」という意味になりました。ところが、同辞典に「rational [初 14C; ラテン語 ration-, ratio (計算), 「ration- (計算) + -al (…の性質の)] = 合理的な ① 理性的にある

② 合理的な ③ 論理的な ④ 正気の」とあるように、英語 rational には「比的な」という意味はありません。最後に、⑤ [数学] 有理の《整数および分数で表せる数をいう》が続きます。このことから、わが国では rational に「理」を当てたのかもしれませんが。そうしてつくられた「有理数」は日本語として意味が通じない言葉になってしまいました。果たして、rational に否定の接頭語 ir- が付いた反対語が有の反

対語としての無を用いた無理と訳され、irrational number 「無理数」が生まれました。

数学用語を再考してみることの効用

rational number のシンプルな訳語は「比数」または「比的数」でしょう。irrational number は「非比数」または「非比的数」です。これならば漢字から意味がわかる数学用語です。私は塾・予備校で受験生に数学を教えるアルバイトをしていたときに日本語の数学用語に関心を持ちました。rational number や irrational number といった数学用語を再考してみることの効用に気づきました。数学用語を通して数学に興味・関心を持つことができるということです。

【1】もとの英語の数学用語を調べてみることで、日本語訳の妥当性を自分なりに判断してみる。(例1) natural number と自然数は妥当。(例2) imaginary number と虚数は疑義あり。【2】『ジーニアス英和大辞典』のように、単語の語源表記がある辞典で数学用語を調べてみることで、英語の語源(多くはラテン語)まで遡って英語自体の成り立ちを知ることができる。(例3) rational と有理。(例4) map (中世ラテン語 mappa (布、テーブルナプキン) より「布→色どりした布→旗→地図」と写像。(例5) calculus と微分積分学。【3】多言語変遷による訳語。(例6) geometry と幾何学(英語→中国語→日本語)。(例7) function と関数(英語→中国語→日本語)。【4】英語 vs. 日本語 日本語訳のほうが日本人には適合するものがある。(例8) matrix (ラテン語 matrix (子宮; 繁殖用の雌; 親木) より) vs. 行列。(例9) recursive (ラテン語 recurrere (走って帰る, 戻る)。re- (後へ) + -cur (走る)) vs. 漸化式。

東京数学会社訳語会の役割

いったいどこの誰がいつ、有理数や無理数という訳語を考え決めたのでしょうか。答えの一部は、数学者藤澤利喜太郎(1861-1933)や1877年に設立された東京数学会社(現日本数学会)の訳語会です。明治期に明治新政府は国策として和算から洋算への転換を決定しました。それに伴いドイツをはじめとする西洋の数学が輸入され、訳語をつくるのが急務となりました。

この辺の正確な事情は数学史研究に任せるとして、重要なことは、大勢の先人たちの議論の末に数学用語がつくられたということです。初学者にはわかりづらい無理数でさえ日本語訳があることが後人の学びにどれほど大きな貢献をしたことでしょうか。有り難い言葉、それが有理数と無理数です。

大阪オフィス

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

東京オフィス

〒113-0023 東京都文京区向丘2丁目3番10号
東大前 HiRAKU GATE 2 階
TEL.03-3814-5204 / FAX.03-3814-2156

E-mail : info@rimse.or.jp

https://www.rimse.or.jp

※本冊子は、上記ホームページでもご覧いただけます。

印刷所：岩岡印刷株式会社

デザイン：株式会社 アートグローブ

本文イラスト：株式会社 アートグローブ

表紙写真：© アフロ