

日本の理数教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No. **44**
October
2025

特集 就学前の理数教育 I



Contents

表紙裏

巻頭言

9 年前の AI 記事作成で気づいたこと

中部経済新聞社 相談役編集委員・前代表取締役社長 恒成 秀洋

特集 就学前の理数教育 I

- 2 **I** 幼児期に望ましい、遊びながら育てる数理能力とはどのようなものか
東京理科大学 名誉教授 秋山 仁
- 6 **II** 幼児期における探究心の育ちについて
びわこ学院大学教育福祉学部子ども学科 教授／
全国幼児教育研究協会 副理事長 中井 清津子
- 10 **III** 幼児期にこそ大切にしたい身近な自然との関わり
— 子供の傍らに居る大人の構え —
(株) 自然教育研究センター 自然解説員 練馬区立中里郷土の森／
公益社団法人 全国幼児教育研究協会 副理事長 新山 裕之

- 13 **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 8 回
電気エネルギーから化学エネルギーへ —二次電池について
東京学芸大学 名誉教授／国際基督教大学 客員教授 鎌田 正裕

- 16 **連載** 確率の現代的活用 第 9 回
ランダム・ウォークと破産問題 —マルコフ連鎖入門—
東京大学 名誉教授／(株) ベイズ総合研究所 代表取締役 松原 望

- 19 **連載** 物理用語の成り立ち ～万物の根源を求めて～ 第 9 回
原子核 (ニュークリアス nucleus)
元徳島県公立高等学校 教諭 西條 敏美

特別寄稿 清水静海先生追想

- 22 **①** 「そいやっさ～！」の声に応えて
横浜国立大学 名誉教授 根上 生也
- 24 **②** 「言葉の使い方」と「初心」
千葉大学教育学部 教授 松尾 七重

- 26 **教育に新しい風を** —東京懇談会より—
『走れメロス』の伝言 ～多様化社会へのメタモルフォーゼ～
前品川区教育長 中島 豊

- 28 **広場** 地域教育で活躍する人々 第 43 回
地方の小さい町が挑戦する『令和の日本型学校教育』への移行について
～個別最適な学びの充実を目指した教育 DX 化への第一歩～
静岡県小山町教育長 勝俣 純

裏表紙

数学と言葉 第 12 回

数学用語 その 7

「0」と「数」2つの読み方

サイエンスナビゲーター ⑥ 桜井 進

巻

頭

Kantougen

言



恒成 秀洋 / つねなり ひでひろ

中部経済新聞社相談役編集委員。1963 年生まれ。86 年山口大学人文学部卒。同年新興出版社啓林館入社。89 年中部経済新聞社入社。経済部記者、東京支社長、事業局長などを経て、2012 年取締役、18 年代表取締役社長、25 年 6 月から現職。大分県中津市出身。趣味は登山、バイク。日本山岳会会員。

9年前のAI記事作成で気づいたこと

まずは私が勤めている新聞社について簡単に説明したい。おもに東海3県（愛知・岐阜・三重）をエリアに、地元の経済ニュースを発信している。トヨタ自動車の本社が愛知県にあることなどから、やはり自動車関連のニュースが多い。“紙”の新聞は東海地区だけの発行だが、デジタル版については全国に読者がいる。自動車産業は日本を支える屋台骨であり、その生産拠点が東北や九州にも広がっていることが背景にある。とにかく私たちは毎日、クルマ関連を中心に企業を取材し、新聞を発行している。

さて9年前のことであるが、私が編集局長のときにAI（人工知能）について、ちょっとした気づきがあった。今でこそ話題に上らない日はないAIだが、当時はほとんどニュースで見かけなかった。

2016年11月、私どもは創刊70周年を迎えた。そのため、いろいろな企画を準備していたが、その中に「AIに書かせた記事をそのまま紙面にしてみよう」というアイデアがあった。

データ処理会社やAI研究の企業などの協力を得て、過去の記事の読み込みが始まる。当初はデータ不足でうまく動かず、とても公表できるような記事はできなかったが、過去記事をさらに追加していくことで、少しずつまとめた文章ができるようになった。

そして、「この記事、AI記者が書きました」というタイトルの紙面ができあがった。戦後からこれまでの中部地区の産業界の推移や、弊社の取り組みなどをまとめた短い記事である。文章に統一感がなく、やたら読みにくい。『筆舌に尽くしがたい』言葉どおりなど、おかしい表現も目立つ。しかし、「これはこれで面白いのでは」ということになり、そのまま掲載した。

反響は、まず同業から来た。全国紙の名古屋支社の記者から連絡があり、紙面化までの経緯などについて取材された。その全国紙の記事を見た通信社からも取材があり、それが全国に配信され各地域の新聞などにも転載され、「AIが記事を書いた」ということで、驚くほど大きな話題になっていった。

しかし、実は紙面製作の過程で、私の心の中にじわじわと不安が広がっていたことを正直に言わねばならない。新聞社、特に地方の新聞社にとって、AIには可能性だけでなく危険も伴うことに気づいたからである。

AIは新聞でいえば定型的な記事が得意分野だ。企業の決算発表とか人事異動とか新商品の発表などである。だいたい文章の形や流れが決まっているので、どんな記者が書いても、そう

大きな差は出ない。こうした記事は、データを読み込ませてAIにまかせたほうが、作業は効率的であろう。

しかし、ここに大きな落とし穴が隠れている。

企業の競争力の源泉となるのは差別化である。他社にないもの、他社より優れたものをいかに作り上げていくか。私たちも同じで、全国紙が気づかない細かなニュースにこそ価値がある。

そして、簡単に見える記事にこそ差別化のヒントがあったりする。例えば人事の記事。一見すると人の名前の羅列だが、ここに取材で知り合った人の名前があったとする。「あれ、この人はなぜこの部署を離れるのだろうか」と疑問が生じる。また決算の記事を書いていると、ある部門の売り上げが少し伸びていることに気づく。「ここは苦勞している部門だったが、良くなってきたのだろうか」。こうした小さな気づきがやがて大きなニュースにつながるものが、実は案外多い。

一見、無駄に見える細かい作業であるが、作業によって脳の中にデータが蓄えられ、それが他の情報とつながり、新たな視点を与えてくれる。まさに「神は細部に宿る」ということだ。AIによる記事作成は、この重要な作業を“丸投げ”してしまうということである。

今、教育の場でもデジタル化が進められ、紙の教科書をなくし、ICT（情報通信技術）を活用してタブレットで授業をすることが日常的になりつつあるという。紙に書かず、タブレットの画面を操作するやり方で本当に考える力が育つのだろうか、と私は不安を覚える。

スマホやタブレットの普及で、すでに子供たちの視力低下は顕著になっているが、考える力にも影響が出るのなら、ことは深刻だ。先日、「OECD（経済協力開発機構）の調査によると、ICTを使う時間が長いほど学習到達度が低い」との記事も出ていた。一気呵成とも思えるデジタル教育の流れには、もっと慎重な意見が出てしかるべきではないかと思う。

さて、結果的に私たちは今、新聞作製にAIをほとんど活用していない。資料から数字を抜き取って表を作成するなど最低限の活用にとどめる方針だ。例え非効率と言われようとも、地域の新聞社である以上、これからも差別化されたオリジナルな記事が求められ、それには各記者に蓄積したデータと新しい情報の連携が不可欠だと知ったからである。これは私たちの世界だけではあるまい。効率化を追求すると逆に衰退していく産業が多いのではないかと、少し危惧している。



I 幼児期に望ましい、遊びながら育てる数理能力とはどのようなものか

東京理科大学 名誉教授

秋山 仁 / あきやま じん

数学者／理学博士。ミシガン大学数学客員研究員，米国 AT & T ベル研究所コンサルタント（非常勤），日本医大助教授，東海大学開発研究所所長，科学技術庁参与，文部省教育課程審議会委員，NHK ラジオ・テレビ講座講師，中国南開大学客座教授を歴任。サント・ドミンゴ自治大学名誉博士（2017 年），コロンブス騎士勲章受章（2021 年）。瑞宝中綬章受章（2025 年）。著書約 250 冊。



1 ◆ 大人になって必要とされる数理能力とは何か？

就学前の理数教育を考える上で，大人になって必要な数理能力がどのようなものかを，まずハッキリさせておこう。

「僕は，学生時代，数学の成績が良かったから，数理能力に長けている」，「私は学生時代から数学がからきしダメで，全然数理能力がない。これが息子に遺伝するのではないかと心配で……」こんなことを言っている人がよくいる。

計算ができるとか，鶴亀算，旅人算…，小学校で習う典型的な文章題，あるいは中高校で習う方程式や関数，幾何学の証明等の「数学の典型的な問題の解き方を知っている・解ける」といったことは確かに学校の算数や数学で問われてきたスキルではある。だが，「小学校から大学教養程度までの数学を理解するためには，生まれつきの才能も，また，特別な数理プログラムを組んで小さい頃から練習を積み育まなければならない数理能力は殆んどない。それがこなせる能力は日常生活をキチンと送れる能力とさして変わらない」と私は考えている。ここで，「日常生活をキチンと送れる能力」とはどのようなものだろうか？ 大雑把に言ってしまうと，「辞書が引ける」，「自分の靴箱に靴を揃えてしまえる」，「料理本を見ながらカレーライスが作れる」，「最寄り駅から目的地までの地図が描ける」以上の 4 つのことができる能力だと思う。それさえできれば，小学校から高校までの数学を身につけるには，能力的には十分であり，後は，数学の知識をひとつずつマスターしていこうという意志と努力があるか否かの問題に過ぎない。すなわち，これらができるのであれば，

「高校あるいは大学教養までの数学をこなすのに困らない基本能力があると言える」と私は考えている。

その理由を以下，簡単に述べよう：

「辞書が引ける」ということは，例えば英和辞書ならば，アルファベット 26 文字の順序関係，すなわち“26 進法表示された数（単語）の大小（順序）関係を理解できる”ということに他ならない。「自分の靴箱に靴を揃えてしまえる」ということは，自分の靴の左右を揃え，かつ，自分の出席番号のついた靴箱にしまえるということであるから，これができるということは二回も“一対一対応の概念”を使いこなしていることに他ならない。すなわち，この行為ができるということは，“一対一対応の概念が理解できている”ということを表している。「料理本を見ながらカレーライスがつくれる」ということは，“ものを観察し，決まった手順（アルゴリズム）に従ってものごとを遂行する能力がある”ことを示している。そして，最後にあげた「地図が描ける」ということは，3次元のものを2次元に投影し，具体的なものの本質だけを抽出し，記号や数式を用いて抽象化・モデル化して表現する能力，すなわち，“空間把握能力，抽象能力を有している”ことを意味している。

「なんだ，そんな 4 つのことぐらい簡単にできる」と思う人が多いと思うが，数理能力とは，実はこういった“数や量，図形の性質とは直接，関係のない日常の作業の中でも活用され発揮されている能力”なのである。

これら 4 つの能力があれば，日常生活を^{ツツ}恙無く過ごせる。これが数理能力の基本だと思う。あとは能力的な問題ではな

くテクニカルな問題だ。また、数学教育に携わっている人たちの多くが、「幼児期の段階からこれをやっておけば、将来、鶴亀算や因数分解を習うときに苦労しない」などというようなものが所在するとは考えていない。

2 ◆ 幼児期から育てるべきは計算等の技術でなく、素養としての数理的なものの見方

私が若い頃、コンピューターを使える人はプログラミングができる限られた人たちだけだった。しかし、テクノロジーが発達した現在、スティーブ・ジョブズが目指していた“テキサスの田舎のおばちゃんでも、気軽にコンピューターを使いこなし社会生活や仕事に役立てる時代”になったように、高度な数学も、ハイテク機器のお陰で多くの人々が生活の中で、もっと気軽に使いこなして活用できる時代になっていくであろう。教科書や専門書を読破しなくてもハイテク機器を使って高度な数学の成果を生活や仕事に役立つ技術として利用できる時代に、多くの人にとって、数学を通して何を学び、身に付けることが期待されるだろうか？ それは、数学の問題集に並んでいる問題を解く技術（問題の解き方を身につけること）ではなく、数学の問題を通して、本質を見抜く分析力や筋道を立てて議論を進める力、工夫して効率的にものごとを進める力などの思考力を育くむことが重視されていくだろう。さて、そういった時代を社会人として生きていく現在の幼児たちにどのような数学的な体験が有意義なものになるだろうか？

数学以上に、多くの人が日常的に行っている文章を書くという行為を例にとって考えてみることにしよう。よい文章を書くためには、文法や漢字、熟語やボキャブラリーに長けているといった技術・技能的なことも必要である。しかし、よい文章、面白い文章を書くには、そういった技術（技能）的なこと以上に、面白いテーマを見つける感性や好奇心、他人が読んだときに論理的にわかりやすくストーリーを展開する能力といった“創造力”，“論理力”，こういった能力が大きく問われるのである。前者の技術（技能）的なことは、年齢や発達段階に応じて学んでいけばよいことだが、後者の能力は、「これを教えればすぐ身につく」といったものではなく、小さい頃から素養として養っていかなければならない大切な能力だと私は考える。

文章を書くことと同様に、数学において、数や量、図形、計算などは年齢や発達段階に応じて順々に学んでいけば身に付くことである。それに対して、観察力や分析能力、論理力、抽象能力、一対一対応の概念、空間把握能力などといったものは小さい頃から素養として少しずつ身に付けていかなければならない能力だと考える。

3 ◆ 幼児期の能力の発達段階とあそび

“大人になったときに上記のような数理能力を備えていて欲しい”とは言っても、幼児期からどんな何でもやり始めればよいというものではない。幼児期の発達段階に応じて、彼らができることは限られており、また、学ぶべき大切なことは数理的な能力以外にも沢山ある。よかれと思って大人が何でもかんでも与えると逆に、子供自身の自発性や好奇心、創造力が育まれないといったことも指摘されており、それが現実であろう。

明治の数学教育者・広田虎之介は小学生の算数教育について次のように述べているが、これは幼児に対してより強く言えることだと考える：

「出来る時に乗じて出来る事を教えず、出来る時期を待たずして出来ないことを教え、出来る時期を待たずして出来ないといって殺す、小学生における算術の成績良くならず、これはいわゆるなしとせんや」

世界では、幼児の能力の発達段階と遊びについてかなり研究されているが、その一例を示しておこう：

◆エリック・エリクソン提唱（ドイツ出身の発達心理学者）

- ・幼児前期（1才半～3才）：歩行・排泄など自律できるようになり、自分の力で挑戦することが増えてくる。
⇒自信や自律を身に付けさせたい時期。興味をもつ遊びを与えてあげることが大切。
- ・幼児後期（3才～5才）：友達と関わるが増えさまざまなものに興味をもったり、自己主張するようになる。
⇒コミュニケーションをとりながら行う遊びや集団で遊ぶ機会を増やすことが大切。この時期に自主性や積極性が育つと目的意識を持って自発的な行動をするようになる。逆に、自己主張の否定や厳しい躾によって自分に否定的な感情をもつようになると、自発的な行動をしなくなる。
- ・学童期（6才～）：学校で勉強し、知識を身につけ、ものごとを達成できた経験から勤勉性を身につける。

4 ◆ 諸外国で、幼児期に遊びなどを通して培いたいとされている数や量の技能と数理能力

海外の幼児教育の現場で行われている数理的能力にかかわる遊び（例：Momath (National Museum of Mathematics in NY)）やカナダの幼稚園等で実践されている幼児のためのアクティビティ、アメリカの幼児教育のベストセラーである BRAIN QUEST のワークブックやスマートカード、モンテッソーリで行われているアクティビティなどを検証すると、幼児期に遊びを通して培いたい数や量の技能及び数理能力とされているものは主に以下の7つのものであった。これらは幼児期の子供たちの発達段階が前述のエリクソン提唱を踏まえており、かつ、1節で示した大人になつて必要とされる数理能力に関する私案とも合致している：

遊びや日常生活の行動を通して幼児期に培いたい7つの数や量の技能と数理能力

- (1) 数に親しむ（知識・技能的なこと）⇒具体的には10までの数を数えたり、ものと数を対応づける練習をすること。また、間接的に10まであるいは5までの数のたし算やひき算に親しむことや数の大小関係に親しむこと（最近改訂されたニューヨークのガイドラインなどでは10より大きい数を認識させることや、100までの数を（10, 20, 30, …, 90, 100などという具合に）10単位ごとに数えることも新たに盛り込まれるようになっている）。
- (2) 形に親しむ（知識・技能的なこと）⇒身のまわりにある物体の形に注目させて、円や三角形や四角形などを探させたり、観察させることが主に行われている。
（以下 (3)以降は数理能力である。具体例は5節参照）
- (3) 分類する能力
- (4) 一対一対応の概念を使う能力
- (5) 規則性やパターンを認識し推測する能力
- (6) 論理力⇒海外で行われていることは、「ルールを押さえる力」「言われた情報を把握し、それに従って作業する力」といった程度のことが実践されている。
- (7) 空間把握能力⇒ベーシックなこととして、外に連れ出し自然の中で自然の素材に手を触れて体を動かし、もののサイズや遠近や高低の感覚を養うことが積極的に行われている。それに加えて、積み木や立体物の造形といったことが行われている。

（なお、1節で挙げた“抽象化・モデル化する能力”については、ピアジェが「可能となるのは11才以上」としているように幼児ではまだ難しいことなので、幼児の段階から育もうという試みは海外でも行われていないようである。）

また、「手先の器用さを発達させた子供は、後々、読み・書き・論理的思考・集中力・理解力・数を扱う能力などに長け、後々学校で必要となるさまざまなスキルの土台づくりになる」とされ、積極的に手先を使った作業を伴った数理能力を伸ばすための活動が取り入れられている。日本では、折り紙や粘土細工、積み木遊び、あやとりなどを、昔から幼児教育の現場で積極的に取り入れられてきたことである。

これらの能力を培うための、今まで行われている日本での遊び、また海外で行われているアクティビティを次節では具体的に例示してみよう。

5 ◆ 国内外で行われている遊びとそれによって培われる数理能力・数量に関する技能

***靴下や靴のペアリング遊び：**一対一対応の概念や色や形の観察力を使う遊び（形や質や大きさの違う数種類の靴下（または靴）を5～10足用意してゴチャゴチャとひとまとめにし、ペアリングしてもらうゲーム）

***6種類の形から計30種の図形を作り、指示通りの図形を集めるゲーム：**形に親しみ、形や色に関して分類する。（星、正方形、円、三角形、三日月、五角形などをそれぞれ5色の紙（例：赤・青・黄・緑・紫）から切り出し、計30種作る。それらに対して「赤いものだけ集めてください」、「同じ形どうしを集めてください」と指示を出して実行させるゲーム）

***紙玉投げ遊び：**たし算に親しませるゲーム（3つのバケツと紙を丸めて作った玉を10個を用意し、それらを3つのバケツに投げ入れさせる。その結果を数えて、間接的に $10=3+2+5=4+1+5=3+3+4=\dots$ といったたし算に親しませるゲーム）

***ケンケンバ：**リズム感覚とパターン認識・数への親しみ・運動機能・論理力（指示やルールに従う）を育むとされている。

***もの当て遊び：**観察力・形への親しみ・分析力・論理力（情報を組み合わせる）を使うゲーム（各回、部屋の中にあるものの中からひとつ選び、「それは〇〇の形をしています」、

「それは〇〇色をしています」などとヒントを出して行って、子供たちにそれは何なのかを当てさせるゲーム)

***グループになった友達と組んでフォーメーションを作る:**運動機能を伸ばし、形への親しみを養い、友達との協力を促すゲーム(子供たちを数人のグループにし、「みんなで円の形を作ってください」、「三角形の形を作ってください」、「四角形を作ってください」、「五角形を作ってください」と指示を出し、子供たちは床に寝そべりその指示に従って友達とその形をつくるゲーム)

***手を叩くリズム遊び:**パターン認識(規則性の把握)能力やリズム感、観察力などを使う遊び(音楽に合わせ、先生の叩くさまざまなリズムパターンをマネして手を叩いてリズムをとる遊び)

***買い物ゲーム:**数への親しみ、間接的なたし算やひき算への親しみを育む遊び(紙で⑩②③④⑤などのコインを作り、部屋の中のいろいろなものに値札をつけて、それらのコインを使って買い物をするゲーム)

6 ◆ まとめ

子供の成長における遊びの重要性について研究している米国の研究者キャシー・ハーシュパセック氏とロバータ・ゴリンコフ氏は、“遊びの五原則”を以下のように定義している(『学びとは何か ―探究人―になるために』(岩井むつみ著/岩波書店)より):

遊びの五原則

1. 遊びは、(遊ぶ人にとって)楽しいものでなくてはならない。
2. 遊びは、遊ぶこと自身が目的であるべきで、何か他の目的や意図(注:例えば言語能力を伸ばすとか計算力を伸ばすなど)が主役であってはならない。
3. 遊びは、遊ぶ人の自発的な選択によるものでなければならない(注:すなわち、子供が「やらされている」と感じたら、もはや、それは遊びではない)
4. 遊びは、遊ぶ人が能動的に関わるものでなければならない。遊ばせてもらっていたら、遊びとは言えない。
5. 遊びとは、現実(注:実際の遊び手の生活行動)から離れたもので遊び手にとって演技のようなものである。例えば、子供が何かの「ふり」をしていたら、それは遊びである。

幼児たちに何かを教えるという形ではなく、“遊びを通して子供たちの数理能力を育てたい”と考える人は多いようだが、遊びの五原則によると、「この遊びをしたから、こういう能力が育まれているからいいんだ」と考えてしまうのは禁物だということである。あくまで子供たちが楽しいと思えるものを、そう思える範囲で行うべきで、結果として、数理能力が刺激されていけばいいなあぐらいに考えて行うべきだということだ。

生活の中で楽しい数理体験を

小学校以降の算数や数学教育において、近年、国際的な動向として、「算数や数学のための問題(すなわち教科書や問題集の中でしか見ないような問題)を解ける力」を育むということ以上に、「自分の生活の中で算数や数学を活用する力」を育むことに力点を置いていこうというようにならなってきた。そういうことから、“日常生活の中で、身のまわりのものの数を数えたり”、“クッキングなどで量を測ったり”、“郵便物の重さを測ったり”、“時計を目にして時間というもの意識したり”、……そういった大人たちの日常の行動を子供たちに積極的に見せ、自分の身のまわりにある数と量というもの、数理的に考えることなどを生活の中で無意識的に認識させることも非常に大切であろう。子供にとって、お父さんやお母さん、幼稚園の先生といった、心から親しみを感じている大人たちの行動を子供はよく観察しているものである。そして、身のまわりで、どんなことが行われているのか、また、自分の大好きな人たちがやっていることを知ることと子供たちは大きな関心を持っていて、それがわかり、自分も共有できている(参加できている)と感じられるととても楽しいのだ。

ワクワクすることをいっぱい体験することが、子供の好奇心ややる気を育むことに繋がるのである。覚えさせようとすると、子供はワクワクする気持ちを失い、その結果として好奇心を抱けなくなるという指摘もされている。親や先生自身も楽しんでいなければ、子供たちも楽しいはずがない。身近な大人たち自身が数理的な行為を楽しく行ない、それを幼児たちに、結果や成果をあまり重視しすぎることなく見せ、楽しさを共有し、幼児たちと大いに楽しむことが、幼児にとってベストな数理体験なのだと私は考える。



Ⅱ 幼児期における探究心の育ちについて

びわこ学院大学 教育福祉学部 子ども学科 教授

中井 清津子 / なかい せつこ

大津市立幼稚園教諭及び園長・大津市教育研究所指導主事・大津市教育委員会学校教育課主幹・大津市教育委員会学校教育課幼児教育指導監・滋賀大学教育学部附属幼稚園副園長・滋賀大学教育学部特任教授・相愛大学教授を経て2022年よりびわこ学院大学教授。現在、相愛大学客員教授・滋賀大学非常勤講師。

専門領域は、幼児教育の内容や方法・領域環境・人間関係・造形表現等。

全国幼児教育研究協会副理事長、守山市、尼崎市、竜王町、大津市において子育て会議等の委員長及び副委員長等を歴任。



1 ◆ はじめに

0歳から身近にあるものに関心をもち、その子なりに主体的に関わり探索活動を繰り返し行う。物と関わりながら身体や五感を使って探索活動をすることは、その後の探究心を育てる土台になるだろうと考えると、生まれたときから人は「知りたい・求めたい・わかりたい・考えたい…」などの興味・関心や好奇心をもっているのではないかと思う。しかし、環境や育ちの中で探究的な活動を経験する機会が少なくなってきたのも事実である。

乳幼児期にこそ、さまざまな環境の中で遊びを通して、何度も繰り返し、試しながら自分の目的とする内容に迫っていくのである。特に最初から、「どろ団子を作るためには、土と水の割合はこれぐらいがいい」と考えているわけではない。繰り返し遊ぶ中で、偶然的に出来てきた状態を捉え、感覚的に体験的に多くのことを学んでいくのである。その過程に意味があり、新たな知識・概念・発想が芽生え、探究的な思考や将来の科学的な概念が育つ土台を耕していると考え、本稿においては、特に3歳児から5歳児の幼児期に探究心を育てることの意義を捉えることにする。

プロセスやそれを支える指導法をより詳細にする試みが始められるようになった。

さらには、アクティブ・ラーニングの三つの視点を踏まえた、幼児教育における学びの過程（5歳児後半の時期）のイメージ図（文部科学省2016）が示された。遊びのプロセスとして「遊びの創出・遊びの没頭・遊びの振り返り」の流れの中で「主体的・対話的で深い学び」の過程が描き出されている。そして、5歳児後半の経験が小学校以上につながるものとして考えられている。深い学びの過程は、「直接的・具体的な体験の中で、見方・考え方を働かせ対象と関わって心を動かし、幼児なりのやり方やペースで試行錯誤を繰り返し、生活全体を意味あるものとして捉えること」と述べられている。「生活全体を意味あるもの」として捉えることの奥深さを感じながら、将来につながる探究心を育てる資質・能力を意識したいと考えている。探究を深めていく過程を、「感触・感覚・感動」が基本となり、「試行錯誤・気づき・発見の喜び」さらに「予想・予測・比較・分類・確認」「規則性・法則性・関連性などの発見と活用」と示している。これらの内容を意識しながら、探究を深めていく過程における要素を3歳児から5歳児の発達年齢ごとに分けて捉え、その過程に着目していくことにする。

2 ◆ 探究を進めていく過程に着目して

2017年の学習指導要領・幼稚園教育要領の改訂において「探究的学び」の実践が求められ、小学校以上での授業研究が精力的に行われるとともに、幼児教育においてもその学びの

3 ◆ 子供の姿から探究について考える

(1) 3歳児の姿から

①事例1…容器からあふれる水…7月中旬

庭に準備された水を入れたタライから、容器に水を入れたり

出したりして、7、8人の幼児が遊んでいる。ペットボトルを半分に切って手提げを付けた容器が準備しており、大きさもいろいろである。

A児は、ペットボトルで作った容器を持ち歩き、水を入れたり出したりしながら、少し大きい容器の水を移し替えている。その容器の上から空のペットボトルを押し込み、水が周りからあふれると、「あれ」というような顔をして、観察者の顔を見る。観察者が「水がこぼれたね」と言うと、「うん」と楽しそうな表情をする。再び大きなペットボトルに水を入れ、水を入れた小さなペットボトルで押すと、水があふれることに気づき、何回も繰り返す。

重ねた上のペットボトルの押し方を強くしたり弱くしたりすることで、水があふれ方が違うことに気づく。同じ大きさのペットボトルは入らないことにも気づく。ほとんど話をしないが、繰り返し楽しむ姿が見られた。



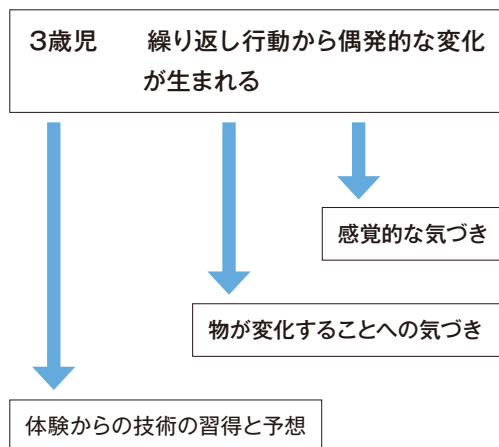
図1 いろいろな大きさのペットボトル

② 行為が意味すること

○同じ行為を繰り返ししながら、その場に起こる現象に興味をもつ。

特に話さないが、夢中になって遊んでいる姿から、大きさの違う容器で水を入れたり出したりすることを繰り返し楽しみ、水の流れや音や感触に関心をもっていることが読み取れる。

○同じ行為を繰り返す中で、本人が予想しない偶然起こった現象に気づき興味をもつ。



大きさの違うペットボトルで作った容器に水を入れ、上から小さいペットボトルで押すと水があふれることに気づき楽しむ。さらに、ペットボトルの押し方で水があふれ方が違うことに気づく。同じ大きさのペットボトルは入らないことがわかる。筆者は、将来、A児が圧力を学ぶときにこの体験が意味あるものになるだろうかと予想した。

(2) 4歳児の姿から

①事例2…紙飛行機を飛ばしたい…11月中旬

4人の幼児が紙飛行機を作って飛ばしている。真ん中に穴が開いている段ボールがあり、段ボールの穴を潜り抜けて紙飛行機を飛ばしたいと考えている。しかし、その段ボールが倒れるのでどうしたら立つかを考えている。

A児 近くにあった箱を段ボールの横にセロハンテープで付けようとするが、なかなか付かない。

B児 牛乳パックを持ってきて、横にしてガムテープで付けると段ボールが立つことに気づく。

T 「これで立つかな？」

B児、A児 「倒れるわー、こっちも要る」

C児 「ここ、横、横」と一緒に牛乳パックを付ける。

T 「付いたかな？」

手を離すと傾く。

A児 「あかんな」

B児 さらに牛乳パックを1個横に付けるとダンボールが立った。

A児・B児 「やったー」

T 「すごいね」

4人で飛行機が穴を通る

ように飛ばす。遠くから飛行機を投げたり、優しく投げたりしている。

C児 「入った、入った、飛行機が飛んだ」

と喜び合う姿が見られた。

② 行為が意味すること

○目的をかなえるために、いろいろな方法で試し、偶然できたことから工夫する。

段ボールの穴に紙飛行機を飛ばすという目的に向かって、牛乳パックの付け方を工夫する。パックの位置や立て方、テープの貼り方などが偶然できたことから、それを生かして目的

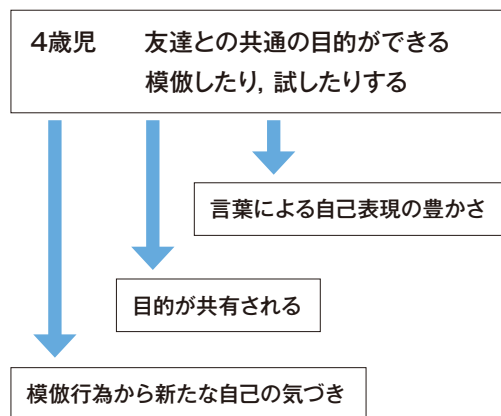


図2 穴の開いた段ボールを立てる

を達成しようとする。目的をもつことが、試したり、工夫したりする行為を生み出すとを感じる。

○個々の子供の気づきを模倣し、さらに自分なりの工夫が生まれ、それを言葉で伝える

相談したりはしないが、各自が考えたことをそれぞれがやりながら、よいと思うことややり方を模倣する。4歳児は人への関心をもつ時期であるため、最初から計画的ではないが、遊びながら目的を共有することができる。目的が共有されたことにより、個々の子供の試し行動がその場にいる子供の刺激となり、さらに試し行動が広がり、重なり合い・イメージが広がり・新たな発見が生まれる。また、自分の思いを言葉で伝えるようになり、偶然できたことから言葉を通して、友達との共通の気づきや喜びにつながると考える。探究は互いの発想や気づきを受け入れながら模倣する行為が大切であると考ええる。



(3) 5歳児の姿から

① 事例3 …花の色を残したい…6月～10月

4人の子供が色水遊びをしている。マリーゴールド・クローバー・パンジー・ペコニアなどの花をすり鉢で擦っている。

- C児 「私、こんな色」
 B児 「僕は、こんな色」
 A児 「僕は緑、お茶色」
 C児 「それどうやって作ったの」
 A児 「この草を擦ったの」

とすり鉢で草を擦る。 図3 色水作り



カップの色水を「残したい」と4人が言ったので、机に置いて帰る。翌日、登園すると、

- A児 「色が薄くなっている」
 B児 「色が消えている」と発見。
 C児 「何で消えるの」
 T 「ほんとだ、昨日綺麗やったのに」
 D児 「今日もう一度作りたい」といろいろな色をつくる。この場所に置いて帰るのダメなんや」
 T 「なぜ」
 B児 「なんかわからんけど…」
 A児 「いいこと考えた。この色の入れ物に紙を指して帰ろうか」「そうやなー。色が移るかもなー」

4人は自分の作った色水にキッチンペーパーや和紙を入れて帰る。翌日、

- A児 「見て見て、色がついてる」
 T 「ほんとや。すごい」
 B児 「だけど、色が薄い。なぜ？」
 C児 「色が消えるんかなー」
 T 「ほんとやね。だけど残ったね。たくさん色が残る方法を考えようか」
 4人「実験しよう」と意気込む。
 9月から色を残すための方法をT(保育者)と一緒に考える。

「太陽にあてたらどうか」という子供の意見を取り上げ、瓶に色水を入れてしばらく太陽にあてる(太陽染めと名付けている)と、色がほんのりついたので、さらに濃くなるように1か月ぐらい太陽があたる場所に置いておくとか色が染まることを発見する。

② 行為が意味すること

○色を残したいという子供同士の思いや目的をもつことで追究したいという気持ちが生まれる

草花からいろいろな色が出ることに感動した子供たちは、色を残したいという思いが生まれた。どうしたら残せるのかと仲間て試行錯誤したことで、薄い色ではあるが残ることを発見する。仲間同士の意見の違いや工夫が刺激になる。

○一つの成功体験からさらに新しいことに興味が広がり、さらに追究したいと考える。

薄い色ではあるが残ったことから、自分たちでいろいろな方法を調べたり、考えたり、保育者からのアイディアを参考にしたりしながら探究心が豊かに広がっていくと言える。そ

のためには、成功体験が大切で、次の意欲や期待をもって予想しながら行動する力になると考える。

興味・疑問から課題解決に迫る。

成功体験が新たな追究を生み出す。仲間のさまざまな考えを生かし、予測する・比較する・振り返ることが必要。

課題意識をもつ

成功体験を生かす

仲間と共に振り返り、明日につなげる

4 ◆ 終わりに

乳幼児期における探究心は、元々もっている人間の本能であり、物に関わりながら、もっと知りたいという興味・関心や好奇心が原点にある。その力をさらに引き出し伸ばせるかという大人側の課題に直面するように思う。

3歳児から5歳児の発達を多くの事例研究から捉えると、子供自身の「おもしろい・なぜ・どうして…」という思いが行為となって表れていることに気づくのである。ただし、年齢が低い場合は、言語化できないため行為で伝えてくることが多い。その読み取りや行為の意味の理解ができないと遊びの意味が捉えられないのも現実である。小学校以降になると自分の考えを言葉で伝えることができるが、幼児教育に携わる保育者は、子供の行為をとときには共に体験しながら、子供の行為に共感する感覚や感性が必要とされる。筆者自身も幼児期の子供が、「毎日毎日繰り返して同じように見える行為をする」ことの意味を考えるようになり、その意味の奥深さを改めて感じている。人間は、生まれてから死に至るまで同じ行為を繰り返している。その繰り返しの中で、進化・発展を見出していると考え、幼児期の繰り返し行為の重大さに気づかされるのである。

事例にも挙げているように、ペットボトルに水を入れたり出したりを繰り返しながら、水があふれるという偶然の気づきが生まれるためには何が必要であろうか。大きさの違うペットボトルが準備されている。持ち手がついて、切り口に

ビニールテープが巻かれているなど安全で、扱いやすい物が準備されている。3歳児なので、近くから水が運べるようにタライに水が入っている。また、子供の気づきが生まれるような時間の保障がされているなど子供の発達年齢にに応じて探索・探究行動が生まれる環境や保育者の援助が必要であることは言うまでもない。

理数教育は、感じる力・考える力・試行錯誤する力・推測する力などが必要であると考え、幼児期にこの基本的な能力の基礎が培われると思う。今、社会環境や自然環境の変化の中で、昔のように自然に関わって自由に遊ぶ姿がほとんど見られなくなっている。気温の変化とともに、園の生活においても夏の外遊びができなくなってきたのが現状である。現状に目を向けながら、今まで以上に現場の保育者たちの発想の豊かさが求められる。

環境に関わる子供の姿に寄り添い、子供の感性に響き、行動の意味を読み取り、探究する過程を丁寧に捉え、探究心を育てる園の生活づくりが豊かになることを期待したい。 ◆

参考・引用文献

- ・田村学(2018)『深い学び』 東洋館出版社
- ・アクティブ・ラーニングの三つの視点を踏まえた幼児教育の学びの過程(5歳児後半の時期)のイメージ(文部科学省2016)
- ・日本教材文化研究財団(2022)「幼児期の深い学びの検討探究過程の分析」
- ・中井, 菅「一人一人の幼児がどのように探究を深めていくのかー遊びの深まりを捉えながらー」日本保育学会第76回大会発表論文集, 2023
- ・中井, 菅「一人一人の幼児がどのように探究を深めていくのか(Ⅱ)ー遊びの深まりを捉えながらー」日本保育学会第77回大会発表論文集, 2024
- ・中井, 菅「一人一人の幼児がどのように探究を深めていくのか(Ⅲ)ー遊びの深まりを捉えながらー」日本保育学会第78回大会発表論文集, 2025
- ・文部科学省(2017)幼稚園教育要領 フレーバル館

Ⅲ 幼児期にこそ大切にしたい身近な自然との関わり — 子供の傍らに居る大人の構え —

(株)自然教育研究センター 練馬区立中里郷土の森 自然解説員
公益社団法人 全国幼児教育研究協会 副理事長

新山 裕之 / あらやま ひろゆき

1961年長野県生まれ。1985年玉川大学大学院文学研究科教育学専攻修了。練馬区立北大泉幼稚園、港区立芝浦幼稚園、にじのはし幼稚園教諭。港区立赤羽幼稚園副園長、港区立にじのはし幼稚園、高輪幼稚園、青南幼稚園園長として勤務。自然や人との関わりを大切にしたい保育を続けたのち、2024年から現職。元全国国公立幼稚園・こども園長会会長。



1 ◆ 子供たちの自然体験の不足

近年の社会情勢や生活環境の変化に伴い、子供たちの健やかな成長にとって大切な、身近な自然や人との関わりが減少してきていることがずっと気になっていた。

そのような中、新型コロナウイルス感染症の蔓延で、外出が制限され、人との接触を避けざるを得ない状況が長く続いた。当時、幼稚園の園長をしていた私にとって、子供たちの育ちに欠かせない大切な経験を制限せざるを得ない期間は、悩ましい判断が続く日々だった。

自然体験の不足という点においては、コロナ禍が追い打ちをかけた。コロナ禍を経ると、日常生活におけるICT化が一気に進んだ。それによる成果がある反面、子供たちの直接体験の機会、特に自然との関わりは一層希薄になってきているように感じる。

国立青少年教育振興機構による「青少年の体験活動等に関する意識調査（令和4年度調査）～減少する体験活動、放課後や休日の過ごし方の実際～調査結果」によると、子供たちが自然と関わる体験が減少していると言われている。

実際に日頃目にする姿としても、例えば食に関して言えば、子供たちの目の前には、工場や店舗などで加工された食品が、スマホの操作ひとつで届くことが当たり前になっている。野菜がどう育ち、農家の人たちがどれほどてまひまを掛けているかを体験する機会は減っている。野菜が簡単には育たないことや自然に対する畏敬の念、それに関わる人たちに感謝する心などは、直接体験をしなければ生まれてくることは難しいと思う。

2 ◆ 子供たちの生活を豊かにする身近な自然との関わり

— てまひまを掛けてヨモギ団子を作る意味 —

私は、かつて海辺の幼稚園で8年間担任をしていた頃、海辺の草地に自生する「ヨモギ」を摘みに、毎年子供たちと出かけ、みんなでヨモギ団子を作っていた。ヨモギを摘み、園に戻ってきれいに選別して洗い、茹でて刻んですり鉢で擦って、白玉粉をこねてヨモギを混ぜて団子にし、大釜でお湯を沸かして茹でて食べた。さまざまな工程があり、数日掛けてそれぞれを実体験する中で、多くのことを直接学ぶ機会となっていた。この取り組みを年に2回ほど、毎年繰り返したことで、経験したさまざまなことが身に付いて、受け継がれていった。



図1 「柔らかい先っぽを摘むんだよね」「フワフワでいい匂いがするね」

ヨモギを探す場面では、子供たちは葉の形や匂いに注目し、「裏が白くて、フワフワしているんだよね」「ちょっといい匂いがするね」などという気づきを交わしながら、自然物を観察する力も育っていた。また、「こうやって摘むんだよ」と、年長児が年少児に教える姿は、何度か経験する中で、自分自身で摘んだ体験があるからこそ実感をもって伝わるものだった。完成

した団子を食べる場面では、「てまひまを掛けた」からこそその「自分たちで作った」という達成感と、忘れられない匂いや味をみんなと一緒に味わうことができた。来年も採れるように、抜くのではなく葉っぱの先を「摘む」ことなど、自然を大切にする構えを学んだり、食や生活文化を継承しながら子供どうしの関係性を育んだりする貴重な機会ともなっていた。身近な自然との関わりを自分たちの生活の一部に位置付けて、その地域が「心のふるさと」になるようにとの願いも込めた意義深い取り組みになっていた。

3 ◆ 自分自身の構えの土台は自然体験から

私は高校生まで信州で暮らし、小さい頃は近くの田んぼや小川でよく遊んでいた。家の周りには風呂焚き用の薪や木切れがあり、それらを使って遊ぶ時間も楽しんでいた。

両親は木曽の山間部の生まれで、春や秋の休日には、よく父母と一緒に山菜やきのこ狩りに出掛けていた。あるとき山に出掛けて弁当を食べようとしたときに、箸を忘れたことに気づいた父が、木の枝を鉋で切って削って箸を作ってくれた。そのようすは幼少期の鮮明な記憶として今も残っており、必要な物を身近にある物で作ったり、身近な自然物を細工したりすることがおもしろいと思うきっかけになっていた。

幼稚園の教員となって、日々の生活や幼稚園での保育をする中で、自然との関わりを大事にしたり、身近な物を工夫して使ったりしていた。自分にとっては当たり前のことだったが、振り返れば幼少期の体験や父からの影響が大きかった。自然の中で身に付いた生活の知恵であり、教師としての教育観の根底となるものが形成されていたとも言える。子供たちが遊びや生活の中で、自ら環境に働きかけ、身近なものを観察し、手を使って試行錯誤しながら意味付けていく過程を大切にする教師としての構えにつながったと思う。

4 ◆ 子供たちと一緒に作ったビオトープ

前述の海辺の幼稚園に異動した際、日常的に自然との関わりを豊かにしたいと思い、子供たちと一緒にビオトープを作った。園舎の横に、ちょうど池になりそうなサイズのコンクリートの施設があり、当時、そこに石や木炭、水草などを入れてビオ

トープ池を作った。当時、区の道路公園課が、ビオトープについて模索し始めていた時期と重なり、その方々に教えを乞うたりメダカや水草をいただいたりした。池にはトンボがやって来て卵を産み、羽化するようすを子供たちと見ることもできるようになった。その後、研究会を通して区内の他の幼稚園にも紹介し、ビオトープ作りは徐々に広まり、幼稚園で自然との関わりを深めていくきっかけになった。



図2 木炭や石、メダカや水草などを入れて子供たちとビオトープ池を作った

5 ◆ 生き物との関わりから直接学ぶこと

最後に園長を務めた幼稚園にもビオトープ池があり、ある年、年長児がそこで見つけたヤゴを飼って育てた。それは大きくて立派なギンヤンマのヤゴで、子供や担任はもちろん私を含めた周りの大人も、そのヤゴが羽化してトンボになるようすを見たいと思っていた。しかし、子供や担任はヤゴを飼うためには生き餌を与えなければならないことに気づき悩んでいた。池にいるオタマジャクシを餌にしようという意見があったが、卵から孵って生長してきたようすも見てきており、それをエサとして与えるかどうかを含めて、みんなで意見を交わし合っても、なかなか結論が出せずにいた。

残念ながら、羽化する前にヤゴは死んでしまったのだが、ヤゴもオタマジャクシも子供たちにとって身近で大切な命であった。この間、さまざまなことを調べたり、試したり、異なる意見を交わし合ったりした経験は、子供たちはもちろん、担任や教師集団にとっても、知的な面でも心の育ちの面でも、貴重で大きな学びの機会となった。

幼児期には、このような心を動かされるような直接体験が重要である。図鑑を見て得た知識ではなく、直接体験を通して得たリアルな経験や感情体験がきっかけとなり、疑問に思ったことを自ら探究しようとする学びへとつながっていく。自然に対す

る畏敬の念を兼ね備えた、遊びや生活、学びに対する構えの土台になっていくもの考える。

6 ◆「みちくさ いたずら こどものじかん」に込めた思い

あのコロナ禍の中、子供たちが幼稚園に通えず、外出すら制限された時期があった。そのとき、私は身近な自然が移り変わるようすと子供たちの育ちのようすを絡めたコラムを書くことにした。「二十四節気」をさらに3分割した「七十二候」に合わせ、1年間、A4一枚のコラムを72号発行し、ホームページや保護者向けアプリで配信した。



図3 みちくさ いたずら こどものじかん その17 菖蒲華

近年の社会は、早くから子供に成果や効率を求める傾向がある。しかし、子供時代は「安心して挑戦して、遊びや生活を通して育つ」ことが何より大切である。そこで、コラムのタイトルは、子供が子供らしくいられる時間を大切にしたいと願って「みちくさ いたずら こどものじかん」とした。

折々の身近な自然のようすと子供たちが遊びや生活の中で、自然と関わるようすや試行錯誤する姿を写真とともに記していた。身近なところに自然があり、季節の移ろいとともに子供たちがさまざまな経験を通して育っていることを伝えたかったのである。そのことを子供の傍らにいる多くの大人に向けて伝えたいと思って発信を続けた。

7 ◆「センス・オブ・ワンダー」を育む大人の構え

レイチェル・カーソンは、『センス・オブ・ワンダー』（上遠恵子訳 森本二太郎写真 新潮社）の中で、次のように記している。

「妖精の力にたよらないで、生まれつきそなわっている子どもの「センス・オブ・ワンダー」をいつも新鮮にたもちつづけるためには、わたしたちが住んでいる世界のよろこび、感激、神秘などを子どもといっしょに再発見し、感動を分かち合ってくれる大人が、すくなくともひとり、そばにいます。」

この言葉が示すように、自然との関わりにおいて重要なのは、子供と自然の間に立つ大人の姿勢や構えである。

園長時代、地域に出掛ける際には、それを「〇〇探検隊」と称して、子供たちと一緒に出掛け、そこで出合う自然との橋渡しをしていた。



図4 地域に出掛ける際は探検隊の隊長として一緒に出掛けていた

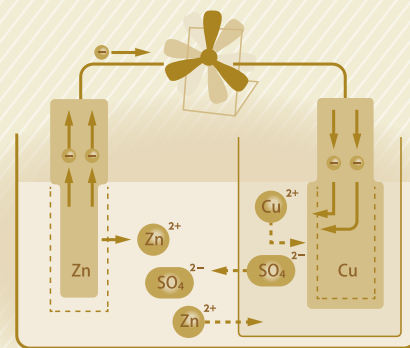
現在は、幼稚園現場を離れ、小さな自然体験施設で自然解説員として勤務している。小学生や未就学児親子などの来園者に自然物を使った遊びを紹介したり、自然との関わりの橋渡しをしたりしている。

親子で来園する方は、大人も少なからず自然に関心をもっている場合が多く、「こんな虫もいるのですね」「身近にこの施設があってよかったです」と子供と一緒に楽しんでくれている。私自身、自然解説員としては知識も経験も浅く、自然の奥深さと未知との出会いのおもしろさを実感する日々である。「すごいね」「一緒に調べてみよう」という構えで傍に居ると、子供は安心して自然と関わろうとする。

子供たちの「センス・オブ・ワンダー＝神秘さや不思議さに目を見はる感性」を育むためには、大人自身の自然との向き合い方が何より大切である。自分自身の構えを振り返りつつ、そのことを改めて強く感じる日々である。



【第8回】

電気エネルギーから
化学エネルギーへ
ー二次電池について

東京学芸大学 名誉教授／国際基督教大学 客員教授
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にも取り組んできた。

はじめに

今回は電気分解について解説しました。電気分解とは、外部から電気エネルギーを与えて化学エネルギーに変換すること、すなわち電池とは逆のプロセスです。この説明を読んで、「それなら、電池の充電も電気分解なの?」と感じた方もいるのではないのでしょうか? その通りです! 充電とは、電池の放電とは逆向きに電流を流し、エネルギーを蓄えるプロセスなので、やっていることはまさに電気分解です。ふつう充電を「電気分解」と呼ぶことはありませんが、電池の充電は、電気分解そのものです。今回は、どのような電池が繰り返し充電して使えるのか、具体的な例を挙げながら、その仕組みと特徴を解説します。

二次電池に求められること

繰り返し使える電池は二次電池と呼ばれ、スマートフォンや電気自動車など、私たちの身の回りのいろいろなところで活躍しています。二次電池として機能するためには、いくつかの重要な条件があります。

まず第一に、その電池の電極が「可逆的」であることが求められます。これは、電極に流す電流の方向を逆にすると、化学反応も逆方向にスムーズに進み、元の状態に戻れることを意味します。以前紹介したダニエル電池も、可逆な電極系を持っていますし、ある程度の充電は可能です。しかし、充電時の電流を大きくすると、負極の亜鉛から水素ガスが発生しや

すくなり、電池を完全に放電前の状態に戻るのが難しくなります。また、ダニエル電池では、正極と負極の電解液が素焼き板などを介して直接接触しているため、この部分でのイオンの動きの中には電流と無関係なものも含まれています。このような理由から、ダニエル電池は実用的な二次電池とは呼べないのです。それでは、現在市販されている二次電池はどのような構造になっているのでしょうか? ここでは、身近にある比較的小規模な電池を中心に紹介します。

鉛蓄電池

私たちの生活に古くから深く根付いている代表的な二次電池といえば、鉛蓄電池です。すでに100年以上にわたる実用電池としての歴史があり、高い信頼性を有しています。現在の車載用バッテリーの代表的な構造を図1に示します。

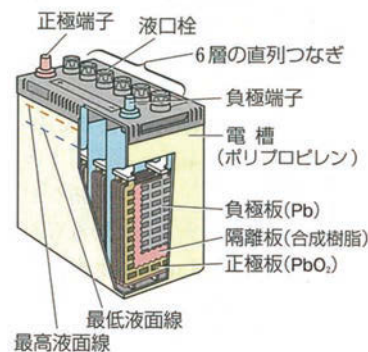


図1 鉛バッテリーの構造

この電池の正極・負極の反応は、次の通りで、これにより、約2Vの電圧が得られます。

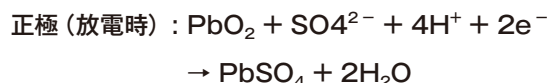
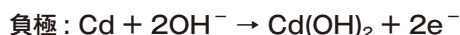
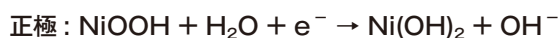


図1に示したようなタイプの鉛蓄電池では、このような2Vの電池（セル）が6枚直列に接続され、全体で12Vの出力電圧を確保しています。

電気自動車（EV）用の主要電源としてはリチウムイオン電池が有名ですが、実は最先端のEVやハイブリッドカーにも、鉛蓄電池は使われ続けています。一般に、駆動用のモーター以外の電装品（ライト、カーナビ、パワーウインドウなど）の電力は、鉛バッテリーから供給されていることがほとんどです。鉛蓄電池には「重い」という大きな短所がありますが、それにもかかわらず、最先端の車に採用され続けているのは、その高い性能と信頼性、そしてコストパフォーマンスが評価されているからと言えるでしょう。

ニカド電池（ニッケルカドミウム電池）

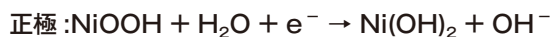
鉛蓄電池よりも軽量でコンパクトな蓄電池として、一時期広く使われていたのがニカド電池です。その名の通り、ニッケルとカドミウムが電極材料として使用されており、放電時の反応は以下の通りです。



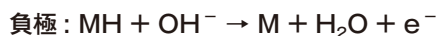
ニカド電池の電圧は約1.2Vで、小型のポータブル機器に組み込まれて使用されただけでなく、単3型などの乾電池サイズのものが、アルカリ乾電池の代わりに使用されることもよくありました。しかし、このニカド電池には大きな問題がありました。それは、負極材料であるカドミウムが有害な重金属であることです。環境規制の強化に伴い、今ではそのほとんどが次に述べるニッケル水素電池に置き換わり、現在、一般の店頭でニカド電池を見かけることはまずありません。

ニッケル水素電池

ニカド電池の課題を解決する形で登場したのが、ニッケル水素電池です。現在市販されている単3型の二次電池は、そのほとんどがニッケル水素電池であり、ポータブルラジオや懐中電灯など、多くの身近な機器で活躍しています。この電池の放電時の電極反応は次の通りです。



（ニカド電池と同じ）



ここでMは水素吸蔵合金を表し、MHは水素原子が金属に

吸蔵された状態を表しています。

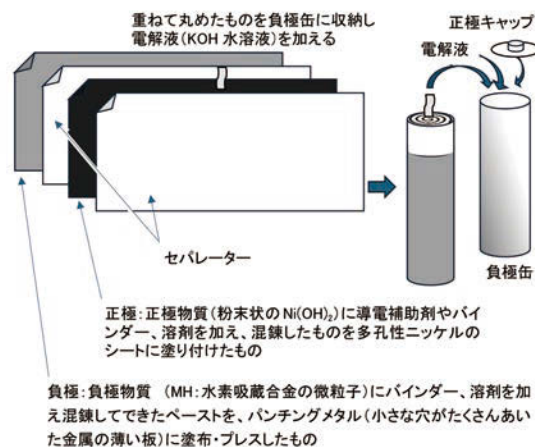


図2 ニッケル水素電池の構造

「気体の水素が金属中に吸蔵（溶解）される」と言われても、金属がそんなに大量の水素を吸蔵できるのか疑問に感じるかもしれませんね。しかし驚くべきことに、水素吸蔵合金は体積比で金属の1000倍程度の量の水素を吸蔵することができます。例えば、単3型のニッケル水素電池の容量は大きいもので約2500mAh（約9000クーロン）程度なので、これから逆算すると、あの小さな電池の中には1リットルを超える水素が閉じ込められていることになります。このように、ニッケル水素電池には見かけ以上の水素が含まれていて、その放電容量は、ニカド電池のおよそ2倍程度になります。

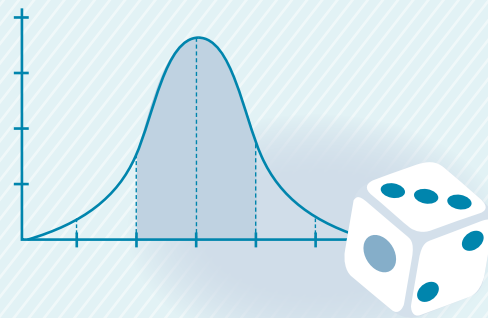
ニッケル水素電池は単3型乾電池の代替品以外にも、かつてはノートパソコンの電源や、ハイブリッドカーの主電源（駆動用バッテリー）としても広く使用されてきました。しかし、エネルギー密度がさらに高いリチウムイオン電池の登場後は、多くの用途でその座をリチウムイオン電池に譲ることになりました。ただし、リチウムイオン電池は端子間電圧が約3Vと高いため、1.5V系で動作する単3型などの乾電池互換品については、現在でもニッケル水素電池が主流です。

リチウムイオン電池

現在、スマートフォンや電気自動車の主バッテリーとして活躍しているのがリチウムイオン電池です。リチウムは標準電極電位が非常に低く（イオンになりやすく）、かつ軽い物質なので、これを利用することで、出力電圧が高く、軽量の電池を作ることができます。

実際のリチウムイオン電池の電極の働きを図3に示します。放電時に各電極では次の反応が起こっています。

【第9回】

ランダム・ウォークと破産問題
—マルコフ連鎖入門—

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、筑波大学社会工学系助教授、エール大学フルブライト研究員、東京大学教養学部・大学院総合文化研究科教授、同新領域創成科学研究科教授、上智大学外国語学部教授、聖学院大学大学院政治政策学研究科教授を歴任。著書には東大教養部統計学教室（編・著）『統計学入門』（東京大学出版会）、『わかりやすい統計学：データサイエンス基礎』（丸善）、『社会を読み解く数理トレーニング』（ペレ出版）、『計量社会科学』（東京大学出版会）、『意思決定の基礎』（朝倉書店）、『ゲームとしての社会戦略』（丸善）、『入門確率過程』（東京図書）、『入門ベイズ統計』（創元社）、『はじめよう！統計学超入門』（技術評論社）、『ベイズの誓い—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。

確率過程とマルコフ連鎖

「確率過程」も「マルコフ連鎖」も聞いたことがあるでしょうか。「確率過程」は確率論の一分野で、ランダムな変数（「確率変数」と言います）の列

$$X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots$$

を言います。要するに、数列ですが、ふつうの「数」でなくランダムな数です。さいころを投げ続けるイメージとか、毎日毎日の交通事故件数とか、あるいは株価などがほんの一例になりますが、例はそれこそ無限にあります。「マルコフ連鎖」は確率過程の特別に重要な例です。これだけ聞いても、何のことかわからないでしょうから、ここでは一般論はやめます。その代り、マルコフ連鎖のよく知られた例として「ランダム・ウォーク」を取り上げ、その中で、（前後しますが）マルコフ連鎖の定義をするほうが、イメージがつかみやすいでしょう。

ランダム・ウォーク

わかりやすい例を挙げましょう。コインを投げ続けるものとし、表を1、裏を-1（それぞれ確率 p 、 $1-p$ ）として、 ± 1 の系列

$$-1, 1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, -1, \dots$$

を得たとし、順次最初から加えると（開始=0とします）、

$$0, -1, 0, -1, -2, -3, -2, -1, 0, -1, \dots$$

となります。この作り方の結果を、一般に

$$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, \dots \quad (S_1=0)$$

として、「ランダム・ウォーク」(Random Walk)^{*1}と言います。

確率論では、式として、番号（時点） n で

$$S_n = \begin{cases} S_{n-1} + 1 & (\text{確率 } p \text{ で}) \\ S_{n-1} - 1 & (\text{確率 } 1-p \text{ で}) \end{cases}$$

あるいは、条件付き確率の記号（|）で、この変化を

$$P(S_n = k+1 | S_{n-1} = k) = p, \quad P(S_n = k-1 | S_{n-1} = k) = 1-p$$

と表すことができます。 S_n の関係が重要で、 S_{n-1} （だけ）から S_n の出方の確率が決まるということです。次に続きます。

「マルコフ連鎖」の定義 一般に、確率過程

$$X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots$$

で、 x_{n-1} だけから x_n の出方の確率が条件付き確率

$$P(X_n = y \mid X_{n-1} = x)$$

として決まる（それ以前の状態は影響しない）なら「マルコフ連鎖」と言います。ここで x, y は整数です。先に述べたランダム・ウォークは確かにマルコフ連鎖になっています。実際、 $x = k$ で、 $y = k+1, k-1$ の2とおりあり、 $k \rightarrow k+1, k-1$ と条件付き確率で「ジャンプ」しますが、 k という状態に至るまでどんな経路をたどったかは関係ありません。（図1）。

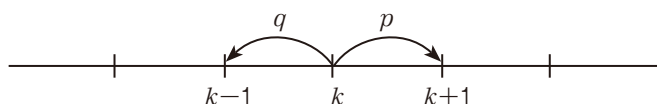


図1 ランダム・ウォークのジャンプの仕方

この定義が数学的扱いを著しく簡単にし (p だけで決まる), 応用の幅を広くしてくれます。「マルコフ連鎖^{*2}」は確率論の中で大きな部分を占め、ランダム・ウォークの例でもわかるように、広く物理 (粒子の運動や熱)、化学 (液体・気体の拡散)、生物 (遺伝子の確率論) の分野に数理モデルとして入っています。経済、経営のような社会現象の分析や政策科学にも広い応用があります。その理論の仕組みをここで説明することはできません。マルコフ連鎖の定義だけにとどめます。

ランダム・ウォークの確率計算

ランダム・ウォークについては計算や応用の独特の面白さがあるので、計算課題を取り上げてみましょう。

課題 $p = \frac{2}{3}$ として、 S_4 のすべての値の確率を求めなさい。

解 S_4 は最大 4、最小 -4 のほか 0、さらに ± 2 が可能、かつ奇数はあり得ません。以下、 $q = 1 - p$ と表すこととします。一般に、確率 $P(S_n = x)$ を計算します。 $+1$ の個数、 -1 の個数をそれぞれ e, f とおくと、 $n = e + f$, $x = e - f$ から

$$e = \frac{n+x}{2}, \quad f = \frac{n-x}{2}$$

なので、 $+1$ が e 回、 -1 が f 回出る確率は、 p の e 乗、 q の f 乗、そして $+1$ が e 回出る組み合わせ数 (nCe) をかけ合わせたものになります (二項分布)。

$$P(S_n = x) = \begin{cases} nCe p^e (1-p)^f & (n = e + f: e, f \text{ は非負整数}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases}$$

$n = 4$ の場合、確率および $p = \frac{2}{3}$ のときの値は次の通りです。

(e, f)	(0, 4)	(1, 3)	(2, 2)	(3, 1)	(4, 0)
S_4	-4	-2	0	2	4
確率	q^4	$4pq^3$	$6p^2q^2$	$4p^3q$	p^4
確率 ($p = \frac{2}{3}$)	$\frac{1}{81}$	$\frac{8}{81}$	$\frac{24}{81}$	$\frac{32}{81}$	$\frac{16}{81}$

$+1$ の確率が -1 の 2 倍あるため、4 回の試行の合計 (S_4) は、平均的に正の値になりやすく、右方向に進む傾向が見られます。確かに、期待値

$$\begin{aligned} & (-4) \cdot \left(\frac{1}{81}\right) + (-2) \cdot \left(\frac{8}{81}\right) + 0 \cdot \left(\frac{24}{81}\right) + 2 \cdot \left(\frac{32}{81}\right) \\ & + 4 \cdot \left(\frac{16}{81}\right) = \frac{4}{3} \end{aligned}$$

もプラスです。ただし、4 回とも $+1$ になる ($S_4 = 4$) のは珍しく、その確率は低くなります。また S_4 が負になることもあります、これも稀です。つまり、 S_4 の確率分布は中央付近が高く、両端が低い形になり、正規分布に似た傾向が見られます (図2)。試行回数が 10 回、20 回と増えると、この傾向はさらに明確になりますが、これまでのような手計算では対応しきれなくなります。

ランダム・ウォーク S_4 の確率分布

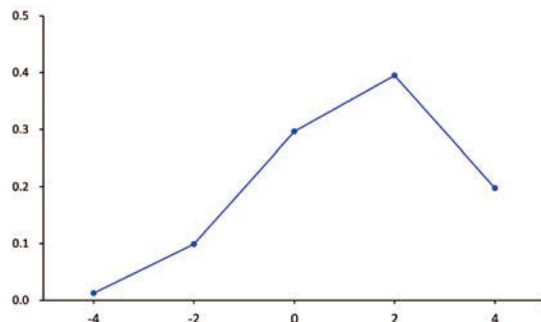


図2 ランダム・ウォーク S_4 の確率分布

期待値、分散および中心極限定理 まず期待値 $\frac{4}{3}$ は、 $n(p - q)$ ($n = 4$, $p = \frac{2}{3}$, $q = \frac{1}{3}$) で出ます。これは 1 回の試行での期待値が $p \times (+1) + q \times (-1) = p - q$ となるため、 n 回の和 S_n の期待値は、一般に

$$E(S_n) = n(p - q)$$

となるからです。さらに分散は、簡単な演算から

$$V(S_n) = 4npq$$

となります、しかも n が大きいときは、確率分布はほぼ正規分布

$$N(n(p - q), 4npq)$$

となります (この現象は「中心極限定理」と呼ばれています。ここでは証明は省略します)。

課題 (粒子の拡散) 0 から出発した粒子が一分毎に確率的に ± 1 ずつ動くとして、1.5 時間後の位置 S_{90} はどうなるか、その確率分布を求めなさい、また、50 以上の位置に見いだされる確率を求めなさい。 $+1$ の確率は $p = \frac{2}{3}$ とする。

解 本文最後にあります。

破産問題

ランダム・ウォークの応用として、確率論で昔から有名なギャンブラーの「破産問題」 (gambler's ruin) を紹介します。

はじめに初期財産 y をもっているギャンブラー A が財産 $M - y$ をもっているギャンブラー B と合計 M を賭けます。勝負は ± 1 単位で、確率は $+1$ は p 、 -1 は $1 - p (= q)$ と

します。要するに0とMの間を y からスタートしてランダム・ウォークが動き回ります。Aにとって運よくMまで達すれば完勝、運悪く0に達すれば負け（破産）です。

破産の確率は y , M , p の関数ですが、とりわけスタートの初期財産の額 y によります。ここではAの破産の確率 Q_y を求めます。破産へは、まず

$$y \rightarrow y+1 \rightarrow \text{破産}, y \rightarrow y-1 \rightarrow \text{破産}$$

の2経路に分かれ、 $y \rightarrow y \pm 1$ は確率 p , q で起こるので、

$$Q_y = pQ_{y+1} + qQ_{y-1}$$

と分解されます*3。これを解けばよいわけです。

解法 高校数学では階差数列を2回とればよいのですが、複雑ですので、一般的に差分方程式（定差方程式）の解法によります。いま解を $Q_y = a^y$ と仮定して代入すると、結果的に2次方程式

$$pa^2 - a + q = 0 \quad (\#)$$

が得られます。この解は実解で、 $p+q=1$ を考慮して

$a=1$, $\frac{q}{p}$ となります。したがって Q_y の解は

$$Q_y = 1 \text{ および } \left(\frac{q}{p}\right)^y$$

となるのですが、これを組み合わせた

$$Q_y = a + b\left(\frac{q}{p}\right)^y$$

が一般的な解です。破産問題に合うように a , b を決めなくてはなりません。初期財産 $y=0$, M の場合、それぞれ、

$Q_0 = 1$ (破産状態で決まり), $Q_M = 0$ (破産はもうない)のはずです。代入して a , b を定めると、少々面倒ですが、

$$a = \frac{\left(\frac{q}{p}\right)^M}{\left(\frac{q}{p}\right)^M - 1}, \quad b = \frac{1}{\left(\frac{q}{p}\right)^M - 1}$$

となり、最終的に破産の確率 Q_y は

$$Q_y = \frac{\left(\frac{q}{p}\right)^y - \left(\frac{q}{p}\right)^M}{1 - \left(\frac{q}{p}\right)^M}$$

と得られました。

なお、この結果は特別の $p=q$ の場合は通用しません。このとき2次方程式(＃)は重解 $a=1$ をもち、 Q_y の解は $Q_y = 1$ および $Q_y = y$ 、一般には $Q_y = a + by$ となります。同様に、 a , b を定めれば、

$$Q_y = 1 - \left(\frac{y}{M}\right)$$

を得ます。つまり、A, Bの初期財産の比だけから破産の確率が決まるのです。

数値計算 安全な位置 y からでも、少しでも分の悪い ± 1 の確率なら破産が起こることを確率 Q から見ましょう。

$$(a) \quad p=0.45, q=0.55; M=10, y=9 \text{ のとき}, Q=0.210$$

$$(b) \quad p=0.45, q=0.55; M=100, y=90 \text{ のとき}, Q=0.866$$

$$(c) \quad p=0.45, q=0.55; M=100, y=99 \text{ のとき}, Q=0.182$$

(a), (c)においては、あと一歩で「逃げ切り」に成功し、破産のリスクは小さくなりますが、(b)ではまだ勝利まで10歩を残し、途中で徐々に負けが込み、ついに破産するのです。

さらに確率が分の悪いケースで、

$$(d) \quad p=0.4, q=0.6; M=100, y=90 \text{ のとき}, Q=0.983$$

$$(e) \quad p=0.4, q=0.6; M=100, y=99 \text{ のとき}, Q=0.333$$

なら、それぞれ (b), (c) と比べて破産の危険は増えています。

最後に $p=q=0.5$ で、 $M=10,000$, $y=9,000$ ならわかりやすく、式から $Q=0.2$ で、一応安心です。

なお、いずれの場合も、破産しない場合は、ギャンブラーはMに達し勝利します。言い換えれば、破産、勝利以外（永遠に決定しない）は起こらず、必ずゲームはいつか終わります。ここでは挙げませんが、ゲームが終わるまでの時間の期待値Dの式もあり、最後に挙げた $p=q=0.5$, $M=10,000$, $y=9,000$ では $D=16,000,000$ で途方もなく大きくなります。

課題（粒子の拡散）の解

公式から、 $E(S_{90})=30$, $V(S_{90})=80$ となり、 S_{90} の確率分布も正規分布 $N(30, 80)$ と求められます。 $S_{90} \geq 50$ の確率を正規分布表（EXCEL関数）から求めるために、以下、標準化して標準正規分布 $N(0, 1)$ を参照します。

平均を0にするために30を引き、分散を1に（標準偏差を1に）するために $\sqrt{80}$ で割って、変換後の $\frac{S_{90}-30}{\sqrt{80}}$ を $N(0, 1)$ で読みます。目的の不等式 $S_{90} \geq 50$ も

$$\frac{S_{90}-30}{\sqrt{80}} \geq \frac{50-30}{\sqrt{80}} = 2.236$$

と変換され、この値をEXCEL関数のNORM.S.DIST (TRUEを指定) で読めば0.987を得て、最終的に0.013を答えとします。以上は正規分布の標準的扱いです。

第10回予定 決定木で確率を計算する



脚注

*1 「ランダムな歩き方」の例えです。

*2 連鎖chainは、ジャンプ0, -1, 0, -1, -2, -3, -2, -1, 0, -1, ... が鎖のように連なっていることを表します。

*3 計算自体は特別に難しいものではありません。高校数学に書き直せば $a_n = pa_{n+1} + qa_{n-1}$ となります。

参考文献

松原望, 山中卓, 小船幹生『入門 確率過程』(改訂版) 東京図書

【第9回】

原子核

(ニュークリアス nucleus)

あらゆる用語はその定義よりは多少不完全なものである。それにもかかわらず正確な定義は科学的堅実性の最初の徴候であり、成就した進歩の最良の尺度である。

オーギュスト・コント (1798～1857)
『実証哲学』第2巻第35章
(原著1830～1842)より



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100分の97を達成。

原子内部に微小な負の帯電粒子(電子, エレクトロン)が存在することがトムソンの実験から確かなものになると、正の帯電粒子がどのように存在しているのか、原子の構造の研究へと進みました。X線や放射線の発見からも、原子の構造の解明が求められました。このとき、大別すれば、正負の帯電粒子が原子の内部に均等に散在しているという模型と正負の帯電粒子が原子の中心部と周囲に分かれて存在しているという模型になります。

この2つの模型に対して、後者が正しいことを実験で決着を付けたのは、イギリスのラザフォードでした。年表では1911年原子核の発見とあります。今回は原子の核という用語の成り立ちを取り上げます。

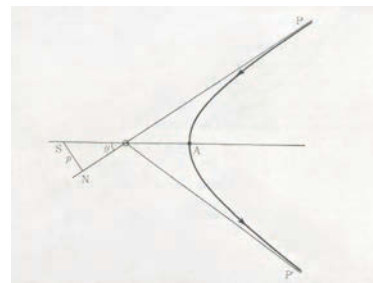
nucleusの語のないラザフォードの1911年論文

問題のラザフォードの1911年論文は「物質による α 粒子と β 粒子の散乱と原子の構造」と題されています。放射線研究で自ら発見し命名した α 粒子と β 粒子を物質に当てたときの散乱現象と、それによる原子の構造を究明しようとすることは題名からもわかりますが、nucleusという語は一度

も使用されていません。

この論文は実験結果の報告ではなく、クーロン力による散乱を扱った数理の論文なのです。

今日でもよく用いられる散乱図が載っています。中心に電荷があって、その周りの球全体に一樣に逆の電荷が取り囲んでいる原子を考えています。この



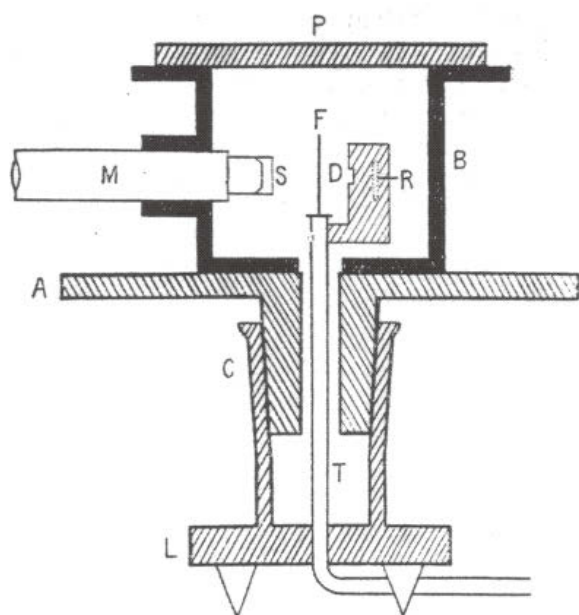
クーロン力による中心電荷からの帯電粒子の散乱図

(1911)

点Pから中心部目掛けて進んできた帯電粒子は点Aまで最接近し、点P'のほうへと去っていく。

ラザフォードの論文(1911)より

ときあるエネルギーを持った α 粒子を中心目掛けて当てると α 粒子はどのように散乱し、中心にどこまで到達するか、これを解明したのがラザフォード散乱の論文です。その実験的なことは1906年から彼の弟子ガイガーとマースデンが彼の指示のもと開始していました。 α 粒子を金属箔に当てる同様な散乱実験です。1909年には、ほとんどの α 粒子は素通りするが、ごくまれに90度も向きを変えるものや中には、元の向きに跳ね返ってくるものがあることを見つけていたのです。「これは、私の生涯で起きた事件のなかで、もっとも



金箔に α 粒子を放射したときの散乱実験装置（1909）

右側のラジウム源Rより放射された α 粒子を薄い金箔Fに当てる。箔を通り抜けた α 粒子は蛍光性のスクリーンSに当たると発光する。これを顕微鏡Mで観察する。顕微鏡Mは容器BとともにTFを軸として回転できる。金属箔に当たった α 粒子はほとんど通過したが、ごくまれに大きく向きを変えたり、中には元の向きに跳ね返ってくるものがあった（2万回に1回程度）。ガイガーとマースデンの論文（1913）より

信じられないものだった。もし、皆さんが、一枚のティッシュペーパー目掛けて15インチ砲弾を打ち込んだところ、それが跳ね返ってきて皆さんに当たったとしたら、それを信じられるだろうか。」とのラザフォードの回想の言葉はあまりに有名です。

原子内には正負の電荷が多数あるはずなので、何回もの衝突（多重散乱）を繰り返しながら向きを変えるものと考えられていたのです。数学に堪能でなかったラザフォードは確率論を学び、大きく向きを変える散乱は、中心に集中した電荷とのただ1回の衝突（単一散乱）の場合にのみ可能であることを論文の冒頭で前提として述べています。

論文全体通して、彼は中心電荷（central charge）という語を頻繁に使っています。「1点に凝縮した中心電荷」という字句も見えます。末尾の考察では、こう述べています。

「原子は非常に小さな体積内に配置されている中心電荷を持っていて、大きな単一散乱は、中心電荷の構成単位それぞれによるのではなく、全部を一つにまとめた中心電荷によって起こると仮定するのがもっとも賢明であろう。」

ただ、中心電荷が正か負かについての結論は保留にして、こう述べています。

「理論からの結論は、中心電荷の符号はどちらでもいいわけであり、それが正であるのか負であるのかを決定するに足る確定的な論拠を得ることが可能だとは今のところ考えられない。」

衝突させた α 粒子が中心電荷にもっとも近づく中心からの距離については、ある実験値を用いて、前段で原子半径 10^{-8} cmに対して、 3.4×10^{-12} cmなどと記述しています。

いずれにしても用語という面から見ると、nucleusという語はどこにも用いられていないことは注目しておきたいです。電気的なクーロン力による散乱を考えるのですから、質量まで考える必要はないにしても、中心電荷をもっと一般化した具体的な核という概念にまで到達しているように見えません。

ボーアの1913年論文とnucleus

原子は、電荷がその中心に凝集しているというラザフォードの原子模型に注目したのはデンマークのボーアでした。1913年に発表された「原子および分子の構造について」と題する論文は、中心電荷を正電荷とし、その周囲をクーロン力により電子が回転している模型を考え、振動数条件、量子条件という先駆的な条件を導入し、原子から放射する光のスペクトルを定量的に説明することに成功した画期的論文でした。

この論文も著名なのですが、論文冒頭から、nucleusが当たり前のごとく出てきます。ラザフォードの理論によれば「原子には正電荷を帯びたnucleusがあり、その引力によって引き付けられている一群の電子がそのまわりを取り巻いている」と述べ、以下お馴染みの理論を展開しています。

論文には、原子の中心部をnucleusと呼ぶというような改まった提案や注の記述はありません。より新しい概念を表す語、例えば、定常軌道（statinary orbit）と定常状態（statinary state）、原子振動子（atomic vibrater）、量子（quata）などが重要で、原子の中心部の名称などはささいなことかもしれませんが。というより、原子の中心部の適切な名称は必要であるに違いなく、nucleusという語がすでに使われ始めいたのかもしれませんが。

nucleusの語の由来と先行使用例

そもそも、nucleusという語はどんな意味を持つのでしょ

うか。辞典によると、ラテン語の nucleus に由来し「小さな木の実」を意味するといわれています。時代とともに、中心部分、芯、核心のような意味を持つようになったようです。天文分野で 1784 年ハーシェルが彗星の核などで使用していました。生物での細胞核、気象での凝結核など、ほか音声中の母音、また母音的要素などにも、この語が使われるとあります。

物理分野に限ってみると、古くは 1844 年にファラデーや 1851 年にランキンが原子論とのかかわりで原子の中心程度の意味合いでこの語を使用していました。1903 年にロッジは、その大きさまで踏み込んでこんな記述をしています。

「物質の単原子 1 個に付随する電荷を、直径が原子の 10 万分の 1 の大きさの spherical nucleus (球状の核) に集中させると、その質量は、現在知られている最も軽い原子の約 1000 分の 1 になる。」

先の 1913 年のボーア論文に影響を与えたニコルソンも 1912 年論文で nucleus の語を使用していました。ボーアはこの論文で先行研究として、ニコルソンの研究をあげ、「原子は非常に小さな正電荷を帯びた nucleus と…」などと記述しています。

ふたたびラザフォードとnucleus

ラザフォードも 1912 年論文では、中心電荷 (central charge) の語を nucleus に言い換えて、こんなふうにも述べています。

「原子は、高速で運動している電子の配列、おそらく一平面で回転する電子のリングによって囲まれた、たいへん小さな容積の正に帯電した nucleus から構成される。」

つづいて、「原子の崩壊に導く原子の不安定性は、2つの原因、central nucleus (中心核) の不安定性と電子配列のそれとによると考えるのが都合よいであろう」とも述べています。ただこの語を使用する理由には言及していません。

翌 1913 年刊行された著書『放射性物質とその放射線』でも、central charge という語を使い続け、nucleus という語は一度しか使っていないといえます。弟子のアンドレードは「ラザフォードは自分の仕事を画期的な革新であるとは思っていなかったようである」と回想しています。

1914 年論文は「原子の構造」と題し示唆に富む論文です。

前年のボーアの論文の影響を受けたのか、再度、nucleus の語を用いて、nucleus の大きさ、質量、電荷を総合的に評価しています。nucleus の大きさについて、金では $3 \times 10^{-12} \text{cm}$ 以下、水素とヘリウムの核半径の和は $1.7 \times 10^{-13} \text{cm}$ 以下とし、水素の原子核がこれよりさらに小さいというのもありえないことではないと述べています。水素の原子核は、電子の 1830 倍、原子核の電荷については、 A を原子量、 e を電気素量として、 $\frac{eA}{2}$ で与えられるとしています。nucleus theory (核理論) という語も出ています。放射線の α 粒子は原子核から、 β 粒子も原子核に基因すると推測しながらも、今後に期待を寄せています。

「原子の核理論がもっとはっきりと確かめられるまでは、原子核自身の構造をあれこれと論ずるのは時期尚早であろう。重い原子核は、その大きさは非常に小さいのであるが、さわめて複雑な系であろうということが、一般論からいえる。」

原子の中心部分は、放射線が出てくる根源なので、それ相応の名称を付けておくということといえます。

まとめ

原子核は通常 1911 年、ラザフォードの発見とされ、確かに正当な評価ですが、用語という面から見ると、この論文では核という語を使っておらず、中心電荷という語を使っているのです。

核という語が当たり前の語として広く使われる契機となったのは、2年後のボーアの 1913 年論文であるといえます。それだけこの論文の影響は大きかったのです。それ以前にもこの語は使われてはいましたが、原子の中心部分を意味する実体用語として定着したのは 1910 年代の半ばといえます。自ずと関係者の間に広がり、名称決定のための公的会合を開く必要もなかったようです。



文献案内

- 物理学史研究刊行会編『物理学古典論文叢書』第9巻,第10巻 (東海大学出版会)。
- The Collected Papers of Lord Rutherford of Nelson, Vol. I, George Allen and Unwin Ltd.
- ワインバーグ著、本間三郎訳『電子と原子核の発見』 (日経サイエンス社)。
- 辻哲夫ほか著『現代物理学の形成』(東海大学出版会)。

「そいやっさ~!」の声に込めて

横浜国立大学名誉教授

根上 生也 / ねがみ せいや

1957年 東京生まれ。東京工業大学理学部数学科卒、理学博士。1988年に横浜国立大学に着任して以後、同大学大学院環境情報研究院長・学府長、教育広報担当副学長、先進実践学環初代学環長を務め、2022年に定年退職を迎える。位相幾何学的グラフ理論のパイオニアとして知られる数学者として先駆的な研究を続ける一方、新たな数学教育の在り方を模索し、小学校算数・中学校数学や高校数学『数学活用』の教科書（啓林館）の編纂に関わっている。Rimse主催「算数・数学の自由研究」作品コンクール、科学の甲子園、日本数学検定協会などにも尽力している。著書多数。

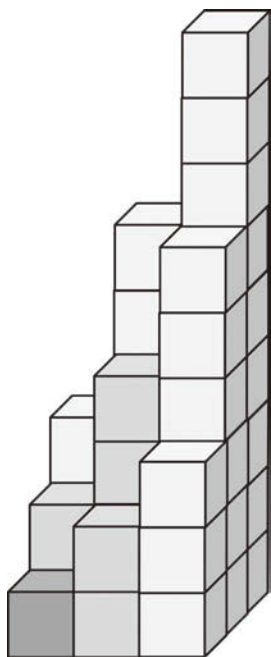


▶ 1 九九の積み木

おそらく30年以上前のこと、今となっては昔すぎて、いつだったのか、どこのことだったのか、明確に思い出すことができないが、清水静海先生の話聞いて、なんとなくまく話を展開する人なのだろうと感銘したことを思い出す。たぶん四国のどこかで、よさこい祭りのように街中で掛け声を掛け合い威勢よく踊るたくさんの人たちを目撃したのを覚えている。

私は数学教育の研究会のイベントとして行われたパネルディスカッションのパネリストとして招待されていた。そして、その前日に清水先生を講師とするワークショップが行われていて、20名ほどの現場の先生方が参加されていた。せっかくだからと、私もそのワークショップに参加して、清水先生のお話を拝聴させていただいた。

清水先生は九九表のマスに書かれている数と同じ個数だけ立方体の積み木をそのマスに積み上げていくとどうなるかという話をされた。例えば、 3×3 までの範囲でそれをする、右図のようになる。それを 9×9 まで作ると、和楽器の笙を思わせる背の高い形になってしまう。確か、教え子たちと実際にそれを作ってみたという写真が見せ



られたが、それをしただけでは意味がない。

そこで、その積み上げられた積み木から 1×1 に相当する角の部分（図中の濃いグレーの立方体）を取った後に、真上から見るとL字に見える部分（同じ色調の積み木）を順に剥がしていくと、それぞれ1の段、2の段、3の段、…に対応する9個の部分に分解できる。そして、その9個の部分の積み木を組み替えてみると、いずれも立方体になる。この発見を根拠に1から9までの3乗の和が九九表に並ぶ数の総和になっていることがわかる。

このように淡々と述べてしまえば、「そうですか」と受け止めるだけのことだが、清水先生は手順を丁寧に説明され、次はどうなるのだろうと期待を持たせるように話された。無理に盛り上げよう、楽しい雰囲気になろうとするわけでもなく、粛々と話していく。なのに、ワークショップに参加しているみなさんは、清水先生の話に引き込まれていくのだった。というのも、清水先生の言葉には、今していることの数学的な意味や教育的な意義がさりげなく含まれていたからだ。

その頃の私を振り返ってみると、気の利いた数学の話をした後で、その話のよさを聴衆に強要するような雰囲気を作っていたかもしれない。それが私の持ち味だとは思っていたから後悔しているわけではないが、それとは真逆の雰囲気を作っていた清水先生の話に私も魅了されていた。その証拠に、私は、頭の中で清水先生のアイデアが1からnまでの自然数の3乗和の公式を証明するのに利用できることを理解して満足していた。

▶ 2 「しづみ」先生

私は、清水先生の前に啓林館『算数』の編集委員長を務められていた細川藤次先生の推薦があって、算数の教科書作りに参画することになった。その細川先生と同様に私はトポロジーを専門とする数学者なので、数学教育関係者といえど、横浜国立大学の同僚や卒業生くらいしか知らなかった。そのため、清水先生にお会いするまで、「しづみ」先生のことを女性だと思い込んでいた。

もちろん、実際にお会いしてみると、みなさんご承知のように、「静海」の文字が示すとおり、大きな静かな海を思わせる貫禄のある方だった。それよりなによりも、編集会議のたびに、話をうまくまとめられるのを目撃して驚いていた。清水先生のお人柄もさることながら、文部科学省でお仕事をされていたご経験もあり、教育全般に目を配っていればこそ、できることだったのだろうと思う。

私自身は、小学校の学習指導要領や算数教育に精通していたわけではないので、数学者としての見識や自分自身が子供だったときのことを思い出して、教育に関する持論を述べていた。数学教育の専門家の方や学校現場で小学生を指導している先生たちからすると、私の発言は奇抜に感じられるものだったかもしれない。実際、そういう方たちが想定している「児童」には小学生の「せいやくん」は入れてもらえないのだなと思うことがよくあった。

だからといって、それを悔やんでいたわけではない。私がどんなことを言っても、「静海」先生がうまく話をまとめてくれて、私たちがすべきことを明確にしてくれたからだ。そもそも教科書編集の仕事は、学習指導要領に従って、大多数の子供たちに意味のある教科書を作ることだ。その例外となる子供たちを救う手立ては他の仕組みで作ればよい。

例えば、Rimse（理数教育研究所）が例年行っている「算数・数学の自由研究」作品コンクールはその手立ての1つになるだろう。私はそのコンクールの初回から中央審査会委員長を務めているが、清水先生はRimseの理事の立場から私たちの活動をバックアップしてくれていた。また、生前、清水先生が理事長を務められていた日本数学検定協会の活動もその手立ての1つに数えられるだろう。

▶ 3 昭和のおじさん

ここまでの話では清水先生を褒めただけだったが、清水先生には「昭和のおじさん」と言いたくなるような側面もあった。例えば、どんなに寒くても、清水先生は決してコートを着ない。いつでも背広とワイシャツとネクタイという「モーレツ社員」を思わせる出で立ちだった。そして、何かの機会があれば、その都度、飲み会をしていた。そのせいもあって、清水先生は若い頃とはまるで体形が変わっていて、私が勝手にイメージしていた「しづみ先生」ではなく、「静海」を音読みするのがふさわしい姿になっていた。

今となっては懐かしい思い出だが、大阪に宿泊しての編集会議があるときには、編集部が用意してくれた1次会に続いて、2次会、3次会と夜遅くまで飲み歩いた。私もたいていそれにつき合っていた。はじめのうちは、経験の浅い私にとって有意義なお話を聞かせてもらったのだけれど、3次会ともなると、年配の先生方は酔っ払いのおじさんと化して、カラオケ大会が始まる。

今となっては清水先生たちがどんな歌を歌っていたのか思い出せないが、時間が経つにつれて、清水先生と、当時小学校に勤めていた家田晴行先生が歌う昔の歌のオンパレードになっていった。そして、若輩者の私たちはそれを拝聴しながら、いろいろなことを話していた。

お二人は同じ年代のようで、一方が歌えば、もう一方がその横で踊っていた。特に、家田先生が歌う横で「はっ、はっ、はっ、はっ」と声を出しながら踊っている清水先生の姿が忘れられない。そして、この光景は本稿の冒頭で述べた「よさこい祭り」の光景と重なるのだった。

そう思い返してみると、私たちはいつも清水先生の掛け声に従って活動を始めていたのではないかな。そして、知らず知らずのうちに、その祭りを楽しんでいた。きっと清水先生は他界された今でも、天国から私たちに向けて掛け声をかけているにちがいない。

私は、清水静海先生のご冥福をお祈りするとともに、天国からの掛け声に応えて、心の中で「そいやっさー！」と叫びました。みなさんどうぞ。



「言葉の使い方」と「初心」

千葉大学教育学部 教授

松尾 七重 / まつお ななえ

専門は数学教育学, 特に小学校算数科と中学校数学科の学習指導, 幼児期の算数教育, パターン認識, 図形の概念形成。清水静海先生のご指導の下, 筑波大学から博士(教育学)の学位を取得。



清水静海先生との出会いは、私が筑波大学大学院博士課程に院生として在籍していた時のことである。先生は4月ではなく、8月になって文部省（当時）から筑波大学にお越しになられた。私の研究テーマが図形の概念形成であり、清水先生のご研究のテーマの一つに幾何教育の歴史的考察があったことから、先生の下で指導を受けることになった。こうして、博士課程在学中、さまざまな視点から大変お世話になり、ご指導をいただいた。今、数学教育学の研究者として、私がここにあるのも清水先生のおかげであると、心より感謝をしている。

清水静海先生はとても心の温かい先生であった。研究指導は的確であるが故に学生にとっては痛い指摘が多くあったが、そのご指摘はとても有意義なものばかりであった。このようなご指導が私の研究を常に支えてくださった。また、私自身へのご指導だけでなく、他の院生についてご指導される際の内容も、私にとっては、たいへん貴重なものであった。その点で、現在でも、清水先生のご指導を受けてきたことを思い出しつつ、私が自分の学生たちへ指導を行っている。これは私への励ましの言葉としてくださった、「後進を育てることへの重要性」について語られていたことへ対応するものである。清水先生は、数学教育の発展、また、次世代の研究者・指導者の育成こそが自らの使命と考えていらっしやうと拝察できる。

私の学位論文を出版した書籍^{*1} に対して寄せてくださった文章の中で、清水静海先生は数学教育研究のあり方について、Discussion Document for an ICMI Study^{*2} を取り上げて言及されていた。これは「数学教育の研究とは何か、また、その結果は何か」というタイトルの資料であり、これについ

ては、数学教育の研究が国際的に見て1つの研究領域として認知されるようになったことの明かしであると述べられている。ICMI（国際数学教育委員会）の母体は、ICM（国際数学者会議）の1つの部会として設定された数学教育に関する部会であり、その会が設定されたのは20世紀初頭であることから、ほぼ1世紀の年月を経て、数学教育学が1つの学問領域として認知されたことを指摘されていた。そして、当時の若手研究者の多くが国際舞台で活躍しており、諸外国の大学との研究や交流が実現されるようになったと述べられている。特に、このDiscussion Documentにおける数学教育研究の成果に関わり、数学教育の実践への貢献の視点からの重要性について言及されておられる。第一の視点は経験的に行われてきた実践についての軽減や重点化により、何度も同じ思考を繰り返すことを節約する「思考の節約」(economizers of thought)、第二の視点は経験的に行われてきた実践にある幻想を理論的に解明し除去する「幻想の除去」(demolishers of illusions)、そして、第三の視点は「実践への激励」(energizers of practice)である。この最後の視点について、数学教育の実践では教師が経験的にその有用性を感じて実践していることでも、研究者がそれに対して理論的な裏付けを与え、その実践の意義を明らかにすることも貢献の1つである。私自身の研究についても、そのように評価してくださった。このように、清水先生は、数学教育研究を通し、研究のための研究ではなく、研究の成果が実践へとつながり、生かされている、そういった研究の重要性について、いつもご指導してくださり、このことが私の中では今でも強く残っている。数学教育学が学問として位置づけられ、

そして、それを発展するべく、我が国の数学教育の発展のために多大なる貢献をされた清水先生から学び、私自身もそのお考えを後世へとつないでいきたいと考え、常に大学生や大学院生等の指導に励んでいるところである。一方で、先生から受けたご指導をどのようにして後進たちに伝えていくかということが大きな課題である。時代は変わり、以前とは大きく異なることも増えてきた。その中でも不易として、いつの時代にも変わらないことがあるが、その一方、時代とともに変わることで、時代にふさわしい内容を取り上げていくことの重要性が改めて認識される。今後の研究の中で清水先生から学んだことをどのようにして活かしていけばよいのか、そのことを考えつつ、さらに、研究、研究指導に専念していきたい。

以上述べたようにたくさんの教えがあったが、その中でも特に清水静海先生が大切にされていたこと、2点について述べさせていただく。

1点目は「言葉の使い方」ということである。先生は一つ一つの言葉を、的確に捉えていくことを大切にされていた。辞書を始めとしたさまざまな文献を基にしながら言葉の意味を突き詰めていくことの重要性を教えてくださいました。これは言葉の意味を知るという点だけでなく、その言葉の内容を明確に捉え、さらには研究の守備範囲を確定して研究に取り組むことに当たると考える。それが明確でないと研究の範囲、研究の目的、そういったものがはっきりとせず曖昧なものになってしまうからである。さらに言えば、研究の範囲や目的が曖昧であれば、研究として成り立たないことになる。そのため、先生はご指導される際だけでなく、ご自身が研究をされる際にも同様に、言葉の意味を明確にしつつ、その言葉をどのように使っていくのか、何のために使うのかということをはっきりさせておられた。このことは私が学生を指導する際にも、いつも念頭に置いている。例を挙げれば、先生がよく口にされていた「数学のよさ」という言葉がある。この「よさ」は漢字では「良さ」と書くが、それについては意味が異なることから、ひらがなで「よさ」と書くべきだということを主張されていた。よさという言葉の真意を伝えたいという思いを窺い知ることができる。また、「理解をさせる」ということはありえない、「理解できるようにする」のだということもよくおっしゃられていたことを思い出す。子どもの主体性を大事にされていることがわかる。関連して、子

ものの自立ということについても幾度となく触れられていた。我々は最後まで子どもたちの面倒を見ることはできない。だから、子どもたちが親や教師の手を離れても1人で自立して生きていけるようにしなくてはならないのだという。この言葉がいつも頭に残っている。小学生、中学生や高校生を教育する場合だけではなく、大学生を指導する際、さらに大学院生の指導においても、また、自分自身の子どもを育てていくときにもいつも考えてきたことである。教育がその人を自立させるためにあり、大人はずっとそばで付き添っていくことができないため、自立は必要不可欠なのである。「理解できるようにする」という言葉の奥深さを感じることができる。

2点目は「初心」忘るべからずということである。これは私が千葉大学に就職する際に贈ってくださった言葉の一つである。数学教育を目指していきたくと考えた初心を思い出し、いくつかの選択肢から選択しなければならないとき、困難にぶつかったときにどう対応していけばよいのかを考えると、いつも拠り所になっている。この言葉は、単に初めの意思を再確認するということだけではなく、そのときの思い、そのときの願い、そして、そのときまだ十分ではない状態の中で、未熟ではあるが、新鮮で、素朴な、そんな姿の重要性をおっしゃっていたのだと、今となっては理解できるようになった。教育に携わる者として何をするのか、何のためにするのか、そして、どのようにすべきかということを常に考えつつ進めていくことの重要性が改めてわかる。

最後になるが、私が今取り組んでいる幼児期の算数教育の研究については、先生がお認めくださり、幼児期の子どもでも考えていけるから頑張れと励ましてくださっていると思い、ご指導いただいたことについて、現在少しずつであるが、その研究課題の解決に取り組んでいるところである。まだ先生のくださった課題への十分な答えが得られていない部分もあるが、これからも答えを探しつつ、微力ながら数学教育の発展に貢献したいと思っている。清水静海先生の言葉を忘れずに、後進に受け継いでいくことをお約束し、この文章を閉じたいと思う。



参考文献

- *1 松尾七重(2000).『算数・数学における図形指導の改善』東洋館出版社
- *2 WHAT IS RESEARCH IN MATHEMATICS EDUCATION, AND WHAT ARE ITS RESULTS? Discussion Document for an ICMI Study. *Educ Stud Math* 23, 625-629(1992)

『走れメロス』の伝言 ～多様化社会へのメタモルフォーゼ～

中島 豊 / なかじま ゆたか

1955年東京生まれ。都内2校の公立小学校勤務を経て、14年にわたり杉並・世田谷・品川区教育委員会で指導主事・指導課長を歴任。2校の校長を務めた後、再び品川区で教育長として10年間、6校の義務教育学校の設立やコミュニティスクール(CS)の全校体制づくりに尽力した。現在は公立学校のCS委員長を務めつつ、キャリア教育や生涯スポーツなどの講師として生徒・学生の指導に携わっている。理数教育研究所参与。



1) はじめに～

本研究所在2014年1月23日に発表した「第1回算数・数学の自由研究」で、最優秀賞を受賞した愛知県の中学2年生のレポートは秀逸である。毎年、応募作品の審査を担当する中央審査委員会からも、「文学作品をグラフまで利用して分析しているのは初めて」と高い評価を得た。

2) 「メロスの全力を検証」するという発想

受賞生徒は「メロスがどれほどの勢いで10里(約39km)の道を進んだのかを算出し、数値で彼のがんばりを感じたいと思う」との動機から、太宰治の『走れメロス』で描かれているメロスの足取りを文脈に沿って読み解いたのだ。

その手法は移動距離から平均時速を導くというもの。例えば往路について、「初夏、満天の星の深夜出発」との記述から出発時刻を0:00AMと仮定。さらに「一睡もせず…十里の道を急いで村に到着」「到着したのは午前。日はすでに高く昇って…」を算出条件とし、「39kmを10時間で到着したと考えられる。よって平均時速は $39 \div 10 = 3.9\text{km/時}$ と推定される」と計算。復路は山賊と戦ったり倒れたりして15時間かかっており、平均時速は2.7kmであったという結果を得る。

そして、一般男性の歩行速度が時速約4kmであることなどを引合いに出し、「往路は歩いたことがわかります」「復路の終わりぐらいに『最後の死力』として走ったけれども、それはただの速歩き(時速5.3km)だったということがわかりました」と考察。最終的に「メロスは全力で走っていない」と結論付け、感想を「『走れメロス』というタイトルは、『走れよメロス』のほうがあっているなと思いました」と綴って

いる(「」内の文言は受賞レポートから抜粋、文章表記はJ-CASTトレンドHPより引用加筆)。

一方、同時期に放映された民放のTV番組で、当時人気のアナウンサーが母校の大学で講師として招かれて行った講義が紹介され、ネット上でブレイクする。その内容というのが、やはり『走れメロス』の解釈であった。しかし、そこでは前述のレポートとは真逆の理論が展開される。

例えば、作品にある「沈んでゆく太陽の十倍も速く走った」という件では、太陽の沈みゆく速度を、メロスが走ったシラクザ(太宰の文章表記では「シラクス」)の村があるイタリア・シチリア島(北緯約38度)での地球の自転速度と置き換えて、それを10倍すると考えれば、なんとマッハ11という驚異的な速度が算出されることになる。秒速にして約3.7kmである。リニア中央新幹線(最高時速500km)の約28倍、航空自衛隊の最新鋭主力戦闘機F-35A(マッハ1.6)の約8倍の速度で、おそらくメロスが走った道沿いでは、そのスピードが巻き起こす衝撃波で周囲2kmにわたって壊滅的な打撃を受けることになることが予想される。

ゆえに、『走れメロス』というタイトルは、『走るなメロス! 危ないから』と変えるべきである」とアナウンサーは最後に力説して大学生の喝采を受けたというものである。

この2つの考察の相違は何を意味するものだろうか。

そもそも感情描写が中心になっている文学を科学的に分析すること自体に疑問があるとも言われそうだが、そこに注視した立ち位置の全く異なる中学生とアナウンサーの着眼点・発想力、そして立てた仮説を立証するための論理的構成員力…、これらはいずれも今の学習指導要領(COS)が示す「生きる力」の構成要素「確かな学力」に他なるまい。

つまり両者の結論は一見相反しているが、発想や探究の構

造・プロセスでは同質と考えることが出来る。翻って私達が企画・立案や調査・研究を進める際にもこれは言えることで、常に「メロスの全力を検証する」という原点に立ち返りながら、過去の規制に捉われずに独創的で柔軟に発想し、いかに多面的で重層的な検証を付帯し持続させていくかを思料していくことが肝要である。「前例は破るためにある」のだから。

3 D 教育における羅針盤

現在は、VUCA（変動制・不確実性・複雑性・曖昧性のそれぞれの英語の頭文字をとったもの）の時代と言われる。そして高度情報化・グローバル化・少子高齢化を見据え、周知の通り、COSでは「知識・理解、技能」と同様に「学ぶ意欲」や「自分で課題を見付け、自ら学び、主体的に判断・行動し、よりよく問題を解決する資質や能力」が求められている。

学校現場においては、不易を重視しつつもこのような変化に柔軟に、しかも主体的に自己破壊と自己研鑽を繰り返すような組織と運営の質的変換が不可欠である。しかしながら、これらは一人の教員が声を挙げて成し得るものではなく、前例踏襲の行政的手腕で達成できるものとも思われない。課題が山積し複雑化するカオスの中では、羅針盤となる新たなシステムが必要なのだ。西洋の諺にある『新しい酒は新しい革袋に』である。その具体例を2つ示すと、

(1) 2016年の学校教育法改正により、新時代を見据えた教育の象徴として誕生した義務教育学校。現在、全国に約240校とまだ十分に周知されている状況とは言えないが、社会生活の中で選択の自由や幅が量的にも質的にも拡大する実態を踏まえると、戦後初の義務教育の複線化が制度として現実となったことは大きな進化である。

実際、平成中期に学校選択制を導入した東京・品川区では、新たに6校の義務教育学校を設置し、9校の中学校とどちらも選ぶことの出来る選択システムに切り替えて、保護者の期待に応え、教員の意識改革に繋げる体制づくりを行っている。

(2) 全国レベルでは、コミュニティスクール (CS) の実施による地域とともにある学校づくりの例が顕著である。一時は滞っていた普及率も2023年度で52.3%に達したことは、本来の目的である「未来を担う子供たちの成長を地域全体で支える社会を実現する」ことの意義が、地方教育行政にも徐々に浸透しつつあることを示していると考えられる。

と同時に多様な地域の人材リソースで学校を支えることを

想定した人材育成が急務である。実際、教員養成系の大学でカウンセラーやスクールソーシャルワーカー、スポーツトレーナーなどを目指す教員免許を持たない卒業生を送り出すなどの学びの改革が進んでおりCSの充実にも寄与している。

地域協働の中で様々な課題解決を図ることの出来るこのシステムは、中教審の答申にもあるこれからの教員の働き方にも関連し、地域の昔からの願いをも共有する次世代に向けたまさに「公立学校の生命線」なのだ。

もちろん校長の豊かな発想やアイデア、裁量により学校独自で自己啓発に取り組んでいる例も多い。手前みそで恐縮だが私がCSで関わっている小学校では、学校間連携を視野に入れたチーム担任・教科担任制を導入して教員の授業理解と問題意識を高めている。また、CS委員はもとより教員、保護者、町会役員や卒業生とオープンに語り合うワークショップを開催して子育てに関する地域との相互理解を図り、児童・家庭・社会の多様化への教員の適応的変容を目指している。

4 D 結びに ～教員育成への独り言

GIGA スクール構想による一人一台端末が導入され、学校も現代社会の縮図としての功罪に否応なしに飲み込まれた。また利便性に潜むリスク、通信環境などの格差といった現状の中で、教員の個人差も大きくニーズも多岐にわたっている。行政的には常設の検討委員会を設置するなどして、利用状況調査や活用のためのSWOT分析、教員研修の見直しなどにより学校の実情に即した未来志向の施策を打つ必要がある。

さらに、少子化の流れの中、核家族で育った教員も増えている。子供や家庭の多様性を理解しつつ接していくためには、例えば特別支援教育の悉皆実習や、長期化する保護者対応に向け、民間コンプライアンスのノウハウを生かした校内外のシミュレーションといった実学的な研修も重要になろう。

メロスが走り？抜けたイタリアを始め、ヨーロッパの町並みは古より外観は変わらないものの内側は様々な近代化が施されている。その石の文化の代名詞ともいえる世界遺産サグラダファミリアは、未完が故に現代人に多くの想像と思考と可能性を問い続けている。かつて設計者のA・ガウディが、懸垂曲線やシェル構造といった建築工学のいわば逆転発想の中に仕掛けた「変容」という未来への設計図を、学校も私達も常に柔軟な発想と希求的な心根で享受していきたいものだ。



地方の小さい町が挑戦する『令和の日本型学校教育』への移行について

～個別最適な学びの充実を目指した教育DX化への第一歩～



静岡県小山町 教育長

勝俣 純 / かつまた じゅん

静岡県公立中学校教諭（国語）から、御殿場市教育委員会学校教育課指導主事、御殿場市立中学校教頭、小山町では、教育委員会こども育成課専門監、小山町立北郷中学校長を勤め、その後、御殿場市教育委員会教育監、御殿場市立御殿場中学校長を経て、2024年4月より現職。

地域を生かした学校改革の推進

静岡県の北東端、富士山頂から標高200m台の裾野まで広がる人口17,000人の町が私たちの住む小山町です。令和6年度の出生者数は、町全体で64人まで減少し、町内3中学校区において、それぞれ20人余となりました。昨年の総合教育会議において、中学校区単位で令和9年度から小中を一貫校化する方針を決定し、教育委員会は、一貫校化後の学校間連携体制づくりを含めた学校改革を始動しました。

この統合を好機ととらえ、地域総動員の学校変革を目指しています。地域の人的資源の活用だけでなく、自然環境や産業などにも着目し、小山町ならではの環境や行事と教科教育を関係づけた学習機会を創出します。一例として、富士山の活用です。今年も8月に、町内中学生を含む全国6市町から80人余の中学生を招き、富士登山を実施しました。この行事は登山自体が目的でした。今後は、探究的な学びの場としても位置付け、理科で扱う「気圧」に関することなど、日本一の高低差のある登山中にできる探究的活動を模索します。

だれもが「当事者」である学校づくり

『令和の日本型学校教育』への移行に向けて、先生方や子供たちが主役となって変革に取り組める手立てとして、町内各校からメンバーを招集し、ボトムアップ形式でプロジェクトチーム（PT）による新しい学校風土や新しい学びの場の創設を目指しています。PTリーダーは、管理職にお願いするだけでなく、特別活動や生徒指導など子供に直接関わる案件は、若手育成を兼ねて30代の教員をリーダーに据えました。学校評価PT、教育課程PT、連合生徒会PT、朝運動PTなど、これまでに改善の要望があった事項について、機動力のある少人数で企画から立案、実行まで任せて、学校間協力や学校間情報共有を円滑にし、働き方改革にもつながる町を挙げての学校変革

が始まっています。

ICT活用から教育DXへのロードマップ

今回、御紹介するのは、教育DXプロジェクトチームについてです。今年度、本町では、NEXT・GIGAスクール構想に対応すべく、整った設備に応じた授業づくりのフェーズをもう一段上げていくことを目指しています。

そこで、本町の教育DXのキーワードを「大切なことは変わらない」とし、先生方が長年培ってきた深い子供理解と授業研究こそが重要であること、一人一台端末の活用は、単に「文房具の代わり」ではなく、アナログには代替できないものとして、デジタルだからこそ可能な授業展開が一般的になっていくという考えを共有するところから始めました。

具体的な教育DX化への第一歩として、今年度を「新たな段階での試行錯誤」の年と位置付け、まずは、さまざまな「思考ツール」を先生や子供が主体的に選択し、使いこなしていけることを目指します。次年度には、タブレット活用による「深い学び」にいかに向かうかを本町のすべての先生方が、同じのテーブルで意見交換できることを目指します。自らの授業観の変化を実感した先生は、これまでのやり方において自分ができることにとらわれていたのか、どのようなことが教科の本質となるのか自問自答する中で、子供主体の学習観への転換や更新が起こるでしょう。

これはつまり、ICT活用を通じた教師自身の学習観の転換であり、「教えるから学ぶ」を具現化していくことにつながります。

「DXイノベーター」の創設と働きについて

教育DXプロジェクトチームのリーダーは情報教育担当校長となりますが、このプロジェクトを支える重要な役割を持ちコーディネートするのが、「DXイノベーター」です。

① ICT支援員からDXイノベーターへの変身

今年度は、「ICT 支援員」という名称で、2 人の支援員が各校を巡回して支援にあたっています。今年度は、名称こそ「ICT 支援員」ですが、うち 1 人は、実際に非常勤として町内で中学校の家庭科を担当している内海史江教諭です。同氏は、「DX イノベーター」として授業に関する助言だけでなく、自らも授業を設計し、実施し、授業改善を繰り返しています。現場に根ざした、ICT 活用のリアルなロールモデルとなり、他の教員から信頼される、教員としての悩みを共有できる存在となっています。教員として授業を行うからこそ、提案に説得力が生まれ、ICT 活用に不安を感じる教員に対しても、「この授業でこういう成果が出た」、「この思考ツールはこう使うと効果的だった」と、具体的な事例を基にわかりやすい支援を可能にしています。

② 1 on 1 によるだれ一人取り残さない体制づくり

小回りの利く小規模の町であるという利点を生かし、DX イノベーターが個人面談の形で、「1 on 1 ミーティング」を行っています。情報機器活用能力に個人差があることは言うまでもありません。しかし、機器活用は苦手ながらも、新しい授業観は理解してもらわなければなりません。

町内すべての先生方の授業における ICT 活用状況等を把握し、支援するだけでなく、各先生方の課題や今後望んでいることなどを把握して



1 on 1 ミーティングのようす

います。1 on 1 ミーティングによるヒアリングなどの中で、先生方はどのようなアプローチで自らが情報活用能力を身に付け、授業改善に生かせるのかを主体的に解決していく道のりを DX イノベーターと共有します。教員の日々の挑戦を認め、次のステップへとつなげるための建設的なフィードバックを繰り返していきます。

また、先生方が自己評価するための「情報活用能力チェック表」を作成し、自らの教育実践における ICT 活用の進捗状

況や、グラフや表など用いたデジタルアイテムによって身に付けられるべきスキルを可視化できるようにするものにし、だれ一人取り残すことなく教育の DX 化を図ります。

情報活用能力チェック表

教育DXプロジェクト 情報活用能力チェック表			
チェック項目	自己評価	実践例や現在の課題、意見等	交流メモ ※内海入力
1 わたしは、単元や課題に応じて、適切な思考ツールを選択できる	B	必要に応じて、既存の思考ツールだけではなく、ワークシートを作成している。提示はできているが、生徒が自発的に選択するところまで至っていない。	教科：国語 思考ツールを活用した授業見学希望（9月月中旬（詳細別途調整）） ※事例共有
2 わたしは、思考ツールの活用方法を生徒に指導・支援できる	A	同心円チャートは、円の中心に向かっていくように授業する等、授業でなかなか指示も行った。一通りの指導はあるが、もっと創造的な方法はあるかもしれないとも思う。	思考ツール おすすめの書籍やサイト https://... 参考書籍 ■■■■■
3 わたしは、教員と実践を共有し、学び合う姿勢を持ち、町内全体の活用推進に貢献している	C	時間的な制約や場の確保が難しい。ICTの活用が必ずしも学校の研修と合致していない部分があり、それを中心に授業を組み立てていない。迅速な教員にできることに限界があると感じている。	教員同士のちよつとした共有を広げる仕組みづくりが必要。現場に無理のない形で実践したい。ICTを活用した情報共有や研修について、一層考えてほしい。※別途相談
4 わたしは、ICT活用や教育DXの意義を説明できる	B	意義を説明することはできるが、必要十分でないといえるかは自信がない。	

おわりに

各種プロジェクトチーム活動で、遠隔会議の実施や話し合い活動での「思考ツール」の活用が、先生方にとってあたりまえになり、子供たちにとっても ICT 活用はあたりまえとなっており、本格的な教育 DX が始まります。「DX イノベーター」がコーディネートする教育 DX プロジェクトチームが、今後、全国学調検証・対応 PT と連携し、本町の授業改善、主に探究的な学びを推し進めます。

教育課程 PT は、日々の基礎学力定着を目指す「富士山タイム（ドリルタイム）」の日課枠を町内全校一斉に設ける計画を立てています。不登校や教室に入れない子供であっても、町内すべての子供たちが、同じ時間にそれぞれがどこかでタブレットに向かいドリル学習をしている。基礎学力の定着を図るだけでなく、まさに、デジタル上での一体感を創出したいものです。

若手教員の手による連合生徒会 PT、朝運動 PT、行事改革 PT などは、体験活動を重視し、知・徳・体のバランスの取れた金太郎生誕の地、小山町にふさわしい「強くて優しい金太郎のような子」の育成を目指します。

小山町では、本町ならではの地域力をフル活用し、子供たちも先生方も、授業をはじめとするさまざまな活動の中で、自己決定力と自己調整力を伸ばし、主体的に自分の生活を変えていこう、創っていこうと自ら考えて行動できる人間づくりに挑戦していく所存です。



..... 編集後記

今年の夏はとても暑かったですね。そんな中、大阪・関西万博も盛況のうちに閉幕を迎えたようです。そして、第 13 回「算数・数学の自由研究」作品コンクールには、今年もたくさんのご応募をいただきました。

最優秀賞・優秀賞の受賞者の発表は 12 月に弊所ホームページにて行います。

次号も「就学前の理数教育」を特集します。

(公財) 理数教育研究所 事務局

「数学用語」その7

「0」と「数」 2つの読み方

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらいすすむ

0 — 「ゼロ」と「れい」

「0」の読み方には「ゼロ」と「れい」があります。英語のzeroの発音が「ゼロ」、日本語の零の発音が「れい」です。面白いことに我が国ではこの2つの読み方が使い分けられています。「ゼロ」が使われる例として、「事故ゼロ」「海拔ゼロメートル地帯」「負傷者ゼロ」。「れい」が使われる例として、「午前零（れい）時」「電話番号103-7890」「気温零（れい）度」「降水確率0（れい）%」。これらの例から読み取れるルールを探ってみましょう。

数0としての「ゼロ」と「れい」の違いはどうでしょうか。算数では0の読みは「れい」と教えます。「ゼロ」には「まったくない」の意味合いがあり、「れい」には「0にちかい」の意味合いがあります。1%の位は四捨五入するため、降水確率0%とは、実際には降水確率は0から5%未満のことを表します。同じように、学力テストの0点が「ゼロてん」ではなく「れいてん」なのは、0点であっても学力がゼロ——まったくない——ではないことの反映と考えられます。つまり、

ゼロ=0, れい≐0

ということです。

「れい」には基準点・基点の意味合いがあります。「午前零（れい）時」「気温零（れい）度」がそうです。それでいくと「海拔ゼロメートル地帯」は基準点を表すので「海拔0（れい）メートル地帯」でもよさそうです。ここには発音の印象が関係しています。「ゼロ」という発音は「れい」に比べて強く響く印象があるため、0を強調する場合にはそれが基準点であっても「ゼロ」を使うと考えられます。

ゼロ=強い印象, れい=弱い印象

数 — 「かず」と「すう」

「数」には訓読みの「かず」と音読みの「すう」があります。これらがどのように使い分けられているかを探ってみます。小学1年生の算数の教科書は見出し「かずとすうじ」ではじまります。小学1年生で習う「かず」は自然数（すう）ですが、「自然数」という用語は習いません。小学3年生になると分数（すう）と小数（すう）が登場します。人類は遠

い昔に小石で数を数えていました。このときの数が小学1年生の「かず」です。そこから人類が「自然数」という概念を獲得するまでに数十万年（もしかしたら数百万年）の年月を要しました。アルキメデスが数学をつくり上げてから2300年足らず。ネイピアが小数点「.」をデザインし、人類が現在の「小数」を手に入れてわずか400年！

「かず」：原始的・素朴な (primitive) 数

「すう」：洗練された (sophisticated) 数

「自然数」「分数」「小数」に続き「循環小数」「非循環無限小数」「有理数」「無理数」「虚数」「複素数」「四元数」「超複素数」「代数的数」「超越数」「計算可能数」と次々と「すう」がつくられていくことになったのが19世紀以降です。次はドイツの数学者クロネッカー（1823-1891）の言葉です。

Die ganzen Zahlen hat der liebe Gott gemacht,
alles andere ist Menschenwerk.

自然数は神がつくった、その他は人間がつくった。

数論は「すうろん」であり、「かずろん」ではない

ドイツ人のクロネッカーにとって数はZahlenだけです。もちろん英語もNumberだけ。日本語も文字としては数だけです。日本人は数と付き合う中で言葉使いの違いを音で表すことができました。日本語ならではの音読みと訓読みです。まさしく日本人にとっては数論は「かずろん」よりも「すうろん」のほうがしっくりきます。これからも深化し続ける数を私たちは言葉とともに見届けていきます。

数（かず）は神がつくった、その他の数（すう）は人間がつくった。（桜井進）



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 GATE2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：提供：アフロ