

日本の理数教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No. 41
October
2024

特集

大阪・関西万博と理数教育



Contents

表紙裏

巻頭言

『深い』学びの重要性

一般社団法人 Glocal Academy 理事長 岡本 尚也

2 特集 大阪・関西万博と理数教育

古今東西の星座を大阪の空に描く

～宇宙と人類の関わりを見直す「ダイバース・ユニバース」～

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 助教 矢野 創

9 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5回

理科の授業に登場する電池 –ボルタ電池について

東京学芸大学 教育学部自然科学系 教授 鎌田 正裕

12 連載 確率の現代的活用 第6回

画鋸を投げる

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

15 連載 物理用語の成り立ち ～万物の根源を求めて～ 第6回

電子 (エレクトロン electron)

元徳島県公立高等学校 教諭 西條 敏美

18 特別寄稿

「深い学び」を実現するために

–教育フォーラム in 新潟–

新潟大学大学院 教育実践学研究所 特任教授 高橋 恒彦

22 教育に新しい風を –東京懇談会より–

令和の日本型学校教育を支える教員の養成・研修について

–教員研修を進めるための管理職の役割とは–

有明教育芸術短期大学 教授 新庄 恵子

24 広場 地域教育で活躍する人々 第40回

自然の仕組みを楽しく学んで、減災につなげる。

–火山実験イベントの創設と運営–

北翔大学 文化教育学部 教授 教育学科長 横山 光

裏表紙

数学と言葉 第9回

数学用語 その4

ジョン・ネイピア対数誕生物語
logarithm の訳は対数ではない

サイエンスナビゲーター® 桜井 進

巻

頭

Kantougen

言



岡本 尚也 / おかもと なおや

一般社団法人 Glocal Academy 理事長, 東京大学先端科学技術研究センター客員上級研究員, 鹿児島市教育委員。鹿児島市出身。慶應義塾大学理工学部卒, 同理工学研究科修了後, ケンブリッジ大学にて物理学博士号を取得。その後, オックスフォード大学にて現代日本学修士号を取得。帰国後, 客観的なデータ分析や事例をもとに, 最適化された選択や手段を提供し, 成長を続ける人や組織の支援を行っている。文部科学省 中央教育審議会高等学校教育の在り方ワーキンググループ委員, 経済産業省産業構造審議会教育イノベーション小委員会委員などを歴任。主な著書に『課題研究メソッド よりよい探究活動のために』, 『ゼロから始める探究活動 課題研究メソッド ZERO』(啓林館) などがある。

『深い』学びの重要性

「主体的」で「対話的」で「深い」学びの実現は現行学習指導要領において学びに対する指針を明確に示すものとして、各学校現場での実践が促されている。私自身、絶えず変化する学びのスローガンに対しては冷静に見ているが、学びにおいて「深い」という言葉は最も重要であると考えている。初めの文言も、「深い」学びを達成するために、主体性や対話が必要なのだとも見える。数学者、天文学者、物理学者でもあるカール・フリードリヒ・ガウス(1777～1855年)は「Even if it's small, deeply. (狭くとも、深くあれ。)」という言葉を残している。一方、学校現場では主体的っぽく、対話的な学びは達成できても、この「深い」学びという一見安易に見える言葉の達成に最も苦戦しているように感じる。

「深い」学びとは何であるのか？ 例えば「なぜ磁石にくっつく金属とそうでない金属があるのか？」という疑問(問い)を持ったとする。自分自身でこの疑問(問い)を持ち、気になって仕方がない状態になっていけば、十分に主体的であろう。ここで気を付けなければならないのが、「対話」である。これまでの日本の教育を語る際に、そのネガティブな側面として「知識偏重」という言葉が使われる。そのため、最近の教育手法を実践する際に「知識」を得るプロセスを忌避し、安易なグループワークによる「対話」を重視する傾向がある。私はこの傾向にある種の強い危機感を抱いている。確かに、グループによる対話によって「気づき」もあるだろうが、上記の疑問(問い)に対して、果たして「深まり」は生まれるだろうか？ 対話的で深い学びの理想として海外のトップ大学の授業が例として挙げられることが多いが、実際は多くの日本人が持っているイメージとは全く異なることが行われている。日本の大学と違いオックスフォード大学やケンブリッジ大学の授業は週に4から5コマ程しか授業がない(日本は20コマを超えることすらある)。しかし、一つの授業を受ける前に膨大な文献を読むことで知識のインプットを行わなければならない。平均で1コマあたり3、4冊程になるので、週に15冊程になることもある。膨大な知識をインプットした上で、対話を行う。教員は話題提供の後是对話のようすを見ながら、問いを投げかけたり、問いを生み出すファシリテーションを行っていく。今でもこの対話によって、頭の中の知識どうしがさまざまな繋がりを生み理解を促し、新たな知識や問

いが生まれていく感覚は鮮明に頭に残っており、学びの礎となっている。この知識の面的な繋がりから理解に繋がり、新たな疑問(問い)を生み出していく過程こそが「深い」学びに繋がっていく。幸いにして私は、日本の研究室内や英国大学院にて、そのような教育を受ける機会を得ることができた。かなり中断してしまったが、前述の問いに戻ると、過去の研究者との「対話」である文献(本・論文)調査から金属を含む物質は大きく分けて「強磁性体」、「常磁性体」、「半強磁性体」というものがあるという知識を得、その先にさらに「それぞれなぜこのような性質を持つのか？」など問いを重ねることで、磁気モーメント、(電子)スピン、交換相互作用などの専門性の高い「深い」知識をその理解と共に獲得していく。そして現代社会において磁石への基本的な理解によって、ほぼ全ての技術が成り立っていることに気づく。この際、「主体性」がないと専門性の高い「深い」知識の前で力尽きてしまう上、「対話」がなければ、自分自身の知識や理解の偏りに気づくことが難しくなったり、新たな広がり機会を逸してしまう。

学びが深まれば深まる程、一般的な議論からは離れていくため、「そんなことをやって何の役に立つのか？」という言葉が生まれる。まず、一般的に知られていない専門的な知識や理解を持つことこそ、(希少)価値があり、代えの利かない存在となる。協働することの価値も一気に高まっていく。また、深めていく過程においてこそ、これから必要な資質・能力を養成することができる。正しい情報を見分ける力、批判的思考力、論理的思考力はもちろん、数学的なモデルを扱う力やプログラミング、言語能力、文章作成力、AIには難しい新たな「問い」や「知」を創造する力など、多岐にわたる貴重な資質・能力が実践的に養成される。つまり深い学びこそ、その後長きにわたり学習者の学びを支える礎を養成するのである。

少し大きな枠組みの話になってしまったが、深い学びへの入口は日常に溢れている。その入口からの進み方(深め方)は多様であり周囲の人や先人たちの助け(知識・理解)も借りながら、自分自身が納得するまで大いに楽しんでもらいたい。それがどこに繋がるのか、出口はあるのかなど、不安になることもあるだろうが、自ら進んだ道は間違いなく自身の成長の証となる。学校を始めとする教育の場がその楽しく深淵な世界への一歩となることを切に願っている。



I 古今東西の星座を大阪の空に描く

～宇宙と人類の関わりを見直す「ダイバース・ユニバース」～

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 助教

矢野 創 / やのはじめ

英国ケント大学大学院物理学研究所宇宙科学科博士課程修了(Ph.D.)。専門は太陽系探査科学。「はやぶさ」「たんぽぽ」を含む日欧米の宇宙探査・実験プロジェクトに多数参画。米国マサチューセッツ工科大学訪問研究員、東京大学大学院工学系研究科非常勤講師、慶應義塾大学院特別招聘准教授、法政大学大学院連携准教授等を歴任。単著に『星のかけらを採りにいく』(岩波書店)、共著に『未来へひろがるサイエンス1～3』(啓林館)、『星の地図館』(小学館)、『小惑星「はやぶさ」の超技術』(講談社)などがある。



1 ◆ 「ダイバース・ユニバース」とは

一口に「星座」と言っても「どこの」「誰が」言うかによって、想起されるイメージや最初に脳裏に浮かぶ星々は大きく異なってくる。1922年に国際天文学連合で全天の星座が「88星座」と定められてからは、世界中でおなじみの「オリオン座」や「しし座」といった固有名詞を聞けば、誰もが一度は見たことのある星図や星座のイラストが頭に浮かぶことだろう。しかし、ほんの100年前まで、世界中で星座が共通の呼び名やイメージを持っていなかったというのはとても興味深いことである。私たち現代人はまず、この事実に向けてみることから始めることで、今まで想像のできなかった古今東西の人々の発想や文化に思いを馳せることができるのではないだろうか？

「ダイバース・ユニバース」は、多様性を表す「diverse」と世界を表す「universe」を組み合わせた私の造語で、世界中の星図や星座早見盤と物語を収集する私の趣味から着想した。このたび縁あって、新興出版社啓林館・文研出版に2025年に開催される大阪・関西万博の「TEAM EXPO 2025」に向けて立ち上げたプロジェクトとして採択いただいた。「星空を通じて多様性を学ぶ」をコンセプトに、太古から世界中の人々の頭上に等しく輝いていた「星空」に描かれてきた古今東西の多彩な星座とその物語を、共通のフォーマットの下に一つのコンテンツとして統合するという挑戦である(図1)。

「88星座」が制定される以前の時代、古今東西の人々は星

を見て作物の収穫期や季節を知ったり、航海の目印にしたりして、生活と結びついた星座を自由に空に描いていた。現代では「星を何かの目印にする」という習慣自体が一般的ではなくなってきたが、太古の昔から「違う時代、違う文化で生



図1 「ダイバース・ユニバース」のコンセプトイメージ

きてきた人々も、皆同じ星空を見上げてきた」という共通意識は決してなくなることはない。

多くの人が星空を見上げなくなって久しいが、スマホ一台で生活ツールのほとんどが賄えるようになったとしても、身体を夜風に当ててみたとき、ふと見上げた星空に感慨深い何かを知覚できるのが私たち人類が世代を越えて持つ感性であるだろう。今もなお世界中では文化や宗教の壁という分断要因に対して、多様性を認め合って乗り越え、お互いを尊重できる社会を目指そうとしているが、多様性を認めるためには全人類の「共通点」をお互いに見いだすことこそが第一歩になるのではないだろうか？

多様性を認め合うための「共通点」と、口で言うのは簡単だが、これまで長い歴史の中で、それぞれの思想や哲学を胸に、世界を今よりもより良くしようと献身的に活動をしてき

た人たちは数知れない。しかし「違い」を認めるというのは、頭でわかるのと、腹落ちするのとは別物だ。「ダイバース・ユニバース」がこの活動単独で、瞬く間に世界中の人々を一つにできると主張するつもりはない。世界中が注目し参加する大阪・関西万博という絶好のタイミングで、あくまでも一つのキッカケを投げかけられたらという思いで、このプロジェクトをスタートさせた。

2 ◆ 何をアウトプットするのか？

「星空を通じて多様性を学ぶ」というコンセプトを掲げてプロジェクトはスタートしたが、太古から世界中の人々の頭上に等しく輝いていた「星空」に描かれてきた古今東西の多彩な星座を、共通のフォーマットの元に一つのコンテンツとして統合するという前代未聞の挑戦は、まさに手探り状態からのスタートとなった。「誰をターゲットにするのか？」「どのエリアから星座情報を集めればよいのか？」「どんなプロダクトが多くの人に興味を持ってもらえるのか？」チーム内で会議を重ねれば重ねるほど、膨大な宇宙地図に圧倒された。

そんな暗中模索の状態を切り裂くようにチームが一步踏み出したのは、世界中の星座にかかわる専門家の方々へ協力を依頼することからだった。世界各地や時代の天文学や文化人類学などを専門とする研究者の方々一人一人に「ダイバース・ユニバース」のコンセプトを伝え、情報提供をお願いすることで、少しずつ賛同を得ることができたことがアウトプットの突破口となった。

例えば、「はくちょう座」一つをとっても、和名では「北十字」、モンゴルでは「弓矢」といったように、同じ星座でも時代や地域が変われば呼び名や星図が変わる（図2, 3）。そして星座にまつわるドラマティックな伝承は、一つ一つ親から子へ、子から孫へと語り継がれる物語として、今もなお世界中に点在している。



図2 「はくちょう座」



図3 「北十字」と「弓矢」

そうやって集まってきた星座の情報を眺めていると、不思議とチーム内で次から次にアイデアが湧き上がってきた。

3 ◆ 伝統的なフィジカルプロダクト

アウトプットを思考するに当たって、いくつかのカテゴリーが自然と浮かび上がってきた。最初に議論になったのは、現代社会を生きる私たちが直面している「デジタル」と「アナログ」をどう行き来させるかという問題である。「ダイバース・ユニバース」のコンセプトである「星空を通じて多様性を学ぶ」というメッセージを中心軸に置いたとき、どちらかに行き過ぎるというのは、コンセプトからかけ離れるリスクが生じる。星はどこまで行っても「アナログ」なまま天空に存在しているからである。そう考えるとやはり、「デジタル」と「アナログ」の両軸でのアウトプットを同時進行させるべきという方針が固まった。「アナログ」面で最初に取掛かったのは「星座早見」と「カードゲーム」の2つのプロダクトだった。

例えばピカソの「ゲルニカ」を見たとき、作品から皆それぞれ違った印象を受けるように、同じ星でも「見る場所」や「見る人」が変われば違った星座が夜空に浮かぶ。こういった人間の感性が生み出す星空の芸術性をどう表現できるのか？ STEAM教育の中の一つにも「Art」が組み込まれているが、それを伝えられるプロダクトは何かを考えると、「世界中の星座を一つの星座早見で見られるようにする」べきである。しかし、どう実装すればよいのか？ そこから幾度も



図4 世界各国の星座早見から着想を得て開発中の「ダイバース・ユニバース星座早見」

試行錯誤を重ねて「ダイバース・ユニバース星座早見」がたどり着いた形が、「時代や地域を行き来できる」という機能である(図4)。盤面を透明にし、時代や地域ごと作成したフィルムを何枚も重ね合わせることで、同じ星が「見る人」が変わることで別の星座になることを表現できるようにした。何枚ものフィルムを重ねても一番下の盤面が見えるように透過度を調整したり、フィルムを重ねたときに星座と星座の文字がなるべく重ならないようにデザインするなど、細かな調整を何度も繰り返しながら開発は進んだ。

もう一つの「アナログ」プロダクトであるカードゲーム(図2, 3)は、年齢を問わずコミュニケーションをとりながら、星空に思いを馳せてもらう狙いがある。近年は「タイパ(タイムパフォーマンス)」という言葉が若者を中心に広まっていて、手紙よりもメールやチャットというように、じっくり時間をかけてフィジカルを意識するコミュニケーションが希薄になりつつある。一昔前までは学校の休み時間や親戚が集まるイベントなどで、皆が夢中になってトランプをはじめとしたフィジカルなカードゲームを介したコミュニケーションが盛んに行われていた。最初は乗り気ではなかった人も、いざゲームが始まると本気になって脳に汗をかくような光景も珍しくなかったように思う。

カードゲームの魅力は、ルールさえ共有すれば「言語」や「文化」の壁を越えられるという点である。相互にバックボーンへの理解がない間柄でも、ゲームがスタートしてしまえばそこには垣根を越えたコミュニケーションが自然発生的に起こる。実際に星座カードゲーム大会を行ったところ、予想以上の盛り上がりで、子供たちだけでなく、大人の参加者も童心を取り戻して楽しんだ。これはフィジカルプロダクトを通じて感情が突き動かされたことでコミュニケーションの質が

上がり、より星座への関心や参加者どうしの交流に一役買ったのだろう。

理数教育を考える面でも、DXの潮流が高まる今後はさらにフィジカルなアプローチは重要になるのではないだろうか？ 現行の学習指導要領では「知識・技能の習得」、「思考力・判断力・表現力の育成」、「学びに向かう力・人間性の涵養」という三本柱が打ち出されたが、「GIGA スクール構想」によって教育現場にデバイスが導入されたことでも、多くの教員が「学ぶ」ことに対するデジタルツールへの課題意識を感じていることだろう。子供たちは大人よりもはるかに柔軟である。すぐに時代の流れに馴染むことができる。しかし、デジタルツールにしかない利便性や没入感がどんなに優れたものであったとしても、人間は感情と肉体を持った存在であるという事実は今後も変わることはない。このバランスをどう統合させていけるかが、指導者側としてのこれからの時代の教育の挑戦ではないだろうか。

4 ◆ 最先端のデジタルプロダクト

ChatGPTを筆頭に昨今さまざまなAIツールが世に広まってきたが、人工知能との共存生活が始まった黎明期である現代において「ダイバース・ユニバース」がどんなデジタルなアプローチをすべきかを次に模索した。

これまで世界中の人は夜風を肌で受けながら肉眼で星空を見てきた。足を止め、顔を上げ、目を凝らしながら壮大な宇宙の芸術に心を奪われる。そんな日常の中の非日常的な「体験」を通じて人間としての感性を培ってきた。この身体を使った「体験」と「デジタル」を掛け合わせることができないかと考えたとき、プロダクトの方向性が見えてきた。

一つ目を実現したデジタルプロダクトはスマートグラスを使ったARコンテンツ「星空さんぽ」である(図5)。

「星空さんぽ」はメガネ型のスマー



図5 スマートグラスを使ったARコンテンツ「星空さんぽ」

トグラスを通じて、まるで自分が宇宙の三次元空間に浮いているような没入感を体験することができる。全方向に広がるデジタルな宇宙空間の中で自由に身体を動かしながら、星と「接触」することで、デジタルでしか実現できない新たな非日常的な「体験」が生まれる。最初は半信半疑だった子供たちも、スマートグラスをかけた途端「わー、すごい！」と、もれなく声を上げた。その後は、スマートグラスをかけていることを忘れてしまったように縦横無尽に歩き回っていた。部屋の中に突然現れた映像化された星々は、見ている人に自然と手足を動かすように仕向ける。人は根源的に星との接触を望むのだろうか？ 子供たちは確かに目の前に見えている星々を必死に掴もうとしながら、不思議な感覚に包まれたようだ。

実際に体験会に参加してくれた子供たちからは、「宇宙に対して、さらに興味が湧いた！」、「貴重な体験ができて、とても嬉しかった！」、「神秘的だった！」、「体験時間が短く思えるくらい、楽しかった！」、「宇宙空間の美しさも素敵でしたが、技術がすごかった！」、「すごくリアルだった！」、「宇宙から見た星座が、地球上とは違って幻想的だった！」といった嬉しい声を聞くことができた。

こういった反響を受けて「ダイバース・ユニバース」の可能性を確信したとともに、単に万博プロジェクトとしての一プロダクトで終わらせるのではなく、それ以降も理数教育の現場にも有効に導入できる体制を整えることで、より多くの子供たちに星々を身近に感じてもらえるのではないだろうかと考えるようになった。

2つ目に実現したデジタルプロダクトはVR技術を使った「星空風土記」である。部屋の景色の中にハイブリッド的に星の映像が入り込んでくる前述の「星空さんぼ」に対し、VRゴーグルを使用した「星空風土記」は、日常空間が閉鎖される完全なる没入型のコンテンツである(図6)。

一度ゴーグルを装着すると、そこにはドラマティックな星空が視界いっぱいに広がる。幻想的な音声ガイドに誘われながら、星座にまつわる物語の中に身体を伴って突然ワープするのである。VRゴーグルは視界が360度バーチャル空間と連動しているため、首を自在に動かせば、その方向の星空がゴーグルの中に展開される。

「星空風土記」は時間も場所も問わず、連綿と続いてきた



図6 「星空風土記」のコンテンツイメージ

時代の証人としての星々の存在を改めて感じてもらうことのできるコンテンツに仕上がった。一見、プラネタリウムと似たような体験に思えるが、VRゴーグルを使用することで外界との接点が完全に閉ざされ、はるかに深い没入感が味わえる。こういった没入感は何よりもコンテンツに対する集中力を助けてくれる。昨今、スマホの影響による脳疲労が原因で子供たちの集中力の低下が叫ばれているが、VRプロダクトの持つ「没入させる力」は、多感な子供たちの感性に訴えかけるような「もっと知りたい」という学習意欲を掻き立ててくれる可能性を秘めているように思える。ARプロダクトとともに、このVRプロダクトも今後の教育現場への導入を積極的に働きかけたい。

5 ◆ 持続可能な世界への共創

SDGsの目標年である2030年に向けて「ダイバース・ユニバース」プロジェクトも、アウトプットに持続可能な開発目標を組み込んでいきたいと考えている。SDGsは世界中の一人一人の幸せを考え、「いのち輝く未来社会」を目指すという2025年大阪・関西万博のテーマと合致する。

「ダイバース・ユニバース」は大阪・関西万博の「共創チャレンジ」というチーム活動に参加している。これは多様な参加者が主体となり、理想としたい未来社会を共に創り上げていくことを目指す取り組みのことである。企業、団体、個人など、さまざまな垣根を越えて「いのち輝く未来社会」をデザインするために、万博という共通のプラットフォームを軸に共創を進めている。

「ダイバース・ユニバース」プロジェクトではSDGsを意識した取り組みの第1弾として、環境配慮型印刷を利用したリーフレットと紙ファイルを作成した(図7)。

国際的な研究組織「持続可能な開発ソリューション・ネットワーク(SDSN)」が作成している世界各国のSDGsの達成度を評価した2024年版「Sustainable Development Report」



図7 環境配慮型印刷を利用したリーフレットと紙ファイル

で、日本のSDGs達成度は167カ国中18位だった。同レポートで1位は4年連続のフィンランド。次いで、スウェーデン、デンマーク、ドイツと続く。また、17の目標ごとに「達成済み」「課題が残る」「重要な課題がある」「深刻な課題がある」の4段階で評価しているが、日本は2024年版では、「達成済み」が1つ、「課題が残る」が5つ、「重要な課題がある」が6つ、「深刻な課題がある」が5つだった。

今回「ダイバース・ユニバース」で作成した環境配慮型印刷を利用したアウトプットは「深刻な課題がある」の最低評価を受けた「目標12」の「つくる責任、つかう責任」を意識した取り組みである。「目標12」に関連した課題として、世界的にプラスチックごみの輸出量の多さが問題視されているが、2020年の財務省統計(HS3915)では、日本は海外へ82万トンのプラスチックごみを輸出していることがわかる。行先は東南アジアなどの途上国が中心である。2014年の167万トンに比べれば大幅に減少しているが、SDGsが目指す未来を作り上げるためには各国がそれぞれに協力しながら、できることを具体的に実現していくが必要になる。「ダイバース・ユニバース」でも今後のプロダクト開発と併せて、万博を通じ多くの人へ環境問題解決に向けたメッセージを発信していくつもりである。特に、これからの未来を担う世界中の子供たちに、これらのアウトプットを通じて環境問題へ興味を持ってもらうことが狙いである。

6 ◆ コンセプトマンガ企画

今やクールジャパンの源泉の一つとなった日本が誇る文化の一つに「マンガ」があるが、その発祥は平安時代後期から鎌倉時代にかけて描き継がれた絵巻物「鳥獣人物戯画」だと

言われている。ここまで世界中を熱狂させる「マンガ」はパンデミック時のロックダウンをキッカケに、さらに各国での販売部数が急増しているという。「ダイバース・ユニバース」でも世界中の人々が注目する万博のアウトプットの一つとしてコンセプトマンガを作成した(図8)。



図8 コンセプトマンガ「キタノヒツツクシ編」

宇宙や星座にそこまで興味がない人たちの中にも「マンガは読む」という人は少なくないだろう。「違う時代、違う文化で生きてきた人々も、皆同じ星空を見上げてきた」と言葉で発信しただけではピンと来ない人であっても、ふと手に取ったマンガのストーリーを追うごとに、いつの間にか星空に関心を持つようになればコンセプトマンガの意義は十分である。どんな切り口から入ったとしても「星空を通じて多様性を学ぶ」ことに繋げることができるのであれば、間口は広いに越したことはない。

7 ◆ 多言語化表示のWEBサイト

「ダイバース・ユニバース」では、特設サイト*1を開設して万博に向けての情報発信を行っている。このWEB発信で特に意識したのが多言語化表示である。



図9 「ダイバース・ユニバース」特設サイトの多言語化機能

早期に多言語化のシステムを導入し、現在は日本語・英語・中国語(簡体字)の3言語に対応している(図9)。今後もさらに複数言語に対応できるように準備中である。

また、活動報告にとどまらない情報発信として、世界中に点在する星座情報を整理し、一つのWEBサイトで比較する

ことができる「世界の星座図鑑」の作成も行っている（図10）。

現在、協力いただいている専門家の方々から集まってきた情報を精査しながら、随時更新作業中である。「こ



図10 「世界の星座図鑑」WEBサイトTOPページ

ここを見れば世界中の星座がわかる」と、天文ファンのみならず、世界中の子供たちにそうしてもらえるようにすることが万博後の目標である。

「ダイバース・ユニバース」が掲げている「星空を通じて多様性を学ぶ」というコンセプトは、万博後の世界も見据えたメッセージでもある。

8 ◆ 香港チームとのパートナーシップ

「ダイバース・ユニバース」は万博をキッカケに、世界中のパートナーとの共創を進めている。

2024年現在、さまざまな関係者のご尽力の下、Ho Koon Nature Education cum Astronomical Centre から3名の協力者を得ることができた。多言語を交えながらオンラインビデオツールを使用したミーティングを重ね、すでに日本への招聘も実現した。

香港チームは来日の際、巨大なスーツケースをいくつも連ね、珍しい中国の天文資料を大量に持参してくれるなど、積極的に「ダイバース・ユニバース」への協力体制と理解を示してくれた。短い時間でのミーティングではあったが、日本と中国という異文化における共通点や違いを一つ一つ確かめ

合うことで、「星空を通じて多様性を学ぶ」ということをチームメンバー全員が実感した瞬間でもあった（図11）。香港チームは自国でも「ダイバース・ユニバース」の活動機会を作っていきたいと



図11 香港チームとの日本での打ち合わせのようす

前向きに意思表示してくれた。

今後もアウトプットを続けながら、万博後を見据えた活動として世界各地に協力者を増やしていきたい。

9 ◆ イベントでの活動報告

「ダイバース・ユニバース」では、ここまで紹介してきた各プロダクトを多くの人に実際に手に取ってもらう機会を、すでに数多く創出してきた。また、少しでもプロジェクトを知ってもらえるように、チャンスを見つけてはアウトプットの仕方を変え、さまざまな層の人たちにアプローチを続けてきた。

2023年8月に東京TFTホールで開催された小中学生のファッションイベント「ニコ☆フェス2023」では、シールプリント機「ファミプリ」を利用して、「ダイバース・ユニバース」のイメージシールを作成するイベントを開催し、100名以上の小中学生に楽しんでもらった（図12）。



図12 「ダイバース・ユニバース」プリントシールイベントのようす

同年12月には「青少年のための科学の祭典2023」奈良大会にも出展し、ARプロダクト「星空さんぽ」の体験会を開催した。全体来場者数が450名と大変盛り上がった中、「ダイバース・ユニバース」のブースには定員いっぱいの50名が来場した。参加者の68%がスマートグラス初体験だったが、歓声を上げながら自由に身体を動かしARの宇宙空間を楽しんでもらえた。

また、啓林館が開催している「わくわく学習教室」内でも「ダイバース・ユニバース」の「星空を通じて多様性を学ぶ」というコンセプトを伝える活動を続けているが、特に自分だけの星座を自由に創作してもらうワークショップでは、子供たちの素直な反応と自由な発想がさく裂していて、毎回楽しい時間となっている。

こういった一連の活動を通じて「ダイバース・ユニバース」の掲げている「星空を通じて多様性を学ぶ」というコンセプト

トは異なる時代や異文化の人々への理解にとどまらず、日本人同士における他者理解の架け橋にもなるのではないかと考えさせられる機会が増えた。

子供の頃、好きな色のペンを握って自由帳に好き勝手に落書きをしていた「正解はない」という感覚が、今では自分を縛る「間違っただけいけない」という感覚にすり替わってしまった人も多いことだろう。多様性を学ぶ前に、そもそも「多様性」とは何かを熟考する時間が私たちには必要なのかもしれない。

10 ◆ 万博本番に向けて

本稿の執筆時点で、2025年の万博本番まで半年を切った。多くの参加者は皆それぞれ日常の仕事の合間を縫ってアイデアを出し合い、現実的なタスク管理を行いながら着々とプロジェクトを進行していることだろう。各自のプロジェクトに集中していると、どうしても客観性が失われやすい。「本当にこの活動が万博の成功につながるのか？」そういった漠然とした不安を抱えながら、自分のすべきことをプロフェッショナルに遂行することだけがプロジェクト実現の根幹だと感じる。

そんな行き場のないモヤモヤした感情をクリアしてくれるのが、万博の参加者が一堂に会する「TEAM EXPO 2025 MEETING」である。このイベントは本番さながらの形式と仕様で会場を創り上げ、プロダクトを披露するためのブース展示や活動内容を共有するプレゼン大会などが行われる。参加者同士が顔合わせできる貴重な機会である。

「ダイバース・ユニバース」は、第3回「TEAM EXPO 2025 MEETING」からイベントに参加した(図13)。1,000人近くが参加し、2日間にわたって行われたこのイベントでは、万博本番に向け、限られた時間で各々が準備を続けた途中成果を共有し合うこと



図13 第3回「TEAM EXPO 2025 MEETING」のようす

で、一つの大きなプロジェクトを皆で支え合っているという一体感と、自分たちのプロジェクトを丁寧に仕上げることが万博の成功を導くということを皆が実感したのではないかとと思う。主観と客観は正常に循環されてこそ、人の感情をゆさぶるアウトプットが生まれるのだろう。

「TEAM EXPO 2025 MEETING」は回を重ねるごとに気づきが生まれ、ブラッシュアップが進む。参加者どうしや一般の来場者を含め600人近くが来場した第4回「TEAM EXPO 2025 MEETING」(図14)では、準備や発表のコツを掴み余裕が出てきたこともあり、来場者との積極的なコミュニケーションが取れるようになってきた。万博のテーマでもある「共創」の機会は、何気ない会話のちょっとしたキッカケが突破口になったりもする。メッセージは双方向に有機的なコミュニケーションが発生していることが重要なのである。 ◆



図14 第4回「TEAM EXPO 2025 MEETING」のようす

脚注

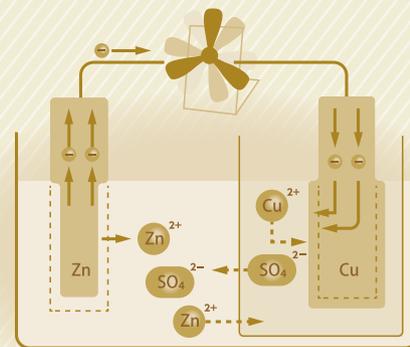
*1 「ダイバース・ユニバース」特設サイト

<https://www.shinko-keirin.co.jp/expo2025/>

【第5回】

理科の授業に登場する電池

ーボルタ電池について



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。

はじめに

イタリアの生物学者ガルバーニは、解剖したカエルの脚が2つの異なる金属に触れると勝手に動くようすを見て、カエルの脚に電気(動物電気)が蓄えられていると考えていました。イタリアの物理学者であるボルタはこれに疑問を持ち、電気の発生源はカエルの脚ではなく2種類の金属の接触にあると考えました。1800年には、図1のように銅板・亜鉛板と湿った厚紙を何枚も重ねて作ったボルタ電堆(ボルタ電池の原型)で強い電気が得られることを示しました。電池の歴史は、ボルタのこの研究によって始まったともいえるので、化学史の観点から、また電池構造の簡単さもあって、ボルタ電池は中学校の理科や高等学校の化学で長年取り上げられてきました。

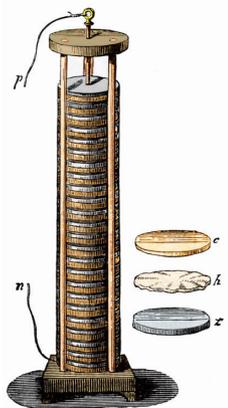


図1 ボルタ電堆

© Science Photo Library / ア7口

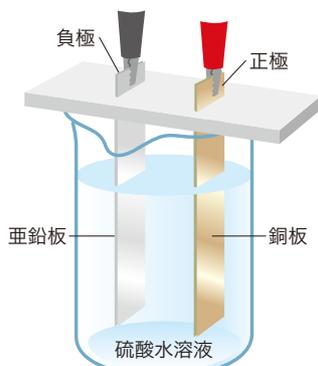


図2 ボルタ電池

教科書などに登場するボルタ電池は、図2に示すように、単純化されたもので、読者の皆さんの中にも覚えている人が多いと思います。教科書などでは、希硫酸または塩酸と亜鉛板・銅板を組み合わせたものが一般的ですが、基本的にはイオン化傾向の異なる2種類の金属と導電性のある水溶液があれば電池になるので、いろいろなバリエーションが登場するのもボルタ電池の特徴です。

教材としてボルタ電池に人気があったのは、上で述べたように、その歴史的な価値や単純な構造だけではありません。ボルタ電池ではイオン化傾向の異なる2種類の金属(銅と亜鉛)を使用しているので、電池の原理をイオン化傾向と関連させて説明しやすいこと、また、電極で反応が起きていることを電極上での水素の発生を見て視覚的に確認できることが大きいでしょう。では、なぜこれだけ優れた特徴があるにもかかわらず、近年では教材の地位を追われたのでしょうか。一言でいえば、ボルタ電池の電極が可逆ではないことがその理由です。このことが何を意味するのかについては、以下で説明します。

不可逆な電極とは

電極反応が、例えば $\text{Cu} = \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ のように1つの可逆な反応で表せれば、その電極は電流を流していないときに安定な電位(平衡電位)を示すことを前回説明しました。平衡電位を示す電極は可逆な電極とも呼ばれるのですが、ボルタ

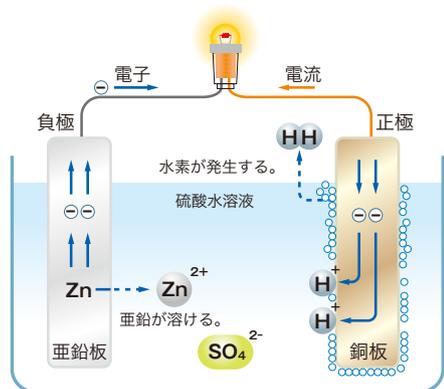


図3 ボルタ電池の説明

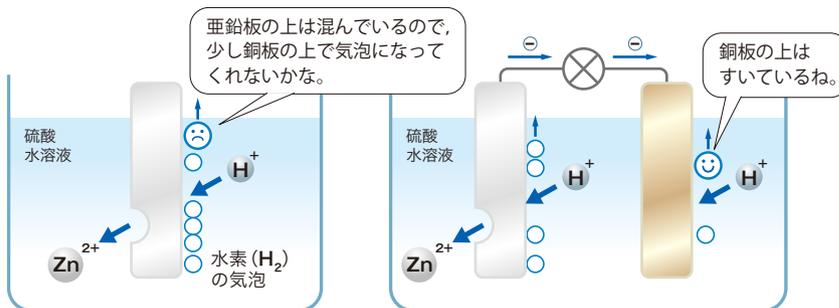


図4 ボルタ電池の電極反応のようす

電池の電極は可逆ではありません。ボルタ電池について教科書などでは、図3に示したように負極で亜鉛が溶け出し、そのときに生じた電子が正極に移動して正極表面で水溶液中の H^+ と結びついて H_2 の気泡が生じると説明されています。しかし、電池のようすをよく観察すると、負極である亜鉛電極からも水素の泡が激しく発生しているようすが見られます。すなわち負極表面では亜鉛の溶解と水素の発生 ($\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ と $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$) という2つの反応が同時に進行しているのです。負極からの気泡の発生は、両極を電気的につないでいないときも起こるので、この電池は使用しないときもどんどん反応が進んで、負極の亜鉛を消費してしまうことになります(亜鉛板を硫酸などの水溶液に浸漬させているのだから水素を発生して溶けるのは当然です)。未使用時に少しずつ残量が減少する傾向はどんな電池にも見られ、これを自己放電と呼んでいます。しかし、実用電池であればほとんどの場合、自己放電は非常に小さく抑えられており、ボルタ電池のように、使っていても使っていないときも同じくらいの速さで亜鉛が消費されてしまう電池というのはまずあり得ません。

もう少し丁寧に考えてみましょう。例えば、第2回目に登場した空気亜鉛電池を思い出してください。空気亜鉛電池の全反応は、 $2\text{Zn} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{ZnO}$ となります。この反応は空気中に置かれた金属の亜鉛が、空気中の酸素によって酸化される際に見られる反応と同じです。しかし空気亜鉛電池では亜鉛粉末が充てんされている負極には酸素は存在せず、また空気中の酸素の取り組み口となっている正極には金属の亜鉛は存在しないので、両極を電気的につながらない限り上記の反応は起こりません。正極と負極をつないだとき、初めてそれぞれの電極で反応が進んで電気が流れるしくみ、すなわち自己放電を抑えるしくみがそこにあるのです。

一方、ボルタ電池では、上で述べたように、亜鉛板を硫酸水溶液に浸けた時点で、亜鉛の溶解と水素の発生が同時に起こります。そして両極を電気的に接続すると、これまで亜鉛板上で起きていた $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ の一部が銅板上でも起こり、これにともなって電子が負極から正極側に移動します(図4)。このとき、どのくらいの割合の水素が銅板上で発生しているのかについては、負荷の大きさや電極面積などにも依存するので簡単にはいえませんが、たいていの場合、銅板で発生している水素の量は亜鉛板上の水素に比べてかなり少ないといえそうです。ただし、亜鉛板の表面に水銀を塗布すると水素が発生しにくくなるため、その分銅板で水素が発生する割合を増やせる裏ワザがあります。ボルタ電池を授業で扱う際に、生徒に負極から水素が出る理由を尋ねられると説明が煩雑になるので、これを避けるために生徒には内緒でこっそり水銀を塗布した亜鉛板を使用した教員もいたという話を聞いたことがあります。しかし、生徒に内緒で、こっそりというのは褒められた話ではありませんし、通常の乾電池でも水銀の使用がなくなった今、このような方法が学校で認められることはもうないでしょう。

電極で起こる反応

さて、ここまで読まれた方はボルタ電池の正極では、銅や銅イオンを含む反応が起きていないことに既に気づいていると思います。そもそもボルタ電池のメリットとして、「イオン化傾向の異なる2種類の金属を使用しているので…」と書いたのに、正極での反応には水素と水素イオンしか関与しません。このことは正極が銅である必要はなく、原理的には炭素棒を使っても電池ができることになります。

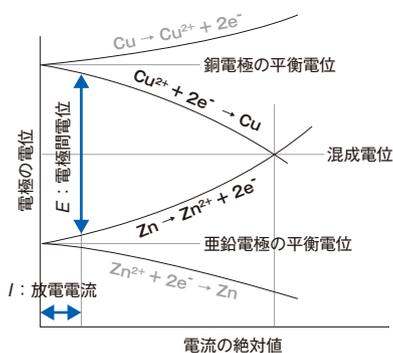


図5 銅電極と亜鉛電極からなる電池の分極特性

前回、銅樹の説明に図5に示した関係を使いました。銅樹は銅電極と亜鉛電極が短絡したときに見られる現象ですから、銅電極と亜鉛電極からなる電池（次回お話しするダニエル電池がこれに近い電池です）の特性は図5とほぼ同様です。一方、ボルタ電池の特性は図6のようになります。負極では2つの反応が同時に進行しているものの亜鉛の溶出のほうが少しだけ大きいのでその差に相当する分だけ、正極上で水素が発生しており、図中の E と I が電極間の電位差と外部に取り出せる電流ということになります。正極と負極が電気的につながれていないとき（開回路時）は正極での反応が定まらないので、2つの電極間で安定な電圧が生じるのは、電流を取り出しているときに限られます。これも、自己放電が大きいことに加え、不可逆な電池に特有な性質といえます。

分極と減極材

昔の教科書には、ボルタ電池は、2枚の金属板を硫酸水溶液に浸漬させた直後は高い電圧を示すが、すぐに銅電極の表面を水素の気泡が覆って電圧が低下する、のような説明が書かれていました。しかし、電圧の低下は水素の気泡とは直接関係しません。むしろ、銅の表面を覆っていた酸化銅が硫酸水溶液中に溶け出し、銅イオンとなったものが銅板表面で一時的に銅電極を形成し、銅の電位を示す（電池としては高い起電力を示す）という考え方のほうが説得力があります。学校現場の教員の中には、ボルタ電池の実験をする際には、事前に銅板をバーナーであぶり酸化被膜を作ってから使用したという話もありますので、当時の教員は既に酸化物の存在やその動きを経験的に知っていたと考えられます。また、過酸化水素などを加えることで水素の気泡の発生を抑制し、分

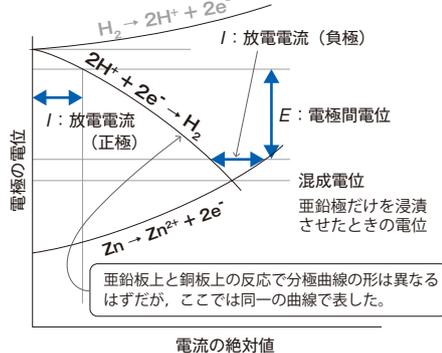


図6 ボルタ電池の分極特性

極を小さくできると考えて、この目的で加えられる物質を減極剤と呼んでいましたが、これについては単に電極で反応する物質が変わり、正極の反応が、 $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ から $2H^+ + H_2O_2 + 2e^- \rightarrow 2H_2O$ になって負極との電位差が大きくなったと考えるほうが自然でしょう。

余談・おわりに

小学校2、3年生の頃だったと思います。

日曜日の朝に放送されていた子供向けの番組の中で、電池を作ろうという話があり、そこでボルタ型の電池が取り上げられたことがありました。具体的には、輪切りにしたレモンを亜鉛板と銅板で挟んで、流れる電流を検出しようとするものです。私自身、テレビで見た実験をさっそく自分でもやってみたのですが、亜鉛板が見つからず、電池は断念して、方位磁針を使った検流計だけ作ったことを覚えています。今回、本稿を書きながら、昔のことを思い出して試しに作ってみたところ、ちゃんと検流計が動き、数十年ぶりに子供時代の願いがかなったような気分になりました。でも、もしこの番組の制作者が、亜鉛板ではなくアルミ箔でも電池ができることに気づいていれば、私の夢は何十年前にかなっていたのかもしれない。

さて、このようにレモンを用いたボルタ電池は、最近の教科書中でもフルーツ電池などと称して紹介されることがあります。ごく身近にあるものだけでも簡

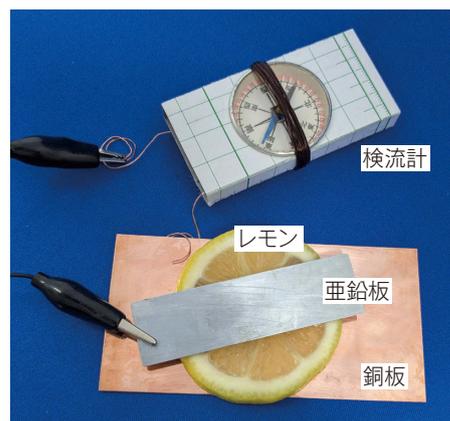
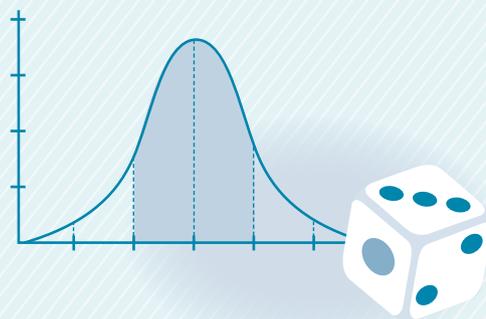


図7 フルーツ電池

単に電池ができることは、生徒に電池について興味を持ってもらう際には有効です。しかし、ボルタ電池のメカニズムは数ある電池の中であまりに特殊であり、少なくともその後の学習に結び付きにくいことを考えるとやはり化学史上の資料かフルーツ電池の紹介程度にとどめ、電気化学の主教材から外されることは、しかたのないことでしょう。

【第6回】 画鋲を投げる



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、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。

確率 $\frac{1}{6}$ は「6回に1回」か

どうして画鋲なのでしょう。コインやさいころでは面白くないだけでなく誤解があるのです。大切なことが言えません。アメリカのテキストにも画鋲は登場します。

さいころを投げるとそれぞれの目の出る確率は $\frac{1}{6}$ 、コインを投げて表が出る確率は $\frac{1}{2}$ と教室では教えられています。この答えは（科学なのに）実際に投げないで出ています。では画鋲を投げて上を向く確率はどうでしょう。これは答えが出ていないので、投げる実験を繰り返すとそのたびに異なったデータが得られます。そうなれば「科学的」に考えられず何も解決できないのでしょうか？ そうではないでしょう。それどころか科学の入り口です。

さいころもコインも画鋲と同じく特別の仕掛けは何もありませんが、さいころでは幸い1の目が出る確率は計算で $\frac{1}{6}$ と求められます。でもそれだけでは終わりません。実際、数学的に「6回に1回1が出る」という意味だと言われますが、この言い方は（間違いとは言えませんが）非常に不正確あるいは大きな不都合を引き起こすことになります。例えば、実際に6回投げて1の目が1回も出ないことはいくらでもあり、また60回投げて1の目がちょうど10回出ることほとんどありません（偶然になることはあります）。

コインを投げて表が出る確率も $\frac{1}{2}$ とされていますが、こ

れも実験で100回投げて表がちょうど50回にはまずなりません。実際、50回表が出る確率は二項分布 $B(100, 0.5)$ から、

$${}_{100}C_{50}(0.5)^{100}$$

ですが、これを直接計算するのは無理で、近似計算によれば本当に小さく、0.1（10%）を切り、わずか0.079です。

これはいったいどうしたことでしょう。それなら、確率 $= \frac{1}{2}$ とはいったい何を意味するのでしょうか。厳密数学では手に負えません。そこが確率論で、それは終わりではなく始まりです。画鋲は確率（あるはず）がわかっていないだけに、さらに確率論のいっそうの深遠さを想像させます。数学で答えが出る確率の問題さえ、その意味が難しいことが少なくないのに、社会ではさらに人の答えは十人十色、経済や選挙のデータもバラバラです。「科学」は探究の学問ですから、ここでも「科学的」にもっと広く考え広い範囲の実践に発展させることが重要です。21世紀は確率・統計の世紀です。

「確率 = p 」の科学的意味：大数の法則

確率論は難しい言葉で言うと、数学のような答えが一通りの「決定論的」考え方とはちょうど反対側になります。確率が $\frac{1}{2}$ ということは、20回コインを投げてちょうどキッチリ10回表が出ると答えが決まっているわけではありません。

その確率は、二項分布 $B(20, 0.5)$ から 0.176 に過ぎず、9 回のときもあれば 11 回のときも優にあり得ますし（確率はともに 0.160）、ほとんど予想はできませんが、5 回のときも 15 回のときも全くないわけではありません（それぞれ 0.015）。これは事実のとおりで、これを認めない人はいないと思いますが、これが確率論の見方の特徴です。

確率論のこのような考え方についていけない人は多くいます。それは計算があやふやというのではなく、もともと「不確実性」を受け入れがたいからでしょう。確率論でこの不確実性が計算可能になることは見たとおりです。したがって、確率論によって私たちの科学的見方や可能な行動の情報が広がったことになりませんか。

※「二項分布」の計算はExcelのBINOM.DIST関数によっています。

さて、そうすると逆に $\frac{1}{2}$ が表していることは何か、つまり一般に「確率 = p 」の内容です。哲学的になりそうですが、皆がついていけそうな答えはずいぶん前から確立しています。ベルヌーイの「大数の法則」Law of Large Numbers です。

正しい確率に集中

見たとおり、 $n = 20$ （回）に対し確率 $\frac{1}{2}$ からピタリ 10 回とは限りませんが、10 回が最大の確率ではあり、9、11 回を加えると 0.497 になって、確かに「10 回周辺」に集中とは言えそうです。 $n = 20$ に対してですから、割合（相対頻度といいます）は 0.45、0.5、0.55 となり「 $\frac{1}{2}$ 周辺」に集中と言い換えてよいでしょう。これが $p = \frac{1}{2}$ のヒントになりそうです。割合の範囲が同じく 0.45 ~ 0.55 の確率を $n = 500$ （表が 225 ~ 275 回）、1000（表が 450 ~ 550 回）に対しても計算してみました。

n	$n \times (0.45 \sim 0.55)$ 回表が出る確率
20	0.497
500	0.977439
1000	0.998596

n が大きくなると、すごく集中していますね。 n さえ大きければ、0.49 ~ 0.51 と割合の範囲を狭くしても同様です。

これから次のことが正しく言えます。

大数の法則

確率 = p とは n 回の試行でちょうど $x = np$ 回起こることではない。単に、 np 回を含めて周辺の一定比率範囲（例えば p に対し 0.9 ~ 1.1* 倍）の回数も併せて起こる可能性に過ぎない。しかし、試行回数 n が大きくなるにつれてその確率は高くなり、 n が十分大きければ回数 x は np 周辺に集中し、実質的に $x \doteq np$ として全く差し支えない。

*0.99 ~ 1.01, 0.999 ~ 1.001 でも構わない。

これを、逆転すれば、

n が十分大きければ、逆に回数 x から $p = \frac{x}{n}$ で p が求められる。

したがって、数学では求められなかった「画鋸が上を向く確率」 p も理論的に正当な方法で求めることができます。読者には「約」とか「 \doteq 」をあやふやと感じた人もいるかも知れませんが、「約」が正しいことの証明となっています。

必ず p に収束する：大数の強法則シミュレーション

ここまでは「大数の法則」として以前より知られ証明もされていましたが、次は n を動かしながら、その n 回で起った回数 x から $\frac{x}{n}$ の系列が $n \rightarrow \infty$ のとき自然に p に収束することは予想できますし、実際に確率論で証明できます。これも「大数の法則」といい、前者を（大数の）弱法則、後者を（大数の）強法則と言います。弱法則は 18 世紀に、強法則は 20 世紀に証明が与えられています。

ここで $p = 0.4$ でシミュレーションを取ってみます。0 ~ 1 の一様乱数 U_1, U_2, U_3, \dots を生成しておき、 $U < 0.4$ なら 1、 $U \geq 0.4$ なら 0 とすれば、0、1 の系列で、1、0 はそれぞれ確率 0.4、0.6 で起こります。各 n 回まで 1 が x 回として、



図 1 大数の強法則

横軸 = n , 縦軸 = $\frac{x}{n}$ の数列を図にすると、確かに $n \rightarrow \infty$ のとき $\frac{x}{n} \rightarrow 0.4$ となるようすが可視的に観察できます (図 1)。これはシミュレーションですが、うまくいったケースを示したのではなく、何回繰り返しても必ず同じ結果となります。この「必ず」を証明したのが「大数の強法則」です。

ここまで確率 = p の正確な意味を説明してきましたが、これが一番わかりやすい図でしょう。図から n が大きければほとんど $\frac{x}{n} \doteq 0.4$ のはずですから、例えば $n = 1000$ から $x = 400$ (回) で、これが確率 = 0.4 の正しい意味と言えば納得する人も多いでしょう。「回数 n が大きければ」がカギでした。

「中心極限定理」

ここまで見たように、「確率」はそれ自体ものごとの起り方の規則で、モノの規則ではありません。確率論の法則とは「規則の規則」であり、万物を選ばず成り立ちます。大数の法則も「何か」についてではなく万物について成り立っています。さて、その極め付きは「中心極限定理」です。この名がいかにもすごいのですが、タネもシカケもないのです。さいころを手にとって下さい。何のヘンテツもありませんが、ここにも中心極限定理が入っています。月の表面でも全宇宙のかなたでもどこでも成り立っているのです。

さて「正規分布」は高校の数学 B で習いますが、どこか特別と感じていませんか。そうではありません。ちなみに、手のひらに 3 個のさいころを取り、投げてその目 X, Y, Z の和 $X + Y + Z$ を記録して下さい。和は 3 ~ 18 になるはずですが、その確率は多少面倒な計算ですが苦もなくでき(略)、図にすると下のようになります (図 2)。



図 2 さいころ 3 個の目の和 $X + Y + Z$ の確率

これはほとんど正規分布です。さいころを 4 個, 5 個, ... と増やすにつれ、容易に正規分布に一致します。いつもコンビニで見捨てている一円コインでも構いません。表, 裏をそれぞれ 1, 0 とし、今度は 10 枚投げてその和 (つまり表

の枚数) を記録すると、結果は 0 ~ 10 で得られますが、その確率にももの見事に正規分布が出現します。

宇宙に満ちる中心極限定理: 誤差関数

神秘的な「中心極限定理」によって「正規分布」という不思議なランダムな法則が世界のどこにも潜んでいることがわかりました。「ランダム」と言いますが、この世界に「確定的」に定まっているものはありません。測るときには必ずランダムな「誤差」が伴います。これを「誤り」と勘違いしてはならず、測定の方が未熟だとか、測定具が不完全だということに限りません。誤差も現象の重要な一部であってその法則まであり、ガウスの「誤差関数」(error function) と言われていますが、これが「正規分布」の最初の出現です。

誤差関数は積分で表されています (右図) が、元の関数 $\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ が「正規分布」です **。不定積分は存在せず積分のままであるのがポイントで、「誤差積分」で通っています。

**ほとんど標準正規分布と言ってよいが、 $x \rightarrow \frac{x}{\sqrt{2}}$ と変えれば (定数も変え) 標準正規分布の累積分布関数 $\Phi(x)$ が得られる。

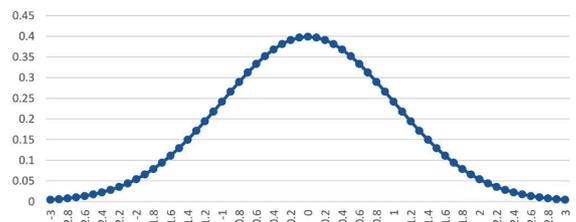


図 3 標準正規分布密度関数

無数の諸要素の総体作用の結果として中心極限定理によって「正規分布」(別名「ガウス分布」) が出現しました。今日では、遠い銀河系宇宙の天文学の研究 (例えば重力波) やゲノムの遺伝子情報学 (Bioinformatics) など、文字どおり極大から極小の世界まで成り立つと考えられています。



【第6回】

電子(エレクトロン electron)

私はあなたが新語を求めていることを耳にすると、いつも嬉しくなります。なぜかと言いますと、この欲求はあなたが新しい思想を追求していることを示すことにほかなりませんから。

ヒューウェル (1794～1866)
「ファラデー宛の手紙」(1850)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

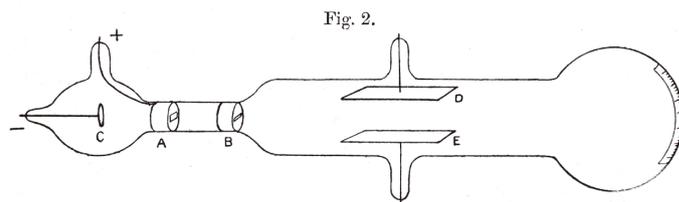
1950年徳島県生まれ。関西大学工学部および同大学院修士課程で気体電子工学専攻。卒業後35年間、徳島県の公立高校で理科(物理)教員として勤務し、2011年定年退職。1982年に徳島科学史研究会を創設。理科教育の立場から科学史の活用に関心を持つ。科学史を取り入れた高校教科書『理科基礎』(実教出版)の共同執筆にもかかわった。おもな著書に、『理科教育と科学史』(大学教育出版)、『測り方の科学史(I)(II)』、『単位の成り立ち』(以上恒星社厚生閣)、『物理定数とは何か』(講談社ブルーバックス)など。趣味は毎日1万歩、1時間15分歩くこと。現在地球の全周の100分の94を達成。

電子(エレクトロン, electron)は、1897年イギリスのJ.J. トムソンによる陰極線の研究から発見された微粒子の名称です。しかし彼自らは、この微粒子にエレクトロンとは名づけませんでした。なぜなのか、どんな名前をつけたのか、エレクトロンの語に最終落ち着くまでどんな紆余曲折があったのか。この語にはどんな意味が含まれていたのか。今回は、エレクトロンという用語の成り立ちと意味について取り上げます。

陰極, 陰極線, コーパスル

陰極線の研究は、J.J. トムソンが行う前から多くの先行研究がなされ、用語の上でも、cathode(カソード、陰極)、cathode rays(陰極線)という語も定着していました。cathodeという語はanode(アノード、陽極)という語とともにファラデーが電気分解の研究の必要性から1834年に造ったものでした。1850年頃から、ガラス管内の空気を抜いて、管内に封入した2電極に高電圧を加えて放電させる研究、気体の電気分解ともいえる研究が盛んに押し進められました。プリュッカー、クルックス、ゴールドシュタイン、ヴィーヘルトなどの名が思い出されます。このうちゴールドシュタインはKathodenstrahlen(陰極線)という語を初めて用いました

(1876)。陰極から放射線のようなものが出ているとのイメージからでした。それでは陰極線の本性は何なのか、それは帯電微粒子かエーテル波動かをめぐっての論争も行われました。トムソンは、ビーム状にした陰極線に電場や磁場をかけて、ビームの偏向の有無と程度を調べました。この結果、電場でも磁場でも偏向することから、陰極線は負の帯電微粒子であると結論づけ、また偏向の程度から、この帯電微粒子の電荷と質量の比、いわゆる比電荷の値も測定しました。さらに、陰極の金属の種類やガラス管内の気体を変えて測定しても比電荷の値に変化はなかったため、トムソンは陰極の金属が何であれ、それを構成している原子内からこの負の帯電微粒子が飛び出してきたと結論づけたのです。論文は、1897年に「陰極線」と題して発表されました。



© Science & Society Picture Library/ アフロ

J.J. トムソンの実験装置の1つ 1897年の論文から。陰極Cから陽極Aに向かって飛び出した帯電微粒子(電子)は、ビーム状になって平行極板DEへと導かれる。電場と磁場を加えたときのビームの偏向の程度から、比電荷 e/m が測定された。

トムソンはこの論文で, electrified particle (帯電微粒子) とか, particle of matter charged (帯電物質粒子) という一般語で論を進めたのち, 用語の問題に切り込みます。彼はプラウトの仮説を引き合いに出して, 「水素の代わりに何か未知の primordial substance (原物質) を持ってくれば, 今知られている事実の範囲でこの仮説に矛盾するものはない」と述べ, 続いて, 「電場によって陰極から投げ出されるのは普通の chemical atom (化学的原子) ではなく, primordial atom (源始的原子) である」とし, 簡単のために corpuscle (コーパスル) と呼ぶことにすると述べました。この語は, 微粒子, 一般に微小体を意味し, 古代のルクレティウスなども使った語でした。彼は, 引き続いて発表した論文においても, この語を使い続けました。

■ エレクトロン, エレクトリカ, エレクトリシティ

そもそも, electron という語は何を意味するのか, これを理解するには, 1600年に刊行されたイギリスのギルバートの著作『磁石論』にさかのぼるとよいでしょう。第2巻第2章で, 琥珀こはくの名称についてこう書かれています。

「ギリシャ人たちは, この物質を ἤλεκτρον (エレクトロン) と呼ぶが, それは摩擦によって熱せられるとき, 粉殻もみがらを自己に引き付けるからである。そこから ἄρπαξ (アルパックス) とも呼ばれ, 金色をしていることから χρυσοφόρον (クリソフォロン) とも呼ばれる。」

ギルバートは, 琥珀のギリシャ語 ἤλεκτρον に初めて光を当てたのです。この語はラテン語で electrum, 英語では electron と表記されました。

彼はまた, electrica (エレクトリカ) なる新語を造りました。琥珀以外の種々の物質を摩擦して, 同様に粉殻などを引き付ける性質の有無やその強さを観察したのです。そうすると, ものを引き付ける性質を持つ物質はほかにも多数あることがわかったのです。それらの物質を総称する語の必要性から造られたのが electrica (コハク性物質, electric bodies) でした。

electricity (電気) という語を初めて使ったのは, 半世紀近くも後の 1646年, イギリスのトーマス・ブラウンとされています。彼はこの年刊行の著作『プセウドキシア・エピデミカ』第2書第1章で, こう書いています。

「水晶は electricity, つまり, 粉殻や軽いものを引き寄せる力を持ち, 自由に置かれた針を動かせる。」

electricity とは, electrica (コハク性物質) が持つ働きや状態を意味する語と取れます。

電気に関する研究は, 時代が進むにつれて, electrify, electrical のような語や他の名詞と結合した関連語が多数造られていきます。ただ, electron という語は死語であるかのように, 19世紀後半まで表に出てくることはありませんでした。

■ エレクトロンの語の登場

electron の語に新しい意味を与えたのは, イギリスのストーニーでした。彼は, ファラデーの電気分解の法則に注目し, 1874年の論文で, 自然界には電気の最小単位が存在し, それは1価のイオンが担う電気量であるという見解を初めて打ち出しました。続く1891年の論文では, この電気の最小単位として electron の語を提案したのです。こう述べています。

「ファラデーの電気分解の法則に注目しなければならぬ。この法則はあらゆる場合について同一なある一定の電気量が, この際破壊されてしまう化学的接合のおのおのに移行すると言い換えられる。この一定の電気量を便宜上 electron と呼ぶことにする。」

電気の最小単位を考えるとということは, 物質の原子を認めれば, おのずと出てくることでもありました。彼は, これを atom of electricity (電気の原子) とも呼びました。マクスウェルやヘルムホルツもこの考えを持ち, 特にヘルムホルツは, quenten (素量) の語も用いました (1881)。

いずれにしても, electron という語は electricity (電気) の一区切りを意味し, 質量を持つ微粒子の名称ではなかったことに注意したいです。

■ イオンからエレクトロンへ

陰極線研究とほぼ同時期に光の諸現象を究明する必要性からも, 帯電微粒子の存在が認識されました。

オランダのローレンツは, 1895年の論文で, 帯電微粒子を, ファラデーが電気分解の研究で造った新語を借用して, ion (イオン) と名づけました。光の放出にあずかるイオンという意味

で light ion (光イオン) と呼ぶこともありました。ゼーマンやラーモアなどもイオンの名称を使いました。ローレンツは、エーテル場でのこのイオンの運動方程式を解くことによって、光の分散やゼーマン効果などの諸現象を見事に説明しました。ゼーマン効果とは磁場をかけると気体から出る光の輝線が分離する現象のことです。

イオンの語は、今日の分子や原子が帯電した粒子を意味しておらず、今日の electron に当たります。ローレンツもほどなくイオンの語の代わりに electron の語を使うようになりました。1906年には、electron の語を全面に出して、「The Theory of Electrons (電子論)」と題して、アメリカのコロンビア大学で、一連の講義を行いました。講義録は1909年に出版されました。第1章で用語について述べているのが興味深いです。

「電荷は、物質に固着しているもの、あるいは物質の一つの性質と考えれば、電荷に働く力という考え方に容易に慣れることになるであろう。これが electron に対してこれまでに使い、これからもときどき使う帯電粒子という名前の根底にある思想である。後に、少なくともいくつかの場合には、この名前の適合性が幾分疑問であることがわかる。しかし、そのことはどうであれ、名前は諸君のお好み次第だが、電荷とか electron とか、あるいは帯電物質とかに作用する力というものについて語らなければならないことは確かである。」

■ エレクトリオン、ダイナミッド

原子の内部に、負の帯電微粒子が存在することが J.J. トムソンらの陰極線研究やローレンツなどの物質の電磁光学的研究からも確かなものにされると、種々の原子模型が提唱される段階に入ります。このとき、この負の帯電微粒子はどんな名称で呼ばれたのでしょうか。

トムソン自身は無核模型を提唱しました(1903)。正に帯電した原子球内にスイカの種のように多数の負の帯電微粒子があるとすると、この微粒子を当然 corpuscle と呼びました。同様な模型を提唱したケルピンは、この微粒子を electrion (エレクトリオン) と呼んでいます(1901)。

一方有核模型を提唱したのは長岡半太郎(1904)やペラン(1901)でした。長岡の模型は土星型といわれ、土星の輪に相当する部分に負の帯電微粒子が分布するというもので

す。この帯電微粒子に、英語論文では、題目に particle の語を、自ら訳した日本語訳論文では「原子内分子」の語を当てています。地の文では、エレクトロンの語も用いています。トムソンと同国のペランは corpuscle の語を用いました。

ほか無核型という意味では、第1のトムソンの模型と同じですが、原子内に正電荷と負電荷が対になって多数存在するという模型も提唱されました。レナートの模型ですが、この対になった帯電微粒子に dynamid (ダイナミッド) なる名称を与えました(1903)。

種々の原子模型が提唱された1905年頃には、名称も多様で、まだ electron の語に統一されていませんでした。

■ むすび

原子を構成する負の帯電微粒子にどんな名称を与えるのか、種々の語が使われましたが、大きくは corpuscle (コーパスル) か、electron (エレクトロン) かということろです。微粒子(物質)の持つ属性に電荷を与えるのか、質量を与えるのか、その両方を与えるのか、という自然観の違いにも由来しました。トムソンはこの両方を持つ微粒子を見つけたわけですが、corpuscle の語にこだわったのです。electron の語は琥珀が持つ電気作用の語感を伴うからでした。ところが最終的には、意味の転換が生じて、electron に質量概念が加えられ、この語が生き残りました。この語は1905年から1910年頃に定着しました。先述のローレンツの著作 *The Theory of Electrons* (1909) も大きく寄与しています。

それでもなお、電気素量の測定で著名なアメリカのミリカンは後年の著作(1917)の中で、ストーニーが導入した electron の語の元来の意味をもっと注意深く残しておかなかったことは不幸なことであったと述べています。それは、電気の単位のみを表す何らかの語が必要で、electron の語はそれにふさわしいからとしています。

一つの用語が真に定着するのに容易ではないことが、ここでも見てとれます。 ❖

文献案内

○物理学史研究刊行会編『物理学古典論文叢書』全12巻(東海大学出版会)

○R.A.ミリカン著、太田三郎・石田田人共訳『エレクトロン』(彰國社)

「深い学び」を実現するために

—教育フォーラム in 新潟—

新潟大学大学院 教育実践学研究所
特任教授

高橋 恒彦 / たかはし つねひこ

新潟県、新潟市の公立中学校、新潟大学附属新潟中学校で勤務。
新潟市教育委員会勤務したのち、新潟市公立中学校で校長として勤務。2023年より現職。



▶ 1 はじめに

現行学習指導要領が全面実施されて小学校で4年、中学校で3年が経過した。そうした折りに、主体的な学びや対話的な学びはどの学校にも浸透してきているようだが、「深い学び」の実現とそれによる資質・能力の育成はいかがなものか、という問題提起をいただいた。そこで、去る2024年1月21日に朱鷺メッセ国際会議場で開催された「教育フォーラム in 新潟」において、「深い学びを実現するために」をテーマに行ったパネルディスカッションについて報告する。

登壇者（敬称略）

数学科… 瀬野 大吾（新潟市立新潟柳都中学校 教頭）

国語科… 長谷川 聡実（新潟市立味方中学校 校長）

美術科… 石井 隆浩（新潟市立濁川中学校 教諭）

理科… 山際 勇也（新潟市立内野中学校 教諭）

英語科… 山崎 寛己（新潟市立下山中学校 教諭）

社会科… 倉澤 秀典（新潟市立横越中学校 校長）

▶ 2 各教科における「深い学び」とは

大学院で学ぶ院生や学校現場の先生方に、「主体的・対話的で深い学び」についての受け止めや取り組みの状況について伺うことがあるが、「主体的・対話的な学び」に比べて「深い学び」についてはその捉え方が多様であることを感じる。そこで、今回のフォーラムでは「各教科における『深い学び』とは」「深い学びへと導いていく要件は」という問いを投げかけさせていただいた。

●数学科における「深い学び」（瀬野 大吾 先生）

多くの子供にとって、今も将来も数学の知識や技能を直接的に日常生活の中で活用して問題解決をするような機会は少ない。しかしながら、ものを考えたり、困難を解決しようとしたりするとき、数学の授業を通して培った思考力が役に立つ。したがって、数学の授業を通して子供には学習内容もさることながら、「論理的思考力」「筋道を立てて説明する力」「物事の整合を図る力」などを育みたい。授業の中で知識が体系化されたり、新しい概念を獲得したりすることも「深い学び」であるし、学びを振り返った際に「あの考え方は困難な課題を解決するために有効だったな」「次に同じような場面に出合ったら試してみたいな」と自分にとって有用であった考え方を自覚し、汎用性を確認しながら身に付けていくことも「深い学び」である。

数学科において「深い学び」へと導いていくための要件は、「よい授業」と「適切な振り返り」である。前者は「子供が学ぶ意欲や必要性を感じている課題がある」「追究の見通しを持っている」「主体的・協働的に活動する」「結論自体やそれに至る過程について吟味する」などが大切であろう。また、後者は「(育成したい資質・能力に関わらせて) 視点を持つようにする」「振り返りのタイミング（時期や頻度など）」「振り返りの方法（手書き or ICT / 一人 or 仲間と / など）」「成果物の活用（振り返らせて終わりにしない）」などが大切である。振り返りの主な目的は学びの自覚である。

この両者は両輪である。それぞれが有効に機能することにより相乗効果をもたらす。例えば、子供が授業において豊かに学んでいなければ、振り返っても仕方がない。まずは「よ

い授業」ありきである。その上で授業を振り返り、自分にとって有用であった学びを自覚し、新たな授業の中で活用していくことによって子供の学びは一層豊かになっていく。

このようなサイクルを創り出すために、子供が「何を」「どのように」学んだのかを自覚、蓄積、活用していくための環境を整備することが重要である。そして、子供が「振り返り」という活動そのものに価値を見だし、成長の実感を伴いながら主体的に取り組むようにするための工夫が鍵を握る。こうした積み重ねが、子供をスパイラルな「深い学び」へと導いていくものと考えている。

●国語科における「深い学び」（長谷川 聡実 先生）

国語科において、子供自身がメタ認知を活用して、自らの学習を調整しながら国語の力をつけていくことが「深い学び」と捉えている。学習者である子供自身が、主体的に自らの学びを方向づけ、学び方を工夫していくことが、よりよく学ぶために必要である。そのために、例えば、「読むこと」の学習では次の①～④を大切にす。

① 子供がメタ認知的知識（読み方）を理解する

授業で「読んだ内容について疑問に思ったことを考える」「読んでいることと自分が既知っていることを関係付けて読む」などのメタ認知的知識（読み方）も学ぶ。この読み方は、読み方だけを取り出して指導するのではなく、教科等の本質を押さえた授業の中で指導することが重要である。

② 子供が効果的な読み方を実感する

授業で活用した読み方には、どのような効果があったかを振り返る活動を行う。読みの過程（読んでいるときに、頭の中で考えたことを視覚化して書き残したもの）などの学習ログを綿密に自己観察しながら、次のような〈振り返りの観点〉を手掛かりに振り返りを行うことが重要である。

- ㉞ どんなときにその読み方を使ったか
- ㉟ 効果的な読み方はどのようなものか
- ㊱ なぜ㉟の読み方は効果的だったのか
- ㊲ 次の場面で使えそうか

③ 子供が自分に合った読み方を発見し活用する

②の活動を通して、子供が自分に合った読み方（例えば「気付きを通して、新たな疑問や考察を作りながら読む」など）を意識して読む経験を積み重ねていく。

④ 子供が自分に合った読み方を再構築する

半年ごとや1年ごとに自分の読み方を総括し、次に自分が“ひとり”で読むときに、どのように読んでいきたいかを再構築させる。授業での学びが、子供にとって自分のものになってこそ「深い学び」になる。メタ認知を活用し、子供が自分の学習の状況を把握すること、自分で学習を調整することができるようにしていくことが重要である。

●美術科における「深い学び」（石井 隆浩 先生）

表現活動には「主題」という作者の思いが大切である。色や形を使って自分らしさや考えを投影していく過程に学びの意味をもつ。生徒は、自分の内面を見つめたり、身の回りの環境に目を向けたりしながら主題を見つけていく。また、仲間の考えに触れ、新たな視点を得たり、教師からの価値づけなどによって見方や考え方に自信を深めたりする。試行錯誤することで表現に幅が生まれ、最初の主題そのものが変わってしまうこともある。こうしたプロセスをねばり強く追究していく状態を「主体的な学び」と捉える。そこには、学びが「楽しい」と感じられなければ、さらに「深い学び」には至らない。「楽しい」と感じるためには、自分にもできそうだという期待感を持ち、学びが自分事になる必要がある。題材を設定する場合、生徒の経験や日常とどのようにつながっていくのか検討する。また、どんな道具や材料を使って表現していくのか、表現のしやすさやこれまでの経験なども重要になってくる。生徒は同じ題材でも理解や感じ方に個人差がある。苦手意識から活動ができない場合も想定し、選択肢を個別に準備しておくこともある。美術室でできる限りの環境整備を行う。

苦手意識をもつ生徒の多くは、「絵心がない」とよく口にする。これは表現力、特に描写力に自信がないということの意味するものである。私たちはいつの間にか、完成作品にばかり目が行き、その出来栄のよさだけに価値を置いてきてしまっているのかもしれないことを省みる必要を感じる。

美術の学びの価値は、追究していくプロセスに求めるべきであり、結果ではない。見栄えのよい作品はそれなりに価値がある。しかし、大切なのは、追究の過程で問いをもち、さらに答えを求めて追究を重ね、学びが更新され、振り返ったときに自分がどれだけ成長できたかを実感できるかどうかにある。私たちは生徒がどのような思いを持ち、どんな活動をし、どんな答えを見つけようとしているか、近くで支え、プ

ロセスを見守ることに注力していくことが求められている。振り返りシートや発言などから現状を把握し、生徒の変容を見取っていかねばならない。生徒自身が自分の変容を自覚し、次の課題に気持ちが前のめりになっていくように授業構成を工夫していく。

中学2年生で「押し曲を水墨画で表す」～自分と歌詞の関わりを考えながら～という題材を実践した。造形的な見方・考え方を働かせながら、さまざまな往還によって主題が形成されていくプロセスを支えることを大切にしたい。生徒は自分の普段聴いている曲なのでPVなども参考にしながら主題を形成していった。初めての水墨画表現ということもあり、どんな表現ができるか個別に技法を追究する時間を充実させた。筆や刷毛、段ボール、用紙の種類、調墨…など多様な視点から試行錯誤できた。これにより初めての水墨画への抵抗が薄れていった。また、押し曲と自分との関わりをしっかりと見つめ、どんなときに、どんな気持ちになるのかなど考えをまとめながら、徐々に自分のイメージを焦点化していった。

生徒の振り返りから、資質・能力につながっていく内容を見ると、「毎回の振り返りを次につなげた／仲間の表現を参考にした」など自己調整力に関わるもの、「仲間のグラデーションがよかった／自分に足りないものがわかった」など自己・他者理解、…などを見取ることができ

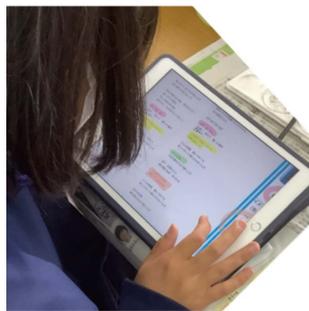


図 構想と表現の往還

た。その中で、「歌詞をなぞるのではなく、抽象的な表現を追究した」創造力・粘り強さにつながる記述がある。言葉の表面ではなく、行間に生まれる見えない部分の大切さ、自分と歌詞の関係性の重要性に気づき始めたことがうかがえる。曲を通して自分自身を見つめることにつながったようだ。

表現にしても鑑賞にしても、目に見えるものから見えない何かを感じ取り自分とつながり豊かに広がっていくことが何よりも尊く、美術が本来目指すべき「深い学び」であると感ずる。

学級の生活ノートに、「雪の朝、犬の足跡が遠くへつながっていてとても可愛かった」という記述があった。何気ない日常の風景に造形的な美しさを感じながらやさしい眼差しを向

ける姿がうかがえる。人生と美術が豊かにつながっていくことをこれからも期待したい。

●理科における「深い学び」（山際 勇也 先生）

理科における「深い学び」は「考えを再構築すること」である。授業では、科学的探究のサイクルの中で、学習してきたことを活用して生徒自身が課題を解決していく。生徒たちは知識と知識を関連づけたり、他の事象と比較したりして説明しようとする。一人一人が課題に向かって取り組む過程で考えを揺さぶられながら自分の考えに磨きをかけていく。

「深い学び」に導くためには、一つ目は生徒主体の場面を設定することである。生徒の考えは原因と結果が逆転してしまったり、根拠の足りない考察がされていたりするなど最短の思考経路での課題解決に至らないことが多い。その中で、他者と指摘し合いながら最適解をつくり出すことによって考えの再構築を促す。二つ目は多様な考えに触れるようにすることである。考えを深めるためにはまず考えを広げる必要がある。多面的・多角的に捉えることによって視点が増え、生徒は必然的に自分の意見を見直していく。生徒同士で交流・検討をしていくことによって自分の考えが再構築され学びが深まっていく。

●英語科における「深い学び」（山崎 寛己 先生）

英語科において「深い学び」へと導くためには、教科の「見方・考え方」が鍵となる。『学習指導要領解説 外国語編』には、その具体として「外国語で表現し伝え合うため、外国語やその背景にある文化を、社会や世界、他者との関わりに着目して捉え、コミュニケーションを行う目的や場面、状況等に応じて、情報を整理しながら考えなどを形成し、再構築すること」と示されている。もう少し具体的に考えると、教科書題材や目の前の子供の生活から何らかの課題を見いだし、コミュニケーションを通して自らの考えを確かなものにしていく学習が「深い学び」につながると言えそうだ。

中学3年生にキング牧師を扱った単元がある。アメリカにおける公民権運動の歴史、昨今のBlack Lives Matter運動を学びながら「私たちの身の回りに差別はない、と言えるかどうか」を追究していく。単元の主な流れは次のとおりとした。

- ① キング牧師やアメリカの黒人差別に関する歴史を知る
- ② 教科書内容の理解および練習活動を行う
- ③ 国内外の差別事例を取り上げ、プレゼンを作成する

④ 日本に住む外国人の意識について考える

⑤ 新潟で生活する留学生と交流会を行う

<本物の>相手や課題があり、活動を通して力が高まり、仲間と協働することによって達成できる課題設定があることによって「深い学び」につながっていくと考える。

●社会科における「深い学び」（倉澤 秀典 先生）

社会科では、「社会的な見方・考え方をういて課題を追究したり解決したりする活動を通して、社会的事象等の特色や意味、理論などの概念を獲得すること」を実現する学びが深い学びだと考えている。

深い学びへと導いていくためには、「具体的事例で思考する」「広い視野で思考する」ことが重要となる。中学生に抽象的なレベルでの発問をすると、きれいごとで「正解」を答えることがよくある。しかしこれでは生徒は、その物事の本質を決して理解しておらず、深い学びには至らない。社会科においては、具体的事例を用いて広い視野で思考することが、深い学びの実現につながると考えている。

勤務校における社会科の事例では、3年生の公民分野で「育児休暇は女性が取るべきか」というテーマについて教職員数人にインタビューした上で、それらの意見を基に生徒に追究を促した。生徒は、一つの事象であっても、立場によって捉え方が違ってくことを実感した。その上で広い視野に立って判断させることで、事象の本質を理解し、多面的・多角的に思考することの重要性を認識していった。このように、具体的事例で思考することで、事象を具体的に自分事として捉えることができる。そして、広い視野に立って思考することで、違う立場や視点の考え方にも妥当性があることに気付く。これらのことで、事象の本質的な理解が促されるとともに、自分と実社会とのつながりに気付くことができる。

▶ 3 「学ぶことの意義」を見いだすことができるように

登壇者がそれぞれ主張した「深い学び」は、学びの本質を究めていくプロセスにおいて、学習者自身が「学ぶことの意義」を見いだしていく点で共通する。それは、単に新たな知識や技能を獲得するだけに留まらず、異なる課題解決の場面や状況においても生きて働く汎用的な知識や技能となること

を目指す中で、さらなる追究を継続させていくスパイラルな学びを生み出す。こうした学びは、これまでに獲得してきた知識と新たな知識を関連付けたり、これまでの経験と新たな学びとを関連付けたりするなど、学習者自身が既有的知識や経験と新たな学びとを関連付け、自らの学びを再構成していく営みでもある。

深い学びを構築していくためには、学習者の学びに向かう熱量を高次元に高めていくことが不可欠となる。具体的には、学習者の目的意識を醸成し、それを継続・強化していくように手だてを講じたり、必要な支援をしたりしていくことである。特に、目的意識を醸成する上で「課題設定」と「見通し」は重要なポイントとなる。また、学んだことの意義や価値を実感したり、学びにおける自身の変容を実感したりするために、「振り返り」を適切に位置付けていくことが大切だ。学習者は、自身の学びを振り返ることによって、自身の「学びの現在地」を自覚するとともに、追究によってどのような成果が得られたのか、どのような課題が残されているのかなどを明らかにして、納得解や最適解を求めて目的意識を継続・強化していく。学習者が学びの成果を自覚できるように、学習者一人一人を的確に評価し、必要に応じて働き掛けや支援をしていくことも重要だ。このような学びの過程において、学習者自身が追究の方法や方略をコントロールできるようにすることが学びの自己調整であり、個別最適な学びと協働的な学びの一体的充実によって、こうした資質・能力を高めていくことが可能となる。どのような方法で追究するかなど追究方法を選択したり、順序付ける、比較する、関連付けるなどの方略を用いたりするなど、学び方を自己選択・自己決定していく経験を積み重ねていくことが大切になる。

「主体的・対話的で深い学び」を継続していくことは容易なことではない。学習者一人一人が「学ぶことの意義」を実感できるように綿密な教材分析をしたり、教材構成を工夫したりするなど絶え間ない研究が不可欠であるし、授業を展開していく上での専門的な知識や手法を学び、熟達していくことも重要である。それに加えて、これからは個別最適な学びと協働的な学びの一体的充実を図る中で、学習者の取り組みや振り返りの状況を的確に把握し、個に応じたきめ細かな働き掛けや支援を行っていくための支援者としての力量形成も一層重要になっていくと考えている。



令和の日本型学校教育を支える教員の養成・研修について — 教員研修を進めるための管理職の役割とは —

新庄 恵子 / しんじょう けいこ

有明教育芸術短期大学 教授。東京都公立中学校教諭，東京都区市教育委員会指導主事，統括指導主事，学校指導課長，東京都公立中学校校長，公立小中一貫教育校校長，帝京大学教職センター／教育学部教授を経て現職。現在 Rimse 東京懇談会委員



1) はじめに

理数教育研究所 (Rimse) 「東京懇談会」では，昨年度より令和の日本型学校教育をテーマに懇談会を重ねています。現在まで，教員の養成・研修の観点から協議を行ってきました。

公立学校の研修についての現状はどのようなものか，また，校内研修における管理職の役割や教科別研究会への期待など，さまざまな実践事例や具体的な課題などを踏まえて協議をしてきました。

教員は，教職生活をスタートした時点から絶えず研究と修養に努めていく「研修」が始まっています。

コロナ禍における教育実践では，オンライン授業や ICT を活用した授業など多くの工夫がなされ，子供たちの学びを保障する対応がとられてきました。それに伴い，教員の研修方法にも変化が生じてきました。令和 4 年 (2022) 12 月 19 日，文部科学省は『「令和の日本型学校教育」を担う教師の養成・採用・研修等の在り方について ～「新たな教師の学びの姿」の実現と，多様な専門性を有する質の高い教職員集団の形成～ (中央教育審議会答申)』を公表しました。

こうしたことを踏まえ，東京懇談会では「公立小中学校の研修会の現状と課題」，「校内研修における管理職の役割」，「教科別研究会の必要性や期待」などについて協議を行ってきました。その協議内容や委員からの意見の一部について，ご紹介していきたいと思います。

2) 校内研修 (研究) はなぜ必要か

教員は子供たちの日々の成長に関わり大きな影響を与える

存在です。教員としての職責を果たすために，また，自己研鑽のためにも研修が必要になります。個人で専門性を高めるために行う自己研修や，原則として全教員が行う法定研修，教職経験に応じた研修，専門的な知識・技能に関する研修など，研修内容は多岐にわたります。特に，校内研修の中でも多くの学校で行われている校内研究は，研究テーマを設定し，1 年間または複数年にわたり研究を進めていくものですが，大きな意味があります。例えば，

- ① 教員の資質・能力の向上を図る。
- ② 教員同士の学び合い，高め合い (同僚性，協働性) を進める。
- ③ 学校の教育活動の充実と教育力を向上させる。
- ④ 研究テーマにそった継続的な研修を行うことができる。

などが挙げられます。

各学校の教育課題の解決を図るために，校内研究に向けて教員が協働で取り組み，互いに切磋琢磨し学び合うことで，学校の組織が活性化され，教員一人一人の指導力の向上につながります。ひいては子供たちの生きる力の育成につながっていきます。学校，地域，子供たちの実態に即したテーマで学校組織として取り組む研究は，学校の組織力の向上に大きな成果が期待できると言えます。

社会の変化への対応や保護者や地域等の学校教育に対する期待や要望などを背景に，教員の中には多くの仕事を抱え，本来の仕事である教育活動に専念できないような状況も生まれています。校内の教員同士が互いに支え合い，課題解決に向けて組織として取り組み，互いに高め合うことができる校内研修の必要性は大きいものと考えます。

3 D 校内研修（研究）における管理職の役割

校内研修（研究）を充実したものにするために、校長などの管理職はどのような役割を担っているのでしょうか。

懇談会での意見の一部を以下にご紹介します。

① 学校の教育力の向上

- ・現代的な諸課題や学校、生徒、地域等の実態に即して設定された研究テーマについて、全教職員が研究の方向性や内容を共通理解し研究を進められるようリーダーシップを発揮する。
- ・校内研修（研究）を通じた個々の教員の指導力等の向上は、学校全体の教育力につながるため教員相互の学び合いを深め、子供たちの変容や成長など、研修の成果が実感できる工夫をする。
- ・研究指定校や研究推進校などの制度を活用し、成果発表の機会などを積極的に設ける。

② 校内組織力の向上

- ・学校経営方針や重点目標等を教職員に提示し、校内研修（研究）の位置づけを明確に示す。共通の目標や目的達成に向け協働で研修にあたることにより、研修主任等を中心とした組織的な取り組みを推進する。その結果、学校の組織が活性化され、学校全体の教育活動の充実・改善につながる。

③ 人材育成

- ・各教員が各々の役割や職務を理解し研修を進められるよう、個々の教員の能力開発や成長を支援するとともに、経験や職層に応じた人材育成を図る。

④ その他

- ・研修の内容等に即した指導助言を受けられることができる講師（外部講師）等の選定と招聘を行う。
- ・研修の充実のために教職員に対して積極的な情報提供を行う。

この他にも多くの役割を担っていますが、教科担任制の学校では、教科の枠を超えて校内研究のテーマをどのように設定し全教職員が研究を進めていくのか、また、どのように研究成果を広く発信し還元していくのかなどが、課題として挙げられています。それらの解決に創意・工夫をしていくことも管理職の重要な役割の一つです。

4 D 教科別研究会への期待

教科によっては、学校内に1人または少人数の担当教員しかいない場合もあります。そのような場合、学校内だけで指導技術などの専門的なことを学ぶのは難しい状況があります。

学校外の教科別研究会などへの参加により実践的な指導力を含めた専門的な知識・技能を学ぶことが可能となり、授業改善につなげることができます。また、一人一人の興味・関心に合わせ、主体的に研究会等に参加している教員も多くなります。教科別研究会や授業研究会等で得た教科の専門的な知識・技能や情報を各学校において伝達、共有したり、実践したりすることにより、その学校の教科指導における教員の授業力の向上が期待できると考えます。

管理職の役割としては、教員が自主的に研究会に参加できる学校の雰囲気づくりや、参加の機会、研究時間の保障などが重要になります。働き方改革を進める中でのこのような環境整備はなかなか難しいことかもしれませんが、今後一層充実させていく必要性があり、個々の教員のステージや研修履歴等に応じた管理職の働きかけなども大切になります。

5 D おわりに

「令和の日本型学校教育」において、校長等の学校管理職に特に求められる能力として、「アセスメント」や「ファシリテーション」の能力が示され、学校管理職に対する研修も重要視されています。このような能力を発揮して教員研修のさらなる充実を図ることは、管理職が担う大きな役割です。

令和6年4月には、「新たな教師の学びの姿」の実現のために、研修の受講や受講履歴記録の作成を一元的に行うことができる「全国教員研修プラットフォーム『Plant』」が構築されました（参照：<https://www.nits.go.jp/service/plant/>）。

研修での学びが教員自身の資質の向上、そして子供たちの成長に生かされるよう、絶えず研究と修養に努めていく教員に寄り添いながら、後押しをしていくのも管理職の役割と言えるのではないのでしょうか。



自然の仕組みを楽しく学んで、 減災につなげる

～火山実験イベントの創設と運営～



全国火山実験研究交流会 実行委員長
北翔大学 文化教育学部 教授 教育学科長

横山 光 / よこやま ひかる

「火山実験」だけの全国イベント開催

2024年3月2日(土)～3日(日)、東京都の板橋区立教育科学館にて、「火山実験」だけを題材とした挑戦的なイベント「全国火山実験研究交流会」が実施されました。合計26の火山実験(表1)が出展され、500名近くの一般市民が火山実験を楽しみました(入場券が必要な小学生以上が357名、同伴の幼児を入れると500名くらいと推測されます)。国内各地では科学の祭典をはじめ、さまざまな大規模科学実験イベントが開催されていますが、私の知る限り「火山実験」だけを題材にした全国規模のイベントは他にはないでしょう。イベントを主催したのは私たち「火山実験好き」のメンバーと、開催地の教育科学館スタッフから構成される

表1 出展された火山実験一覧

出展火山実験のタイトル
インスタントコーヒーのストロンボリ噴火実験
食べられる溶岩流
水槽をつかった噴煙・火砕流実験
すし酢と重曹の噴火実験
ウレタン噴火実験
火山噴火モデル実験器など
プログラミング教材MESHで火山観測をしよう!
実験で学ぶ富士山噴火～シャンプー溶岩流
寒天ゼリーを使った溶岩噴火のアナログ実験
紫キャベツでカラフル温泉水
地形模型を水に沈めて観察しよう
噴出物の粘性が火山の形状に影響する演示実験モデル
火山の本っておもしろい
火山や地層に関する教材紹介
室内版コーラ火山噴火
火山噴火におけるシングルフォース震源の理解に向けたペットボトル噴水実験
立体プラスチック模型を使った泥流と火砕サージと台風災害
噴火のメカニズムを学ぶ重曹・クエン酸の噴火実験
火山を成長させて、火山の断面を見てみよう!
甘味料"エリスリトール"の結晶で火成岩の組織を再現する
実験で学ぶ富士山噴火～薄型水槽降下火砕物
火山の砂から宝石を探してみよう
キラキラした火山の石を見てみよう
火山噴火のしくみを知ろう
火山をつくるろ
昭和新山形成実験
火山と観測～火山のパワーを感じよう～
パラフィンと火山噴出物を用いた手の平サイズ成層火山作成実験

「全国火山実験研究交流会実行委員会」です。日本各地で実施されている「火山実験」のノウハウを共有することと、多くの方に火山について知ってもらいたいというねらいで企画しました。

実はこのイベント、前年同時期にも試行的に開催しているのです。その際も250名程のお客さんが来てくださり、気を良くした私たちが第2回目も企画したのです。

今回のイベントは2日間別々のイベントで構成しました。初日は全国の火山実験実践者(愛好家?)たちが持ち寄った火山実験を披露し合い、その実験方法や再現される噴火現象などについて意見を交わす「火山実験研究交流会」です。前年開催した際に予想以上の集客があり、出展者どうしがお互いの実験について交流する場がなくなりました。そこで今回はイベント準備の1日目を、出展者のみの実験交流会として確保したのです。

そして、2日目は子供たちや一般市民に火山実験を体験してもらおう「火山実験フェスティバル」です(図1)。こちら前年開催時に参加したお客様から「来年も開催してほしい!」とリクエストをいただいたので、この日はお客さんに火山実験を楽しんでもらうことだけに目的を特化させて実施しました。



図1 大盛況の火山実験フェスティバル会場

なぜ「火山実験」なのか

日本は111の活火山を有する火山国です。しかし、噴火災害は風水害や地震災害ほど頻発しないため、あまり理解されていません。風光明媚な山々の多くが活火山なのですが、登山客がそれを知らないことも珍しくはありません。2014年9月27日に発生した御嶽山の噴火は、63名もの死者・行方不明者を出す火山災害となってしまいました。生き延びた多くの被害者は活火山だと知らなかったと証言しています。

この災害を受けて、国内の活火山ではハザードマップを整備することが義務付けられました。しかし、ハザードマップで表現されている噴火災害を引き起こす火山現象の意味そのものが噴火を見たことのない人々には理解が難しいのです。

そこで「火山実験」が役に立つと私たちは考えています。噴火に伴う火山現象は、発生頻度や危険性などの理由から、直接観察をしたり、詳細に記録を残したりすることが難しい現象です。しかし、火山実験は安全に目の前で特定の現象を抽出して再現し、観察することが可能なのです(図2)。そして何よりも実際に手を動かして観察する「実験」はみんな大好きな楽しい学びだと思いませんか。私たちは「火山実験」を通して、地球上で起きている火山現象やそれに伴う噴火災害、そして火山がもたらす大地の恵みなどについて、楽しく学んでほしいと思っていますのです。



図2 わかりにくい火山現象の代表「火砕流」の実験



図3 若い研究者たちの実践の場としても利用されています

「全国火山実験研究交流会」を定例行事に

さて、私たちはこのイベントを定例のものにしたいと考えています。2回の実施を経て、解決すべき課題は山積みですが、同時に継続開催の声も多いのです。出展者の皆さんの顔ぶれは多彩で、こんなに沢山の人が「火山実験」に関わることがわかり大変心強いです。学生や若い研究者たちもたくさん参加してくれました(図3)。また、第2回目からは手探りながら協賛金を集め始めました。手弁当で参加してくれる出展者に、実験の消耗品代や遠方からの交通費を補助したいと考えたからです。このイベントを通して、日本における火山防災教育が継続していくことを願っています。第3回は2025年3月1日、2日に実施予定です。一緒に火山実験を楽しみましょう。関心のある方は是非連絡をください。

連絡先：北翔大学 横山光 (yokh4123@hokusho-u.ac.jp) ❖



図4 イベントスタッフでの集合写真

編集後記

今年の夏はとても暑かったですね。夏バテなどなさらなかったでしょうか。パリオリンピック・パラリンピックでの選手の皆さんの頑張りは感動的でした。次号の特集テーマは「評価から見た主体的・対話的で深い学び」です。

(財)理数教育研究所 事務局

「数学用語」その4

ジョン・ネイピア対数誕生物語
logarithm の訳は対数ではない

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらい すずむ

logarithm = logos + arithmos

対数は1614年に城主ジョン・ネイピア (1550-1617) が20年かけて制作した対数表とともに世に出た。それが著書『Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio』(ラテン語, Mirificiは英語のMiracle=奇跡)である。英訳は『Description of the Wonderful Canon of Logarithms』。プロトレマイオス (83頃-168頃) に始まる三角関数表は年を追うごとに精度を大きくしていき、ネイピアの時代には10桁を超えるまでに発展していた。しかし、それに伴い大変になっていく天文学的計算をフォローする計算技術の進展はなかった。そこでネイピアは三角関数の天文学的計算の克服を目指し画期的計算技術の発明に到った。著書で自らの肩書きを発明者としている。そのネイピアによる対数とは、関数としての引数^{ひきすう}に角度をとり、底は0.9999999というものであった。引数に角度をとったのは三角関数のためである。指数関数の底が1に近ければ近いほど関数の減衰の度合いも小さくなる。数表の精度を担保するため最も減衰を小さくしたのがその底である。かくしてネイピアは新しい計算技術のアイデアに対し、logos (神の言葉) と arithmos (古代ギリシャ語で数) から logarithmorum という言葉をつくった。これが英語では logarithms となり現在の logarithm になった。つまり、logarithm とは神の言葉としての数という意味である。

ブリッグスによる対数表

しかしその思いとは裏腹に、ネイピアの対数が世間に受け入れられることはなかった。ネイピアにとっては合理的であっても、世間一般 (アカデミックの世界にさえ) にはそう受け取られなかった。そんなネイピアの前に天文学者ヘンリー・ブリッグス (1561-1631) という理解者が現れたことで、ネイピアの対数の運命が変わっていくことになった。ブリッグスはロンドンから遠く離れたエディンバラにあるネイピアのマーキストン城に会いにきた。この最初の出会いで二人は意気投合し、新しい対数のデザインにとりかかることになった。翌年エディンバラにて二度目の出会いが実現し出来上がったのが底を10とする現在の常用対数の原型であった。

驚くべきことに常用対数も元々ネイピアによるものだった。

ブリッグスの対数表～対数は天文学者の寿命を倍にした～

ブリッグスはロンドンで常用対数表の制作にとりかかり、なんと1年後の1617年には1000までの14桁常用対数表を完成させた。しかしその報告をネイピアが知ることはなく、同年4月ネイピアは67歳の生涯を閉じた。ブリッグスはそれから7年をかけて1624年に100000までの14桁常用対数表を完成させた。

その対数表はブリッグスの対数表として一気に世界中に広まった。「対数は天文学者の寿命を倍にした」と絶賛されたのはブリッグスの対数だった。

福田理軒「ロカリチン」

ブリッグスの対数は我が国にも入ってきた。福田理軒 (1815-1889) は大阪出身の江戸時代末期から明治時代にかけての数学者で、19歳で大阪に順天堂塾 (現: 順天中学校・高等学校) を創立し、晩年には東京数学会社 (現: 日本数学会) の設立にも参加した。数学をベースとし天文・暦学・測量・陰陽道にも通じていた。1857年 (安政4年) の福田理軒校正『算法対数表』には、ブリッグスの名とともに対数として「ロカリチン」という表記を見つけることができる。

『工学字彙』(1886年)のlogarithm

工学学術用語の邦語化を体系化した述語集『工学字彙』(野村龍太郎・下山秀久共著, 工学協会) が1886年 (明治19年) に刊行された。この中に logarithm の訳を見つけることができる。對數, Common logarithm が普通對數 (現: 常用対数), Napierian logarithm が子ビヤ對數とある。

Logarithm.	對數
Common logarithm.	普通對數
Hyperbolic „	子ビヤ對數
Naperian „	子ビヤ
Natural „	子ビヤ

対数

「神の言葉としての数」という意味がまったくない訳語が「対数」である。現在の中国語でも logarithm は対数であることから中国語の対数が日本に輸入された可能性がある。その場合、明治期の日本人は logarithm が logos と arithmos からつくられた語であることを知らずに対数としたと考えられる。もし、成り立ちを知っていたとしたら logarithm を何と訳したであろうか。

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