

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No. 19
JUNE
2017



特集

新学習指導要領が目指す

これからの理数科教育 I

特別寄稿 私とMATHコン

Rimse (財)理数教育研究所

Contents

表紙裏

巻頭言

科学とコミュニケーション
大阪大学 理事・副学長 小林 傳司

特集 新学習指導要領を目指す これからの理数科教育 I

- 2 **I** 新学習指導要領について -三つのポイントと改善の方向性-
文部科学省 初等中等教育局 教育課程課長 合田 哲雄
- 6 **II** 育成を目指す資質・能力と授業改善 -算数・数学-
帝京大学 教育学部・教職大学院 教授, 図書館長 清水静海
- 10 **III** 理科の見方・考え方を働かせて育成する資質・能力
足立区立千寿小学校 校長 田村 正弘
- 14 **IV** これからの学校経営に求められるもの
千葉大学 教育学部 特任教授 天笠 茂

17 **連載** 数学と音楽の織りなす世界 第8回

バッハと対称性
ジャズピアニスト・作曲家 中島 さち子

20 **連載** サイエンス・フィクション? 第8回

未来のお守り
東北大学 高度教養教育・学生支援機構 准教授 山内 保典

23 **連載** ヒトの生物学を教えよう 第8回

記憶のしくみを考える
東京都立国立高等学校 主任教諭 大野 智久

26 **特別寄稿**

私と MATH コン
～東京大学推薦入試-合格体験記～
平山 龍一

30 **教育に新しい風を**

学び直して退学者ゼロを達成
敬愛学園高等学校 校長 白鳥 秀幸

32 **広場** 地域教育で活躍する人々 第18回

一人でも多くの子供に理科の面白さを伝えたい
実験広場 主宰 加藤 巡一

裏表紙

科学史の散歩道 第19回

化学現象の本質を見抜いた「直感力」
～フロンティア軌道理論を生んだ福井謙一～
大阪教育大学 名誉教授 鈴木 善次

巻頭言

Kantougen



大阪大学 理事・副学長

小林 傳司 / こばやしただし

1954年京都生まれ。京都大学理学部卒業、東京大学大学院理学系研究科科学史・科学基礎論専攻博士課程修了。福岡教育大学、南山大学を経て2005年4月より大阪大学教授。専門は科学哲学、科学技術社会論。社会の中の科学技術の在り方について、専門家と市民が討議し提言する参加型テクノロジーアセスメント手法の「コンセンサス会議」を紹介、実施。2001年、科学技術社会論学会の設立に関わる（初代会長）。2009年COP15に向けて世界で実施された、地球温暖化をめぐる市民会議World Wide Viewsの日本代表。2011年より大阪大学・京都大学の「公共圏における科学技術・教育研究拠点（STIPS）」代表。著書に『公共のための科学技術』（編著、玉川大学出版部）、『誰が科学技術について考えるのか』（名古屋大学出版会）、『トランスサイエンスの時代』（NTT出版）など。

科学とコミュニケーション

科学とコミュニケーションというと、科学者が科学の素人にどのように科学を伝えるかという話題になるのが普通であろう。さすがに昨今では、科学に無知な素人に正しい科学知識を教えてしんぜる、といったスタイルのコミュニケーションはかなり減り、むしろ双方向性のコミュニケーションが重視されるようになってきている。このようなコミュニケーションは大事であり、今後とも継続されていくことを私も期待している。しかし、本稿では少し違う意味の「科学とコミュニケーション」を考えてみたいのである。それは、科学者と一般市民との間のものでなく、「科学者間のコミュニケーション」はどうなのだろうか、という問いである。

いささか古い話で恐縮ではあるが、関東大震災をめぐるエピソードをご紹介します。外岡秀俊『地震と社会』（みすず書房、1997年）に記されている話である。

日本では、長らく「関東大震災級の地震にも耐える耐震基準」という言説が流布していた。いわゆる安全神話である。1994年にアメリカ西海岸で起こった地震の際、高速道路が倒壊したが、日本の専門家はこの「耐震基準」の厳しさゆえに、日本ではこのようなことは起こり得ないと発言していた。しかし、甚大な被害をもたらした1995年の阪神大震災のマグニチュードは7.2であり、関東大震災よりも小さかった。

そもそも、日本の耐震基準は、関東大震災の際の東京の下町の不正確な揺れの記録に基づくものであり、三浦半島や下田はもっと揺れが大きかったことは当時から知られていた。つまり、耐震基準は「東京の下町の揺れを関東大震災級と定義した場合の」という但し書き付きで当時の専門家には理解されていた。言い換えれば、地盤やその他の条件が異なれば話は変わるということである。

この耐震基準は、当初は、但し書き付きで六大都市にのみ適用されていたが、徐々に全国に適用されるようになった。さらに但し書きが忘れられ、「全国どこでも、その基準さえ守れば『起こり得る最大級の地震でも大丈夫』だ」という確信に変わっていった。（『地震と社会』より引用）

ここでのコミュニケーションは、時代を隔てた専門家間のものである。専門家はさまざまな専門知識を保有しているものであるが、それらの知識が生まれるに至った実験や理論

構築の現場にまで立ち戻って確認した上で獲得しているわけではない。多くの知識は学習を通じて、過去の科学者から継承しているのである。これは伝言ゲームの構造で行われるコミュニケーションの一種である。そして誰もが知るように、伝言ゲームでは伝言の前後でずいぶん話が変わるものである。耐震基準についての但し書きの話は、それを示している。

現代の科学が伝言ゲームによって生まれた神話に過ぎないと言っているのではない。ただ、コミュニケーションにおける伝達の正確さには限界があり、人間の行うコミュニケーションには一種の伝言ゲーム的な性格がある。情報はコミュニケーションを通じて発信者の意図どおりには伝達されないこともある。にもかかわらず、科学の世界では、時代を超えて、概ね安定した知識の保持と伝達が維持されているように見える。ここに科学の特徴があるように思うのである。耐震基準の事例のような逸脱も起こり得る。しかしこれを防ぐシステムが科学にはある程度備わっているのではないだろうか。

例えば、現代の科学では、正当な発言の資格はしかるべき訓練を受けた学位取得者（博士）に限定されている。学会を通じての情報交換の整理もなされている。教科書、表記法・命名法等の標準化、実験装置や器具、薬品、素材の標準化を通じて、情報交換の際のエラーの出現頻度を低下させてもいる。つまり、科学知識は真理だから自動的に内容を同一に保ったまま伝達されるというわけではなく、さまざまな仕組みによって維持されているのである。もちろん、学位取得という条件は科学研究への参入障壁としても機能し得るし、その分大胆で新鮮な発想の供給を制限する可能性もあるだろう。とは言え、科学が、その信頼性を担保するための制度設計に努力してきたことは確かである。

しかし、昨今はびこる「ポスト真実」は、その時その時、人々が気持ちよければ、事実はどうでもいいというコミュニケーションである。これは伝言ゲームという構造に居直っており、コミュニケーションのカオスをもたらしかねない。今、これを食い止めるための工夫が求められている。その点で、科学が成功と失敗を通じて産み出してきた、信頼できる情報の流通の仕組みから学べることは多い。科学はこんなかたちでも社会の役に立つのではないだろうか。❖

新学習指導要領が目指す これからの理数科教育 I

I 新学習指導要領について

— 三つのポイントと改善の方向性 —

文部科学省 初等中等教育局 教育課程課長

合田 哲雄 / こうだてつお

岡山県出身。1992年文部省(現・文部科学省)に入省。福岡県教育庁高校教育課長、高等教育局企画官、学術研究助成課長などを経て2015年から現職。その間6年にわたり公立小学校・中学校PTA会長として地域活動や学校運営に参加。共著に『学校を変えれば社会が変わる』(東京書籍)、『特別の教科 道徳 Q&A』(ミネルヴァ書房)ほか。



松野博一文部科学大臣は、昨年12月21日の中央教育審議会答申等を踏まえ、本年3月31日に幼稚園教育要領及び小・中学校学習指導要領を公示した。本稿ではその内容の概要をご説明したい

1 ■ 今回の改訂と社会の構造的変化

学習指導要領改訂は概ね10年に一度改訂されているが、前回の平成20年改訂においては、「ゆとり」か「詰め込み」かの二項対立を乗り越え、各教科の学びの体系的性を回復するとともに言語活動を充実させることにより、習得・活用・探究の学習サイクルの確立が図られた。昨年末に公表された最新の国際的な学力調査(PISA, TIMSS)は、我が国の義務教育で学ぶ子供たちが国際比較においても高い学習成果をあげていることを明らかにしている。このような先生方、子供たち、保護者の取り組みの成果を踏まえ、今回の改訂は、前回改訂の延長線上に、子供たちの知識の理解の質をいかに高めるかに真正面から取り組むものである。

今回の改訂の背景となっている社会の構造的な変化の一つとして、AI(人工知能)の飛躍的な進化を挙げることができる。ディープラーニング革命と名付けられた進化のなかで、AIが自ら知識を概念的に理解し、思考し始めているといわれている。今学校で教えていることは通用しなくなるのではないかとの不安の音があがるのも当然かもしれない。しかし、中央教育審議会などの審議の過程でAIの研究者から指摘されたのは、バラバラの事実的な知識を生命やエネルギー、民主

主義や法の支配といった概念を軸に関連付けて理解させることは我が国の学校教育がこれまで重視してきた学びであり、AIの飛躍的な進化を我が国の学校教育のよさを再認識し、さらに発展させるきっかけにすべきということであった。また、AIがどんなに進化し思考できるようになったとしても、その思考の「目的」を与えることができるのは人間である。目的のよさ・正しさ・美しさを判断したり、複雑な状況変化のなかで目的を再構築したりできることが人間の最も大きな強みであり、このような志や力は、我が国の学校教育が理想だ、建前だといわれながらも追い求めてきたものといえよう。みんなで学び合い、知識や経験を共有することで新しい知恵を生み出すという教育活動は我が国の学校のお家芸であり、このような蓄積を活かして、持続可能な社会の創り手となる子供たちの知識の理解の質を高めることが社会の構造的な変化のなかで切迫感をもって求められている。

2 ■ 子供たちの知識の理解の質を高めるための三つのポイント

このような観点から、今回の改訂は次の三つのポイントを重視している。

第一は、教科等を①知識及び技能、②思考力、判断力、表現力等、③学びに向かう力、人間性等、の三つの柱で再整理したことである。教育課程を資質・能力やコンピテンシーで捉える世界的な潮流のなかで、今回の改訂においては、コンピテンシーの観点からトップダウンで教科等の在り方を決め

ていくのではなく、我が国の学校教育の130年にわたる豊かな蓄積を捉え直して、各教科等がこれまで育成してきた資質・能力を三つの柱で再整理し、子供たちにどのような力を育むのかについての教育課程を通じた全体像を明らかにした。

例えば、中学校の理科において、生物の体のつくりと働き、生命の連続性を学ぶことは、これらについての科学的な知識を習得し、観察・実験などを通じて生物の多様性に気づき規則性を見いだしたり表現したりする力を育成するとともに、科学的に探究する態度や生命を尊重し、自然環境の保全に寄与する態度を涵養するために行われるものであると再整理した。同じような整理をすべての教科等で行った結果、生物や生命についての学びは、理科だけではなく、社会や国語、芸術系の科目や技術・家庭、保健体育や道徳など教科等横断的になされていることが具体的に示されるとともに、理科において生物や生命を学ぶ固有の意味や方法も明らかになった。

このように今回の改訂は、日々の授業における創意工夫や教科書の改善の重要な足場として、「何のために学ぶのか」という学習の意義についての我が国の学校教育の蓄積を学習指導要領において資質・能力という形で明示したものである。

第二は、「主体的・対話的で深い学び」の観点から、これまでの教育実践の蓄積を踏まえて授業を見直し、改善することであり、以下のとおり学習指導要領にこの点を新たに規定した。

（参考）小・中学校学習指導要領総則

第3 教育課程の実施と学習評価

1 主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善

(1) 第1の3の(1)から(3)までに示すこと(注) 三つの柱の資質・能力の育成)が偏りなく実現されるよう、単元や題材など内容や時間のまとまりを見通しながら、児童生徒の主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善を行うこと。

特に、各教科等において身に付けた知識及び技能を活用したり、思考力、判断力、表現力等や学びに向かう力、人間性等を発揮させたりして、学習の対象となる物事を捉え思考することにより、各教科等の特質に応じた物事を捉える視点や考え方（以下「見方・考え方」という。）が鍛えられていくことに留意し、児童生徒が各教科等の特質に応じた見方・考え方を働かせながら、知識を相互に関連付けてより深く理解したり、情報を精査して考えを形成したり、問題を見いだして

解決策を考えたり、思いや考えを基に創造したりすることに向かう過程を重視した学習の充実を図ること。
※この規定を踏まえ、各教科等の「第3 指導計画の作成と内容の取扱い」の1(1)において各教科等の特質に応じた学習の充実の観点の規定（例えば、「社会的事象の意味や意義などを考察し、概念などに関する知識を獲得したり、社会との関わりを意識した課題を追究したり解決したりする活動の充実」（中学校社会）、「日常の事象や社会の事象を数理的に捉え、数学の問題を見だし、問題を自立的、協働的に解決し、学習の過程を振り返り、概念を形成するなどの学習の充実」（同数学）など）。

これは、小・中学校においてこれまでと全く異なる指導方法を導入しなければならないと浮足立つのではなく、語彙を表現に活かす、社会的事象について資料に基づき考える、日常生活の文脈で数学を活用する、観察・実験を通じて科学的な根拠をもって思考するといったこれまでの教育実践の蓄積を若手教員にもしっかりと引き継ぎつつ、単元や題材といった内容や時間のまとまりを見通して授業を工夫・改善することを求めるものである。

今回の改訂においては、当然のことながら具体的な指導方法を学習指導要領に規定することはしていない。授業改善の視点としての「主体的・対話的で深い学び」は優れた教育実践の普遍的な要素であり、いわば当たり前のことだろう。しかし、教員の代替わりで急速な勢いでベテランの先生が退職され若手の先生が増えているなか、「何のための学びか」の原点とともに、この当たり前なことを確実に引き継ぎ、発展させることが我が国の教育界にとって大きな課題であり、改訂においてはその対応を重視している。

このような授業改善を行うに当たって、総則において重視されているのが、我が国の学校教育が大事にしてきたそれぞれの教科等に固有の「見方・考え方」である。例えば、社会的事象の歴史的な見方・考え方とは、歴史を因果関係で捉えたり、比較や相互作用で考えたりすることであり、この歴史的な見方・考え方を働かせて「何を契機に、相互の関係はどのように変化したのか」といった問いについて自分なりに考え、探究することが深い学びにつながる。さらに、見方・考え方は、各教科等の学習のなかで働くだけではなく、大人に

なって生活していくに当たっても重要な役割を果たしている。改訂においては、学校の学びと社会を架橋しているこの見方・考え方を各教科等における深い学びの鍵として位置づけている。

したがって、アクティブ・ラーニングの視点からの授業改善（主体的・対話的で深い学びの実現のための授業改善）は、特定の型の指導方法を意味するのでもなければ、総合的な学習の時間における探究的な学習のみを指すものでもない。

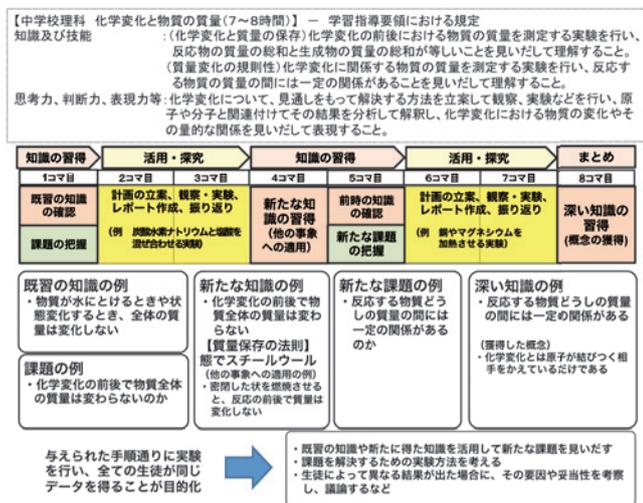


図1 主体的・対話的で深い学びの例（理科）

図1は、中学校理科の「化学変化と物質の質量」のあくまでも一つの例として示したものであるが、学習指導要領において明確になった単元において育むべき資質・能力を踏まえ、7～8コマなどにわたる単元を目の前の子供たちの状況に応じてどう組み立て、観察・実験をどのような文脈で位置付けるかのデザインに基づく授業展開こそがアクティブ・ラーニングの視点からの授業改善にほかならない。単元をどう組み立てるかは、目の前の子供たちの状況に応じてそれぞれのクラスごとに異なってくる。育むべき資質・能力に照らし、子供たちが知識や語彙が不十分ならその確実な習得にまず取り組む必要があることはいまでもない。

第三は、カリキュラム・マネジメントの確立である。教科等横断的な学習や単元などの内容や時間のまとまりのなかで習得・活用・探究のバランスを工夫するためには、学校全体として、教育内容や時間の適切な配分、必要な人的・物的体制の確保、実施状況に基づく改善といったカリキュラム・マネジメントが不可欠であり、学習指導要領においてこの点を明記した。

3 ■ 具体的な教育内容の改善

このような三つのポイントを踏まえ、今回の改訂においては、①国語を中心とした言語能力の確実な育成、②理数教育の質的充実、③我が国の伝統や文化に関する教育の充実、④外国語教育の充実、⑤体験活動の重視、⑥情報活用能力の育成、⑦現代的な諸課題への対応の重視、といった観点から具体的な教育内容の改善を図っている。なお、道徳教育については、新しい学習指導要領の全面実施に先立って、小学校は2018（平成30）年度から、中学校は2019（平成31）年度から「特別の教科」となり、教科書を使いながら、道徳的諸価値を自分事として理解し、多面的・多角的に深く考えたり、議論したりする道徳教育への質的転換を図ることとしている。

そのなかでも、①については、情報環境や家庭環境の変化のなかで子供たちの語彙の質と量の違いの差が生じているのではないかと、教科書の文章を読み解けていない子供も少なくはないのではないかといった昨年12月の答申の指摘を深刻に受け止め、内容の把握、精査・解釈、考えの形成、表現といった言語活動の過程を意識して、国語の「話すこと・聞くこと」「書くこと」「読むこと」といった活動領域の内容と構造を再構成した。また、小学校低学年から、①発達の段階に応じた語彙の確実な習得、②意見と根拠、具体と抽象を押さえて考えるといった正確な理解や表現のための情報の扱い方を、国語の「知識・技能」として位置付けるとともに、学習の基盤としての各教科等における言語活動の充実を図ることとしている。このような改善で重視しているのは、スマートフォンやSNSなどで交わされる短い文章ではなく、教科書などに掲載されているまとまった筋の通った文章を読みながら、頭のなかで、文中で指摘されている複数の概念に基づいてベン図を描くなどして文章を構造的に理解する力の育成である。

4 ■ 今後のスケジュールと学習評価

今回の公示により、幼稚園は2018（平成30）年度、小学校は2020（平成32）年度、中学校は2021（平成33）年度から新しい学習指導要領が全面実施されることとなる。本年4月には特別支援学校の幼稚部及び小学部、中学部の学習指

導要領等も公示された。高等学校学習指導要領及び特別支援学校高等部の学習指導要領は本年度末までに公示の見込みである。

なお、特に中・高学年で授業時数が増加する小学校については、2018・2019（平成30・31）年度の移行措置期間や2020（平成32）年度の全面実施以降において授業時数を確保するためにさらにどのような工夫や支援が必要については、今回の改訂に関するパブリックコメントでも多くのご意見をいただいた。教員の勤務実態も勘案しながら、次に示す条件整備や業務改善、学校の組織運営体制の確立などを含めた総合的な検討をさらに深めることとしている。

指導要録や評価については、学力の三要素が学校教育法に規定されたにもかかわらず評価は4観点のままではわかりづらいつのしかねてからの指摘も踏まえ、答申において学力の三要素や三つの資質・能力に沿って、「知識・技能」と「思考・判断・表現」、「主体的に学習に取り組む態度」の三つで評価するという方針が示されている。「知識・技能」については、一つ一つの個別の知識を再生可能なように記憶しているかにとどまらず、概念的に理解しているかという観点がこれまで以上に重視されることとなる。「思考・判断・表現」は子供たちが取り組んだレポート、小論文、表現などをしっかりと受け止め評価することも重要となり、「主体的に学習に取り組む態度」は子供たちがこれらの活動を通じていかに主体的に取り組んだのかを見取ることが求められる。知識の理解の質を高めるという今回の改訂の趣旨を踏まえ、さらに専門的な検討を行う予定である。

5 ■ 条件整備と業務改善

本年4月に公表した2016（平成28）年度の教員勤務実態調査は、教員の勤務について看過できないたいへん深刻な実態を示している。このような状況を踏まえつつ、新学習指導要領を全面実施するに当たっては、以下の5点にわたる条件整備や情報発信が不可欠であり、文部科学省として不撤退の決意で取り組むこととしている。

第一は、計画的な教職員定数の改善などの条件整備や部活動を含む業務改善である。教職員定数の改善については、本年度予算に義務教育標準法改正による一部の加配定員の基礎

定数化を盛り込んだ。これは第七次定数改善計画を策定した2001（平成13）年以来、実に16年ぶりの計画的な教職員定数の充実であり、加配定数についても本年度分として395人の改善となっている。今回の基礎定数化により、発達障害や日本語に課題のある子供たちに対する指導の充実、教員の質の向上について、中期的な見通しをもって対応できるようになった。学習指導要領の全面実施に向けてさらなる充実を図ることが必要であると考えている。

第二は、優れた教育実践を教職員支援機構が集約・共有化し、各種研修や授業研究、授業準備で活用できるように提供するという積極的な情報発信である。これらの情報は、YouTubeなども活用して教員の方々に直接発信することとしている。

第三は、教科書や教材の改善・充実である。授業改善のための教員の創意工夫を引き出す教科書や教材の在り方はたいへん重要である。文部科学省としても既に中教審における学習指導要領改訂の審議について教科書会社と対話を重ねているところである。

第四は、教員の資質・能力の向上の支援である。昨年成立した教育公務員特例法等改正法を踏まえ、教員に求められる資質・能力の可視化や研修の体系化、教職員研修センターの「教職員支援機構」への転換による機能強化を図っている。

第五は、「チームとしての学校」の実現である。校長・教頭・教員だけで成り立っている学校にスクールカウンセラーなどの専門職も加え、学校全体の組織力を高めていくことが必要であり、本年度予算にも関係経費を計上している。

なお、教員勤務実態調査を受け、教員の勤務時間の短縮に向けた具体的かつ実効性のある取り組みを早急に進めるため、今後、中央教育審議会において、教員の働き方改革に資する方策についての総合的な検討をお願いし、結論が出たものから逐次、実行段階に移すこととしている。

教育は、教員が子供たちに働きかけることによって未来社会を創造する営為にはかならない。子供たちの知識の理解の質を高め、次代を切り拓く資質・能力を育成するために、文部科学省は省を挙げて一つ一つの職務に誠心誠意取り組み、学校や先生方をお支えしたいと考えている。❖

Ⅱ 育成を目指す資質・能力と授業改善 —算数・数学—

帝京大学 教育学部・教職大学院 教授, 図書館長

清水 静海 / しみず しづみ

1981年愛知教育大学助教授昇任後、文部省(当時)初等中等教育局教科調査官、筑波大学教育学系助教授、帝京大学文学部教育学科教授、同大学教育学部(組織変更)初等教育学科長(2016.3まで)教授(教職大学院教授併任)を経て現職。この間、日本数学教育学会会長、日本学術会議連携会員、中央教育審議会専門委員を歴任。現在、日本数学教育学会名誉会長、(公財)日本数学検定協会理事長。



1 ■ はじめに

小・中学校新学習指導要領(以下、「次期」とする)^{*1}が公示され、全面実施に向けて「次期」が実現を目指す教育が展開されようとしている。ここでは、小・中学校算数・数学科(以下、算数・数学科とする)に視点をおいて、「次期」の特色を整理し、それとの関連で授業改善への期待を述べる。

中央教育審議会(以下、中教審とする)教育課程企画特別部会で小・中・高等学校の算数・数学科の改善の基本的方向や見直しの視点が整理され^{*2}、答申^{*3}を踏まえて「次期」は作成された。改善の基本的方向では「学習する楽しさや学習する意義の実感」と「よさの認識」が強調され、見直しの視点としては、「育成すべき資質・能力の明確化」と「算数的活動・数学的活動の充実」、「統計的な内容等の改善」(以上、小・中・高共通)及び「選択科目『理数探究』」の設置の検討(高)の三つが挙げられた。ここでは、前二者に焦点をあてる。

2 ■ 算数・数学科の教育目標の構造化と教育内容

算数・数学科の教育目標は、教科目標と各学年の目標で構成され、その趣旨が教育内容の構成、特に各指導事項の記述に反映されてきた。「次期」ではその内容が精緻化され相互の関連の「見える化」が図られている。「次期」では文言が増えているが、これまで行間に埋め込まれていたことが顕在化され、いっそう構造的にわかりやすく示されたとみてよい。

(1) 教科目標の二重構造化

「次期」の教科目標は総括的と具体的な目標の二重構造で示され(昭和43、44年の改訂と同様)、算数・数学科の教育

の要点は総括的な目標「数学的な見方・考え方を働かせ、数学的活動を通して、数学的に考える資質・能力を次のとおり育成することを目指す」(小・中共通)で端的にまとめられ、具体的な目標は育成を目指すべき資質・能力の三本の柱、「生きて働く知識・技能(以下、「知識・技能」とする)の習得」、「未知の状況にも対応できる思考力・判断力・表現力等(以下、「能力」とする)の育成」、及び「学びを人生や社会に生かそうとする学びに向かう力・人間性(以下、「態度」とする)の涵養」に対応させ、学校段階や各学年に配慮して構成・記述されている。

(2) 各学年の目標の再構成と教育内容との関連性の明確化

各学年の目標は、「現行」までは各領域のまとめりと、発達段階に配慮し、教科目標の要点を反映させて整理していた。「次期」では、それを上述の教科目標の具体的な目標の三本柱に対応させる構造に改め、教科目標と各学年の目標との関連性をいっそう明確にしている。さらに、教育目標(教科目標及び学年目標)と指導事項との関連も構造的に整理し、「能力」に関わる内容を顕在化させ、各指導事項の指導では「数学的活動を通して」行うことが明示されている。

3 ■ 教育目標等の構造化の背景にあること

(1) 人間ならではの強みを意識

人間ならではの強みを「感性を豊かに働かせながら、どのような未来を創っていくのか、どのように社会や人生をよりよいものにしていくのかという目的を自ら考え出すことができる」^{*3}とし、「解き方があらかじめ定まった問題を効率的に解いたり定められた手続を効率的にこなしたりすること」にとどまらず、「主

体的に学び続けて自ら能力を引き出し、自分なりに試行錯誤したり、多様な他者と協働したりして、新たな価値を生み出していくために必要な力を身に付ける」ことや「予測できない変化に受け身で対処するのではなく、主体的に向き合って関わり合い、その過程を通して、自らの可能性を発揮し、よりよい社会と幸福な人生の創り手となっていけるようにする」ことが重要であるとしている。

今年1月、ある業界新聞の新春座談会^{*4}で、人工知能関連の仕事に携わっている方々と意見交換する機会があった。印象に残る発言は、「0から1を創り出すことの重要性」と「試行錯誤や試行接近を実体験することの大切さ」であった。

(2) 「生きる力」の再構造化

「次期」では、平成8年に中教審で提案され、以来育成を目指してきている「生きる力」を精緻化し、各教科等の目標や内容の構成に反映している。

諮問理由の説明^{*5}では、「高い志や意欲を持つ自立した人間として、他者と協働しながら価値の創造に挑み、未来を切り開いていく力」(下線引用者)の育成を中核に置いていたが、答申^{*3}で「学校教育を通じて子供たちに育てたい姿」として再構成されている。まず、自立では「主体的に学びに向かい、(中略)、自ら知識を深めて個性や能力を伸ばし、人生を切り拓ひらいていくこと」が、協働では「他者の考えを理解し、自分の考えを広げ深めたり、集団としての考えを発展させたりすること」が、創造では「試行錯誤しながら問題を発見・解決し、新たな価値を創造していくこと」がそれぞれ強調されている。これらは、『「生きる力」』を、現在とこれからの社会の文脈の中で改めて捉え直し¹たもので、「教育課程を通じて確実に育むことが求められている」としている。

4 ■ 数学的活動の充実

「次期」における算数・数学科の要点は数学的活動と統計的内容の充実であり^{*6}、ここでは、数学的活動の充実に着目し、それとの関連で統計的内容の充実等に触れる。

(1) 数学的活動

ア 用語「算数的活動」、「数学的活動」の登場

用語「算数的活動」、「数学的活動」が教育行政の文脈で初めて登場するのは、「生きる力」の育成が中核にすえられ、

「ゆとりの中で生きる力をはぐくむ」ことを目指して改訂された平成10年学習指導要領^{*7}の教科目標で、算数科では「算数的活動を通」して目標を実現する文脈と「算数的活動の楽しさ」に気付く文脈で位置付けられている。数学科でも同じ位置で、この枠組みは基本的に「現行」に継承されている。この改訂の前提となった中教審答申の概要が英訳されており、「生きる力」は‘zest for living’^{*8}で、「生きることへの渴望」とされた。また、「ゆとり」は‘room to grow’で、「成長にはすき間(あるいは、あそび)が必要であること」を象徴する意味合いで訳された。今後の数学的活動の充実を巡る議論でも留意したいことである。

イ 「現行」での位置付けと改善

「現行」では、教科目標での位置付け(方法と目標)に、「算数的活動」や「数学的活動」として教育内容としての位置付けが加わった。しかし、両者では内容の例示の仕方に「ねじれ」があり、その調整は「次期」に残された。「次期」では、この「ねじれ」は解消され、「算数的活動」と「数学的活動」におけるリード文の末尾は「次のような数学的活動に取り組むものとする」とされ、例示の仕方とともに統一され、教育の内容にふさわしい位置付けとなった。

また、「現行」では数学的活動は「生徒が目的意識をもって主体的に取り組む数学にかかわりのある様々な営み」(以下「総括的定義」とする)とされ、生徒と数学をそれぞれ児童と算数に置き換えれば算数的活動の定義となる構造となっているが、「次期」では、この定義を受け、「答申」^{*3}の別添資料4-2「算数・数学の学習過程のイメージ」(図1)に基づき、数学的活動の総括的定義を「事象を数理的に捉え、数学の問題を見だし、問題を自立的、協働的に解決すること」として、

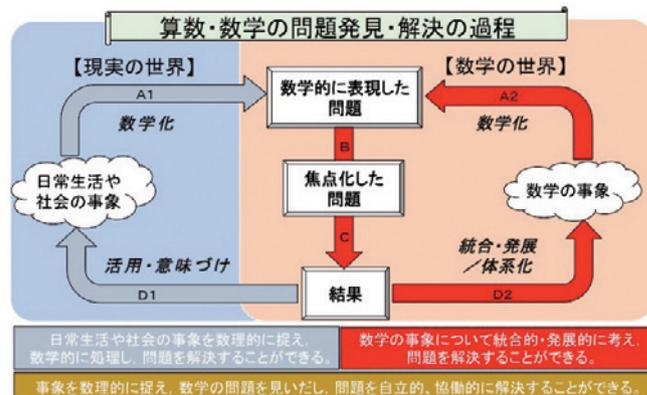


図1 算数・数学の問題発見・解決の過程

問題解決の視点から分析的に整理し、その典型を日常生活や社会の事象からのものと、数学の事象からのものの二つ例示している。これを基に、「次期」における算数科の「数学的活動」の例示は「現行」の数学科の例示^{*9}とそろえている。

ところで、「総括的定義」(H20改訂時)の要点は、「目的意識をもって主体的に取り組む」ことと「数学にかかわりのある」ことである。前者は、「次期」における「自立的、協働的な問題発見とその解決に主体的に取り組むこと」に、後者は「主体的・対話的で深い学びの実現における深い学び」にそれぞれ連なるものといえる。もちろん、数学に関わることは、単なる知識や技能、いわゆる事実知にとどまらない。それらを創る数学的探究の過程に必要な知識や技能、いわゆる方法知、それを遂行するために必要な諸能力、数学的探究を促し粘り強い遂行を支える意志や態度など、育成を目指す資質・能力に関わることの全体に及ぶものと捉えるべきである。

(2) 学習指導要領上の数学的活動の位置付け

ア 数学的活動による統合とその三つの側面

「次期」では算数的活動は数学的活動に統合され、小・中・高で共通に数学的活動を用いることとなっている。それは、算数的活動も先人の英知としての数学を素材として展開していること、これまでも算数科では、教科目標を構成する要素や観点別学習状況の評価の観点として「算数的な考え方」ではなくて「数学的な考え方」を用いてきていること、また、「現行」の英訳(仮訳)において、いずれも'mathematical activities'とされていることなどによると思われる。

ところで、「現行」の解説数学編^{*9}では、数学的活動には三つの側面、教育の方法、内容及び目標の側面があることを明示している。このことが、「次期」では算数・数学科で一貫し、いっそう明確に示されることとなった。

イ 教育の方法としての位置付け

上述のように、「数学的活動を通して」との文言が教科目標の総括目標及び各学年・各領域の指導事項のリード文に明示され、教育の方法としての役割を位置付けている。

ウ 教育の内容としての位置付け

「次期」での数学的活動の教育の内容としての位置付けの記述では、上述のように、「現行」における「ねじれ」が解消されている。ここでは、児童・生徒が自立的、協働的に問題発見とその解決に取り組むことを意図的、計画的に位置付ける

ことが期待されており、教師には日頃の学習指導の成果を評価し、改善する機会として重要になる。したがって、教育の方法として数学的活動を活かす過程では、児童・生徒が数学的活動に取り組むことができるために必要なことを整理し、意図的、計画的に指導することがいっそう重要になる^{*9}。なお、「次期」では数学的活動の例示において、就学前の経験や小・中との接続、小学校6年間の発達段階への配慮などがよりの確になされており、授業改善に活かしたい。

エ 教育の目標としての位置付け

数学的活動の教育の目標としての位置付けは、例えば、教科目標の具体的な目標や学年目標に反映しているとみてよい。すなわち、例えば、算数科の具体的な目標の(2)における「数理的に捉え見通しをもち筋道を立てて考察する」ことは、教師が児童を導き、できるようにする文脈で記述されているが、数学に関わる営みであり、児童がそれらに主体的に取り組めば、数学的活動の「総括的定義」に合致する。この意味で、教科目標の具体的な目標は数学的活動の典型を例示しているとみてよい。

オ 数学的活動を充実するための授業改善

数学的活動を充実するためには、とりわけ、数学的活動の教育の方法及び内容としての側面が重要であると考えられる。このため、まず、単元全体または小単元全体を視野に入れた指導計画を立案することが大切である。数学的活動を通じた意図的・計画的な指導と児童・生徒が数学的活動を実体験することのバランスをとることである。次いで、数学的探究の方法について、意図的、計画的な指導をすることが大切である。例えば、授業の終末での学習のまとめでは、事実知にとどまらず方法知や学びに向かう力に関わることも対等に位置付け児童・生徒の意識にしっかりと刻むことが必要となろう。

(3) 統計的な内容の充実 — 統計的な探究の過程の重視 —

統計的な内容の充実については、「社会生活などの様々な場面において、必要なデータを収集して分析し、その傾向を踏まえて課題を解決したり意思決定をしたりすることが求められており、そのような能力を育成するため、高等学校情報科等との関連も図りつつ、小・中・高等学校教育を通じて統計的な内容等の改善について検討していくことが必要である。」^{*3}とされ、領域「Dデータの活用」の新設と統計的な探究(問題解決や意志決定)の過程を重視することに視点を置いて充実を図っている。

ア 領域「Dデータの活用」の新設

算数・数学科では、新領域「Dデータの活用」を設定し、内容の系統、各学年、各学校段階での指導の重点をいっそう明確にしている^{※10}。

イ 統計的な探究過程の重視

「小・中・高等学校を通じた統計教育のイメージ、内容等の整理(資料8)」^{※11}において、例えば、中学校数学では「統計的に分析するための知識・技能を理解し、日常生活や社会生活の場面において問題を発見し、調査を行いデータを集めて表やグラフに表し、統計量を求めることで、分布の傾向を把握したり、二つ以上の集団を比較したりして、問題解決や意思決定につなげる」こと及び「データの収集方法や統計的な分析結果などを多面的に吟味する」ことが例示されている^{※12}。ここでは、「データを収集しグラフにし分析すること」を「繰り返すこと」及び「多面的、批判的に考察すること」を重視し、強調している。

(4)プログラミング的思考の育成

プログラミング教育は「子供たちに、コンピュータに意図した処理を行うよう指示することができるということを体験させながら、発達の段階に即して資質・能力を育成するものである」と規定され^{※13}、育成すべき資質・能力の三つの柱に対応させて整理している。二つ目の柱「思考力・判断力・表現力等」にかかわって、「プログラミング的思考」の育成が位置付けられ、それを「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」と規定している。これは新造語で、『『コンピューショナル・シンキング』の考え方を踏まえつつ、プログラミングと論理的思考との関係を整理しながら』定義され、「プログラミングに携わる職業を目指す子供たちだけでなく、どのような進路を選択しどのような職業に就くとしても、これからの時代において共通に求められる力」とされた。

(5)算数・数学科での対応

ア 計算の指導にかかわって

計算は人間の文明が生み出した遺産である^{※13}。例えば、「筆算は数学の歴史の中で初期から存在したものではなく、長い年月をかけて人類が生み出したアルゴリズムであり、そ

うしたものを生み出す人間の数学的な思考が、人工知能の動きや働きなどを支えるおおもとなっているとみれば、これからの算数では、筆算が所与のものではなく、こうした意義を持つものであることなどを学ぶことが重要になる」としている。「アルゴリズム」を創る学びは、筆算など計算にかかわる内容にとどまらない、広くさまざまな内容と深くかかわっており上述の視点からの見直しと、それに基づく内容の取り扱いや授業の展開における改善が期待される。

イ 文章題の指導にかかわって

算数における文章題の解決は「文章から数量の関係について情報を読み取り、それらの関係を明らかにし、解決の方法を立案して解決するという過程を体験する活動」であり、数学的モデリングを実体験できる典型といえる。したがって、筆算や文章題は古くから算数の教材として位置付けられてきているが、時代の変化、その変化に伴う新たな要請に鑑み、それらを学ぶ意義を再点検し、それに相応しく授業を改善していくことが期待されているといえる。

ウ 算数・数学科での対応

プログラミング教育の基本的な考え方は小学校段階に焦点を当てて整理されているが、数学科にも適用できることであり、上記ア、イにかかわることは数学科で取り上げる内容にも頻繁に登場するものであり、同様な対応が期待される。❖

参考文献等

- ※1 文部科学省「小・中学校学習指導要領」(H29.3.31)。
- ※2 教育課程企画特別部会「論点整理」(H27.8.26)。
- ※3 中央教育審議会答申(H28.12.21)。
- ※4 『日本情報産業新聞』、2375号、6～8面(H29.1)。
- ※5 文部科学大臣「諮問理由の説明」(H26.11.20)。
- ※6 ※2、3の【概要】。
- ※7 H10.12.公示。
- ※8 「現行」の英訳(仮訳)版では‘zest for life’とされている。
- ※9 H20 中学校学習指導要領解説数学編。
- ※10 高校の「数学I」(必履修科目)につなげ、10カ年間で対応の予定。
- ※11 中教審教育課程部会「算数・数学ワーキンググループにおける審議の取りまとめ」(H28.8.26)。
- ※12 資料6「小・中・高等学校を通じた統計教育のイメージ、内容等の整理(案)」(H28.5.13.第七回WG)。
- ※13 「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」(H28.4.19.設置)が「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について(議論の取りまとめ)」(H28.6.16)を公表した。

Ⅲ 理科の見方・考え方を働かせて育成する 資質・能力

足立区立千寿小学校 校長

田村 正弘 / たむら まさひろ

1984年埼玉県公立中学校教諭に任ぜられた後、東京都公立小学校教諭、中野区教育委員会指導主事、東京都公立小学校副校長、中野区教育委員会統括指導主事、足立区立舎人小学校長を経て、2012年から現職。全国小学校理科研究協議会副会長。



1 ■ 学習指導要領改訂の背景

本年3月に新しい学習指導要領が告示された。これは、平成28(2016)年12月の中央教育審議会答申を受け改訂されたものであるが、理科の改訂内容については平成28(2016)年8月にまとめられた「理科ワーキンググループにおける審議の取りまとめ」を読み解く必要がある。

審議の取りまとめでは、「小学校、中学校ともに、『観察・実験の結果などを整理・分析した上で、解釈・考察し、説明すること』などの資質・能力に課題がみられること」、「高等学校については、観察・実験や探究的な活動が十分に取り入れられておらず、知識・理解を偏重した指導となっている」などの課題があると示した上で、「今回の学習指導要領の改訂においては、これらの課題に適切に対応できるよう、理科の学習を通じて身に付ける資質・能力の全体像を明確化するとともに、そのために必要な指導の在り方を示すこと等を通じて、理科教育の改善・充実を図っていくことが必要である」と指摘している。

2 ■ 資質・能力の育成を目指す目標

(1) 新学習指導要領における理科の目標

理科の教科目標は、従来「科学的な見方や考え方」を育成することを重要な目標として位置付け、資質・能力を包括するものとして示してきた。しかし、今回の改訂では資質・能力をより具体的なものとして示し、「見方・考え方」は資質・能力を育成する際に働かせる「各教科等の特性に応じた物事を捉える視点や考え方」として全教科で整理された。その結果、以下のような目標が設定された。

<小学校理科の目標>

自然に親しみ、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象についての問題を科学的に解決するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 自然の事物・現象についての理解を図り、観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。
- (2) 観察、実験などを行い、問題解決の力を養う。
- (3) 自然を愛する心情や主体的に問題解決しようとする態度を養う。

<中学校理科の目標>

自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 自然の事物・現象についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。
- (2) 観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。
- (3) 自然の事物・現象に進んで関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。

小・中学校とも、理科の目標の構成はほぼ同じであり、

- ① 自然の事物・現象と向き合うこと
- ② 理科の見方・考え方を働かせること
- ③ 見通しを持った観察・実験を行うこと

④ ①～③を通して、問題（自然の事物・現象）を科学的に解決（追究）するための資質・能力を育成することの4段階で前半部分を示し、次に、どのような資質・能力を育成するのが、三本柱に沿って箇条書きで示されている。高等学校の学習指導要領は未改訂だが、ほぼ同じ構成となることが予想できる。

このことから、これからの理数科教育は、自然を対象として、理科の見方・考え方を働かせて、意図的に観察・実験を行うことを通して、「知識及び技能」「思考力、判断力、表現力等」「学びに向かう力、人間性等」を育成することが求められる。

（2）理科を通して育成を図る資質・能力とは

資質・能力を構成する三本柱は、学校教育法30条で規定された「生涯にわたり学習する基盤が培われるよう、基礎的な知識及び技能を習得させるとともに、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力そのほかの能力を育み、主体的に学習に取り組む態度を養うことに、特に意を用いなければならない」に基づいている。

理科においては、第1の柱である「知識・技能」では、自然の事物・現象に対する概念や原理・法則の理解、科学的探究や問題解決に必要な観察・実験等の技能などが求められる。具体的には、「自然の事物・現象についての理解」や、「観察、実験などに関する基本的な技能」などである。

第2の柱である「思考力・判断力・表現力等」では、問題解決の力や科学的に探究する力などが求められる。例えば中学校では「自然事象の中に問題を見いだして見通しをもって課題を設定する力」、「計画を立て、観察・実験する力」、「得られた結果を分析して解釈するなど、科学的に探究する力と科学的な根拠を基に表現する力」、「探究の過程における妥当性を検討するなど総合的に振り返る力」などである。

第3の柱である「学びに向かう力・人間性等」では、主体的に問題解決しようとしたり、探究しようとしたりする態度などが求められる。具体的には、小学校では、「自然を愛する心情」や「主体的に問題解決しようとする態度」を、中学校では「自然を敬い、自然事象に進んでかかわり、科学的に探究しようとする態度」のほか、「粘り強く挑戦する態度」、「日常生活との関連、科学することの面白さや有用性の気付き」などである。「理科における資質・能力の例」については、審議の取りまとめの資料に例示されている。

（3）「理科の見方・考え方」とは

資質・能力の育成のために中核的な役割を果たすのが、各教科等の本質に根ざした「見方・考え方」である。

理科においても、「理科の見方・考え方を働かせて」という文言が、問題解決や探究活動の前提条件になっていることが、今回の改訂における最も重要な点である。理科においては、従来、「科学的な見方や考え方」を育成することを重要な目標として位置付け、資質・能力を包括するものとして示してきたところである。しかし、今回の改訂では、資質・能力をより具体的なものとして示し、「見方・考え方」は資質・能力を育成する際に働かせる「物事を捉える視点や考え方」として整理されている。

（4）各領域で働かせるおもな「見方」

見方（さまざまな事象などを捉える各教科ならではの視点）については、理科を構成する領域ごとの特徴を見いだすことが可能であり、「エネルギー」領域では、自然の事物・現象を主として量的・関係的な視点で捉えることが、「粒子」領域では、自然の事物・現象を主として質的・実体的な視点で捉えることが、「生命」領域では、生命に関する自然の事物・現象を主として多様性と共通性の視点で捉えることが、「地球」領域では、地球や宇宙に関する自然の事物・現象を主として時間的・空間的な視点で捉えることが、それぞれの領域における特徴的な視点として整理することができる。

ただし、これらの特徴的な視点はそれぞれの領域固有のものではなく、その強弱はあるもののほかの領域においても用いられる視点であり、また、全体と部分の関係や原因と結果の関係、定性と定量といった視点など、これら以外の視点もあることについて留意する必要がある。

（5）「考え方」について

理科の学習における「考え方」とは、問題（課題）の発見（把握）から、問題（課題）の解決という問題解決（探究）の過程を通じた学習活動の中で、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて、事象の中に何らかの関連性や規則性、因果関係などが見いだせるかなどについて考えることである。この「考え方」は思考の枠組みなどであり、資質・能力としての思考力や態度とは異なる。

つまり、「理科の見方・考え方」については、「自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなどの科学

的に探究する方法を用いて考えること」と整理できる。

理科の学習においては、この「理科の見方・考え方」を働かせながら、知識及び技能を習得したり、思考、判断、表現したりしていくものであると同時に、このような学習を通じて、「理科の見方・考え方」が更に広がったり深まったりし成長していくと考えられる。

3 ■ 理科の授業はどのように変わるか

上述のとおり、今後の理科の授業では、領域ごとにおもに働かせる「見方・考え方」があり、それを働かせることによって、理科の目標の3つの柱である資質・能力の育成を図ることになる。以下、小学校第5学年「A 物質・エネルギー」における「(3) 電流がつくる磁力」を例に、内容項目の捉え方と、どのような授業を構想していくかを述べる。

学習指導要領における内容項目の捉え方

新学習指導要領では、下記のとおり示されている。

電流がつくる磁力について、電流の大きさや向き、コイルの巻数などに着目して、それらの条件を制御しながら調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。

ア 次のことを理解するとともに、観察、実験などに関する技能を身に付けること。

(ア) 電流の流れているコイルは、鉄心を磁化する働きがあり、電流の向きが変わると、電磁石の極も変わること。

(イ) 電磁石の強さは、電流の大きさや導線の巻数によって変わること。

イ 電流がつくる磁力について追究する中で、電流がつくる磁力の強さに関する条件についての予想や仮説を基に、解決の方法を発想し、表現すること。

理科では、ほかの内容項目もほぼ同様の文章構成になっており、前段で、対象となる自然事象と、働かせる「見方・考え方」について述べている。

後段では、育成すべき資質・能力の1つ目の柱である「身に付けるべき知識及び技能」をアに示している。さらに、小項目(ア)(イ)で、内容の詳細を示している。

資質・能力の2つ目の柱である「思考力、判断力、表現力等、問題解決の力」についてはイに示している。本内容項目の場合には「関係する条件についての予想や仮説を基に、解決の方法を発想し、表現すること」とされているが、これは第5学年で中心的に育成を図る問題解決の力とされ、第3学年では「主に差異点や共通点を基に、問題を見いだす力」、第4学年は「主に既習の内容や生活経験を基に、根拠のある予想や仮説を発想する力」、第6学年では「主により妥当な考えをつくりだす力」を中心的に育成するとしているが、実際の指導に当たっては、ほかの学年で掲げている問題解決の力についても十分配慮することや、内容区分や単元の特性によって扱い方が異なること、中学校における学習につなげていくことにも留意する必要がある。

3つ目の柱である、「学びに向かう力、人間性等」については、各学年や各分野の「目標」において整理されたものを、すべての内容項目において共通的に扱うこととされている。

授業展開例

本内容項目の授業展開例を考えたとき、まず、「コイルに電流を流すと磁力が発生し、鉄心を磁化させること」を捉えるようにする。児童は、電気エネルギーが磁力に変換されるというエネルギー概念を獲得することになる。この際、児童は第3学年「磁石の性質」で身に付けた資質や能力をもとに、「磁石には極があったが、電流でつくった磁石のようなものにも極があるのか」に着目し、「極の存在」や、「電流の流れる向きと極の関係」について、第3学年で学習した磁石と比較したり、第4学年で学習した「電流の働き」における電流の向きと働きと関係づけたりして考えることになる。この段階ではエネルギーで主として働かせる「量的・関係的な見方」ではなく、「原因と結果」といった見方や、前学年までで身に付いた考え方を働かせて(ア)の内容を捉えることになる。

その上で、「電磁石を強くしたい」という思いから、電磁石の強さを変える条件を予想することになる。その際、働かせる「見方・考え方」は、コイルの巻き数や電流の大きさと、電磁石の強さといった「量的・関係的な見方」になる。更に、複数の条件があるときには、原因となる一つの条件を探るために、変える条件と変えない条件という、条件を制御する必要があるという「考え方」を働かせることになる。

こうした学習を通して、児童はアで示された知識や、イで示された「予想や仮説を基に解決の方法を発想し、表現する力」が

育成されていく。このように、エネルギー領域だからといって、必ずしも「量的・関係的な見方」を働かせるだけではなく、「原因と結果」等の視点も常に留意する必要がある。

4 ■ 「主体的・対話的で深い学び」とは

今回の改訂において「アクティブ・ラーニング」という言葉は使用されていない。しかし、理科においては、これまでも知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、目的意識をもって観察・実験を行い、その結果を整理し考察する探究的な学習活動を重視してきたところである。今後は、「主体的な学び」「対話的な学び」「深い学び」の三つの視点から学習過程を質的に改善していくことが必要である。なお、これら三つの視点はそれぞれが独立しているものではなく、相互に関連し合うものであることに留意が必要である。

主体的な学び

理科の学習の基本は、児童・生徒が自然の事物・現象から自らの力で問題や探究すべき課題を見だし、見通しをもって仮説の設定や観察・実験の計画を立案し、観察・実験の結果を分析・解釈して仮説の妥当性を検討したり、全体を振り返って改善策を考えたりするとともに、得られた知識や技能を基に、次の課題を発見したり、新たな視点で自然の事物・現象を把握したりする学習を主体的に行うことが大切である。

対話的な学び

科学的に探究したり、問題解決を進めたりするためには、解決方法の構想、結果の考察、より妥当な結論を導き出す過程等において、客観性や再現性が担保される必要がある。「主体的な学び」が独りよがりにならないようにするためにも、子供どうしの協働、教員やほかの人の対話、先哲の考え方を手掛かりに考えること等を通じ、自らの考えを広げ深める「対話的な学び」が重要になる。理科において「対話的な学び」を実現していくためには、例えば、課題の設定や検証計画の立案、観察・実験の結果の処理、考察・推論する場面などでは、あらかじめ個人で考え、その後、意見交換したり、議論したりして、自分の考えをより妥当なものにする学習場面を設けることなどが考えられる。

深い学び

理科においては、自然の事物・現象について、「理科の見方・

考え方」を働かせて、探究の過程を通して学ぶことにより、資質・能力を獲得するとともに、「見方・考え方」も成長するものである。さらに、獲得した資質・能力や成長した「見方・考え方」を次の学習や日常生活などにおける問題発見や解決場面において活用することによって、「深い学び」につながっていくものと考えられる。このような学びを実現していくためには、例えば、観察・実験などの学習の過程を振り返って変容を自覚したり表現したりする学習場面を必要に応じて設けることなどが考えられる。

このような学習場面については、既に多くの学校で取り組まれているものも多いと考えられる。その際、このような学習場面を通じて児童・生徒の「主体的な学び」「対話的な学び」「深い学び」が実現できているのかについて確認しつつ進めることが重要であり、身に付けさせるべき資質・能力及びその評価の観点との関係も十分に踏まえたうえで指導計画等を作成することが必要である。

5 ■ プログラミング学習の取り扱い

プログラミング学習については、子供たちが将来どのような進路を選択したとしても、これからの時代に共通に求められる力を育むために、小学校段階での理科で重視してきた問題解決の過程において、プログラミング的思考の育成との関連が明確になるように位置付けられた。

新学習指導要領においては、「指導計画の作成と内容の取扱い」において、「プログラミングを体験しながら論理的思考力を身に付けるための学習活動を行う場合には、児童の負担に配慮しつつ、例えば第2の各学年の内容の第6学年「A物質・エネルギー」の(4)における電気の性質や働きを利用した道具があることを捉える学習など、与えた条件に応じて動作していることを考察し、更に条件を変えることにより、動作が変化することについて考える場面で取り扱うものとする」とされている。これは必ずしも本内容で扱わなければならないというわけではないが、発達段階や内容との関連を考えたときに、適した場面であるといえる。ただし、コーディングの技能だけに重点を置くことは避け、論理的思考力を育成するための手段であることに留意する必要がある。



IV これからの学校経営に求められるもの

千葉大学 教育学部 特任教授

天笠 茂 / あまがさ しげる

川崎市母口小学校教諭、千葉大学教育学部講師、助教授、教授を経て現職。学校経営学、教育経営学、カリキュラム・マネジメント専攻。中央教育審議会委員、同初等中等教育分科会教育課程部会長など文部科学省の各種委員等を務める。おもな著書として、『学校経営の戦略と手法』（ぎょうせい）、『カリキュラムを基盤とする学校経営』（ぎょうせい）、『学校と専門家が協働するーカリキュラム開発への臨床的アプローチ』（第一法規）など。



1 ■ 学校経営もまた変革が求められている

教育課程が変わるならば、それを編成・実施する学校の組織や運営は変わるはずである。しかし、事はそう単純な話ではない。振り返ってみれば、これまで何回も学習指導要領は改訂され、そのことを通してさまざまなことを経験してきた。

教育課程は変わっても教育方法は変わらない、ということもその一つである。

さらにいうならば、教育課程は変わっても学校の組織や運営も変わらない、ということも、これまた繰り返されてきた。変わらないということにおいては、教育方法以上といてもよいかもしれない。かくして、学習指導要領改訂をめぐる、“古い皮袋に新しい酒を注ぎこむ行為”といて、変化の乏しさが指摘され続けてきた。

このような歴史的な経緯を経て、このたびの学習指導要領を迎えることになった。改めて、学校経営に求められることは、学校の目指す方向性を明確にして、教育内容・教育方法・組織運営を一体的に捉え、学校改善を図っていくマネジメントの展開である。

教育課程が変わったことを受けて、教育方法も組織運営も見直しを図り、一体となって組織を動かし学校を変えていく。その意味で、学校経営もまた変革が求められていることを確認しておきたい。

2 ■ 求められる力としての ＜プログラミング的思考＞と＜英語力＞

ところで、「答申」は、これからを大きく変化を遂げ予測が困難な時代との認識を示すとともに、それに備えるために、次

のような学力が求められると述べている。

「解き方があらかじめ定まった問題を効率的に解いたり、定められた手続きを効率的にこなしたりすることにとどまらず、直面する様々な変化を柔軟に受け止め、感性を豊かに働かせながら、どのような未来を創っていくか、どのように社会や人生をよりよいものにしていくのかを考え、主体的に学び続けて自ら能力を引き出し、自分なりに試行錯誤したり、多様な他者と協働したりして、新たな価値を生み出していくことであると考えられる。」

これは、自ら課題を見つけ、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、よりよく問題を解決する資質や能力の育成を目指し「生きる力」を掲げ、総合的な学習の時間を新設した平成10年版学習指導要領以来、求め続けてきた学力である。これを変化の時代に備える観点から、さらに深く掘り下げたのがこのたびの改訂である。

このように変化の時代に備えて求められる学力として、学び方や考え方を学ぶことや、問題解決に主体的に創造的に取り組む態度や生き方を身に付けていくことなどが並ぶ。

この一連の流れのなかで中心的な位置を占めてきたのが「生きる力」である。これからの子供たちに必要となるのは、いかに社会が変化しようと、自分で課題を見つけ、自ら学び、自ら考え、主体的に判断し、行動し、よりよく問題を解決する資質や能力である。しかし、それらは、今に始まったことではなく、既に求められ続けてきたものであることを確認しておきたい。

その一方、これからの時代に求められる学力に注目すると、次に取り上げるように、＜プログラミング的思考＞、及び、＜英語力＞を中心とした＜外国語力＞に光が当たることになる。

(1) プログラミング的思考について

まず、＜プログラミング的思考＞について。2016（平成28）

年4月、小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議が設けられ、同年6月16日、「小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について（議論の取りまとめ）」が公表された。

この「議論の取りまとめ」では、これからの時代には、プログラミングに関わる力として論理的に物事を考えていく力が必要であると、次のように述べている。

「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力が必要になる。」

そのうえで、この力を身に付けるということは、特定のコーディングを学ぶことではないとことわっている。ちなみに、プログラミング教育とは、コンピュータに意図した処理を行うよう指示することを体験させながら、発達の段階に即して、次のような資質・能力を育成することであるという。

【知識・技能】身近な生活でコンピュータが活用されていることや、問題の解決には必要な手順があることに気付くこと。

【思考力・判断力・表現力等】発達段階に即して、「プログラミング的思考」を育成すること。

【学びに向かう力・人間性等】発達段階に即して、コンピュータの働きを、よりよい人生や社会づくりに生かそうとする態度を涵養すること。

このようなプログラミングに関する力が求められる背景については、情報化の進展という社会的な変化があり、いわゆる「第四次産業革命」と呼ばれる時代の到来がある。すなわち、情報化が進む社会にあって、情報技術が身近な生活に入ってくるなかで、サービスを享受するに留めず、そのシステムや働きを理解し、自分の目的のために使いこなし、人生や社会づくりに生かしていく力が求められるという。

しかも、小学校教育においては、特定のプログラミング言語を習得するというよりも、論理的に物事を考えて全体を組み立てる力や、構造的に思考する力などを「プログラミング的思考」とし、その育成を求めたことに留意したい。

(2) <英語力>を中心とした<外国語力>について

一方、英語教育の在り方に関する有識者会議報告「今後の英語教育の改善・充実方策について 報告～グローバル化に

対応した英語教育改革の五つの提言～」（平成26年9月）には、およそ次のようなことが記されている。

2050年頃、現在、学校で学んでいる児童生徒の多くが、多文化、多言語、多民族の人々と協調と競争する国際的な環境のなかにいると予想する。しかも、それは一部の業種や職種だけにとどまらず、より多くの人々が外国語を求められる場面に立つことになる想定する。すなわち、国民一人一人が、さまざまな社会的、職業的な場面において、外国語を用いたコミュニケーションを行う機会が格段に増加するというのである。

その意味で、国際共通語である英語力の向上は、日本の将来にとって不可欠であり、英語力の獲得は、児童生徒の将来的な可能性の広がりのためにも欠かせないと強調する。

2013（平成25）年5月、教育再生実行会議第3次提言に端を発するこのたびの英語教育改革は、小学校教育に大きな変革をもたらそうとしている。同提言は、実施学年の早期化、指導時間増、教科化、専任教員配置等を提案の中身に小学校の英語学習の抜本的拡充を提起した。

これを受け、同年6月14日 第2期教育振興基本計画が閣議決定され、そのなかで、小学校における英語教育実施学年の早期化、指導時間増、教科化、指導体制の在り方などについて検討を開始し、逐次必要な見直しを行うとした。

そして、「グローバル化に対応した英語教育改革実施計画」（中学年において週1~2コマ、年間70単位時間の確保 モジュール学習も活用しながら週3コマ程度を確保）（平成25年12月）に続き、英語教育の在り方に関する有識者会議報告と、小学校における英語教育改革を図る方策が矢継ぎ早に打ち出される。

ちなみに、有識者会議報告は、中・高学年における系統的・体系的な指導の充実とともに、

- ・言語に対する興味・関心を国語教育との連携によって高める。
- ・世界に多くの言語があることを理解させる。
- ・母語と外国語の効果的な運用を通して「ことば」への気付きを図る。

などをあげている。

いずれにしても、英語を中心とする外国語教育を軸に、国語教育との連携を図りつつ、言語に対する興味・関心を拓く。そして、他教科等との連携を図りつつカリキュラムを編成する観

点から、これら資質・能力の育成を位置付けていく。その在り方が改めて問われることになったことを確認しておきたい。

3 ■ 総則とカリキュラム・マネジメント

ところで、このたび改訂された新しい学習指導要領は、その中でカリキュラム・マネジメントを次のように示している。

「各学校においては、児童や学校、地域の実態を適切に把握し、教育の目的や目標の実現に必要な教育の内容等を教科等横断的な視点で組み立てていくこと、教育課程の実施状況を評価してその改善を図っていくこと、教育課程の実施に必要な人的又は物的な体制を確保するとともにその改善を図っていくことなどを通して、教育課程に基づき組織的かつ計画的に各学校の教育活動の質の向上を図っていくこと（以下「カリキュラム・マネジメント」という。）に努めるものとする。」

これは、「答申」において示した、カリキュラム・マネジメントの三つの側面をまとめて表記したものである。

この総則は、次のように、全体として6つの柱によって構成されている。

- 第1 小学校教育の基本と教育課程の役割
- 第2 教育課程の編成
- 第3 教育課程の実施と学習評価
- 第4 児童の発達の支援
- 第5 学校運営上の留意事項
- 第6 道徳教育に関する配慮事項

この柱に沿って、適宜、カリキュラム・マネジメントに関する事項が盛り込まれ記述がなされ、このたびの総則の特徴を成している。そのおもなものを取り上げると次のとおりである。

まず、授業に直接かかわるカリキュラム・マネジメントについては、「第2 教育課程の編成」において、教科等横断的な視点に立った資質・能力の育成として、記されている。

次に、学校評価との関連など、学校全体の組織運営に関わるカリキュラム・マネジメントについては、「第5 学校運営上の留意事項」において、「教育課程の改善と学校評価等」として、学校の特色を生かしたカリキュラム・マネジメントを行うよう努め、また、学校評価については、カリキュラム・マネジメントと関連付けながら実施するよう留意するとある。

さらに、家庭や地域社会との関係づくりに関わるカリキュ

ラム・マネジメントについては、同じく第5において、「家庭や地域社会との連携及び協働と学校間の連携」として示されている。

このように、総則は、カリキュラム・マネジメントにあたっての基本的な事項や要件を示すとともに、学校の実態に応じて、それらを組み立て創意ある運用を求めている。その意味で、総則は、カリキュラム・マネジメントの実際の取り組みにあたって、その基本型を示したことになる。別の言い方をすれば、総則に示された教育課程の編成・実施・評価に関する事項を軸に、校内の体制を整え組織運営を行うことが、広義の意味におけるカリキュラム・マネジメントの実践ということになる。

4 ■ 学校の組織力の向上・マネジメントの確立

組織の開発と校内研修

そのカリキュラム・マネジメントを展開するにあたって核となるのが、単元構成や指導計画の作成を図る力量である。それぞれの学校において、そのレベルアップを図る校内研修が問われており、その取り組みがカリキュラム・マネジメントにも結び付くものと思われる。

この点も含め、校内研修や教員研修について、学習指導法の研究からカリキュラムの研究へのシフトが望まれるところである。

授業も学校の組織にまで及んで捉える必要がある。教育方法や教育内容の吟味にとどまらず、組織やマネジメントまで、その在り方を求めていく必要がある。これまでの取り組みについて、一方においては、学校の組織や運営に関心が集中し、指導法やカリキュラムとは距離が置かれていた。その一方、多くの授業研究は、指導法と教材研究にとどまり組織や運営と結び付けることは余りなかった。これを克服することが課題となっており、カリキュラム・マネジメントは、指導方法と教育内容と組織運営をつなぐ発想や手法の開発に寄与することも期待されている。

個々の教師の授業力の向上、学校の組織力の向上をカリキュラム・マネジメントの確立を通して図る。今回改訂への対応として、このカリキュラム・マネジメントをいっそう確かなものにする取り組みに期待するところは少なくない。❖

第8回

バッハと対称性



ジャズピアニスト・作曲家
中島 さち子 / なかじま さちこ

1996年国際数学オリンピックで日本人女子初の金メダル、翌年同大会で銀メダル獲得。東京大学で数学（数論・表現論）を専攻する一方、ジャズに出会い、卒業後本格的に音楽活動開始。2010年にはリーダーアルバム“REJOICE”，2016年“Time, Space, Existence”，2017年“希望の花”リリース。著書に『人生を変える「数学」そして「音楽」』（講談社）ほか。現在は、音楽活動や数学研究のほか、全国で数学や音楽の講演、執筆、21世紀型人材育成などに携わる。「算数・数学の自由研究」作品コンクールの中央審査委員を務める。

バッハと対称性

この連載の第6、7回の数学的なテーマは「対称性」でした。今回は、バッハの音楽をはじめとするさまざまな音楽の中に隠れた対称性をご紹介します。

まずはドイツの作曲家ヨハン・セバスティアン・バッハ（1685～1750年）の有名な『2声のインベンション 第1番 ハ長調 BWV 772』の楽譜を見てみましょう（図1）。この中には、曲の冒頭のフレーズX（太い赤線で区切った部分）を平行移動したフレーズ、線対称移動（12音階内の1音について線対称移動）したフレーズが多数存在します。また、フレーズXの一部を2倍に拡大した部分も存在します。^{*1} このように、バッハの曲の中には対称性が多く発見できます。

また、一般的に、輪唱とは、複数のパートが同じ旋律を異

Inventio 1
BWV 772

□ : 平行移動 □ (blue dashed) : 線対称移動 □ (green dashed) : (一部) 拡大移動

図1 J.S. バッハ『2声のインベンション BWV 772』^{*2}

なるタイミングで始める音楽です。一方、バッハの愛したカノンという音楽形式は、輪唱よりももう少し幅広く、複数のパートが同じ旋律を異なるタイミングで異なる音から平行移動して始めます。カノンでは、さらに時には旋律を左右対称・上下対称にしたり、(一部を)何倍かに拡大・縮小したりしながら、「テーマ」となるフレーズにさまざまな対称性を施しつつ重ね、美しい音楽をまるで建築のように創っていきます。(フーガでは、多少対称性に崩れがあっても許されます。)

バッハはカノンやフーガの作品を多数残していますが、いずれも「対称性」が隠れたキーワードとなっている形式なのです。私が大好きなバッハの『ゴールドベルク変奏曲』は、冒頭の極めて美しいアリアの30の変奏曲であり、カナダのピアニストのグレン・グールド（1932～1982年）の名演が有名です。この中では、3の倍数の楽曲はカノンであり、第3変奏は冒頭旋律の最初の平行移動が同度（同じ音）から始まる同度カノン、第6変奏は二度（一全音差）から始まる二度カノン、第9変奏は三度（二全音差）から始まる三度カノン、…と、同度から九度までの10のカノンがあります。ぜひ一度聴き、対称性を耳で探ってみてください。

音で遊ぶ

皆さんも何か1, 2小節のメロディを作ってみましょう。例えば、図2のテーマAのようなフレーズを考えます。以下、すべてト音記号がついていると考えてください。



図2 テーマA

これを平行移動してつなげて弾いてみましょう。^{※3}

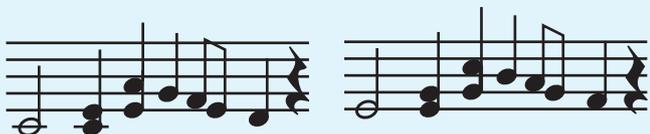


図3 テーマAとその平行移動A'

いかがでしょうか？ 次に、このフレーズを左右対称にしてつなげて弾いてみましょう。なかなか素敵なメロディです。

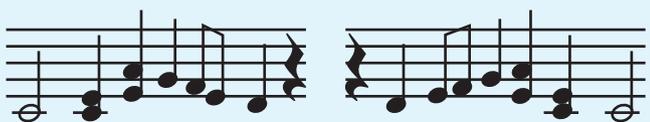


図4 テーマAとその線対称移動A''

次に、このフレーズをくるっと180度ひっくり返してみましょう。つまり、「シ」の横線を軸とする線対称移動を施してから左右対称にします。「シ」以外の音についての線対称移動+左右対称移動でもかまいません。^{※3}

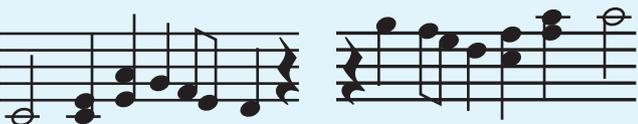


図5 テーマAとその点对称移動A'''

これをつなげて弾いても、かなり面白い旋律になりますね。このように、一つのフレーズに対称性を施してつなげると、いろいろな方向に発展します。対称性を少しずつ崩すことで、オリジナルな素敵なメロディができるかもしれません！ぜひ、対称性を用いた音遊びに挑戦してみてください。

音楽と軌道空間

バッハの曲を弾いていると、片手のメロディに潜む対称性と両手のメロディの掛け合いの中に潜む対称性の絡み合う美しさによく圧倒されます。こうした二次元的な対称性を、少し難しいですが、図形的に覗いてみましょう。

例えば、皆さんご存じのカエルの歌を輪唱すると、第1声を時間的に少しずらした（平行移動）ものが第2声となります。さらにみんなで2番まで歌うと、第1声の中でも、1番を時間的にずらした（平行移動）ものが2番となっております。カエルの歌の輪唱の中には2種類の平行移動が含まれていることがわかります。

ここで非常にざっくりとしたイメージで恐縮ですが、何かしら対称性を持つ図形に対して、異なる場所にあるが「同じ」である場所を貼り合わせることによってできる図形（空間）を、元の図形の対称性を表す軌道空間と言います。カエルの歌（輪唱）では譜面の第1声と第2声（上下）を同一視し貼り合わせることで円筒の構造が見えてきます。2番まで歌うと、さらに平行移動で1番の最初の縦線と2番の最初の縦線（1番の最後の縦線）を貼り合わせることができ、トーラス：一つ穴浮き輪になります。



図6 カエルの歌（輪唱）の軌道空間

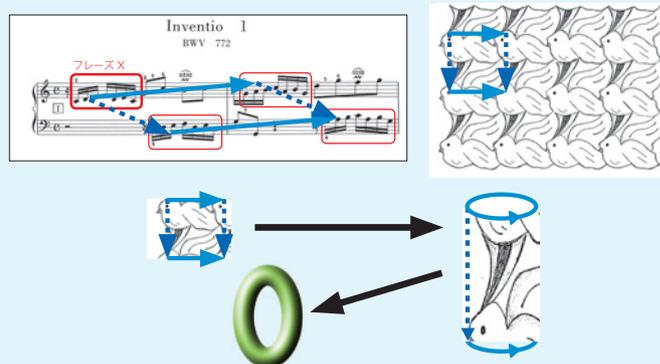


図7 2方向の平行移動対称性とその軌道空間

図7の先ほどのバッハの『2声のインベンション』の譜面の一部や鳥の絵にも平行四辺形の対称性があり、各々対辺を同じ向きに貼り合わせるとトーラスになります。

さて、先ほどの図5のフレーズを逆から読み、図5のフレーズ（ピアノ）と同時にフルートで吹いたとします。

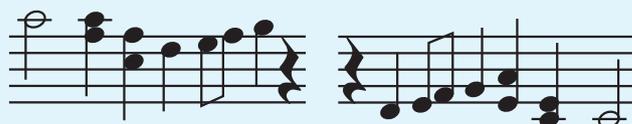


図8 図5の譜面を逆から読んだものA''''

すると、実は図9の平行四辺形のような対称性が見えてきます（詳細略）。この場合、図9の平行四辺形の上辺と下辺を逆向きになるように貼り合わせると、メビウスの帯が得られます。さらに、右辺と左辺も逆向きに貼り合わせると、射影空間と呼ばれる不思議な空間が得られます。射影空間は3次元空間内では実現できないため、描くのが難しいのですが、実は、4次元内でメビウスの帯の淵に円盤を巻き付けたものになっています。



図9 射影空間の展開図

また、連載の第4回でご紹介したバッハの『蟹のカノン』（上段をはじめから読んだものと下段を最後から読んだものが同じ）の軌道空間は、また三次元空間内では実現できない「クラインの壺」と呼ばれる位相空間となります。



図10 J.S. バッハ『蟹のカノン』※4



図11 クラインの壺の展開図

全く同じ対称性（軌道空間）を持つオランダの画家マウリッツ・エッシャー（1898～1972年）の作品は、実は『蟹のカノン』というエッシャー作品ではなく、図12の『騎乗者』です。両者が似た対称性を持つようすが見えるでしょうか？※5

このように、音楽は対称性と深い関わりがあり、特にバッハは対称性の神様とも言えます。対称性は、さまざまな美を

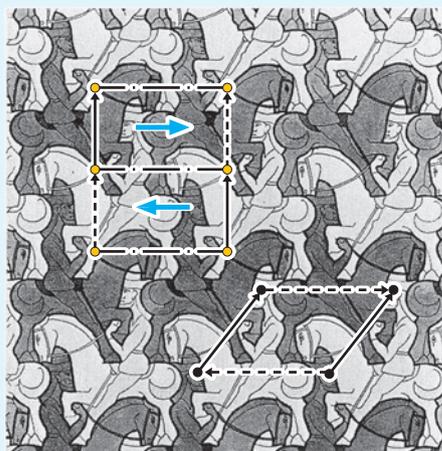


図12 エッシャー『騎乗者』※6

司る一つの重要な鍵なのです。皆さんもぜひ、対称性を使って少し遊び、作曲をしてみてください。なお、バッハはテーマをもらうと、その場でそのテーマを用いた3声のカノンやフーガを即興できたとか…。※7 私もその域に達することができるように精進します！ ❖

補注

- ※1 図1では、12音階の中で厳密に対称的な場所のみ記してありますが、実際には他にもフレーズXと「形が似ている」箇所が多数あることに気づかれるでしょう。
- ※2 『J.S. バッハ インヴェンションとシンフォニア』（全音ピアノライブラリー）より引用。平行移動等の説明は筆者による。
- ※3 細かなことですが、ラとドは譜面上ではシの軸について対称的ですが、12音階の中で考えると、ラはシの全音下（半音2つ分）、ドはシの半音上なので、ラとドはシについて対称ではありません。12音階においてシについてラと対称的なのはドではなく、ド#（レ♭）です。しかし、「ドレミファソラシ」という白鍵のみの7音階で考えれば、シについてラとドは対称的です。このように、「音で遊ぶ」段落の中（図3や図5など）では「ドレミファソラシ」の7音階の中での対称移動を考えていますので、ご注意ください。（図1では12音階で考えています。）
- ※4 ダグラス・R・ホフスタッター著、『ゲーデル、バッハ、エッシャー』、白揚社より引用。
- ※5 図11、図12に見られる「線対称移動+平行移動」はざらし鏡映対称性と呼ばれます。
- ※6 ブルーノ・エルンスト著、『エッシャーの宇宙』、朝日新聞出版より引用。
- ※7 フリードリッヒ大王（1712～1786年、第三代プロイセン王）は、1747年非常に難しいテーマをバッハに与え挑戦します。その場でバッハはなんと3声のフーガを即興しますが、6声は断念。が、2か月後には同テーマによる6声フーガを作り、大王に献上しました。実に心躍る粋な戦いですね！ 上記『蟹のカノン』はその際に献上された『音楽の捧げもの』の中の一つの作品です。

第8回

未来のお守り



東北大学 高度教養教育・学生支援機構
准教授

山内 保典 / やまのうち やすのり

1977年愛知県に生まれる。2005年名古屋大学大学院教育発達科学研究科博士課程後期課程修了。博士（心理学）。名古屋大学大学院情報科学研究科（研究員）、大阪大学コミュニケーションデザイン・センター（特任研究員・特任助教）、大阪大学全学教育推進機構（講師）を経て、2016年より現職。コミュニケーションを軸に、科学の営み、科学者と市民の対話、科学技術政策形成への市民参加を研究・実践している。現在は、将来の科学者や研究者が学ぶ高等教育の在り方にも関心を広げ、カリキュラムの調査、開発、実践にも取り組んでいる。

安全のお守り

合格祈願、恋愛成就、無病息災、商売繁盛、交通安全。私たちの願いは尽きません。こうした祈願をするとき、お寺や神社でお守りを分けていただく方も多いと思います。

お守りは、さまざまな形で私たちを助けてくれます。例えば、安全のお守りであれば、事故を忘れがちな私たちに、注意する心を喚起してくれます。注意する心を持てば、おのずと危険な行動を避け、安全な行動をとるようになります。安全のお守りは、このように私たちの心と行動を通して、安全をもたらしてくれることがあります。

しかし、実際に危険が迫ったとき、例えば、安全のお守りが車の衝突を回避してくれたりはいしません。安全を具体化するうえで、私たちは衝突安全ボディの車や、自動走行システ

ムなどの科学技術にも頼っています。もちろんまだ完全ではありませんが、今後、技術開発が進めば、より安全性が高まると期待されています。

このように安全を確保するには、そのための心と行動といった人間の努力と、それを具体化するための科学技術の双方が求められます。では、もし注意する心や行動に関係なく、科学技術だけで完全な安全が保障された場合、私たちの安全の在り方はどう変わるでしょうか。

今回の作品には、科学技術による未来のお守りともいえる安全のカードが出てきます（「作品の概要」参照）。そのカードは、電気ショックで強盗を倒すなど、具体的に危険を回避してくれます。カードを持つことで、主人公の心や行動に、どのような変化が起きるのか、また、安全のカードを失ったとき、どうなってしまうのかに注目してみてください。科学技術による安全性の向上は、単純に私たちを安全にしてくれるのでしょうか。

今回のポイントー安全のための科学技術と心

いかがでしたでしょうか。青年の変化していくようすは、ぜひ原作でもお楽しみください。

この作品を、今回は2つの転回点に注目して考えていきます。1つ目の転回点は、青年が安全のカードを手に入れたときで、2つ目の転回点は、カードを失ったときです。

大前提として、安全を実現するための科学技術は、私たちの生活を向上させてくれます。この作品でも、青年の生活は安全のカードを手に入れた後、こころよいものになりました。その点に、疑いはありません。

その一方で、青年の生活を客観的に見てみると、どうでしょうか。チンピラの兄貴分となり、縄張り争いの決闘を行うことは、刺激的かもしれませんが、決して安全を心がけた生活であるとはいえません。また、カードを失ってからは、安全を得るために、指令に従って生活を送っています。産業スパイなどの非合法な行為にも手を染め、やはり安全な生活とはいえません。その上、自分の自由を失っています。

果たして安全のカードは、青年にとって、よいものだったのでしょうか。悪いものだったのでしょうか。以下では、2つの転回点で生じた変化を考えていきます。

作品の概要 「安全のカード」 星 新一

『安全のカード』（新潮社）収録

青年の家にセールスマンの男が訪れた。男は、名刺サイズほどの金属製のカードを出した。そのカードは、いわばお守りであり、絶対的な安全の保障が得られるという。青年は考え込んだが、買うことに決めた。

本当に役に立つのか、疑念もあった。しかし所有者となり、ポケットに入れていると、気のせいか心強さを感じた。そして、一週間たつと愛着に似た感情を持ち始めた。

数か月後、青年は出張先で強盗に襲われた。青年はカードを見せ、これでかんべんしてもらえないかと、ためしに聞いてみた。そのとたん、強盗は口調をあらため、「そのカードの持ち主でございましたか」と言い、あたふたと去っていった。青年は夢のような気分だった。

さらに数か月後、青年は街中の横道で、ナイフをもった男に「金を貸せ」と声をかけられた。所持金は知れているから、金を渡してもよい。しかし、そうすることはできない。こっちはカードがあるのだ。青年はカードを男に見せた。しかし男は「なんだ、そんなもの」と言い、おさまらない。青年は諦めかけた。そのとき、カードが飛び上がり、ナイフをたたき落とした。そして眉間に打撃を与え、青年の手に戻った。男は高圧電流を受けたように、地面に倒れて、かすかにふるえている。信じられないが、カードは本物で、持ち主の非常事態に感応し、すばやく動く性能を持っているのだ。

青年の毎日は、こころよいものとなった。警戒に気を使わず、熱中して仕事や遊びができる。あるときは、落ちたカードを拾おうと身をかがめた瞬間、目の前を車が走り抜けていった。事故からも守ってくれるのだ。

数日後、バーで若いチンピラに顔を貸してくれないかと声をかけられた。青年はカードを思い出す。こわがることはない。チンピラは話を始めた。そのチンピラは、青年がカードの力で倒した男の子分だった。カードで倒されて以来、兄貴分がおとなしくなってしまう、飲み屋の用心棒ができなくなったのだ。そこで、青年と組みた

いという。ふだんは何もする必要はなく、いよいよというときの連絡に応じて、その相手を倒すという仕事だ。面白そうだと感じた青年は、その仕事を引き受けた。それ以降、どの縄張りの店でも丁重に扱われ、好きなときにただで飲めるうえに、金が毎月はいってくる。青年はそんな生活を楽しんだ。

ある夜、子分から連絡がきた。同業者との縄張り争いで、てごわい相手がいるらしい。安全のカードがあれば、倒される心配はない。青年は決闘場所へ向かった。青年は近づいて「あんたか。よけいなことをはじめたやつは」と言った。相手は身がまえ、ポケットに手を入れた。凶器を出すらしい。青年もカードを出し、相手めがけて投げつけた。しかしカードは、予想に反し、鋭い音を立てて道の上に落ちた。カードは道に碎けて散っている。あわてて近より、思わずつぶやく。「あ、あの大事なカードが……」。なんと、その言葉は、かけよってきた相手も口にしていて。そして、どちらともなく「あなたも、お使いになっていたわけですか」と言ってにが笑いした。青年は、用心棒をやめた。

次の日から、青年は落ち着かなくなった。不安。安全の保障がなくなったのだ。危険は存在し、いつ、どんな形でふりかかるかわからず、防ぎようもない。青年はカードのありがたさを痛切に感じた。やはり、あのカードは必要なのだ。考えこんでいると、あのセールスマンがあらわれた。青年はカードをなくしたと言い、なんとかしてくれとたのんだ。セールスマンは、二度目はお金では売れないと言い、指令への服従という条件を課した。青年は考え、カードを選んだ。

ときどき電話がかかり、指令が出される。転勤、結婚、投票、産業スパイなど、気の進まない指令でもその通りにした。そうしていれば、無難なのだ。指示に従わなかったらどうなるのか。電話の主はだれで、何を目的にしているのか。いや、そんな考えなど持つてはいけない。へたをして安全を失ってしまったら、とりかえしがつかないではないか。

第1の転回点：警戒心の希薄化

カードを入手してから、青年は安全のカードの効果に驚き、しだいに慣れ、応用を始めていきます。そして、その過程を通じて、青年は徐々に危険なことに対して警戒心を抱かなく

なり、むしろ楽しむようになっていくようにみえます。例えば、ナイフで脅されたときに、お金を渡して無難に済ますことを選びませんでしたし、チンピラに声をかけられたときもこわがりませんでした。そしてチンピラの仕事を面白そうだと感じ、決闘にも挑みました。

先に、安全のためには、人間の努力と科学技術の双方が求められると書きました。その点について、この作品は、科学技術だけで完全な安全を達成すると、人間が努力を怠るようになってしまう危険性を描いています。

青年が言うように、警戒に気を使わず、熱中して仕事や遊びができることは、こころよさにつながります。しかし気を使わなくなるだけでなく、安全が保障されていることを理由に、危険な行動をとるようになっては本末転倒です。危険を回避する努力を怠り、安全だからといって決断に望む青年の姿は、どこかおかしい感じがします。安全を保障する科学技術を持っている場合（特にそれを大金で購入した場合）、私たちは回避可能な危険な行動も回避しなくなり、ひどい場合には、その技術の力を試してみたくなったり、使わなければもったいないと考えたりすることすらあり得そうです。

もう1点、見逃せないのが、安全のカードの力を利用する文脈の変化です。最初、強盗から身を守るために相手を攻撃したときは、正当防衛のために力を使っていました。しかし、チンピラの仕事を請け負ってからは、対決相手を攻撃するために、その力を使っています。

自分の安全を守る機能と、相手を攻撃する機能は紙一重です。安全のための科学技術によって、私たちの心や行動が、知らぬ間に危険なほうに抵抗なく向かっていくのだとしたら、こうした安全のための正当防衛から攻撃への移行も、知らぬ間に生じてしまうおそれがあります。

第2の転回点：「当たり前」の変化

第2の転回点では、青年はカードのありがたみを痛感します。興味深い点は、ここで青年が、安全の保障がなくなったと感じている生活というのは、実際には、安全のカードを手に入れる前の生活に戻っただけだという点です。安全のカードを手に入れる前には、それほど不安を感じていなかったのに、一度安全の保障されたところよい生活を体験したら、元には戻れなくなってしまいました。安全のレベルとして、どの程度を当たり前とするかは、このように簡単に変化してしまい、その変化は時に人を苦しめます。

もう1つのポイントは、青年が自身の安全を守るために、自分の自由を捨て、電話の主主導権を渡しているという点です。最初は、安全のカードを購入しました。自分の財力で

獲得した、自分が主導権を握れる安全のカードです。善悪は別として、用心棒を請け負うなど、自分の判断でその力を使用しています。しかし2度目は、指令に従うという条件を承諾することで得た安全のカードです。いわば電話の主依存しており、カードを没収される可能性が常にあります。主導権を持つ電話の主は、わざと無理な指令を突き付け、楽しんでいるのかもしれませんが。さらに言えば、心変わりして一方的に取り上げられる可能性すらあるのです。

現代の私たちとのつながり

第1の転回点後の青年の変化は、安全に関する科学技術が社会に導入されたときにたどる過程のようにも見えます。

最初は、疑問を抱いたり、おっかなびっくり使っていたりしたのに、すぐに慣れてしまい、その機能を前提として、以前なら回避していた行動に踏み込んでいきます。

もし冒頭で示したような安全性の高い車が完成したら、一部の人は居眠り運転や飲酒運転をしたり、狭い道を猛スピードで走ったりするようになるかもしれません。また別の分野では、例えば、何でも治せる医療ができた場合にも、暴飲暴食をしたりして、体に気を付けなくなる人が出てくるかもしれません。本当にそうなるかはわかりませんが、それを否定し切れない弱さが私たちの中にはあります。

第2の転回点の後の青年の変化は、例えば、スマホの便利さを知ってしまったら、もうスマホのない生活は考えられなくなってしまうことにも似ています。一度、その快適さに慣れてしまえば、利用料が高くなったとしても使い続けるかもしれません。それだけでなく、24時間、スマホの位置を把握できるだとか、検索履歴をすべて記録できるだとか、通信記録を別のサーバに保存し、一部の管理者にその情報を開示するだとか、できるだけ回避したい利用条件も承諾するかもしれません。あなたは、どこまでなら許容できるでしょうか。

安全を保障するための科学技術は、誰もが求めるもので、たいへん役に立つ科学技術です。しかし一歩間違えば、青年のような状況に陥ってしまう可能性も否めません。安全のカードのような存在になり得る科学技術には何があるでしょうか。皆さんも考えてみましょう。



第8回

記憶のしくみを考える



東京都立国立高等学校 主任教諭
大野 智久 / おおの ともひさ



1981年茨城県に生まれる。2004年東京大学大学院総合文化研究科修士課程修了。在学中は松田良一教授に師事。2006年都立高校の教諭（理科・生物）となり、2015年より現任校に勤務。日本生物教育学会、日本生物教育会に所属。東京都生物教育研究会を中心に活動。日本人類学会や日本人類遺伝学会などの学会と連携し、「ヒトの生物学」の高校現場への導入を模索。上越教育大学の西川純教授の提唱する『学び合い』の考え方に基づく協働学習を実践。NHK 高校講座の生物基礎の講師を務める。

前回、「高校で脳科学は教えられているか？」というテーマで、高校での脳科学の扱いが不十分であることに触れました。それを受けて、今回は具体的に高校生物で扱いたい脳科学の内容として「記憶」を取り上げたいと思います。

なぜ「記憶」を取り上げるかということ、基本的なしくみがかなりはっきりしてきたということ、さまざまな「学習」を行う高校生にとっても重要な内容であるからです。

記憶の種類

「記憶」には、どのような内容の記憶かに着目した分類と、どのくらいの期間続くかに着目した分類があります（図1）。

記憶の種類に関連して、一つの有名な話を紹介します。H.M. という難治性のでんかんの患者への治療として海馬を

切除する手術が行われました。すると、この患者さんは新たな出来事を覚えることができなくなってしまったのです。一方、手術以前の記憶はそのまま残っていました。また、自転車に乗るなどの手続き記憶の獲得には異常が見られないことがわかりました。

【内容に着目した分類】

陳述記憶：言語化して説明できる。

意味記憶：知識や一般的な事実

エピソード記憶：個人的な体験や出来事

非陳述記憶：言語化して説明できない。

手続き記憶：体で覚える記憶

条件反射：条件刺激による無意識の行動や現象

【持続期間に着目した分類】

短期記憶：数分～数十分程度で消える記憶

長期記憶：短期記憶より長い記憶

図1 記憶の種類

この事例から考察できることは、記憶の種類により脳の責任部位やしくみが異なるということです。これはたいへん重要なポイントです。例えば、海馬は、「昔の記憶の保持」や「新たな手続き記憶の獲得」には関係がありませんが、「新たな陳述記憶の獲得」のためには必要であることがわかります。

エピソード記憶に関しては、いったん海馬に蓄えられた後に大脳皮質に移行していくと考えられています。また、手続き記憶に関しては、小脳や大脳基底核の線条体が関係していると考えられています。

シナプスの可塑性

次に、「記憶」の実体とは何かを考えていきます。神経細胞どうしは、シナプスで接続しており、シナプスでは神経伝達物質によって情報が伝達されています。

脳内では、1つの神経細胞は、平均して1万個程度の神経細胞とシナプスを形成していると考えられています。情報伝達物質を受け取ると、イオンチャネルが開きます。ナトリウムチャネルが開くと、ナトリウムイオンが細胞外から流入し、脱分極を起こします（もともと細胞内は細胞外に対し負の電位を持ちますが、それが解消されるということです）。この

ようなシナプスを興奮性シナプスといいます。逆に、クロライドチャンネルが開くと、塩化物イオンが細胞外から流入し、過分極を起こします（細胞内に陰イオンが流入することで、負の電位が増えるということです）。このようなシナプスを抑制性シナプスといいます。

神経細胞は樹状突起で情報を受け取りますが、樹状突起にはスパインという突起があり、興奮性の入力を受け取っています。ある神経細胞が興奮するためには、多くの興奮性シナプスからの情報の「入力」が必要です（逆に、抑制性シナプスから情報がくれば、神経細胞は興奮しにくくなります）。脳内では、神経細胞の興奮のために、100個以上のスパインの活動が必要といわれています。

繰り返し情報が伝えられると、スパインが大きくなり、信号を効率よく受け取ることができるようになります。つまり、あるシナプスの伝達効率は不変なものではなく変化するものなのです。これをシナプス可塑性といいます（最近では数個の大きなスパインからの入力だけでも神経細胞は興奮するといわれています）。

シナプス可塑性の具体的なしくみとしては、神経伝達物質の放出量が増えたり、受容体の数が増えたりすることが挙げられます。

記憶とシナプス可塑性

「記憶」の一つのしくみとして、あるシナプスが情報を伝えやすくなるように変化することがあります。それでは、具体的に、海馬でどのようなことが起こっているか紹介します。

海馬の神経細胞を高頻度で刺激すると、シナプス電位が大きくなり（つまり多くのナトリウムイオンが流入し）、これが数時間から数日続くことがわかりました。これをLTP（長期増強）といいます。もう少し詳しくみていきましょう。

海馬の神経細胞では、グルタミン酸という神経伝達物質が使われています。グルタミン酸は、中枢神経系のほとんどの興奮性ニューロンで働いています（ちなみに、代表的な抑制性神経伝達物質はGABAという物質です）。

グルタミン酸の受容体には、AMPA受容体とNMDA受容体の2種類あり、まずはAMPA受容体を通してナトリウムイオンが細胞内へ流れ込みます。NMDA受容体はAMPA受容体に比べて反応が鈍いため、より多くのグルタミン酸が

放出されたときに初めて働きます（先ほどの例でいえば、高頻度の刺激があるときに多くのグルタミン酸が放出されています）。NMDA受容体はカルシウムチャンネルであるため、細胞内にカルシウムイオンが流入し、詳しい説明は省きますが、結果としてAMPA受容体の数が増えます。すると、シナプスの伝達効率がよくなるというわけです。

「記憶」の実態について、さらに話を進めていきましょう。セル・アセンブリ仮説というものがあります。これは、図2のように、ある神経細胞が刺激されたとき、その細胞と接続している神経細胞の集団が一つのグループ（セル・アセンブリ）を作り活動するというものです。先ほど説明したLTPなどのシナプス可塑性により、神経細胞どうしの結びつきの強さが変われば、ネットワークも変化していくはずですが、こうして「記憶」が作られ、後で同じ神経細胞が興奮したときに、同じ集団が活動することで、その記憶を想起することができると考えられています。

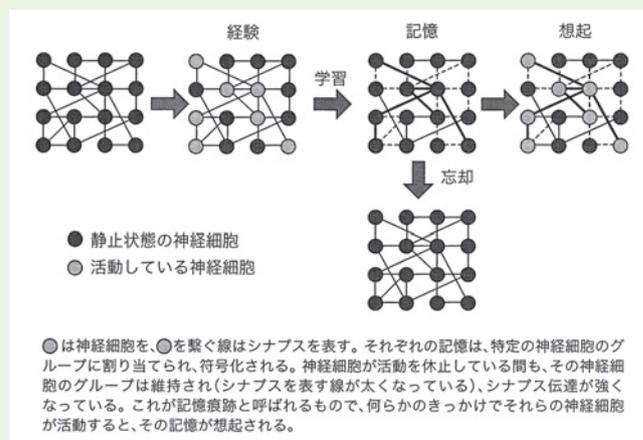


図2 シナプス可塑性とセル・アセンブリ仮説 井ノ口馨(2015年)『記憶をあやつる』(角川選書)より引用

記憶の連合

続いて、記憶の連合について説明します。簡単に言うと、「記憶はどのように“くっつくか”」ということです。具体例を紹介します。マウスを新しいケージ（飼育箱）に入れます。すると、7分程度でマウスはこのケージの情報を記憶します。このとき、この記憶を担う神経細胞のネットワーク（記憶痕跡細胞集団と表現することにします）ができています。続けて、マウスに軽い電気刺激を与えると、「すくみ反応」が起こり、「恐怖の記憶」ができます。翌日に、同じケージにマウスを戻すと、「すくみ反応」が見られました。これは、

「ケージの記憶」と「恐怖記憶」が「くっついた＝連合した」ことによります。

このような記憶の連合に関して、最近面白いことがわかってきました。2つの事例を紹介しますが、その前に、「光遺伝学」という手法について最低限の説明をしておきます。詳しい説明は省きますが、脳に光を当てて、特定の神経細胞のみを興奮させたり、興奮を抑制したりすることができるというすごい技術です。この手法が開発されたことにより、脳科学の研究はますます加速しています。

1つ目は、今年の1月に富山大学の井ノ口馨教授らが発表したものです。マウスが本来好むサッカリン水溶液に、苦みを呈する塩化リチウムを入れて、サッカリン水溶液を嫌うように「味覚嫌悪学習（学習①）」をさせます。また、同じマウスにブザー音を鳴らしたときに電気ショックを与えて、ブザー音のみですくみ反応を生じるように「音恐怖条件付け（学習②）」をします。これらはどちらも「連合学習」です。その後、サッカリン水溶液とブザー音という刺激を連続してマウスに与えると、サッカリン溶液を飲んだだけですくみ反応が見られたのです。つまり、2種類の連合学習による記憶がさらに連合したというわけです。この研究の面白いところはここからです。

このような連合学習が成立すると、学習①と学習②のそれぞれの記憶痕跡細胞集団で、「重複した記憶痕跡細胞集団」が見られます。この「重複した記憶痕跡細胞集団」の活動のみを光遺伝学を使って抑制すると、サッカリン溶液を飲んだだけで生じるすくみ反応があまり見られなくなりました。一方で、学習①、学習②のそれぞれの連合学習については変化が見られませんでした。つまり、2種類の連合学習の「重複した記憶痕跡細胞集団」は、記憶の連合のみに関与し、それぞれの記憶の想起には必要ではないということです。

2つ目は、理化学研究所脳科学総合研究センターの利根川進センター長らが発表したものです。マウスをケージAに入れ、ケージAの情報を記憶させます。次に、別なケージBにマウスを移し、ケージAに関する記憶痕跡細胞集団を光遺伝学によって活動させると同時に電気ショックを与えます。つまり、ケージBにいながら、ケージAの記憶を強制的に想起した状態で電気ショックを受けるということです。その後、再びケージAにマウスを移動すると、電気ショックを受けていない安全な場所であるはずのケージAですく

み反応が見られたのです。これは驚くべきことです。単純に言えば、「偽の記憶をマウスに埋め込むことができた」ということなのです。このように、単に「同じときに活動した」というだけで、実際には関係のない記憶どうしが「くっつく」ことがあり得るのです。

記憶研究の先に見えるもの

先ほど紹介した2つの研究の先にはどのようなものが見えるでしょうか。

1つ目の研究の先にはPTSD（心的外傷後ストレス障害）の治療可能性が見えます。PTSDでは、関連性の弱い記憶どうしの不必要な結びつきが問題になりますが、「重複した記憶痕跡細胞集団」を抑制することで、不必要な結びつきをなくすることができるようになるかもしれません。

2つ目の研究の先には、「犯罪捜査」での方法の改善が見えます。「自白」や「目撃証言」は非常に重視されていますが、この研究のように、「偽の記憶」は実際に脳内では作られることがあるので、それを考慮する必要があります。

このように、脳科学の研究は、単に基礎研究としての意義だけでなく、実際に日常生活や社会との接点も大きいのです。

シナプス可塑性の話と関連して、こんな話もあります。NMDA受容体を通常のマウスより多く持つマウスが作成されました。NMDA受容体は、LTPに深く関係しているため、記憶に何らかの影響がありそうです。実際には、このマウスは通常のマウスに比べて、迷路学習の成績が上がりました。簡単に言えば、「天才マウス」を作ることができたということです。これは「こういうことができる」という話ですが、ではこれを「ヒトにも使ってもよいか」となると、倫理的な検討が必要になります。脳科学研究により、さまざまな可能性が広がってきますが、同時にさまざまな「問い」も我々に投げかけてきます。「記憶」という題材は、脳科学の面白さ、奥深さ、難しさを知ることでできる良い題材だと思います。❖

参考資料

理化学研究所脳科学総合研究センター編（2017年）『つながる脳科学』講談社ブルーバックス

石浦章一他（2011年）『脳一分子・遺伝子・生理』裳華房

Jun Y. et al. Overlapping memory trace indispensable for linking, but not recalling, individual memories. Science. 2017;355(6323):398-403.

私とMATHコン

～東京大学推薦入試－合格体験記～

平山 龍一 / ひらやまりゅういち

MATHコン との出会い

私は東京都港区にある高輪高等学校を2017年3月に卒業し、4月から東京大学理科一類に進学しました。

高校2年生のとき、任意の N 人のクラス（私のクラスは $N = 42$ でした）において誰がよく指名されていて、そして誰が指名を逃れやすくなっているのだろうかという純粋な興味に突き動かされ、私はノートや白紙に有向グラフを書きためたり、部活でコンピュータのプログラムを組んだりしながら、どうにか何かしらの形で数学的に一般化できないものかと思いを巡らせていました。そうした活動の中で偶然目にしたのが、「塩野直道記念『算数・数学の自由研究』作品コンクール」（MATHコン）のWebサイトでした。

塩野直道先生の算数教育の理念を受け継ぎ、児童・生徒が日常生活や他教科の学習などから興味を持った事象を、数学的な見方・考え方を活用して主体的に探究した作品を募集していることを知り、ぜひ私もこの研究を深めて、過去に大きな反響を呼んだ『メロスの全力を検証』（第1回塩野直道賞受賞 村田一真さん）のような作品を仕上げたいという衝動に駆られました。その後、有向グラフの各枝の成す $\text{mod } 10$ の下での漸化式の場合分けを、2通りのみにまとめることに成功したことを契機として研究は進み、学校の数学の先生による確認を経て、第3回MATHコン（2015年度）に応募させていただき運びとなりました。その後、中央審査委員会の先生方の審査の結果、Rimse 奨励賞を受賞いたしました。

東京大学推薦 入試への挑戦

この自由研究を行う傍ら、私は東京大学理科一類を志望し、前期試験に向けた勉強に励んでおりました。そうした中で、私は東京大学における推薦入試の導入を知り、早速その募集要項の中でも工学部の求める人物像に着目しました。そこには以下の記載がありました。

「社会の多様な問題を科学的なアプローチで解決することに興味を持ち、

- ① 自ら問題設定を行い、柔軟な思考ができる能力
- ② 興味を持つ分野の学習のみならず、問題解決に関連する幅広い分野の学習を自律的に行うことができる能力
- ③ 異なる思考様式や文化的背景を持つ人々とのコミュニケーション能力

を有し、専門知識を駆使して、社会の様々な課題の解決に主体的に貢献することが期待できる素質を有する学生」（募集要項より引用）

この中でも、①と②に関しては、私が受賞するに至ったMATHコンの理念に強く適合するものであり、確かに自由研究を通じて私が涵養することのできた資質であることから、MATHコンにおける活動は工学部の推薦要件にある「特色ある活動」に十分該当するものでありました。

他にも私が JAXA / 宇宙科学研究所・宇宙教育センター主催の合宿型体験学習プログラム第 14 回「君が作る宇宙ミッション(きみっしょん)」に選考を経て参加した後、その班での研究内容を携え日本天文学会 2016 年春季年会ジュニアセッションに参加するという一連の活動を以てもう一つの「特色ある活動」といたしました。

こうして私は「今後地球外に展開される機器の開発に携わりたい」という志望理由を胸に抱き、東京大学工学部の推薦入試を受験するに至りました。理数教育研究所様には推薦書をつくっていただきました。小論文等の書類審査を経て迎えた 12 月の本郷キャンパスでの面接は、教授 5 名に対し 50 分にわたるものでした。その中でも特に MATHコンで受賞した自由研究に、教授の皆さま方に興味を抱いていただけたことがうれしく、ホワイトボードを用いて説明するなどいたしました。

合格、そして 今後へ向けて

その後、推薦入試においても成績が可否に関与するセンター試験の受験も無事に終え、いよいよ目前に迫る前期試験への対策に追われていた 2 月 8 日の午後、東京大学推薦入試の合格が判明いたしました。理数教育研究所の皆さまをはじめとする周囲の方々のおかげで、工学部内定・理科一類という枠にて、一足先に合格を掴むことができました。今後は東京大学工学部航空宇宙工学科をはじめとする学科に進学し、専門知識や語学力を身に付け、宇宙開発の潮流の中で自らの取り組むべき課題や役割を見つけ貢献していきたいと考えております。その中でも、例えば中央審査委員の中島さち子さんが音楽と数学とを融合していらっしゃるように、MATHコン応募を経て身に付けた資質、数学の力を今後も他の分野と突き合わせながら大切にしていきたいと思います。

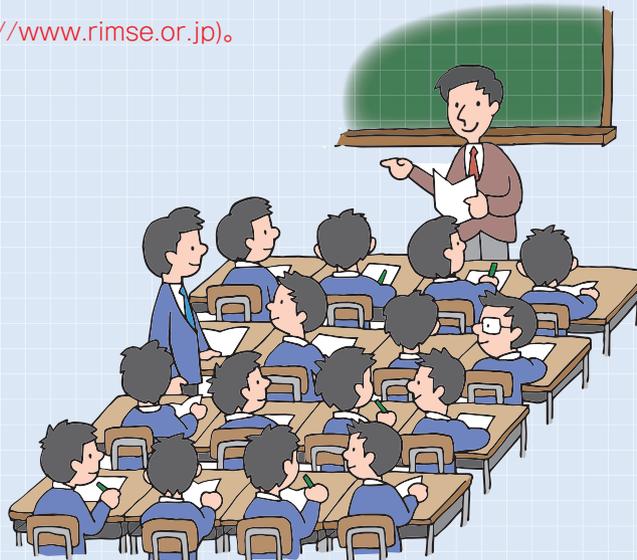
これからますます広がる大学入試改革の波の中で、この MATHコンが、いわゆる数学のアクティブ・ラーニングの先駆けとなり、塩野直道先生や理数教育研究所の理念が日本中、世界中へと広がることを願ってやみません。(2017 年 3 月 11 日) ❖

※平山君の受賞作品を p.28~29 で紹介します。

※塩野直道記念「算数・数学の自由研究」作品コンクール (MATHコン) については

ホームページをご覧ください

(<http://www.rimse.or.jp>)。



教育に
新しい風を

学び直しで退学者ゼロを達成



敬愛学園高等学校 校長

白鳥 秀幸 / しらとり ひでゆき

● 学校をつぶせ

初めて赴任した千葉県立姉崎高校は、地域から「学校をつぶせ」と言われていました。駅やコンビニ、交差点などで登下校指導をしても、喫煙やポイ捨て、自転車の並走はなくなりませんでした。2年連続の二次募集の高校でした。退学者は県立高校140校中、過去10年間「ワースト3」でした。

かつて学校現場では、落ちこぼれが高校で7割、中学校で5割、小学校で3割存在すると話題になりました。姉崎高は、約8割が授業で教えても理解できていませんでした。教育困難校の現実、世間で言われているよりはるかに深刻で信じられない実態があることがわかりました。

初めて校舎内を巡回すると、クラス表示や男子トイレの鏡もなく、タバコの吸い殻、落書き、トイレの扉や廊下の天井をはじめ壊れた箇所も少なくありませんでした。

始業式は4月7日でした。体育館入口で生徒の後ろ姿を見ると茶髪などの生徒が目飛び込んできました。4月から茶髪などは認めない説明をしたと聞いていましたが、3分の1がそのままでした。校歌斉唱は歌詞カードを持って蚊の鳴くような声で歌っていました。式辞は短く3つ話しましたが、言葉が乱反射しているようで十分伝わっていないと感じました。3年生の約半数、2年生の約3割が既に退学していました。

翌日の入学式は、期待していましたが3分の1の生徒が茶髪などでした。呼名しても立たない生徒が何人もいました。おしゃべりがひどくて校長式辞を3度中断しました。

生徒や保護者に頭髪について十分指導してきたと何度も聞いていたので、再度衝撃を受けました。初めて出会った生徒の印象は事前の想像を超えるものでした。

新入生の約30%が1人親家庭、8人が両親のいない家庭でした。何不自由なく育つ生徒が多い中、衣食住にも恵まれずに育った生徒との出会いは、「社会の縮図」を見る思いでした。真っ白で生まれてきた子供たちは、家庭環境で人生が大きく変化してしまうのです。花のない殺伐とした学校再建は、改革の糸口が見えず、途方に暮れました。生徒にできる最高の教育は、学習がわかる、できるようにして生きる自信をつけさせてやることだと強い決心と覚悟を決めました。

● 学校生活の基盤づくり

生徒指導では、部活動加入率 20%、男子の腰パン、女子の厚化粧、スカート丈、遅刻、早退、欠席も課題でした。特に茶髪などが多く「房総のお花畑」と称された頭髪指導に精力的に取り組みました。再登校指導という「ゼロトレランス（寛容さゼロ）」の厳しい指導を導入しました。乱れた服装や頭髪はきちんと直して再登校させる指導です。生徒の学習権も考慮に入れて、1日も早く止められる指導をしたいと思います。十数年間の荒れた姉崎高を再建するには、荒療治の再登校指導は避けて通れないと考えました。

学習指導では、入試の英語・数学は半数が0点、ABC、九九などの基礎学力のない生徒も多くいたため、教務部を中心に教職員が一丸となって「学び直し」の学校設定教科『マルチベーシック（以下、マルチ）』を作成しました。

『マルチ』の目標を「主な教科及び科目を学習する際に、必要不可欠の基礎的・基本的事項の復習、確認及び習熟を図るとともに学習に対する達成感をもたらす、他教科及び科目の学習をはじめとした本校の教育活動全体に対し、主体的に取り組む資質及び態度を育成する」と決めました。

教職員の力で『マルチ』も次第に軌道に乗り始めました。生徒が希望の進路に進むとき、必要になるのが基礎学力です。生徒の多くはそこに至るまでにさまざまな理由で、学ぶことを放棄せざるを得ない状況に置かれてきたのです。学ぶことの楽しさではなく、苦痛のみを感じたり、努力もせず本意ながらもその生活に甘んじて流されてきたのです。そこで、これまでの反省をさせ、自暴自棄に陥っていく現実を、教職員が一丸となって改善することに決めました。その重点的取り組みが、義務教育の基礎基本の学習を身につけさせ、学習の楽しさ、大切さを気づかせるための「学び直し」の徹底を図ることでした。

『マルチ』で義務教育段階までさかのぼって、どこでつまづいているかがわかる「診断カルテ」を作成しました。

「学び直し」に本格的に取り組むと、生徒は高校入学後、初めて学習のわかる喜び、楽しさを味わいました。「わかった、できた」ことによる生徒のはじける笑顔と心からの喜びの声を聞いた教員は、『マルチ』に取り組んで苦勞が報われた手応えと教師冥利を感じたに違いありません。

2学期から君津市、木更津市、袖ヶ浦市、千葉市、地元市原市の中学校を約 50 校訪問しました。『マルチ』の授業内容、進路実現に向けた具体的な取り組みを説明する中で、「ワースト3」などの「マイナスイメージ」を払拭するために教職員とともに鋭意努力を重ねました。特に、中学校長と3学年主任などと話す中で『マルチ』の授業内容と「自己診断カルテ」などに対する反応が極めて良好で確かな手応えを感じました。

● 悲願の退学者ゼロ

5教科5科目を体系的に学び直す『マルチ』は、全国初の教育実践だったので、新聞・教育誌でも取り上げられ、大きな反響を呼びました。県内の公立中・高・特別支援学校などに『マルチベーシックの実践』（650ページ）を送付しました。

その後、『マルチ』はNHK高校講座「ベーシック10」の企画に使用され、高校における義務教育の「学び直し」を行う新たな潮流の嚆矢となりました。県内公立高で『マルチ』を核に据え、授業改善に成功した高校が何校もあります。

過去10年間でできなかった茶髪一掃は1か月でできました。生徒も教員も成功体験を重ねて自信をつけました。姉崎高はその後、人気校になり、学校再建の意思を引き継いだ教職員のお陰で、着任して10年目の平成25年度末に悲願の「退学者ゼロ」を達成することができました。「学び直し」の真実の教育効果を証明することができました。

北海道から沖縄まで全国から310校の視察がありました。市原市教育長を経験し「学び直し」は高校より小学校の早い段階から本格的に取り組めば、児童・生徒の荒れを事前に防止できると強く感じました。

文部科学省が検討中の「高等学校基礎学力テスト（仮称）」は『マルチベーシック』そのものだと指摘する人もいます。教職員と一丸となって「めげない、ぶれない、あきらめない」姿勢で学校改革に取り組めば、学校は変わるのです。

県教育委員会をはじめ関係各位のお陰で、教育困難校の姉崎高は「学び直し」で、地域から「排除される学校」から「迎えられる学校」に変貌を遂げることができました。❖

一人でも多くの子供に 理科の面白さを伝えたい



実験広場 主宰

加藤 巡一 / かとう じゅんいち

■ 実験広場の開設

私は兵庫県の県立高校で物理や数学を教えてきました。校長を定年退職した後、大学教授として10年間理科教育を中心に教えました。私は、以前から野外活動や物作りなど、スマホやゲームより面白いことが世の中にはたくさんあることを子供たちに伝えたいと考えてきました。しかし、昨今空間的にも時間的にも余裕がなくなり、家庭でも地域でも学校でもそういった体験の機会が減ってきていると思います。大学を定年退職するときに、私にできることは何かを考えました。そして、今まで身に付けてきた理科実験で理科の本当の面白さを、五感を通して子供たちに伝えることだと思いました。すぐに、阪急六甲の近くのビルの一角を借りて「実験広場」という理科実験を中心とした教室を始めました。

■ 子供たちの実情

大学での教員免許状更新講習のときに接した多くの小学校の先生方から、理科の実験は準備がたいへんであること、予備実験をしておかないと思うような結果にならないこと、実験が単なる遊びになって怪我などの危険が伴うこと、後始末がたいへんであることなどを聞きました。その結果、授業で実験にあまり取り組んでいない学校もあることを知りました。

私は小学校の4年生のときに理科の先生になろうと思いました。当時は、試験管など手に入りませんでしたので、家で卵の殻を試験管代わりにして七輪の上に乗せて、お湯に物を溶かして調べたことを覚えています。ほかにも友達とあるいは一人でさまざまな実験をしました。私にとって実験器具はすべて玩具に見え、実験は遊びでした。

10年ほど前に、大学での研究の一つとして3000人以上の児童・生徒を対象にしたアンケート調査をしましたが、小

学校中学年のほとんどは理科が好きであると答えていることがわかりました。それがどのような原因で理科から離れていくのかを調べました。原因はいろいろありましたが、対策の一つに理科が本当に好きな先生を一人でも増やすことが挙げられます。また、理科離れを抑止するためには、一人でも多くの子供たちに、人生の早い時期に五感を通した理科の本当の面白さを伝えることが重要だと考えています。

■ 実験広場での一コマ

「実験広場」では物理分野、化学分野、生物分野、地学分野にわたり一年間に130種類以上の実験を行います。月ごとにテーマを決めて3回で内容を深めていきます。例えば、1月は「静電気」というテーマで行いました。1回目は、まず静電気とは何かを学習します。摩擦した風船が壁や体にくっつくことを体験しながらその理由を理解します。そして、その風船が「水を引っ張るか」という課題に対して予想を立てさせ、各自が実験して驚きます。次に、100ドル札のフランクリンの写真を見せて、何をしたかを面白く説明します。同時に彼の行った雷雲に凧を揚げる実験は極めて危険であることと、雷の危険回避について考えます。次に、二人一組で広口瓶の箔検電器を作って、実験を行い電子の性質を知ります。最後に、各自が電気クラゲを作って部屋の中で遊泳させます。これは興奮の坩堝となります。電気クラゲは家に持って帰らせません。

2回目は、コンデンサーがフランクリンの使ったライデン瓶と同じであることや数々のコンデンサーの実物を見せてどんなことに使われているかを小学生にわかる範囲で説明します。

次に、大容量のコンデンサーに条件を変えて充電し、コン

デンサーのするおよその仕事（モーターを回す時間）を実験して調べます。また、江戸時代の平賀源内の業績を話して、百人おどしの絵を見せてから、ライデン瓶を二人一組で作成して摩擦電気をためて百人おどしを体験します。次に、ウィムズハースト起電機を使って雷を起こして見せます。さらに、放電管を使って蛍光灯を点けたり指で触ったりして考えさせます。最後に、各グループで静電気モーターを作って回してみます。

3回目は、真偽は別として紀元前 2000 年の電池といわれるものの写真を見せて興味と関心をかきたてます。現在使われているさまざまな電池を見せて、それらが何に使われているかを尋ねます。また、水素電池でファンを回して見せます。その後、レモン電池と円柱電池と炭電池を順次作ってそれぞれ電圧の測定や豆球、電子オルゴール、ファンなどにつないで作動するかどうかを実験します。最後にはすべて作動するように負荷を選んでありますので、子供たちは満足して終わります。

月ごとのテーマは「色の変わる水溶液」、「磁石はすごい」、「ガリレオと望遠鏡」、「顕微鏡の世界」、「作った楽器で合奏」、「人体の不思議」、「面白い光の現象」、「てこの利用」などです。

また、予想を立てて実験してその結果を検証することが重要だと考えていますので、毎時間 2 枚ずつプリントを用意して予想と結果を書かせるようにしています。

■ 不思議な小窓

一般の大人の方々にこの「実験広場」を覗いていただきたいと考えています。通りすがりの人が「あれっ！何だ？何だ？」って思われるような装置を月替わりで演示して、楽しんでほしいと思っています。演示したものの一例ですが、渦が回るのを見て入道雲を見ると湧き出すように動いて見えるものや、エドワード 5 世が持っていた指輪の日時計のレプリカなどです。その横にわかりやすい説明書きを貼っています。

高齢の方々やサラリーマンや留学生の方々などさまざまな方が覗いてくださいます。もっとたくさんの方々に理科への興味を持っていただける場にしたいものです。

■ 展望と夢

漢字の読みや平均の計算などの制約から小学校の 3 年生以上を対象としています。小学校では 45 分授業ですが、ここでは 90 分授業を行っています。実験が中心ですので全員が最後まで集中して取り組んでいます。一年間で一応カリキュラムを修了しますが、同じ内容でも続けたいと言う子供もいます。毎月、自費を投入しながら続けていますので、周りからは「何をやっているのか」と言われることがあります。家内も実習助手として手伝ってくれていますが、私の道楽だとあきらめています。私はロマンだと信じています。

私の「実験広場」に受講希望される方は新聞の報道が続いてから多くなり、今のところ順番待ちの状態ですが、火・木・土の各クラスの定員は 6 人で続けたいと考えています。それは 6 人であれば実験を最後まで私が手伝ってでも指導できます。学校などクラス全体での実験となりますと、最後まで到達しない子供も少なくなく、面白さや楽しさ、特に達成感を持たず、理科好きを増やすはずの実験が逆に理科嫌いを増やしてしまうと考えています。「実験広場」ではこの達成感を大切にしていますので、全員が「面白かった、楽しかった」と言って、次の実験を楽しみにしてくれています。少人数制は守りたいのですがもっと受講者を増やしたいとの強い思いもあります。そのためにも大学生などを指導しながら展開できたらよいと考えています。また、私は天職として理科教育に関わってきましたので、わずかでも私の会得した実験のノウハウを若い先生方に伝えたいとも考えています。後期高齢に近い年齢になりましたが、まだまだ情報があれば、それをヒントにして新しいものを創ったり、今までしてきたことを改良できると考えています。是非ご指導くださるようお願いいたします。



..... 編集後記

平成 28 (2016) 年 12 月 21 日の中央教育審議会答申を踏まえ、平成 32 (2020) 年から実施される新しい学習指導要領(小学校、中学校)が 3 月 31 日に告示されました。高等学校の新学習指導要領は来年春告示の見込みです。今号と次号の 2 回に分けて、新しい学習指導要領のもとで理数科教育がどのように変わるのかを特集します。また、今号から「教育に新しい風を」というコラムを設けて、教育を取り巻くさまざまな課題やこれからの教育への期待などを識者に語っていただきます。特別寄稿として、一昨年の MATH コンに組み込んだ生徒からの報告を掲載しました。

(財)理数教育研究所 事務局

化学現象の本質を見抜いた 「直感力」

～フロンティア軌道理論を生んだ福井謙一～



©読売新聞/アフロ

自宅付近を散策する福井謙一

18世紀後半にラヴォアジエ（1743～1794年）による定量的方法の導入などで誕生した近代化学はその後、物理学や生物学、さらには工学などと関わりながら変貌を遂げてきました。その変貌の一つが、現在、高速コンピュータとプログラムなどの「力」を借りて分子の構造や性質などを短時間で知ることができ、理論化学、有機化学などの研究に、さらに創薬など応用面にも活用されている「計算化学」の登場です。この「計算化学」の重要な基礎といわれている「フロンティア軌道理論」が福井謙一（1918～1998年）らによって1952年に提唱されました。当時、分子結合には分子中の「すべて」の電子が関与すると考えられており、それに基づく理論値が実験値と一致しないことが多くみられました。量子力学を学んでいた福井は「直感」も働き、「結合にはすべてではなく、最も高いエネルギーを持つ軌道と、相手の分子中の最も低いエネルギーの軌道とが関わるのではないか」という想いを抱いたのです。福井らはその二つを「フロンティア軌道」と名付け、複雑な計算の末（福井は計算尺のみで、弟子たちには、当時使われ始めた手回し計算器を提供：福井の人間性を感じるエピソード）、理論を構築しました。「理論値」は見事に「実験値」と一致したのです。彼はその後の研究を含めて「化学反応過程の理論的研究」というテーマで日本人として初めてのノーベル化学賞（1981年度）を受賞しました。その基には少年時代からの自然とのふれあいなどで培われた「直感力」と、抜群の「数学的センス」などがあったといわれています。

大阪教育大学名誉教授 鈴木 善次 / すずき ぜんじ

Rimse (リムス)

No.19

編集・発行 (財)理数教育研究所

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
TEL.03-3814-5204 / FAX.03-3814-2156

E-mail : info@rimse.or.jp

http : //www.rimse.or.jp

※本冊子は、上記ホームページでもご覧いただけます。

印刷所：岩岡印刷株式会社

デザイン：株式会社 アートグローブ

本文イラスト：株式会社 アートグローブ

表紙写真：アフロ