

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

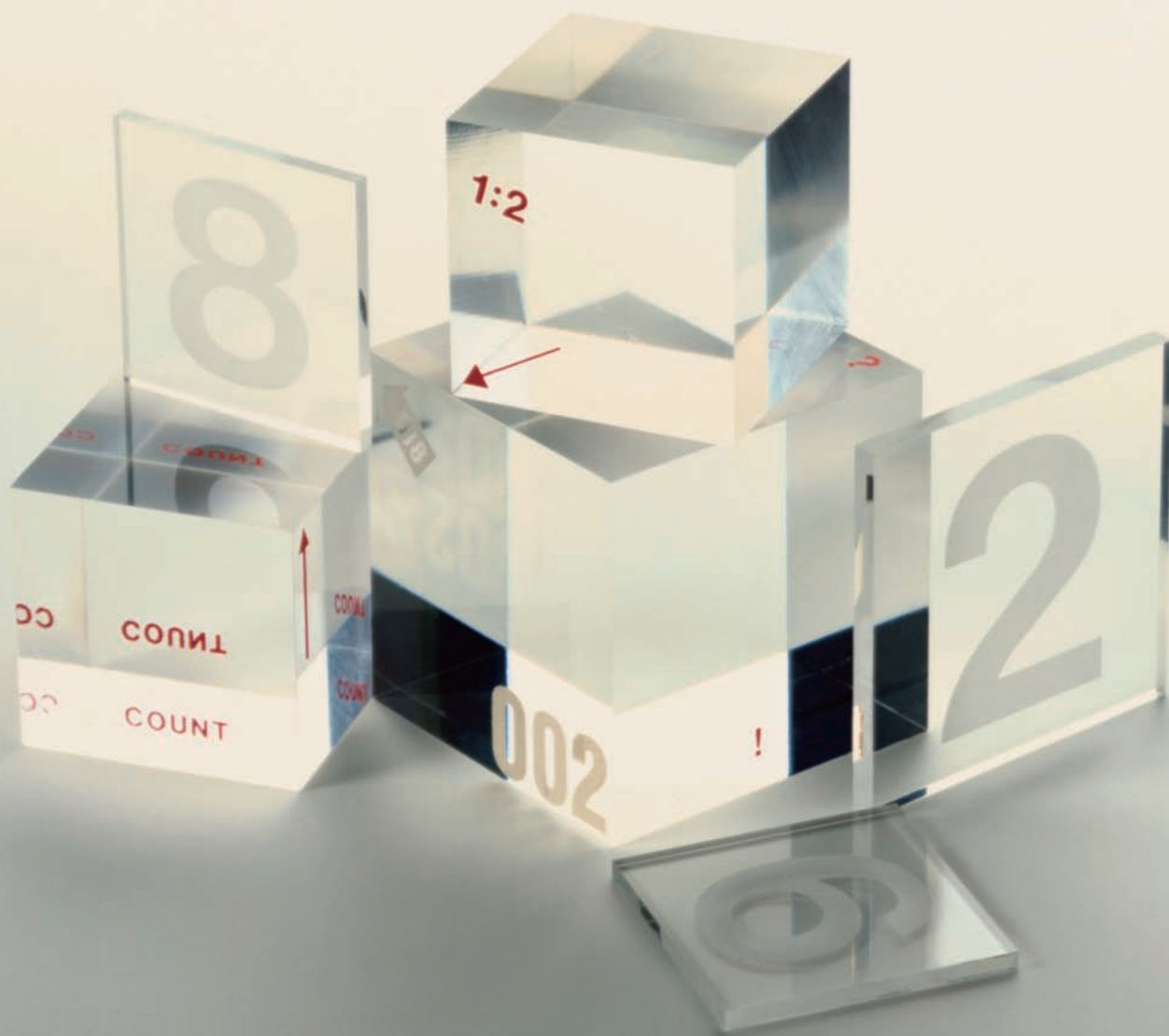
Research Institute for Mathematics and Science Education

No.3

FEBRUARY
2013

特集

理数科教育と特別支援教育の コラボレーション



CONTENTS

巻頭言

アルス ―科学の源流― ……表紙裏
大阪大学名誉教授 伊達 宗行

特集 理数科教育と特別支援教育のコラボレーション

I 子供の多様なニーズに応える理数科教育に向けて
―特別支援教育の使命― …… 2
国立特別支援教育総合研究所 柘植 雅義

II 特別支援教育の視点から見た
数学・理科の指導配慮 …… 5
京都府京都市立山科中学校教諭 鳴海 正也

III 子供の特性に応じた道具を準備しよう …… 9
佐賀県唐津市立外町小学校教諭 福田 登志子

IV 学習障害 (LD) の生徒に配慮した
数学の指導について …… 12
長野県伊那市立西箕輪中学校教諭 唐澤 浩志

連載 数学は人とともにある 第2回

世界は数学でできている …… 15
横浜国立大学大学院教授 根上 生也

連載 理科を活かして考えよう 第2回

人間の距離感とスピード感 …… 18
高知工科大学教授 八田 章光

連載 社会の中の科学技術 第2回

東日本大震災と「科学の限界」 …… 21
大阪大学全学教育推進機構准教授 中村 征樹

広場 地域教育で活躍する人々 第2回

サイエンスキッズクラブを中心とした
理科支援活動 …… 24
NPO法人 教育活動総合サポートセンター 理事 川田 潔

科学史の散歩道 第3回

近代化学の父ラバアジエとその妻 ……裏表紙
大阪教育大学名誉教授 鈴木 善次

巻頭言

kantougen



大阪大学名誉教授
公益財団法人 新世代研究所理事長

伊達 宗行 / だて むねゆき

1929 年仙台市に生まれる。1952 年東北大学理学部物理学科卒業。1964 年～1993 年大阪大学理学部物理学科教授。1992 年～1993 年同理学部長。理学博士。専門は物性物理学、特に極低温、磁性、強磁場科学。

1993 年～1999 年日本原子力研究所先端基礎研究センター長。2003 年から新世代研究所理事長、現在に至る。

おもな兼職：1993 年～1999 年日本物理学会会長、1988 年～1997 年日本学術会議会員、1994 年～2007 年同第四部長。

受賞歴：松永賞 (1971 年)、仁科記念賞 (1980 年)、藤原賞 (1991 年)、紫綬褒章 (1991 年)、勲二等瑞宝章 (2000 年)。

著書：専門書多数 (略)。一般書として『「数」の日本史』(日本経済新聞社)、『「理科」で歴史を読みなおす』(筑摩書房)等。

アルス — 科学の源流 —

「アルス」とはあまり聞いたことがないがさて、といわれる読者が多いことだろう。しかしこれは改めて科学の在り方に思いを巡らすとき、極めて大きな意味を持つ言葉なのである。最近の科学には気がかりなことがある。科学が国家、民族間の激烈な競争手段となるにつれて、早急な成果に、利のある成果に走り過ぎ、知性の殿堂としての科学の姿が霞んできていることである。そこで本論ではしばし歩みを止めて科学の歴史を振り返り、その源流を訪ねて科学のあるべき姿を再確認しておきたいのである。

今日の科学に繋がる知性の歴史はギリシャ・ローマに始まる。実はそれより約 2000 年以前にメソポタミアのバビロニア人が高度の知性を展開し、現在、ギリシャ・ローマ時代の発見といわれているもののかなりが太古より知られていたことが解明されつつある。しかしそれらは断片的で繋がらない。ギリシャ・ローマから話を始めるのはこのためである。

ギリシャはその知性を自然哲学に開花させたが、その核心に「自然」に^{たいじ}対峙する「人為」を表す「アルス(ars)」があった。人の手のかからないものすべてが自然(natura ナトゥーラ)であり、その対概念、人の手にかかるものすべてがアルスであり、そこで生まれるものすべてが文化(cultura クルトウーラ)なのである。明快な分類であり西欧の解析的な思想が現れている。東洋の思想と比べてみるとよくわかる。例えば老子は自然と人間を対比させている。自然は^{げんぴん}玄牝(玄妙なる女性)だという。英語の Mother Nature に似ている。しかし人は自然と対峙するものではなく、働きかけるものであり、無為を理想とする。無為とはなさざることではなく「無為にしてなさざること」であるという。哲学的ではあるが倫理的であり、孔子に至っては更に倫理的となり、西欧的な透明さがない。

アルスの思想はどのように発展し、後世の科学に至るのか。それを見るにはアルスがどのように構成されているかを見ればよい。アルスはポエティウスによって次のようにまとめられている。全体を自由技芸と機械技芸に分ける。自由とは「貴族の」ということで、機械とは「奴隷を含む」の意味である。自由技芸には 7 科あり、言語を扱う文法、弁論術、弁証術が 3 科、これに 4 科、算術、幾何、天文、音楽が続く。そして

機械技芸には料理、畑仕事、絵画、彫刻、建築、冶金、音楽(演奏)、舞踊、服飾などがあり、今日のセンスとはひどくかけ離れたもののように見えるが、将来の科学、芸術の萌芽がほの見えるだろう。

その後、西欧は深い中世の眠りに入る。そしてルネサンスを迎える。ここでアルスが俎上にあがる。これをパラゴネ(諸芸比較論争)という。レオナルド・ダ・ヴィンチなどが中心で、焦点は科学的、芸術的水準が格段に進歩したこの時代の成果が、機械技芸をはるかに越えているではないか、との問いかけであった。知性の高まりが感じられる。

ルネサンス以後、科学の世界像に革命がおきる。ガリレオ、コペルニクスを思い出せばよい。そして絵画も、中世の宗教画にとらわれない活力を持つ。ダ・ヴィンチの仕事に象徴されるように、絵画、数学、彫刻、建築、機械が渾然とした調和と発展を示している。これがまさにアルスの世界なのだ。それは作品においてのみ一体であるばかりではなく、人間の知的交流に裏づけされている。17 世紀にフェルメールが、『天文学者』、『地理学者』という絵を描いているのをご存じだろう。いずれも当時の最先端科学である。学者と画家の交流なしにこのような絵は成立しない。

しかし、時代は更に進む。科学の決定的勝利、ニュートンのプリンキピア、正確には『自然哲学の数学的原理』の刊行が 1687 年、このタイトルを見てほしい。まだ科学も物理もない時代、アルスの象徴が自然哲学なのだ。そして 18 世紀に入ると「科学」は産業革命を引き起こし、社会構造までが変わったのである。これを機としてサイエンスなる言葉が生まれ、職業としてのサイエンティストを生んだ。サイエンスのアンチテーゼとしてアートが生まれたのである。アルスは分裂した。そして日本が明治維新後受容したのは、アルスではなくサイエンスであり、アートである。日本では別々のものなのである。しかし欧米人はそうは見ない。ある物理学者が「日本の和算はアルスの美しさを持つ。欧米で言えばゲーデル、エッシャー、バッハである」と言ったのに衝撃を受けたことがある。科学が、この深さを持つことを広く世に伝えたいと思っている。



理数科教育と特別支援教育のコラボレーション

I 子供の多様なニーズに応える理数科教育に向けて —特別支援教育の使命—



国立特別支援教育総合研究所

柘植 雅義 / つげ まさよし

1958年愛知県に生まれる。国立特別支援教育総合研究所上席総括研究員・教育情報部長。愛知教育大学大学院（数学教育専攻）、筑波大学大学院（障害児教育専攻）で学び、筑波大学より博士（教育学）の学位を取得。国立特殊教育総合研究所研究室長、カリフォルニア大学ロサンゼルス校（UCLA）客員研究員、文部科学省特別支援教育調査官、兵庫教育大学大学院教授などを経て、現職。この間、東京大学大学院、政策研究大学院大学、放送大学等で非常勤講師等を歴任。

1 はじめに

日本の小学校、中学校、高等学校における算数・数学教育や理科教育は、どこまで多様なニーズのある子供に応えることができるだろうか？あるいは、想定している子供の「幅」はどのくらいだろうか？

「日本の」と言ったのは、実は、国によってその「幅」が違うからである。

今から15年ほど前、国際数学教育会議がアジアで初めて日本で開催された。確か、千葉県の幕張である。そのプログラムを見て、軽い衝撃を受けた。講演などの全体プログラムのほか、20ほどの分科会が用意されていたが、その中に、Special Educational Needs（特別な教育的ニーズ）の分科会と、Gifted and Talented（ギフテッドとタレンテッド）の分科会があったからである。日本国内の算数・数学教育に関する学会は、代数や解析といった数学教育の内容に関するもので、当時はまだこのようなニーズに関する枠を持っていなかった（と言ってよいだろう）。¹⁾

つまり、その時代、日本の算数・数学教育が対象とする子供の「幅」は、国際的な動向から見て、明らかに狭かったのである。

そして、当たり前のことだが、その「幅」の広さ、狭さは、

いろいろなところに影響を与える。まず、第一は、その「幅」に入らない子供は、ときには勉強がついていけず、不登校になってしまうかもしれない、またときには、授業が簡単すぎて退屈になってしまうかもしれない。大学での教員養成のカリキュラムにも影響が出てくるだろうし、教師になってからの生涯にわたる、教育センターなどでの研修プログラムにも影響する。そしてまた、それらは、算数・数学教育を研究する研究者の研究の「幅」（射程）にも影響するだろう。

実は、先の国際会議のプログラムを見て軽い衝撃を受けたとき、もしやと思い、理科教育など、他のさまざまな教育についても調べた。すると、算数・数学教育と同じような状況を知ることができた。つまり、算数・数学教育のみならず、理科教育をはじめ、さまざまな教科教育では、多かれ少なかれ、Special Needs Education や Gifted and Talented を範疇に取り込んでいることがわかってきたのである。

このとき、各教科教育の「幅」が、国によって大きく違っているのだということを知った。そして、このことが、その後、障害のある子供の教育を考えることのみならず、例えば、国際学力テストの結果を見るときに、各国の各教科の学年による習得内容の違いを見るときに、そしてまた、授業の国際比較研究を見るときに、思い出されてくるのである。

2 子供の多様なニーズ

子供は、実に多様である。具体的には、個性、気質、興味・関心、障害などがその多様性の具体の事項であろうが、さらに、例えば、外国籍などで日本語がうまく話せないということもあるだろう。

この中から、例えば気質 (temperament) についてみても、その幅の広さ、つまり種々のタイプはさまざまであり、そのような気質の理解やそのような気質を持った子供の支援の在り方などもさまざまである。²⁾

障害 (disabilities) についても、同様に非常に幅がある。そして、障害について見ていくには、基本的には障害の種類と程度に注目することが大切だが、それらも含めて、児童・生徒一人一人の多様なニーズに注目していくことが重要であり、それこそが、新たに誕生した特別支援教育の最大の特徴の一つである。なお、障害の種類とは、発達障害、知的障害、視覚障害、聴覚障害といったものなどがあり、障害の程度とは、それらの障害がどの程度の状態かをいう。障害が重度とか軽度とか、ということもそうである。

そして、児童・生徒一人一人の多様なニーズの理解とそれを踏まえた指導・支援が求められてきている。³⁾

したがって、多様な子供たちを、あたかも一人の子供のように“十把一絡げ”で理解して指導することは、もはやあり得ない。とにかく一人一人に注目していくのである。

また、障害というニーズを見ると、発達障害、知的障害、視覚障害、聴覚障害、肢体不自由、病弱、…と実にさまざまで、障害によって受ける困難も多様である。そして、これらの障害が、算数・数学や理科の学びにさまざまにいろいろな影響を与えることがわかっている。

特別支援教育は、そのような障害のある子供の教育のことである。従来は特殊教育と呼ばれ、例えば通常学級における発達障害等の子供への対応は、日本では制度上に位置づけられてこなかった。このような子供たちへの本格的な対応が、特別支援教育になって始まっているのである。

つまり、21世紀の初頭において、特殊教育から特別支援教育に転換され、通常学級における発達障害等のある子供の教育が始まったことで、これまで、あたかも別々のもので、関係がないように思われていた教科教育と特別支援教育が一

気に関わり始めたのである。こうして、国語教育や算数・数学教育と特別支援教育の具体的なコラボレーションが必要になってきた。⁴⁾ それ以外の教科も同様である。

もちろん、このような流れは日本だけのものではなく、実は、国際的な潮流なのである。中央教育審議会は、2012年7月にとりまとめた報告で、インクルーシブ教育システムの構築を目指すとしている。

3 算数・数学や理科が得意な子・苦手な子と発達障害

小学校にも、中学校にも、高等学校にも、“算数・数学や理科が得意な子”、“非常に得意な子”がいる。算数・数学や理科が非常に得意という子供の中にも、発達障害のある子がいる可能性があることが近年わかってきた。

例えば、ある小学校の低学年で、とにかく四則演算の計算がクラスで一番速く、間違えない子がいた。その子は、一方で、文章題に著しい困難を示すのである。文章の意味が理解できない、文に登場する複数の人の間のやりとりの関係が理解できないのであった。この子は発達障害と診断されていた。

一般に、文章題が苦手という場合、その背景はさまざまであり、どのような背景(原因)の場合はどう指導したらよいかについて、実践や研究が進んでいる。先の場合は、数学的な思考の発達や技術の習得の問題というよりも、対人関係(人間関係)の理解の問題とか、助詞の使い方といった文法上の問題なども考えられる。

あるいは、図形問題は得意だが、計算問題は苦手、というように、領域間での得意不得意の差が著しく大きい場合がときに見られるのである。また、昆虫や動物の名前を非常に多く知っていて、生物学(博物学)の体系的な分類による理解ができていこうほどの状態を示す子が、一方で、理科の簡単な実験がチームで遂行できない、ということもある。さらには、教科の領域間の得意不得意のアンバランスではなく、教科間でのアンバランスとして表れているケースもある。

このような状況は、小学校のみならず、中学校や高等学校においても見られる。例えば、いわゆる進学校と呼ばれる高等学校においても、発達障害のある子供が在籍し、ときに、教科によっては、あるいは教科の領域によっては、突き抜けるような才能を示す一方で、他の領域や他の教科で困難を示

す場合があるのである。

なお、注意したいのは、以上で示したケースは知的障害があり、それによって算数・数学や理科において全般的な学習に困難を示すのではないことに注意したい。それどころか、非常に高い知能を持っていながら、発達障害と診断され、大学や職場で優れた才能を開花させて活躍するケースも知られている。⁵⁾

4 多様なニーズのある子供への指導・支援

何らかの発達障害があつて、算数・数学や理科が苦手になっている場合には、他の子供とは違って、特別な指導・支援を追加していくことが必要となる。そして、近年、そのような特別な指導・支援は、障害のない他の子供にも有効ではないかという考えが広がってきている。例えば、通常の学級における一斉指導において、“授業ユニバーサルデザイン”という実践が始まっている。

さて、実は、さまざまな障害のある子供の指導・支援に関する学術研究や実践研究の蓄積が日本には豊富にある。これらの蓄積をも指導や支援の科学的根拠として、指導や支援の充実に取り組んでいくことが大切である。その際には、それらの蓄積(財産)を、どのように通常学級で学ぶ障害のある子供、多様なニーズのある子供に生かしていくか、そしてまた、新たな技法や知見を生産していくかが課題である。

そのような視点から、算数・数学や理科を見たときに、以下の点が重要な事項として考えられる。

- ・習得状況を把握する工夫(アセスメント)
- ・授業の工夫
- ・教材教具や道具の工夫
- ・教科書の工夫
- ・授業研究会の工夫
- ・教師の研修の工夫

そして、算数・数学や理科を教える教師の養成の工夫、算数・数学や理科を教える教師の養成に携わる教授らの養成の工夫にまで及ぶであろう。

これらの、一般的な当たり前のさまざまな工夫に、特別支援教育の“味つけ”をいかに行うかがポイントであるが、研究は近年始まったばかりで、まだよくわかっていないのである。

また、特に小学校や中学校において、通常の学級での指導・支援の工夫だけでは十分な成果が期待できない場合は、通常の学級に籍を置きながら、必要な特別な指導・支援を受けることができる、通級による指導(いわゆる通級指導教室)を活用することができる。

本稿に続いて、小・中学校の3名の現職教員の方々が、日々の実践の取り組みから見てきた指導・支援の工夫の一端を紹介しているので、参照していただきたい。

5 おわりに

小学校、中学校、高等学校の通常学級で行われる算数・数学教育や理科教育は、その学級に在籍するすべての児童・生徒に行われるのである。学級の中の子供は実に多様であると、先に述べた。障害という事項もその多様性を形づくっている一つの要素に過ぎないのである。個性の違い、気質の違い、身体の違い、…等と同様に、発達障害など種々の障害のある児童・生徒が在籍していたとしても、そのような児童・生徒が在籍しているという前提で、算数・数学教育や理科教育が行われるのである。このことが基本である。

その前提のうえで、特別支援教育は、障害のある子供一人一人の教育的ニーズを把握し、必要な指導・支援を行っていくものである。さらに、明確な障害がなくとも、学習面や行動面で著しい困難を示す児童・生徒への対応も射程にあるのである。そして、特別支援教育の推進が、障害があるとかないとかではなく、すべての子供の「確かな学力の向上」と「豊かな心の育成」に貢献すると期待されている。そのことが、新たに誕生した特別支援教育の目指すものであると考える。

今後、そのような教科教育と特別支援教育の双方の努力によって、多様な子供の学びがいつそう確かなものとなるようにしていくことが求められている。



参考文献

- 1) 柘植雅義著：『LD&ADHD 特集：計算や推論につまずく子への支援』編集後記(No.7 2003年10月号)，p.68，明治図書
- 2) 柘植雅義・秋田喜代美訳：『教室の中の気質と学級づくり 縦断研究から見てきた個の違いの理解と対応』，金子書房(2010年)
- 3) 柘植雅義著：『学習障害(LD) 理解とサポートのために』中公新書，中央公論新社(2002年)
- 4) 柘植雅義・堀江祐爾・清水静海編著：『教科教育と特別支援教育のコラボレーション 授業研究会の新たな挑戦』，金子書房(2012年)
- 5) 「東大生と発達障害」，アエラ 2012年6月4日号，朝日新聞出版

Ⅱ 特別支援教育の視点から見た数学・理科の指導配慮



京都府京都市立山科中学校教諭

鳴海 正也 / なるみ まさや

1960年京都府に生まれる。兵庫教育大学大学院特別支援コーディネーターコース修了。臨床発達心理士、特別支援教育士。専門は通常学級に在籍する発達障害児の支援や支援体制の構築。特別なニーズがある子供たちにすきまなく支援を行き渡らせることこそ教育全体の質を上げることにつながると考え、通常学級に在籍する境界知能の生徒や二次障害を合併した発達障害の生徒の支援に力を注ぐ。

1 特別支援における学習障害 (LD) の位置づけ

この頃、学校現場の面談で親がよく口にする言葉に「うちの子はLDなんですか」、「軽度発達障害を心配しているんですが」というフレーズがある。学期末の面談で複数の家庭からこの言葉が出てくる。クラス担任が自信を持って答えることのできるケースは少なく、私のような特別支援に関わるものに相談がくることが多い。教員も特別支援の研修に積極的に参加しているのだが、保護者の関心やTVをはじめとするマスメディアの勢いについていけないのが現状ではなかろうか。そこで、この稿の前半では一度基本的な概念規定に立ち戻って論を進めたい。

まず、文部科学省によれば「特別支援教育 (Special Needs Education)」を、「障害のある幼児・児童・生徒の自立や社会参加に向けた主体的な取組を支援するという視点に立ち、幼児・児童・生徒一人一人の教育的ニーズを把握し、その持てる力を高め、生活や学習上の困難を改善または克服するため、適切な指導及び必要な支援を行うもの」と規定している。また、一方で広義の特別支援教育の対象は「通常教育課程では十分な教育効果が望めない」ものとして、障害のある児童に限らず、学習能力が著しく高いギフテッドや虐待を受けた生徒等も含まれるという考え方もある。表現として不正確ではあるが、普通学校の教師の感覚に一番近いのは、「今ま

での支援対象者以外に、普通学級にいる軽度発達障害の生徒が増えた」(現在は軽度という言葉は誤解を呼ぶので使わない)という感じであろうか。この稿で扱う発達障害というのは、通常学級に在籍していて、今まで支援の対象とされなかったLD, ADHD, 高機能自閉症等(以下自閉症スペクトラムと記述)を指すと考えて話を進めたい。なお、このような児童・生徒が推定6.5%いると考えられている。

この数字は医学的判断ではなく、教育面からのアプローチであり、上下幅があると考えることが妥当であろう。文部科学省の統計によれば、学習面で著しい困難を示す児童・生徒の割合が4.5%いるとされ、これらの子供がすべてLDとは考えにくい。おそらく、境界知能の児童・生徒もある程度含まれているのではないかと考えられる。しかし、かなりの人数のLDが普通教室にいるという前提で授業に取り組んでいくことが現時点では重要であると思われる。

ここ数年、学校教育へ特別支援の考えが広まったことや文部科学省や教育委員会レベルでの施策が実施されたこともあり、ADHD、自閉症スペクトラムの児童・生徒への支援はかなり充実してきたと感じられる。なぜこのタイプの子供たちへの支援が先行したのであろうか。この子供たちの特性は非常に顕著に行動に表れる。つまり、授業を進めていくにあたって困難が顕著なために、支援が優先的に行われたと考えられる。しかし、LDに対する支援はなかなか進展していない状況であるように私には思える。

2 LDにおける計算、推論の位置づけ

文部科学省は、「学習障害とは、基本的には全般的な知的発達に遅れはないが、聞く、話す、読む、書く、計算するまたは推論する能力のうち特定のものの習得と使用に著しい困難を示すさまざまな状態を指すもの」と学習障害を位置づけている（下線は筆者）。

学習障害は、その原因として、中枢神経系に何らかの機能障害があると推定される。著しい困難とは、どの程度を指し示すのであろうか。教育の立場から見ればおおそ2学年分の学習に遅れがある場合という解釈が一般的である。中学校の数学で言えば、1年生で分数のたし算ができなければ既にこの範疇に入る。皆さんの学校ではどうであろうか。私が今まで勤務してきた中学校で言えば、このような生徒が4.5%以上いるように感じる。2学年分以上の遅れという規定で気をつけなくてはいけないのは、他の障害と異なりLDが顕著化してくるのは小学校入学以降であるという点である。つまり2学年以上の遅れといっても、小学3年生と中学3年生の遅れは質が違ふということである。低学年での遅れはその後学習遅滞や自己肯定感の低下、その結果としての二次障害や不登校に結びつくということである。LDのある子供の早期発見が遅れることが結果的に後述の触法行為に関連しているのではないと思われる。

上記の文部科学省の規定を見て、おそらく皆さんが気になった点は下線の部分であろう。しかし、教師が気をつけなくてはいけないのは、教育活動そのものが聞く、話す、読む、書くという言語活動を基盤に成立しているということである。つまり、計算・推論する能力も言語能力の影響を受けることを意識して指導することが重要である。

もともと、LDの研究は、ディスレクシアと呼ばれる読字や識字に課題がある人々について先行して研究が進められてきた。人間の能力のうち、より新たな領域である計算や推論の能力は、脳の特定の部位で処理されるのではなく複数の部位が連携して処理されていると考えられている。この連携がうまくいかない、または定型発達の人と違ったプロセスを利用することが、LDのある人々の困りの根元ではないかという仮説が提起されている。また、算数障害のみに症状が見ら

れるものは少なく、読字障害や書字障害と重複している場合が多く見られる。熊上(2009)は、触法事例の中で自閉症スペクトラムの事例は3%と低いが、LDの傾向を示す少年の事例が17%存在すること、その多くが「書く」「計算する」行為に困難を示していたことを報告した。このことは、LDのある子供は日本の社会においてハイリスク群であることを示している。このような結果が現れる要因は未だ十分に論議されているとはいえない。この要因について、学校不適応仮説と呼ばれる「学校での失敗」がその後の発達の邪魔になるという、心理面に焦点を当てた仮説は教師としてはイメージしやすい仮説であると思われる。

3 数学・理科の学習と特徴的なLD

文部科学省の規定では、前述の6つの能力のどれかが著しく習得困難だと規定されている。しかし、実際の授業場面で領域別に評価されることはまれである。多くの場合、能力は総合的に発揮され評価される。そのために、境界知能の子供とLDのある子供の差が見えなくなることがたびたびある。中学校の現場で聞く「今の中学校の学習内容をすべての生徒に理解させるのは無理」という発言には、かなり高い確率で、境界知能の生徒と計算または推論する能力に課題を持つLDの生徒とが含まれていると考えられる。多くの教科を一人で教える小学校の教師は比較的小児の能力の全般をとらえやすい。授業全般から計算や推論についてのみ著しく能力が低ければ、算数障害や空間認知障害(Spatial organization deficit)も発見しやすい。しかし、教科担当制の中学校では能力全般が低いのか、ある一部分だけが低いのかを知る方法はあまり多くない。そのために境界知能の生徒と算数障害のある生徒は同じ指導上の配慮を受けることになる。どちらの生徒にも学習の内容をより細かく教えるスモールステップの手法や基礎・基本の繰り返し学習は一定の効果がある。しかし、両者の課題は根本的に違うはずである。

境界知能の生徒は、学年相応の学習を定型発達の生徒と同じスピードで学んでいくことが難しいスロー・ラーナーなのである。それに比べて算数障害や空間認知障害のある生徒は、通常の学習手段では学習が成立しにくいという大きな違いを

持っている。しかも、高学年になればなるほど、「努力したのだから力が伸びない」という経験を持ち、自己肯定感が下がっていることが多い。だからこそ、集団全体の到達点に左右されず、一人一人のニーズに合った支援が必要となってくる。個の学びを最重要視した支援こそがLDのある生徒に対応する特別支援教育の最大のポイントだと私は考える。すべて通常学級内で支援できればよいのだが、非常に特異な算数障害の生徒がいて、通常の方法では学習効果がない場合がある。私が通級で指導した生徒に、国語をはじめとする他の教科はもちろん、数学の図形についても困りを示さない中学校3年生の女子がいた。美術関係の高校に進学することを希望していたが、高校受験前4か月の時点でかけ算の九九や繰り下りのひき算ができずに苦勞していた。この生徒には週4回の通級と放課後学習を実施することによって、約3か月で中学校の1年生段階までの学習内容をマスターするところまで学習を進めることができた。現在、アパレル系の企業でデザインに関わって働いている。このような事例は特異なケースであるが、特別な場を設定しての支援が有効となるケースもある。

4 数学・理科の授業に見るLDへの配慮

私は特別支援コーディネーターの立場から、通常学級での授業を観察することが多い。また、特別支援の視点をどう授業に生かすのかを提案できる専門家として、授業研究会に招かれることも多い。その要望に応えるためには、もちろん障害に対する深い専門知識も必要であるが、授業や教科全般に対する広い知識も必要となる。私はこの稿の多くの読者のように、数学や理科への専門性が高いというわけではない。そこで、自分の立脚点である発達心理的なものの見方や発達障害が示す困り感を中心に、授業の配慮点をまとめてみたい。

(1) まずは学級全体への配慮を確かめる

授業者は、クラス全体とLDを持つ生徒へのアコモデーション(以下は、「配慮」という用語で述べる)がいかに無理なく展開されるかを中心に授業を構成することが望まれる。クラスには、LDのある生徒だけではなく多様なニーズを持つ多くの生徒がおり、総体として授業は成立している。学級全体への配慮が十分行われている授業においては、LDのある生徒

も学習しやすい環境になっていることが多い。つまり、質の高い授業というものは、個への配慮も含み展開されているということである。そのうえで、プリントへの記述内容や座っている姿勢に着目することも重要である。これらの点は、視覚情報の偏りや固有の感覚と結びついていることが多い。ある生徒は、計算の桁数をたびたび間違い、マス目のあるノートでも箱の中に数字を書くことが安定してできなかった。指導する教師の気づきから、スリットの入った定規状の教材を利用することによって改善を得ることができた。その後の検査で、文字が重なるように見える視覚的な課題が発見され、ビジョントレーニングを行うことで課題の多くを解決することができた。

経験的な事例ではあるが、ADHDのある生徒は多くのことに関心が分散し興味が移り変わるのが早いために、興味を維持できるようなゲーム的な要素を好む。しかし、LDがある生徒の多くは、変化の激しい授業形態より、限られた情報から学習を成立させることが得意なようである。例えば、二桁÷二桁になると「数字がたくさんになると目がチカチカする」と言って突然意欲を失う生徒がいた。桁数の多いかけ算は問題なく、一桁のわり算もスムーズにできる。話を聞いていくと、どうもワーキングメモリに問題がありそうである。LDのある生徒の多くは苦手な場面でストレスがかかると、十分に自分の持っているワーキングメモリを使い切れないのではないかと思う場面がある。この生徒は、数字の後半の桁を見えなくなるように工夫したとたん、これらの課題ができるようになった。LDの生徒の中には自分のやり方に固執する子も多く、途中で式を書かず頭の中で多くの操作をやりきろうとする傾向が強いように思われる。途中で式を書くことは、いったんワーキングメモリを解放することであり、支援の方法として有効な場合がある。LDのある生徒にとっては、一般に行われている授業の流れ、「本時の目標の確認」から「本時の展開」そして「演習・まとめ」という授業の流れのほう安定して学習ができる場合がある。そのうえで、個別の課題には、彼らの得意な学習スタイルを個別に利用するのが現実的だと考えられる。

(2) 多様な感覚に訴える

次に、LDのある生徒への配慮が指導内容のどの点に反映され、意識化されているのかに注目する。LDの場合、他の発達障害とは異なり、一目でその存在が顕著にわかることは

比較的少ない。この静かに黙って授業を受ける態度は、女子の不注意優先型 ADHD と同様で、授業の中で埋没してしまいやすいタイプの生徒である。女子の数学・理科嫌い(女性に数学障害が多いという説もある)には、このタイプの ADHD と LD のある生徒がかなりの数で存在しているのではないと思われる。両者には、合併が 30～40% あるといわれるので、ここでは両者が共通に起こす計算困難をあげておくと、特にひき算における繰り下がりを間違う、計算の桁がずれる、約分を最終までしない等の特徴が見られる。これらの生徒のうち言語理解のよい生徒たちは、一次方程式の順序を「移項→整理→わり算」といった簡単な言葉を唱えること(音韻ループ)を活用する方法で解決が図られる事例も多い。九九も同じ支援方法を使っているので、LD のある子供にも定着しやすい。また、ある生徒は、言語性も低かったが、ラップが好きで得意であった。この生徒は、公式を「パイ×半径×半径は面積イェーイ」という感じで覚えたり、式を解くときもリズムを刻みながら行っていた。

板書は、最大の視覚支援である。よくまとまった板書はよくできたノートと同様に、視覚支援が有効な生徒にはとても効果的である。ただ一方で、空間認知障害の生徒にとっては、板書を書き写すことだけでも大きなストレスがかかることを忘れてはいけない。

理科の授業で行われる実験装置の書き写しなどは、言語を使った支援では効果がうすく、別紙でプリントを準備するか、デジカメの使用を許可するなどの方法が効果的な場合もある。また、立体の理解などには、立体モデルの活用に加えて、実物を触って感触から理解する体感的支援が有効な場面も見られる。LD の場合、中枢神経での処理が定型発達者とは違う可能性を考えるならば、多様な感覚を利用して学習することが有効であると考えられる。

(3) 教科の特性を生かした配慮

LD に対する支援であっても、教科本来の特性を失うようなものであってはいけない。算数・数学と理科とでは、支援が変わってくると考えられる。

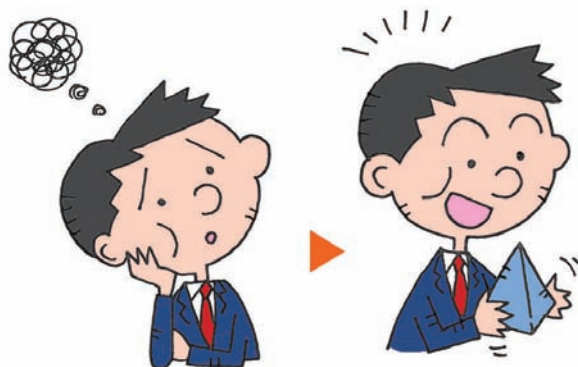
ある調査によると、発達障害の生徒に対して、数学の教師は、「習熟度の細かなチェック」、「個別のプリントの作成」、「学習レベルの下学年化」、「個に合わせたアドバイス」というように、積み重ねを重要視した配慮を行っている。それに

対して理科では、「教材の視覚化」、「実験装置などの環境整備」が大きなウェイトを占め、両教科での支援の有り様の違いが読み取れる。算数障害の LD のある生徒に対して下学年の内容を指導しなくてはならない状況が、現在の中学校ではよく見られるのは確かである。生徒の発達課題に教科の内容を合わせることは重要であるが、これが授業での配慮のすべてとは言えないだろう。LD のある生徒の多くは、それまでに多くの「学校での失敗」を体験し、自己肯定感が下がっていることが多い。通常努力をしても学習効果が低いのが LD の特徴である。だからこそ、多様なレベルのプリントを準備するなど、学年相応の達成感を得られる支援が必要と思われる。

また、理科(特に物理や化学の分野)においては、基本的な計算ができることを前提に授業が展開される。だが、LD のある生徒にとっては学習内容が理解できたとしても、計算や処理ができないことがある。そのような場合、計算機の利用など適切な配慮が必要だと考えられる。

5 おわりに

40 人近い生徒に学習内容を教えながら、さらに特別なニーズを持つ LD に対応することは非常に困難なことのように見える。しかし、このことは必ずしも新たな課題ではない。すべての生徒に学力を保証しようと前向きに取り組んできた教師なら、誰もが実践してきたことなのである。だからこそ、昔から言われてきた「一人一人を大切にする授業」の構築を特別支援の視点から見直してみることが、今重要ではないだろうか。



Ⅲ 子供の特性に応じた道具を準備しよう



佐賀県唐津市立外町小学校教諭

福田 登志子 / ふくだ としこ

1959年愛知県に生まれる。琉球大学教育学部養護学校教員養成課程卒業。佐賀県公立小学校勤務後、佐賀県立北部養護学校に赴任。特別支援教育を学ぶ。その後、公立小学校に転勤し、言語障害児の通級教室担当から、LD・ADHD等通級教室担当も経験する。LD・ADHD等通級教室の開設、運営に携わり、通級教室担当者の研修会で学習障害児(LD)などを含む発達障害児について学ぶ。現在、10年ぶりに普通教室の担任をしている。

1 はじめに

発達障害の一つとされる「LD(学習障害)」という言葉は、教育界だけでなくいろいろなところで耳にするようになってきた。しかし、この子供たちがどういう特性を持ち、どんなことに困り感を持っているのかまではあまり知られていないのではないだろうか。LDの特性として、「数概念・量概念・空間認知・推論・手先の器用さ」等についての課題があげられるが、その状況は子供によってさまざまである。したがって、「LDの子供にはこうすればよい」という答えは一つではなく、学習内容や場面に応じて対応したり、支援したりすることが求められる。

算数では、いろいろな道具を使って学習する場面が多い。例えば、ものさし、おはじき、ブロック、コンパス、そろばんなどたくさんある。このような学習場面では、手先の不器用さから思うように直線が引けなかったり、おはじきがうまくつかめなかったりといった「道具をうまく使えない」ことから学習への意欲が低下することも多く見られる。

子供の実態・特性に応じた道具を準備することで、学習意欲が増し、授業中顔をしっかりと上げて、自信を持って学習に取り組めるようにするために、教師にどのような準備や考え方が必要かということについて述べたい。

2 コンパスについて

小学校3年の算数では、円や球の概念について基本的な事項を理解し、コンパスを使って円を描いたり、長さを写しとったりすることを学習する。

(1) コンパスの使い方

教科書にかかれてあるコンパスの使い方は、次の3つの手順①、②、③にしたがって円を描くようになっている。

- ① コンパスを開く
- ② 針をさす
- ③ 一回りさせる

しかし、この3つの手順だけでは、なかなか円を描くことができない児童が多かった。

「① コンパスを開く」については、どの子もできていたが、「② 針をさす」については、どこにさしていいのかわからない児童が出てきた。「③ 一回りさせる」については学級の半数以上の児童が、コンパスの頭を持って一回りさせることに苦労していた。児童が円を描くようすを見てみると、コンパスの針を長く出しすぎたり、コンパスの右足と左足の長さが違っていたりしていた。そこで、次の3つの項目をつけ加えて指導した。

- ④ 針と鉛筆の長さを合わせる
- ⑤ コンパスの頭を持って円を描く
- ⑥ コンパスを使うときは、下敷きをしかない

初めて使う「コンパス」という道具に興味を持って取り組むが、いざ使い始めるとなかなか思いどおりに使えずに、四苦八苦している児童も少なくなかった。使い方の中で児童が一番苦労していたのは、「⑤ コンパスの頭を持って円を描く」ことであった。そこで、何回もコンパスの頭を持って円を描く練習をさせた。円を描くことが難しい児童のようすを見ると、コンパスの頭をつまんでいる親指と人差し指との使い方がぎこちなく、手首の使い方も固かった。コンパスの頭をつまんで回すことが、手先の不器用さがある児童には難しいのである。

そこで、まず、コンパスの使い方を厚紙の方眼用紙で練習させた。なかなかうまく使いこなせなかった児童には、商品名「くるんパス」というコンパス(図1)を使って円を描かせてみた。コンパスの頭を持ってくるくと動くコンパスにとっても興味を持ち、「先生のコンパス、描きやすかあ」という児童の声が聞かれた。手先の不器用な児童は図1のように「くるんキャップ」を握って円を描くことができるので、親指と人差し指とでコンパスの頭をつまんで回して円を描くよりも、かなり簡単に円を描くことができた。円が途中で切れてうまく描けずに何度も描いては消すというこれまでの失敗がなくなり、円が簡単に描けたことで、「描けた!」、「みんな

くるんキャップ

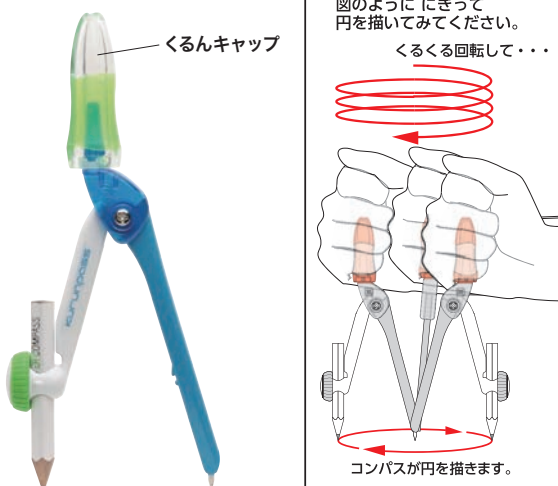


図1 「くるんパス」(左) とその使い方(右) 「くるんキャップ」は、使わないときは、針をカバーするキャップになる。(写真・資料提供: (株) ソニック)

と一緒にできた!」という気持ちになり、学習意欲も高まり、積極的に学習に参加する姿が見られるようになった。

(2) 円の作図のしかた

コンパスで円を描くことができるようになってからも、円の中心の位置を決定することや、半径との関係およびその長さを正しくはかりとることができなければ、正確な円の作図はできない。

① 円の中心を決めるために

教科書に「コンパスを使って、下の絵をかきましょう。」という問題があった(図2)。

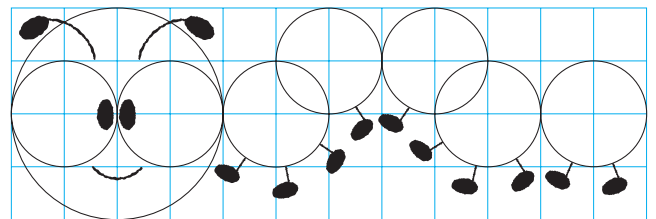


図2 円の作図の問題 『わくわく 算数 3上』(啓林館)

児童の認知特性から、問題図の虫の足や触角に注意が向いてしまいがちで、円の中心がわからないようであった。不器用さだけではなく空間認知や左右の認識の弱さがある児童は、円の中心を見つけることにも苦労していた。

そこで、中心がわからない児童には、中心の点だけを打ったワークシートを準備して描かせることにした(図3)。

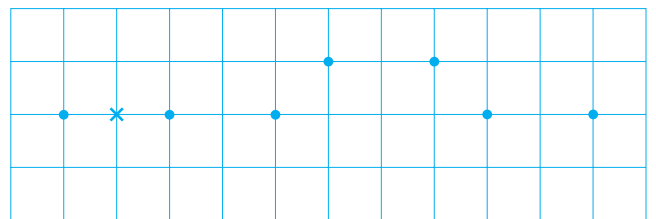


図3 半径1cmの円の中心の点だけを記入したワークシート 半径2cmの円の中心の点については、机間指導の中で必要な児童にだけ点を打っていった(上記のワークシートの×印)。

② 半径をものさしではかりとるために

ノートや机の上にものさしを置き、1cmや2cmの長さをコンパスではかりとろうとすると、ものさしが動いてしまい、不器用な児童はなかなかはかりとれなかった。小型のカッター板(図4)を使ってみた。コンパスの針がさしやすく、針が滑ったりものさしのよう動いたりしないので、コンパスではかりとりやすいようだった。

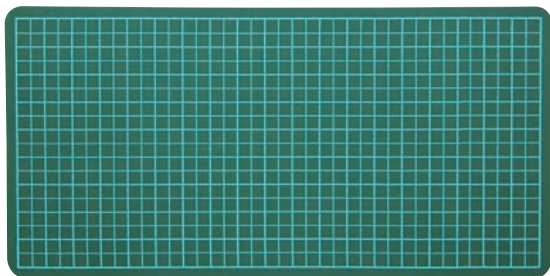


図4 小型のカッター板 5mm方眼が引かれ、1cmの方眼線は太くなっているため、1cmがわかりやすい。100円ショップで入手できる。

3 ものさしについて

筆算の計算やノートの見やすい使い方を指導するときには、ものさしを使う。「ノートにものさしを置いて左手でものさしを押さえながら、右手でものさしに沿って鉛筆を動かして直線を引くこと」が難しい児童がいた。「ものさしを使って線を引く」というのは、簡単のように思えるが、実は「自分の手先の動作を、自分の目で確認しながら、自分の思うように手を動かす」という、かなり複雑な作業なのである。次のようなものさし(定規)を使うとよい。

(1) 滑り止め特殊加工直定規

滑り止め加工をしたものさし(図5)を使わせてみた。ノートの上に置いてみてもずれにくく、不器用な児童でも直線が引きやすいようであった。



図5 滑り止め特殊加工直定規 裏面に滑り止め加工が施されている。目盛りの数字が大きく、特に5cmごとの大きな数字が読みやすい。

(2) ゼロピタ定規

スライダーを出すことによって、「0」の位置にピタリと合った線が引きやすいものさしである(図6)。



図6 ゼロピタ定規 左利き対応目盛りがあるので、左利きの児童も使える。裏面にセロハンテープを貼り、滑り止めにした。

(3) 白抜き数字定規

「0」、「5」、「10」、「15」の位置がわかりやすいものさしである(図7)。

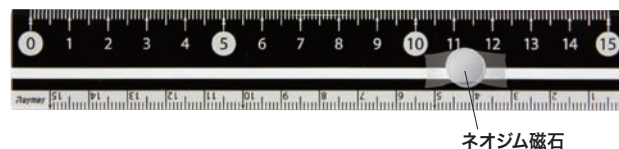


図7 白抜き数字定規 裏面にセロハンテープを貼り、滑り止めにした。また、ネオジム磁石をセロハンテープで定規に固定しておき、下敷きのかわりにホワイトボード(鉄板)を使って、定規がずれないようにした。

このようにいろいろなものさし(定規)があるので、保護者にも学級通信や懇談会のときに伝えて、児童が使いやすいものさしを購入してもらった。

4 今後の課題

例えば、コンパスやものさし一つとっても、いろいろなタイプのものが次々と市販されているが、その子にとって使いやすいものを事前に準備することは難しい。どのような道具であっても、児童が使ってはじめて使いやすいかどうかはわかることも多い。学習内容の教材研究と合わせ、それに応じた使いやすい道具を探したり、情報を得たりすることも必要である。

児童が学習に向かわない、意欲を見せないというような場合、その背景には、いろいろな特性からくる困難さが隠れているため、それに配慮しながら学習を進めていくと、意欲的に学習に取り組む児童が増えることがわかった。児童一人一人の特性を把握し、それぞれの困難さを考えた道具を準備することはたいへんなことだと思われる。教師として、児童の特性を見抜く力量を養うことも大切である。しかし、目の前の児童の学習状況や実態に応じて活用できる道具や手立てをどれだけ数多く自分の引き出しに準備できるか、それをどれだけ臨機応変に活用できるかが、特別支援教育における大きな課題であると感じている。



Ⅳ 学習障害 (LD) の生徒に配慮した 数学の指導について



長野県伊那市立西箕輪中学校教諭

唐澤 浩志 / からさわ ひろし

1961 年長野県に生まれる。東京学芸大学教育学部卒業。信州大学教育学部修士課程修了。長野県内の小学校、中学校、特別支援学校で教鞭をとる。特別支援教育では、生活単元学習や生活に結びつけた力の育成を願い、その子供に合った教材や教具の開発に取り組んでいる。

1 はじめに

最近、学習障害 (LD) が疑われる子供が 4.5% いるという調査結果が文部科学省より示された。「聞く」、「話す」、「読む」、「書く」、「計算する」、「推論する」などの能力のうち、特定の分野で著しい困難を示す子供である。実際にこれまで障害が疑われる子供を見てきたが、文章の理解や文を書くことが苦手であったり、式や計算の意味がすぐには理解できなかったりする姿が見られる。指導にあたっては、個人や活動内容ごとに障害への対応はさまざま、今後も障害に応じた手立てをさらに工夫していく必要があると感じている。

学習障害の子供に配慮しなければならない基本的な考え方として、次のことが重要であるといわれている (尾崎ほか 2000)。

- ① 指導内容のスモールステップ化
- ② 教材の具体化
- ③ 学習進度への配慮
- ④ 繰り返しの指導
- ⑤ フィードバック

これらは一般の子供にも配慮しなければならないことである。私は日頃の指導で、なるべく具体物や図、表、言語等に関連させながら学習させることを心がけている。ここでは、これまで私が指導してきた内容から本テーマに関連する事例を述べてみたい。

2 学習障害児に配慮した実践事例

(1) 文章問題を理解させるための工夫

例 1 文章問題の単語を抜き出し、整理させる

文章問題を一度読んですぐに内容を理解することは難しい。文章問題に出会う初期の段階では、問題文を一度読んだ後、問題文を見ないでどのような内容だったか確認する場を設けている。教師は「登場人物 (品物) は誰 (何) ですか」から始まり、「何を、どのように、した」を基本に発問して、内容を整理して板書する。クイズ性もあり、子供たちは喜んで発言をする機会となっている。

【問題】

かりんさんは、毎月 a 円ずつ 8 か月間貯金して、1 冊 b 円の楽譜 2 冊と 3000 円のハーモニカを買おうとしています。かりんさんが貯金した金額と代金の合計を式に表しましょう。

かりんさん	貯金	買い物
	毎月 a 円ずつ	楽譜 2 冊 (1 冊 b 円)
	8 か月間	ハーモニカ (3000 円)

図 1 板書例

このように問題文を簡略化し、整理して板書することで、内容が把握しやすくなる。そこに数量や線分図等を書き足していく。このような活動を通して文章問題の理解のしかたを身につけさせていく。

例2 情景図やペープサート(紙人形劇)を用いる

「一次関数の利用」で次のような問題を扱った。

【問題】

泥棒が宝石店でダイヤを盗みました。泥棒は宝石店から毎分1kmの速さで21km離れた飛行場に向かって一本道で逃げました。一方、警報を聞いた警察は、宝石店にかけつけ、泥棒が逃げてから6分後に毎分1.5kmの速さで泥棒を追いかけてきました。さて、泥棒は警察から逃げることができるでしょうか。

このような速さ・時間・距離の問題では、情景図やペープサートを用いたり、動作化したりして状況をしっかりと理解させたい。また、情景図に必要な情報を書き足していき、情景図を見ればわかる状態までにしておきたい。



図2 情景図(上)とペープサート(右)

**(2) 概念を具体物や教材でイメージさせる****例1 「正負の数の計算」は「借金」と「財産」でイメージ**

「正負の数の計算」では、代数和の考え方で計算ができることをねらいとしている。トランプや大型そろばんを利用し、「借金」と「財産」のイメージを持たせて習熟を図っている。いつでも手元に教材を用意し、必要な場面で個別指導ができるようにしておきたい。



図3 大型トランプ(左)と大型そろばん(右) 大型そろばんは、市販教材を黒色に着色している。

例2 ばねを使って「一次関数」のイメージをつかませる

「一次関数」でばね本来の長さとおもりを1つずつ増やしていくときのばねの長さを視覚的に見せ、表やグラフ、式での表し方を確認する授業を行った。図4のように、おもりの重さを一定量ずつ増加させるとばねが一定量ずつのびることが視覚でとらえられることから、変化の割合や切片(おもりがいないときの自然長に当たる)という新しい言葉の意味をイメージ化できるように教材化した。「変化の割合」、「切片」の意味が十分に定着しなかった生徒に対しては、この授業を振り返らせることがその後も有効であった。

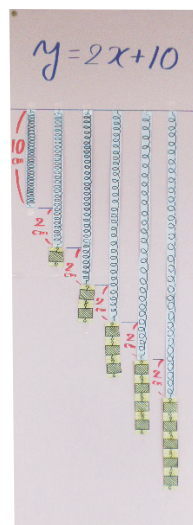


図4 ばねの長さの変化

例3 「球の表面積の公式」をいろいろな見方で理解させる

球の表面積の公式を変形することで、新たな見方や考え方が導かれる。図5の①、②のような意味もあることを理解させることで、球の表面積の公式がより意味をもってくる。

「球の表面積の公式」 $S = 4\pi r^2$

この公式を変形すると、

$$S = 2r \times 2\pi r = \text{直径} \times \text{円周の長さ} \quad \cdots \textcircled{1}$$

(これは、球がちょうど入る円柱の側面積である)

$$S = \pi r^2 \times 4 = \text{円の面積} \times 4 \quad \cdots \textcircled{2}$$

(これは、球と同じ半径の円の面積の4倍である)

図5 「球の表面積の公式」の変形

例4 空間図形認識では実物を用意する

空間図形の認識では、実際の模型など、実物を用意して位置関係などを理解させたい。直方体の対角線の長さや正四角錐の高さを求めていく問題では、空間の辺や面が手元で目に見える形で理解させるために市販のフレームワークを用いて図6のような直方体、正四角錐をつくった。フレームを取り外して中の長方形、三角形を取り出すことで、形や位置関係を確認しながら三平方の定理を活用することができる。



図6 フレームワークでつくった直方体(左)と正四角錐(右)

(3) 単元を貫く中心教材

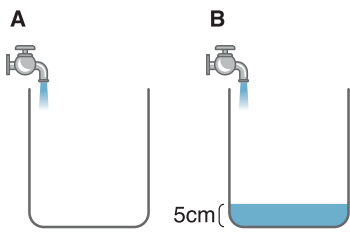
例 「一次関数」を水槽で指導

1つの中心教材をもとに単元を構成することで、学習に連続性が生まれ、学習問題に対して見通しを持ちやすい。「一次関数」の単元を通して、水槽を中心教材として4つの段階に分けて授業を行った。

第1段階では、2つの水槽に水を一定量入れていくときに、水槽の水の深さが等しくなる時間を求める問題を提示した。

[第1段階ではじめに提示した学習問題]

水の入っていない水槽Aと水が5cm入っている水槽Bがある。水槽Aには毎分2cm、水槽Bには毎分1cmずつの割合で水を入れる。同時に水を入れ始めてからA、Bの水槽の水の深さが等しくなるのは、何分後でしょうか。時間を x 分、深さを y cmとして、考えてみよう。



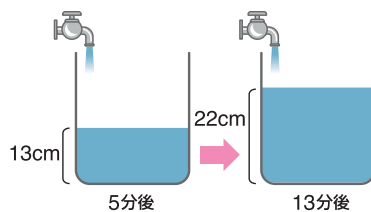
子供たちは、表やグラフをもとに意欲的に取り組み、式を連立方程式に直して求める考えにも触れていった。その後、問題を「変化の割合」が負の数になるものや答えが小数・分数になるようなものに変えていったが、既習事項をもとに表やグラフ、式を活用して、それぞれの特長に気づいていくことができた。

さらに第2段階では、1つの水槽に水を一定の割合で入れていくとき、2つの〈時間と深さの関係〉からはじめの水の深さと1分間に水槽に入れる水の量を求める問題を提示した。

子供たちは自然に1分間に入れる水の量(変化の割合)に着目して、式を求めていった。その後、問題を変化の割合が負

[第2段階ではじめに提示した学習問題]

あらかじめ水が何cmか入っている水槽に一定の割合で水を入れます。5分後の水の深さは13cmで、13分後の水の深さは22cmでした。あらかじめ入っていた水の深さと1分間に水槽に入れる水の量を求めなさい。



の数になるものや答えが小数・分数になるものに変えながら学習を深めていった。

第3段階では、一次関数の式をグラフに表す活動を行った。式から水槽や水の入り方をイメージしてグラフに表すことを確認し、水槽と式、表と式、式とグラフとの関係をしだいに理解していった。

第4段階では、これまで学習したことをもとに身近な事象を一次関数の性質を利用して解決していった。表、グラフ、式の考えを結びつけながら課題に取り組む姿が見られた。

このように、継続的に似た問題に取り組むことで、子供たちは解決の見通しを持ち、意欲的に取り組めたように思う。

3 おわりに

以上の実践例を見返してみると、次のようなキーワードが浮かび上がってくる。「視覚化」、「イメージ化」、「動作化」、「具体物」、「中心教材」などである。いずれも子供の思考の拠り所となるもの(困ったら戻って考える拠り所となるもの)を持たせられるようにすることが、学習を進めるうえでの支障を取り除き、自分の力で思考する助けにつながっていると考えることができる。自分自身の実践を見返す中から、学習障害が疑われる子供に対して効果があると思われる指導の工夫を述べてきたが、これらの工夫は単に学習障害が疑われる子供に対する支援になるばかりではなく、すべての子供の学習を支援することにつながるものである。

学習障害が疑われる子供に対しては、一人一人の状況に対応したきめ細かな指導が必要であるが、すべての子供にとってわかりやすい授業を工夫することを念頭に、さらに専門性を高め、事例を通して学んでいきたい。

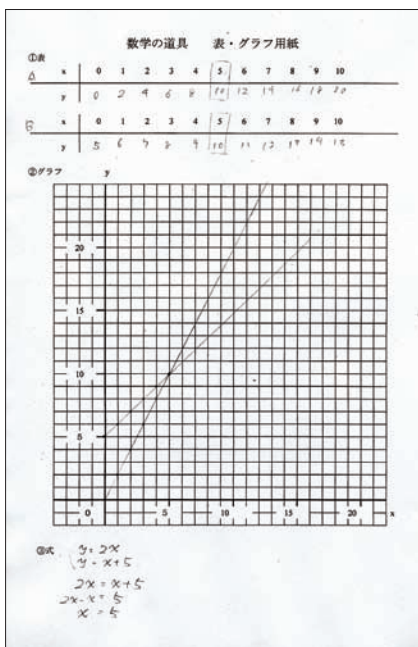
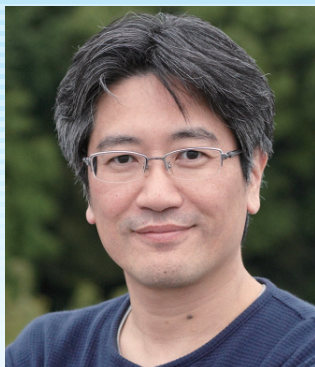


図7 子供の学習プリント

第2回

世界は数学で
できている

撮影：宮島正信

横浜国立大学大学院教授

根上 生也 / ねがみ せいや

1957年東京都に生まれる。東京工業大学理工学研究科博士課程情報科学専攻(1983年中退)。理学博士。東京工業大学助手を経て、現在、横浜国立大学大学院環境情報研究院教授。「計算しない数学」を提唱する数学者。独特な数学の世界を展開する啓蒙的な論説や著作多数。「頭がしびれるテレビ」「和算に恋した少女」などを監修。

『数学活用』のはじまり

前回は、「数学活用」という高校数学の新科目と私が委員長となって編纂した啓林館『数学活用』の存在を皆さんにお伝えしました。数学活用の目的は「数学が人とともにあること」を高校生に知ってもらうこと。その目的を実現するには、従来どおりの数学のままでは難しい。なので、今までにはないような教科書を作成した。そういうことを強調したわけですが、果たして、それはどんな教科書なのでしょう。

すでに『数学活用』の見本本を見たことのある人ならわかっていると思いますが、それは普通の数学の教科書とはまるで違います。まず、見た目がまるで違う。フルカラーで、きれいな図がたくさん載っていて、ないわけではないけれど、

あまり数式が出てこない。自分は数学が嫌いだと思っている人でも、それを手にとれば、絶対にほしくなる。そして、こんな教科書で勉強できるのなら、もう一度数学をやり直したいと思ってくれる。そういう本を目指して、デザイナーさんとともに紙面構成を工夫しました。

内容も斬新です。最初の授業で第一単元のタイトルを目にしたとき、高校生たちはさぞかし驚くことでしょう。そのタイトルとは、

世界は数学でできている

です。ずいぶんと怪しげなタイトルですね。

そして、それに続く本文には、ある朝、女子高校生が自分の部屋のベッドで目覚め、着替えて、朝食をとり、バスに乗って駅に向かい、高校に行って、自分の席に着くまでの話が書かれています。それを読んだ生徒たちは、数学の授業のはずなのに、この授業ではいったい何が始まるのだろうと、不思議に思うことでしょう。

もちろん、この女子高生の日記を読むだけで授業が終わるわけではありません。重要なのは、日常的な事柄の中にどれだけの数学を発見できるかです。それをみんなで考えること、そして、自分にとっての数学とは何だったのかを問うことがこの『数学活用』の最初の授業の目的なのです。

とはいえ、ノー・ヒントでは難しいでしょうから、教科書の見開きの左右の側注欄には、その女子高生が気づく、気づかないにかかわらず、彼女の行動と関連する数学について書かれています。そして、それぞれに対応する単元が教科書の後ろのほうに用意されているのです。

では、あなたは、朝、目覚めてから、夜、寝るまでの間にどれだけの数学に出会っているのでしょうか。そういう数学をあなた自身でいくつ発見できるのでしょうか。

数に囲まれている

おそらく誰でも、私たちがたくさんの数字に囲まれていることに気づくでしょう。カレンダーに目をやれば、きれいに数字が並んでいます。そして、テレビの画面の片隅には時刻を表す数字が置かれています。テレビの天気予報には、降水確率や予想最高気温、最低気温を表す数字が登場するし、ペットボトルや缶にはその容量を表す数字が書かれています。

携帯電話の番号だったり、硬貨や紙幣に書かれた金額だったり、バスターミナルのバス停の番号だったり、身のまわりにある数字を挙げだしたら、切りがありません。

しかし、あえて「数字」という言葉を使いましたが、本当は次の3つの意味を噛み分けて、言葉を選ぶべきなのです。

数値 通常は単位を伴って、ある意味を持つ数量

数字 十進表記法で数を表すために使う記号

数 演算や順序関係などの対象となる概念

日本人は、この3つの意味をごっちゃにして「数字」と言ってしまうことが多いようです。数値は、長さや重さや体積のように、現実の世界で日常的な意味を持っているので、誤解されにくいのですが、数字と数(かず)をよく混同します。例えば、「数学者は数字に強い」とよく言われますが、特殊な分野の専門家を除けば、数学者の大半は具体的な数字で書かれたものには関心がありません。数という概念を探究しているだけです。

また、1と0.999…は等しいのか等しくないのか、という論争も、数字による表記と数の概念を混同しているために起こることです。「0.999…は限りなく1に近づくのであって、決して1にはならない」と思っている人も多いようですが、この誤解は数列の極限と関数の極限を混同して理解しているからです。

例えば、 $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ と書いたら、 x は限りなく a に近づくのだけれど、決して x に a を代入することではないと、高校生のときに習います。一方、0.999…とは0から始めて、0.9、0.09、0.009、0.0009、…と無限に足していったときの極限として定められる1つの数のことです。仮にその数を x と置くと、次のような計算ができます。

$$\begin{aligned} 10x &= 9.999\cdots \\ &= 9 + 0.999\cdots \\ &= 9 + x \end{aligned}$$

つまり、 x は $10x = 9 + x$ という方程式を満たす数だということです。そして、この方程式の解が1になることは明らかですね。だから、1と0.999…は等しいのです。

しかし、ここで「等しい」という言い方に注意しましょう。正確に言うと、1と0.999…という十進表記で表される数が等しいということです。「数字」の並びとしては明らかに

違うけれど、それが表す「数」が同じだということです。

少々難しいことを述べてしまいましたが、「1」という数字とそれが表している“1”という概念を区別しようということです。“1”は漢数字では「一」と書くし、ローマ数字だったら「I」と書きます。数字の書き方は違うけれど、いずれも“1”という同じ数を表している。数字は人間が作り出した文化に依存して存在しているけれど、“1”という概念はそれとは独立に存在している。なので、別物なのです。

こういう哲学的な考察をしていくと、数学は世の中の役に立っているというよりも、「世界は数学でできている」と言いたくなる気持ちもわかってもらえるのではないのでしょうか。

カレンダーの秘密

では、もう少し具体的な世界の話に目を向けてみましょう。例えば、カレンダーに並ぶ数字を見て、あなたはどんな数学を感じるでしょうか。もちろん、カレンダーの数字は、それぞれの月の何番目の日なのかを表しています。明確な単位は伴っていませんが、日にちは数値の仲間です。ちなみに、あの女子高生は眠気眼でカレンダーを見つめて、去年の今日は何曜日だったのだらうと思いました。

去年の今日の曜日を覚えている人は少ないかもしれませんが、あることに気がつくと、その曜日を簡単に知ることができます。それは1年が365日だということです。そして、365を7で割ると、商は52で1余ります。つまり、1年は52週と1日というわけですね。曜日は7日ごとに同じになるので、1年経つと、まず同じ曜日が52回繰り返して、あと1日分だけ曜日が進むというわけです。つまり、今日が水曜日ならば、来年の今日は曜日が1つ進んで木曜日、逆に去年の今日ならば、曜日が1つ戻って火曜日だったということがわかります。

この考えがわかると、あなたが生まれた日が何曜日だったのかもわかるのではないですか。まず、今年のカレンダーからあなたの誕生日を探して、曜日を確認する。そして、自分の年齢の分だけ曜日を戻していけばよい。

でも、閏年が絡むとそう単純ではありません。生まれたときから今までに何回閏年があったかを数えて、さらにその分だけ曜日を戻す必要があります。その閏年の回数は年齢を4

で割ればよさそうですが、100年に1回は閏年をキャンセルするとか、400年に1回はそのキャンセルをキャンセルするとか、やっかいなルールがあるおかげで、与えられた日の曜日を一般的な式で書き下すことは簡単ではありません。

しかし、この曜日の問題は古昔から人々の関心を集めていたようで、次のような公式が発見されています。もちろん、この公式は『数学活用』の中で解説されています。

●ツェラーの公式 日曜日から土曜日までを順に1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 に対応させると、西暦 $100j+k$ 年 m 月 d 日の曜日の番号 h に対して、次の式が成り立つ。

$$h \equiv \left(d + \left\lfloor \frac{26(m+1)}{10} \right\rfloor + k + \left\lfloor \frac{k}{4} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{j}{4} \right\rfloor - 2j \right) \pmod{7}$$

ただし、1月と2月の曜日を求めるときには、それぞれ前年の13月と14月として計算する。

ここで、 $x \equiv y \pmod{7}$ は x と y を7で割ったときの余りが等しいことを、 $\lfloor x \rfloor$ は x 以下の最大整数を表しています。

日項目にしているカレンダーの数字ではあるけれど、ここまで来ると、概念としての数の世界に引きずり込まれてしまったような気分になりますね。

やっぱり世界は…

今回は、私たちを取り巻く「数」に的を絞って話を展開しましたが、私たちの身のまわりに潜んでいる数学は「数」に関するものだけではなく、図形の問題だったり、論理の問題だったり、あまり学校数学では聞くことのない構造の問題だったり、さまざまな形の数学が世の中にしみ込んでいます。日常的な事柄のはずなのに、実は数学的な深い議論と結びついているものがたくさん存在しています。

『数学活用』を読んで、そういうものの存在を知ってしまうと、やっぱり「世界は数学でできている」と叫びたくなってしまうでしょう。

実は、私は2010年にフジテレビで放送された「たけしの新教育白書」という番組に出演したことがあります。タレントさんたちを前にして、面白い数学の授業をしてほしいと依頼されたのです。もちろん、この依頼を受けたのは、多く

の人たちに「数学活用」の精神を伝えるためです。

そこで、その授業の冒頭で、私は「世界は数学でできている」と叫び、タレントさんたちの度肝を抜きました。最初は変なことを言う先生だと思われていましたが、授業が進むにつれて、タレントさんたちも私が提供する数学の世界の面白さに引き込まれていきました。

また、昨年(2012年)のことですが、サイエンスナビゲーターの桜井進さんといっしょに、NHK総合テレビの「頭がしびれるテレビ」という番組を監修する機会を得ました。谷原章介さんと釈由美子さんが「マセマティコン」という名のギャラリーのオーナーとアートディーラーを務め、そこに悩める客がやってくるという設定です。そのオーナーの決め台詞が「世界は数学でできています。数学で解決できない問題はありません」です。その最初の部分は私たちの提案だったことは言うまでもないでしょう。



図1『世界は数理でできている』(丸善株式会社)

参考のために、L. A. スティーン編、三輪辰郎訳『世界は数理でできている』(丸善株式会社)という本を紹介しておきます。題名が似ていますね。「世界は数学でできている」という発想が私独自の奇異な考え方ではないことを示してくれていると思います。



第2回

人間の距離感とスピード感



高知工科大学教授

八田 章光 / はった あきみつ

1963年愛知県に生まれる。京都大学工学部電子工学科卒業、同大学院修士課程電子工学専攻修了、博士後期課程単位取得退学。大阪大学工学部電気工学科助手、高知工科大学電子・光システム工学科助教授を経て、現在は同システム工学群教授、ナノテクノロジー研究所長、国際交流センター長。2012年より高知県教育委員会教育委員を務める。工学博士。専門は放電プラズマ工学、薄膜電子材料、エネルギー環境教育。



定量的なものの見方

定性的なものの見方と定量的なものの見方があります。定性的というのは性質だけに着目した見方や考え方で、定量的というのは正確な物理量を把握したうえでのものの見方です。直感や最初のインスピレーション、あるいは概念の形成として、定性的なセンスは大切ですが、現象を正しく認識するには正確な物理量を把握して理解することが重要です。そのためにはものの大きさや質量を正確に計測することが必要となります。定量的なものの見方が伴うことで、定性的なものの見方のセンスもさらに研ぎすまされるのではないのでしょうか。

科学技術はより正確な計測技術とともに進歩してきたといえます。計測技術の精度を上げていくことはこれからの科学

においても重要なテーマです。一方、ふだんの生活ではそれほど精度の高い計測を必要とすることはありません。料理でも、こだわってはかりやメスカップを使う人と、あくまで目分量でやってしまう人がいるようです。目分量というのも、本来の道具は用いないかわりに、さまざまな五感を活かして計測しているに違いありません。

私たちはさまざまな物理量を知覚できます。物理量を知覚し判断する能力は、人間や、広い意味では動物が本来的に備えている重要な能力と考えられます。小川を飛び越えることができるかどうかという問題は、科学的には運動能力と川幅を正確に比較することでしょう。しかしいわゆる「科学」に頼らずとも、人間は経験的に判断することができそうです。判断を誤って痛い目に合うこともあります。失敗経験が次には判断の精度を向上させることになり、あるいは運動能力を向上させるきっかけにもなり、ジャンプのコツを習得する訓練にもなります。



図1 川幅を知覚して小川をジャンプする子供

定量的にものを見るということが実は人間の運動や活動、さらにはその成長とも密接に関わっていることが想像されます。いわゆる「科学」に頼らない判断と述べましたが、実はこの定量的にものを見る能力こそが、科学を学ぶ素養であり、科学を始めるモチベーションの一つではないかと思います。生きる力につながる科学がここから始まるのです。本稿では、教育の中で、さまざまな物理量を定量的に知覚する能力を育てることの重要性を考えたいと思います。

長さや距離の知覚

物理量には人間が五感で直接知覚できる物理量と直接にはわからない物理量があります。大きさには長さ、面積、体積・容積などがありますが、いずれも視覚的に知覚、認識することができでしょう。もちろん触っても構いません。定性的

に大きい、小さいという感覚的な判断でも、実は何らかの比較をしているはずです。大きさを定量的に把握するには何らかの基準が必要になります。目盛りのついたものさしを使うと、基準となる目盛りと対象物を比較することによって定量的な把握が可能になります。

長さとはほとんど同じような気もしますが、距離という場合には視野に収まらないような空間的な長さを意味する場合があります。東京から大阪までの距離を直接に知覚することは難しいですが、例えば地図上であれば縮尺を認識したうえで知覚できます。

視野に収まらない距離は、所要時間で認識することができます。ここでは理科（小学校では算数）を活かしてみましょう。

距離 = 速さ × 時間

です。速さと時間の積で距離を認識できます。かけ算で計算して求めることを「認識」とか「知覚」というのは違和感がありますが、実は一定の速さを仮定しておけば、所要時間が長いほど距離が遠いという知覚をしています。速さは、徒歩で、あるいは車でという、現実的な移動手段に即した速さに決めることができます。

住宅の宣伝広告では、駅からの距離を徒歩10分などという表現をしています。そもそも距離そのものよりも所要時間が重要な情報であるといえます。登山やハイキングコースで所要3時間という情報は、スケジュールを立てるうえでの所要時間と、同時に体力が足りるかどうか判断する材料になります。

速さの知覚

一定の速さを仮定すれば、距離は所要時間で知覚できました。では速さそのものの知覚はどうでしょうか。速さの知覚には視覚的情報が重要な役割を果たしています。

理科で考えてみましょう。観測者が運動するとき、対象物の速さは観測者の速さを差し引いた速さに見えます。これは相対速度と呼ばれるものです。

相対速度 = 対象物の速度 - 観測者の速度

ここでは「速さ」と区別して「速度」と表現しました。一般に速度は大きさと向きを持つベクトル量、速さはその大きさのみを表すスカラー量で、これらは区別して表記されます。

車窓から見たとき、地上で静止している景色が流れる速さは、相対的に自分の運動する速さを示しますが、トンネルや地下鉄で、見る対象物が何も無いときは、自分の速さを感じることができません。

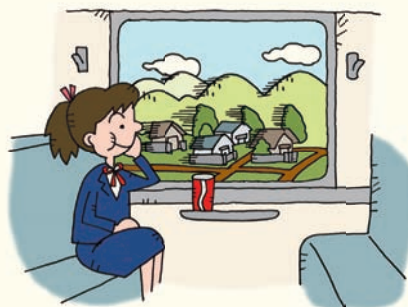


図2 電車の窓から見える景色は後方に動く

自分以外の対象物が運動している速さを認識するのも、同じく視覚的情報です。視野の中で対象物の位置が移動することで運動を認識します。

速さの知覚には対象物がどれくらい離れているのかを認識する必要があります。目の前3m先を時速10kmで視界を横切る自転車と、30m先を時速100kmで横切る自動車は、三角形の相似を考えると、動きの角度だけを見れば同じように見えるはずですが、どうやって区別できるでしょうか。

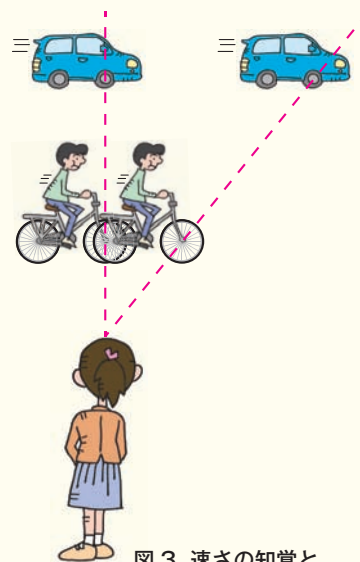


図3 速さの知覚と対象物までの距離

目の前を通過する自転車からは風や音を感じるでしょう。高速走行している自動車からは、30m離れても振動音、エンジン音や風切り音が聞こえます。自転車や自動車についておおよその「大きさ」をあらかじめ経験で知っているのだから、かなり正確な距離感を持つことができます。これらの情報から総合的に判断すれば速さを知覚できます。

近づいてくる自動車の速さを正しく知覚し、どれくらいで自分の前に到達するか予測したうえで道路を渡るという判断力は、マイカーが地上を席卷する、現代社会を生きていくうえで重要な能力といえます。

宇宙での速さ

時速 800km のジェット機から見える風景は遠くの雲やはるかに見下ろす街や山なので、意外にスピードを感じません。ところが時速 300km くらいまで減速して着陸する瞬間は、地上の建物や滑走路が間近に見えるようになりスピード感が増します。上空を通過する飛行機や人工衛星の速さも、対象物までの距離感がないためによくわかりません。流れ星は速いだろうな、という気がしますが、見て感じる速さはそれほどでもないと思いませんか。距離感がないのです。

さて天体の速さについて理科で考えてみましょう。地球は太陽のまわりを公転しています。その半径は 1 天文単位と呼ばれますが、具体的には約 1 億 5000 万 km、光の速さ (秒速 30 万 km) でも約 500 秒かかる距離です。地球の公転軌道は円周が約 9 億 4000 万 km もありますが、そうはいつでも 1 年間かけてゆっくり回っているというイメージです。理科で目にする宇宙模型や模式図が小さいために、公転軌道を 1 年かけて回る速さを実感するのは難しいでしょう。ではどれくらいの速さか計算してみましょう。

地球が太陽を回る公転軌道の円周を 1 年間、24 時間 × 365 日で割ってみます。私たちは地球号に乗って時速約 10 万 km、秒速 30km で運動しているのです。感じませんね。流れ星が秒速 40km というのは実はほとんど地球が運動する速さで、地球が宇宙の塵を掃除しながら運動しているのです。



図 4 太陽のまわりを 30km/s で公転する地球

地球の自転もかなりの速さです。地球 1 周は約 40000km です。そもそも「メートル」は地球の大きさ、子午線の長さを基準に定めたので、地球 1 周は切りのよい数字になります。赤道上にいる人は 24 時間で 40000km を走ることになるので、 $40000 \div 24 \div 1700\text{km/h}$ で運動しています。ちなみに音が伝わる速さ、音速は毎秒約 340m、時速にすると約

1200km/h なので、赤道付近にいる人はいつも音速以上の速さ、超音速で走り続けています。緯度が高くなれば自転の半径が少し小さくなりますが、それでも日本付近で時速 1000km 以上です。

目の前に流れる景色がないと速度を実感できないのです。実は目の前に何も無いわけではありません。星や太陽が動くのを私たちは日周運動として認識しています。対象物がありにも遠いためにゆっくり動いているように感じるだけです。

自動車のスピード感

自動車を運転するとき、高速道路を走行するとスピード感覚が麻痺してしまい、高速を降りた直後はつい速度超過気味になってしまうので、気をつけなければなりません。市街地をゆっくり走るときは、子供が飛び出したりしないかなど、道路の周辺にも視野を広げて、さまざまな危険を予知しながら運転していますが、高速道路でははるか先を注視し続けなければならず、逆に近い領域には注意が行き届かなくなっています。注視している対象物の距離が異なるためにスピード感が変わってしまうと考えられます。



図 5 視野にある対象物までの距離とスピード感

理科で考えます。運動エネルギーは速さの 2 乗に比例して増加します。速度の感覚よりも急速に増加する運動エネルギーは、その背後にあるリスクの急増を意味しています。時速 40km と時速 60km では、スピード感覚は 1.5 倍ですが、運動エネルギーは $1.5^2 = 2.25$ 倍ですから、リスクの知覚としては 2 倍以上に感じる必要があります。

政治の世界で「スピード感をもって対応」という言い回しがよく使われています。意味は異なりますが、正確なスピード感は人間が生きていくうえで大切な知覚です。重要な物理量の知覚には、まだまだありそうですので、次回以降でこれらの物理量についても考えてみたいと思います。❖

第2回

東日本大震災と
「科学の限界」

大阪大学全学教育推進機構准教授

中村 征樹 / なかむら まさき

1974年神奈川県に生まれる。1997年東京大学教養学部教養学科科学史・科学哲学学科を卒業、2005年東京大学大学院工学研究科先端学際工学専攻博士課程終了。博士(学術)。東京大学先端科学技術研究センター助手、文部科学省科学技術政策研究所研究官を経て、2007年より現職。専門は科学技術社会論・科学技術史。最近の編著に『ポスト3・11の科学と政治』(ナカニシヤ出版、2013年)。

失敗した津波警報

東日本大震災で私たちは、津波の恐ろしさを改めて実感させられた。

約2万人の人々が生命を奪われ、あるいは行方不明となった。とりわけ被害を拡大させたのが、巨大地震によって引き起こされた津波だった。津波は防波堤を越えて家屋を飲み込み、あたり一面の一切合切を根こそぎもぎ取っていった。テレビに映し出された津波の映像には言葉を失うほかなかった。東日本大震災で奪われた生命の9割以上が、津波によるものといわれている。

今回の震災では津波警報の抱える問題が浮き彫りになった。津波による被害を最小限に食い止めるはずの津波警報は、今回、必ずしも有効に機能せず、むしろ被害を拡大させた。

気象庁が地震直後に発表した「予想される津波の高さ」は、実際に被災地を襲った津波の規模を大きく下回るものだった。

地震発生から3分後、岩手県や福島県で発生する津波について、気象庁は高さを3メートルとする津波警報を発表した。しかし実際の津波の威力はそれを大きく上回ることになる。地震からおよそ30分後、津波予想は倍の6メートルに引き上げられた。その直後、10メートルを超える津波が沿岸部を襲った。津波警報が10メートル以上に更新されたのはその直後のことだった。津波の高さが過小評価されたため、少なからぬ人々が避難せず、被害を拡大させたものといわれている(『ロメテウスの罠2』朝日新聞特別報道部)。

津波の高さはなぜ過小評価されたのか。震災後、気象庁では津波警報をめぐる課題について検討を行い、2011年9月、「東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報の改善の方向性について」を発表した。

連載第2回目の今回は、同文書と朝日新聞連載「プロメテウスの罠」での津波警報に関する報道を参照しながら、震災を通して浮き彫りになった「科学の限界」について考えたい。

過小評価された津波の規模

なぜ津波の規模は過小評価されたのか。その原因は、当初、地震規模が過小評価されたことにあった。

気象庁では、迅速な津波警報の発表を行うため、地震規模を算定する際に二種類の計算法を利用している。地震発生から3分程度で計算される気象庁マグニチュードと、地震のメカニズムの解析結果をもとに算出されるモーメントマグニチュードである。

前者は正確性には劣るが迅速に計算できるという利点がある。後者は、算定に15分程度の時間がかかるが、地震規模を正確に推定できるという長所がある。通常、気象庁では、とりあえず気象庁マグニチュードをもとに津波の規模を推定して津波警報を迅速に発表し、その後、モーメントマグニチュードの算定に基づいて津波警報を必要に応じて更新するという体制をとっている。

速報性と正確性。津波警報に求められる二つの要素を実現するために編み出されたのが、このような手続きであった。

今回の震災で気象庁マグニチュードによって算出された地震規模は、マグニチュード 7.9 であった。これは、宮城県沖・三陸沖でそれまで予想されていた地震規模とも合致していた。マグニチュード 7.9 という地震規模と推定された震源に基づき、地震発生から 3 分後、宮城県で 6 メートル、岩手・福島両県で 3 メートルという津波警報が発表された。

しかし今回、地震直後に算定された気象庁マグニチュードは、地震の実際の規模とは大きく食い違っていた。その後、判明した実際のマグニチュードは 9.0 であった。このずれは極めて大きい。マグニチュードの数値が 1 増えると、地震のエネルギーは約 32 倍になる。東日本大震災は、当初推定された規模の約 45 倍の地震だったことになる。この食い違いが、津波規模の推定を大きく誤らせることになった。

さらに今回の震災では、地震発生から 15 分後に計算されるはずだったモーメントマグニチュードについても、国内の地震計の測定範囲を上回っていたためデータが得られず、計算ができなかった。

気象庁では、GPS 波浪計で観測された潮位の急激な上昇に基づき、地震から 30 分後、津波の高さ予想を引き上げた。

「3分程度」という制約

気象庁は東日本大震災に先立って、地震発生から 3 分程度をめどに警報を発令するという自主目標を設定していた。1993 年の北海道南西沖地震で地震から 3 分後に沿岸部を津波が襲い、警報が間に合わなかったという教訓を踏まえてのことである。多少の正確性を犠牲にしてもできるだけ早く警報を出すこと、それは津波による被害を最小限に抑えるためには欠かせなかった。そのために利用した気象庁マグニチュードが、東日本大震災では津波の過小評価をもたらすことになった。

このような事態を私たちはどう受け止めればいいのか。

気象庁は、今回の事態を踏まえ、気象庁マグニチュードが実際の地震規模と大きく食い違う可能性のあるマグニチュード 8 を超える巨大地震について、より適切な評価を可能とする

手法・体制を導入していくものとしている。これは、より正確な津波の予測を迅速に行うための技術的な改善策である。そのようなかたちで、精度を技術的に向上させていくための取り組みは欠かせない。

しかしここで注目したいのは、その際、特にマグニチュード 8 を超える地震について、「(地震の) 規模を 3 分程度で正確に算出可能な手法は現在及び当面存在しないこと」が前提とされている点である。上述の改善策は、そのような前提のうえで、気象庁マグニチュードが実際の地震の規模を過小評価している可能性をいち早く認識し、地震規模のより適切な推定を行おうとするものである。これは、3 分程度で津波警報を出す必要があるにもかかわらず、マグニチュード 8 を超える地震ではその前提となる地震規模の正確な算出が不可能だという状況のもとで考え出された苦肉の策である。

津波警報は、3 分程度の時間では地震規模を正確に算出することが不可能であるにもかかわらず、3 分でできるだけ正確な予測を導き出さなければならないという困難な状況に置かれているのである。

「科学の限界」

気象庁マグニチュードは、マグニチュード 8 以下の地震についてはそれなりに正確な規模の推定を行うことができる。津波予測も、予測がやや過大になるとの評価はあるものの、おおむね良好に機能してきた。そのため、これまでの地震では、とりえず気象庁マグニチュードの推定に基づいて津波警報を発表するというかたちでうまくいっていた。

しかし、わが国の観測史上最大のマグニチュード 9.0 を記録した今回の震災では、そのようなやり方の限界が浮き彫りになった。

「3 分」の制約が従来になく障壁として立ち上がった。3 分という時間的制約のもとで推定された地震規模は、実際の地震規模と大きく食い違い、その結果、津波の予測は大きく外れた。本来、地震規模を正確に評価できたはずのモーメントマグニチュードも、巨大地震ゆえに地震計の測定範囲を超えてしまったため、計算に必要なデータが得られず、導出することができなかった。時間の制約と、データの欠如という制約が、津波規模の科学的な予測を極めて困難なものにした

のである。もっと時間があれば、きちんとしたデータがあれば、正確な予測を行えたのであろう。しかし、想定を大きく上回る地震によって、そもそもその前提が大きく覆されたのであった。

このような制約のもとで科学の担いうる役割は、極めて限定されたものとならざるを得ない。私たちは今回の震災を通して、そのような「科学の限界」について考えざるを得ない。科学には何ができるのかだけではなく、現実のさまざまな制約のもとで、いったい何ができないのか、何がわからないのか。そのことを真正面から見据えることの必要性を、私たちは今回の震災を通して改めて突きつけられたのではないか。

「科学の限界」は、東日本大震災のさまざまな場面で浮き彫りになった。そして、「科学の限界」を伝えていくことの必要性が、多くの関係者の口から語られるようになった。

日本地震学会は2012年10月、震災を踏まえて「日本地震学会の改革に向けて：行動計画2012」を発表した。そこでは、「地震予知への取り組みを見直すこと」が掲げられた。

地震の予測には、(1)地震直前の現象をとらえて地震がいつ起きるかを事前に予測しようとする「短期的予知」と、(2)長期予測を含み、確率で表現されるより一般的な地震の予測の二種類がある。一般的に私たちが「地震予知」という言葉で期待するのは前者の短期的予測である。行動計画によれば、そのような意味での「地震予知」は「現時点では非常に困難」である。また、今回の震災の震源地となった三陸沖は、国の地震対策において盲点となっていた。この点についても、日本海溝で発生する地震の長期評価には限界があることが伝わっていなかったことが問題として指摘される。

そのうえで、行動計画では、現在の地震学の知見にはどのような限界があるのかも含めて、地震学の現状を社会に対して丁寧に伝えていくことの必要性が強調されている。

また、別のところで東京大学地震研究所の太木聖子氏は、科学の限界を踏まえれば想定外の事態が発生することは避けられないにもかかわらず、これまでの地震学はそのような「想定外」を伝えきれていなかった」と指摘している(『科学技術白書平成24年版』)。

現在の科学でわかっていることだけではなく、何がわかっていないのか、どのような限界があるのかを冷静に見極められるようになること、そのうえで、そのような限界にどう対応す

るかを考えていくことが、以前にもまして重要になってきた。そして、そのような限界を踏まえた仕組みを構築していけるか否かが、新たな課題となっている。

津波警報の限界

さて、津波警報の話題に戻ろう。

気象庁マグニチュードにより地震発生から3分程度で津波警報を発表したのち、モーメントマグニチュードの算定に基づいて津波警報を必要に応じて更新するという体制は、一見、速報性と正確性を両立させる優れた妥協策であるように思える。しかし、実はここにも落とし穴がある。

被災した岩手・宮城・福島三県の住民を対象に内閣府などが行った調査によれば、そもそも津波警報を見聞きした住民は全体の4～5割程度にすぎなかった(「津波警報の改善の方向性について」参考資料1)。さらに、地震から約30分後には津波の高さ予測を引き上げる津波警報が発表されたものの、更新された津波警報を見聞きした住民は全体の3～4割程度にすぎなかった。避難のため津波警報を聞く余裕がなかった住民も少なからずいたとはいえ、6割以上の住民が当初の津波警報の情報だけを頼りに行動したのであった。

このことは、モーメントマグニチュードによって地震規模を正確に推定し(ただし今回はそれも機能しなかったのだが)、それに基づいてより正確な津波規模予測を行ったところで、その情報が人々のもとに届くとは限らないことを意味する。地震の影響で停電になりテレビ・ラジオが使えなかったり、場合によっては携帯電話も使えないような状況で、更新された津波予測を受け取れない場面は容易に想像できる。もちろんそのような状況でも必要な情報を住民に届けられるようなインフラの整備は欠かせない。とはいえ、それでもそのような場面がなくなるわけではない。

津波警報の情報がどう届くのか、あるいは届かないのか。津波警報について考える際には、津波の高さ予測の精度だけではなく、そのような問題も無視できない。

津波警報の予測がうまく機能しなかったとき、あるいは津波警報がそもそも届かなかった場合にどのように行動できるのか。人々の防災行動を津波警報の限界を踏まえた対応としてとらえていくことが求められている。



サイエンスキッズ クラブを中心とした 理科支援活動



NPO法人 教育活動総合サポートセンター理事
理科教育支援担当

川田 潔 / かわだ きよし

はじめに

2004年8月に発足したNPO法人教育活動総合サポートセンターは、今年9年目の活動を展開中である。神奈川県川崎市内の小・中・高の学校を退職した教員有志が立ち上げたNPOである。設立時の合い言葉は「子らに力を」「子たちと夢を」であった。民間のマંションの一室に事務所と相談等の窓口を置き、学習支援を始めた。31人の仲間が、長年お世話になった市民への恩返しの気持ちが働いてのことであった。

筆者も発足当時から、メンバーの一員として、登校支援、学習支援を必要とする子供たちの指導や保護者の相談に応じながら、その実態を掴むとともに理科支援や自然体験、理科工作などのクラブ活動を展開してきた。

ここでは、理科教育に係るサイエンスキッズクラブの活動を中心としたこれまでの活動経過と成果、および今後の方向について述べ、関心ある諸兄のご叱正を仰ぎたい。

理科支援活動を支える基盤づくり

サポートセンターにやってくる子供たちとの出会いで目立つのは、自分の居場所がないことや体験不足、自己肯定感が弱いことなどである。これらの子供たちには、その子なりの課題に合った支援の仕方が求められるが、理科教育に関する支援も同様である。支援スタッフは、自然体験、ものづくり、科学館や博物館等の見学のプランを用意し、一人一人の子供の目や心を開かせ、「自分にもできる」を実感させることが必要である。幸いスタッフとして現役時代の理科教育研究会で常任委員を経験してきた仲間が多い。これらの人材の

能力と技を結集して、子供たちに自信を持たせ、学ぶ喜びを喚起し、他（人・もの・こと）との関わりがより円滑にできる力（生きる力）を理科学習支援として計画し、野外活動や科学工作など現場でできなかったことをボランティア精神で展開しようと結集したのである。

サイエンスキッズクラブの誕生

サイエンスキッズクラブの^{きまがけ}魁となったのは、サポートセンター内で終始座学を続け、算数や国語を学習する子供の姿であった。学習支援を必要とする子供たちであるが、集中力の欠如は共通である。そこで座学だけでなく、時々近くの公園や広い丘のある広場などに連れて行き、草花や虫、鳥などに触れたり観察したりする機会を計画したことである。

2006年に川崎市に本社のあるT社の財団より、「理科離れを防ぎ、理科好きな子供を育てる」教育研究団体の研究助成の応募の動きが伝わってきた。これが「渡りに船」となり、サイエンスキッズクラブが誕生することとなった。

サイエンスキッズクラブの活動

（1）クラブ活動の特徴

サポートセンターの活動は年間を通じて行われているが、サイエンスキッズクラブの活動は、時期や場所、スタッフが限られている中で、運営を柔軟にして活動を進めている。キッズクラブの子供たちの学校や年齢が異なるほか、住まいも離れており、活動場所までの交通手段や時間もそれぞれ異なるからである。また、支援スタッフも遠距離に住んでいる者が多いからである。

表1 クラブ活動の内容

題材	活動内容
生物系	野菜と遊ぼう、草木染め、夜の昆虫採集、押し花づくり、球根を植えよう、葉脈標本づくり
化学系	スライムづくり、備長炭電池、シャボン玉、クロマトグラフィー、鉄の燃焼
電気系	電気くらげ、リニアモーターカー、電気迷路
物理(工作)系	熱気球で遊ぼう、CDスライダー、偏光万華鏡、ピンホールカメラ、くるくるアニメーション、パタパタ板がえし、ポンポン蒸気船、紙玉鉄砲、水に浮かぶ一円玉、ストロー天秤
地球・気象系	大気圧の圧力、移動式百葉箱
その他	夏休みの自由研究ガイド



図1 活動の例 ポンポン蒸気船づくりでは、水が蒸気になると大きな力が出てきて船を動かす推進力になることや、液体と気体の体積の違いを気づかせる活動を行った。子供たちは互いの船の動きやつくりを比べて、より速く動く船のつくりを話し合い、改良をしていた。

(2) クラブ活動の運営と参加する子供たち(平成23年度の例)

① 青少年の家の活動プラン「おもしろ放課後学習」と連携

活動場所に近い小学校3校の3年生から5年生を対象として毎月、第2・第4水曜日(夏休みを除く)の活動参加を呼びかけ実施している。理科に関心を持つ子供を約40人募集して6月から3月まで実施、年16回、延べ300人が参加。

② 生涯学習財団主催の夏休みキッズセミナーへの参加

夏休みの5日間、川崎市中原区、高津区、多摩区などの学校へ募集を行い、理科の自由工作や自由研究などの作品づくりにチャレンジする。午前・午後、あわせて10講座、延べ400人が参加。

③ 青少年の家のサポート事業(ふれあい宿泊活動でのクラブ活動)

年4回、青少年の家で行われる宿泊を伴う体験活動としてのクラブ活動。サポートセンターの計画による理科体験活動を実施。日常的にサポートセンターで、理科以外の学習に取り組んでいる子供も含めて、毎回、金曜日から土曜日実施。年4回、延べ50人が参加。

④ サポートセンターの計画によるサイエンスキッズクラブの活動

川崎市の中原区、高津区、多摩区のJR南武線沿線の学校に呼びかけ、3年生から5年生を対象に実施。1月から3月の

土曜日・日曜日の午前中、あわせて10回実施。延べ150人が参加。

(3) クラブ活動の運営

上記の①～④までの4つの活動は、カリキュラム作成に携わる3～4人の理事を中心に企画され、参加スタッフの会議に図られ、年に3回材料の準備を行い、実施されている(表1、図1)。

今後の方向

現在の活動は、川崎市内でも3区に偏っており、川崎市が7区あることを考えると課題も多い。今後は次のことを目標にして前進していきたいと考えている。

- (1) 川崎市南部の川崎区、幸区にも活動拠点を広げたい。
- (2) 理科教育研究会の常任委員で退職した教員に働きかけ、スタッフの充実を図り、理科離れ、理科嫌いを支援する。
- (3) 身近な自然や材料を生かし、子供がいっそう充実感を持つ教材の開発を進めたい。
- (4) 保護者も含めた親子理科教室を企画し、実施していく。
- (5) 市民にこの活動を積極的にPRし、より多くの子供たちにサイエンスキッズクラブへの参加を促していく。❖

..... 編集後記

昨年末、国際数学・理科教育動向調査(TIMSS)の2011年の結果が文部科学省より公表されました。学力調査の結果では、小4の算数・理科では得点が向上し、全体的に「脱ゆとり教育」の効果で学力が向上したとの分析です。しかし、同時に行われた意識調査では、学習意欲が中学生になると低下し、依然として国際的に低い水準との結果です。理数離れの対策に課題が残る調査結果となりました。

次号では、理科教育の立場から防災教育を特集します。

(財)理数教育研究所 事務局

近代化学の父ラボアジエとその妻

(1788年フランスの画家ルイ・ダヴィッドが描く。
メトロポリタン美術館蔵)

私たちは、物が燃えたり人間や動物が呼吸したりするとき、空気中などの酸素が使われていることを知っています。実は、この「常識」は主としてここに描かれているフランスの化学者アントワーン・ラボアジエ（1743～1794年）と実験助手として支えた妻マリーの貢献によってもたらされたものです。二人の幸せそうな姿は、この絵が描かれた翌年に起こったフランス革命によって打ち消されました。徴税請負人という彼の経歴が問題となり逮捕され、やがて断頭台の露と消えたのです。科学の世界も政治・経済など社会と深く関わっていることを知る一事例です。

大阪教育大学名誉教授 鈴木 善次



© The Bridgeman Art Library/amanaimages

Rimse (リムス)

No.3

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 4-3-23
TEL.06-6775-6538 / FAX.06-6775-6515

東京オフィス

〒113-0023 東京都文京区向丘 2-3-10
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：半透明の立方体と四角形

©TATSUHIKO SAWADA/orion/amanaimages