

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No.5

AUGUST
2013

特 集

防災教育における 理科教育の役割 Ⅱ

CONTENTS

巻頭言

近頃思うこと 表紙裏

東京工業大学 特任教授

自然科学研究機構 基礎生物学研究所 名誉教授 大隅 良典

特集 防災教育における理科教育の役割 II

I 防災教育のための

火山災害・土砂災害の基礎知識 2

岩手県立大学総合政策学部 准教授 伊藤 英之

II 理科教育における気象と災害

—取り戻せ、地域みんなの気象情報— 7

京都大学情報学研究科 竹之内 健介

III 放射線(原子力)教育を考える

—「自ら考え、判断する力」を身につけるために— 11

大阪大学コミュニケーションデザイン・センター 准教授 八木 絵香

連載 数学は人とともにある 第4回

もっと自由に考える 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4回

空気の重さと風の力 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4回

サイエンスカフェ 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4回

地域における理科・環境体験支援活動 24

滋賀理科大好き研究会 会長

栗東青少年少女発明クラブ 会長 川崎 睦男

科学史の散歩道 第5回

サルにされたチャールズ・ダーウィン 裏表紙

大阪教育大学 名誉教授 鈴木 善次

巻頭言



東京工業大学 特任教授

自然科学研究機構 基礎生物学研究所 名誉教授

大隅 良典 / おおすみ よしのり

1945年福岡県に生まれる。1967年東京大学教養学部基礎科学科卒業, 1972年同理学系研究科相関理化学専門課程博士課程単位取得退学。理学博士。1974年米国ロックフェラー大学博士研究員, 1977年東京大学理学部植物学教室助手, 同講師, 1988年東京大学教養学部助教授, 1996年岡崎国立共同研究機構基礎生物学研究所教授, 2009年東京工業大学フロンティア研究機構特任教授。専門は分子細胞生物学。一貫して酵母を用いた分子遺伝学, 分子生物学, 細胞生物学的手法で液胞機能を研究, 世界的なオートファジー研究を推進。日本生化学会, 分子生物学会, 細胞生物学会, 植物学会会員, 日本学術会議准会員, EMBO member。受賞歴: 藤原賞(2005), 日本学士院賞(2008), 日本植物学会学術賞(2009), 朝日賞(2010), 京都賞(2012)。

近頃思うこと

私はこれまで基礎生物学分野の研究者として、40 数年を大学や研究所で過ごしてきました。いつのまにという思いがしていますが、近頃思うことの一端を述べてみたいと思います。

私は 1945 年の終戦の半年ほど前に生まれました。私の子供だった頃は、わずか 60 年ほど前のことですが、まだ電化製品などほとんどなく、井戸、かまど、七輪などが主役の生活でした。家々のまわりには自然がたくさん残されており、林、川、海辺、田んぼや畑で季節を感じながら生活していました。そして、自然からいろいろなことを学んできたことが、これまでの自分の糧になっていると感じています。

最近、感じることの一つは、生物学を志している学生でも身近な動植物に驚くほど関心や知識がないことです。衣食住に関わるものは店先に並べられていて、生活の中で実感する機会がないのは当然かも知れません。

今日、テレビ、パソコン、インターネットなどの情報機器の進歩は目覚ましく、私たちの生活を一変させました。確かにインターネットの威力は素晴らしく、決して目の当たりにはすることのできない、遠い世界の膨大な情報を瞬時に与えてくれます。わからないことがあれば、大抵のことに即座に答えらしきものを手に入れることができます。私たちの世代と違って、今の若い世代は、はじめからこれらのものが生活の一部になってきています。ネットなどから得られる情報は、美しく抽出されていて、映像は実に感動的で視覚に訴えてきます。いつのまにか、バーチャルな世界が広がっていきます。しかし、実際に経験する現実の世界は、複雑な要因が絡んで多くのバリエーションがあり、一見、何が本質なのか中々わかり難いものです。

実際に顕微鏡で観察すると、初めて顕微鏡を見る学生には、視野の中に観るべきものがなかなか見えないことがよくあります。注意深く観察し、一旦見えてくると、それからはうまく対象を捉えることができるようになります。「見る」ということと、「観る」ことには大きな違いがあります。

さらに「知っている」とこと、「わかる」ということには大きな乖離^{かいり}があります。この頃私は、高校生に話をする機会があると、敢えて植物の液胞の話をするにしています。ほとんどの生徒は、植物細胞の特徴として大きな体積を占める

液胞があることを知っています。そこで“なぜ植物は大きな液胞を持っているのでしょうか”と問いかけをします。なかなか即座に返事がないし、わかりませんという生徒が大半です。この質問は植物の生き方をいろいろな角度から考えるきっかけを実にたくさん含んでいます。このように私たちの身近な所には、さまざまな興味を引かれる問題が隠されています。単に事実として知っているのではなく、そこから考えを巡らすことで世界が拡がり、思いが豊かになるに違いありません。

今の状況はすさまじいほどの情報過多で、考える前にどこからか情報を取ってくることのほうが容易に違いありません。人間の最も大切な特性は自分で感じ、考えることだと思います。権威ある人の見解や教科書をそらんじるよりも、自分の言葉で語られることに感動することは誰もが経験していることだと思います。情報はまず選別し、自分で考えるためにそれを利用することが何よりも大切だということがもっと強調されていいと思います。

生物学の発展で、ヒトゲノムや多くの生物のゲノムが解読され、また世の中では再生医療などに注目が集まっています。この頃の学生の大半が口にする言葉に“人の役に立ちたい”という文言があります。一見、人として当然で素晴らしい考えのように思えますが、「役に立つ」とは一体何かということに関してそれほどしっかりした考えを聞くことはありません。世の中がもてはやす、役に立つこととは、すぐに実用化されて企業化されることと同義のように思えてなりません。しかし、何が真に役に立つことなのかはそう簡単な問題ではありません。原子力発電は夢の技術だと思われた時期がありましたが、そのことは長い人類の歴史の中で検証される必要があります。

私たちの自然の理解は不完全で、たくさんの謎だらけです。教育の基本として、わかっていることを教えると同時に、まだ何がわかっていないかを語ることが重要ではないかと思います。科学の世界では、正解と思っても、次々と新しい事実によって覆されて、いつも新しく塗り替えられて理解が進んでいきます。いろいろなことに疑問を持つ姿勢と自由な発想を大切にすることで、若い世代が個性豊かになり未来に希望を膨らませることができると思います。



防災教育における 理科教育の役割 II

I 防災教育のための火山災害・土砂災害の基礎知識



岩手県立大学総合政策学部 准教授

伊藤 英之 / いとう ひでゆき

1966年北海道に生まれる。1992年新潟大学積雪地域災害研究センター研究生、1993年（財）砂防・地すべり技術センター入社、途中、北海道大学大学院理学研究科受託研究員兼任、2005年から3年間国土交通省国土技術政策研究所へ研究官として出向、（財）砂防・地すべり技術センター総合防災部技術課長代理を経て、2009年10月より現職。博士（理学）。専門は火山地質学、火山防災、災害情報学。東日本大震災以降、三陸ジオパークなどの地域復興にも力を入れる。

1 はじめに

東日本大震災以降、しばしば地震と火山噴火の連動が注目され、連日のように富士山の噴火がマスコミを賑わせている。また、今年に入ってから、箱根山直下での地震活動の活発化などもあり、噴火災害への関心も高まってきている。

一方、マスコミで取り上げられる災害の情報は、興味本位で不安感を煽り立てるものや、誤った事実認識に基づいて番組や記事が構成されているものなど、実際の危機に^{たいじ}対峙したときに、誤った行動を誘発するおそれのあるものも少なからず見受けられる。したがって、社会的に災害への関心が高く、災害に関する情報に接する機会の多い今こそ、正しい知識と経験を身につけるべきである。

20世紀に発生した噴火のうち、人的災害にまで発展したものの多くは、噴火の予兆現象を見逃したなどの技術的な問題が原因ではなく、社会対応の失敗が原因である。また、噴火より高頻度で発生する土砂災害についても、その人的災害の多くは、災害に関する知識の欠如や認識の甘さが原因である。

本稿では、火山災害や土砂災害について、理解しておきたい災害の特徴について述べる。その後、現在筆者が取り組んでいる防災教育の実例を紹介する。

2 火山災害の基礎知識

① 火山防災マップから基礎知識を読み取る

火山噴火に伴って発生する現象は多岐にわたり、現象ごとに災害の形態が異なるうえに、火山によって固有の特徴があるため、本稿では、それらについて一つ一つ解説することは避け、火山災害の側面から本質的なポイントに絞って話を進める。

火山噴火は火山ごとに固有の「癖」があり、その「癖」を理解することが減災への近道である。

火山特有の「癖」を顕著に表現しているものの一つとして火山防災マップが挙げられる。火山防災マップとは、詳細な地質調査結果から得られた噴火履歴をもとに、その火山で起きやすい噴火の癖を噴火シナリオとして整理し、そのシナリオが現在の地形条件下で発生した場合の影響予測を地図上に表現したものである。

図1に岩手山火山防災マップ¹⁾を示す。岩手山火山防災マップで想定されている現象は、降灰、噴石、溶岩流、火砕流・火砕サージ、融雪による火山泥流、土石流であり、それぞれの影響範囲が重なり合って表現されている。

火山防災マップは、その火山でよく起こる特徴的な癖を反

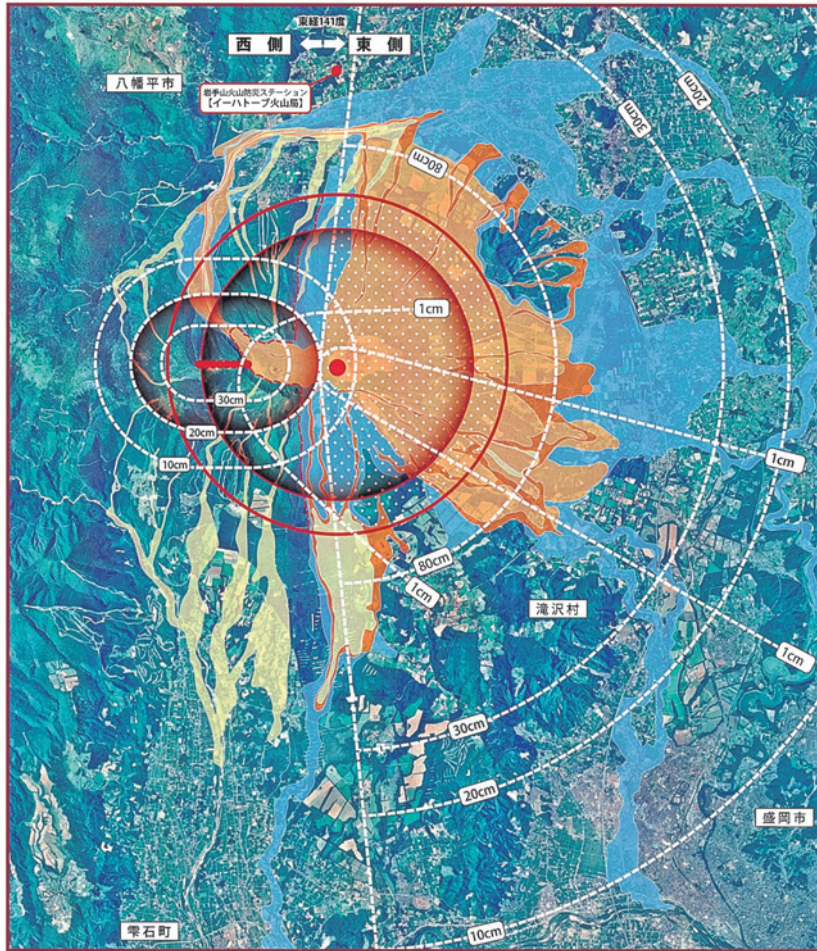


図1 岩手山火山防災マップ

提供：岩手河川国道事務所

映していることから、火山防災マップを読み解くことで、火山に対する基礎知識を十分身につけることができる。

しかし、火山防災マップを読む際には、いくつか注意を要する点もある。以下に岩手山火山防災マップを例として、その注意点を列記する。

火山灰が降り積もる範囲 図1では、岩手山山頂（薬師岳）を中心として、東側に扇形に広がる火山灰の想定堆積厚が10cm刻みに描かれている。火山灰の降り積もる範囲を規定するのは、噴火時の風向きである。したがって噴火と同時に扇形に示された範囲に一齐に火山灰が降ってくるわけではない。図1をよく見ると、薬師岳から右下に向かって「1cm」の表示がある直線が2本描かれている。この2本の直線で囲まれた範囲が、岩手山付近における年間卓越風時に噴火が発生した場合の火山灰の堆積予想範囲である。これは、扇形で示された火山灰の想定分布範囲より、かなり狭い。すなわち、火山灰が降ってくる範囲は、そのときの気象条件によってい

くらでも変わり得る点に注意する必要がある。

また、火山灰の堆積と土石流の発生には密接な関係があり、火山灰が厚く積もった斜面では、わずかな降雨によっても土石流が発生することが知られている。したがって、谷の源頭部に火山灰が厚く降り積もった場合は要注意である。

溶岩流・火砕流/火砕サージ 溶岩流は高温ではあるが、よほどの急斜面や粘性が極端に低くないかぎり、歩くくらいの速度でゆっくり流下する。一方、火砕流は高温のマグマ片や火山灰、火山ガスなどが高速で流れる現象で、ときに100km/hを超える。火砕サージは火砕流の上部に見られる雲状の部分で、火山灰と火山ガスから構成される。火砕サージは、谷のカーブなどで、ときに火砕流本体から分離して流下することがあり、1991年9月15日の雲仙普賢岳噴火では、分離した火砕サージが小学校を全焼させている。

これらの現象は、火口縁の地形的に低い所から選択的に流下するという特徴を持っている。また、これらの現象は、噴火と同時に図

に示された範囲に瞬間的に影響するわけではなく、この範囲のどこか1つあるいは2つ程度の谷を埋めるように流れていくはずである。実際の噴火では、爆発によって、現在の地形が破壊され、火口付近の地形が大きく変化する可能性もあるため、岩手山火山防災マップでは、あらゆる方向に溶岩流、火砕流それぞれのシミュレーションを行い、それらの計算結果をすべて含む形で表現している。

季節によって起こる現象・起こらない現象 火山灰が斜面に堆積した状態で降雨があると、雨水が斜面に染み込むことができなくなり、火山灰の表面を流れ出すことにより土石流が発生する。すなわち雨の降らない冬に土石流が発生することはない。

一方、積雪上を高温の火砕流や火砕サージが流下すると、積雪が一気に融解して大量の融雪水が発生し、それが斜面上の土砂や流木を巻き込んで発達する。これが融雪型火山泥流であり、雪の降らない夏場には発生しない。

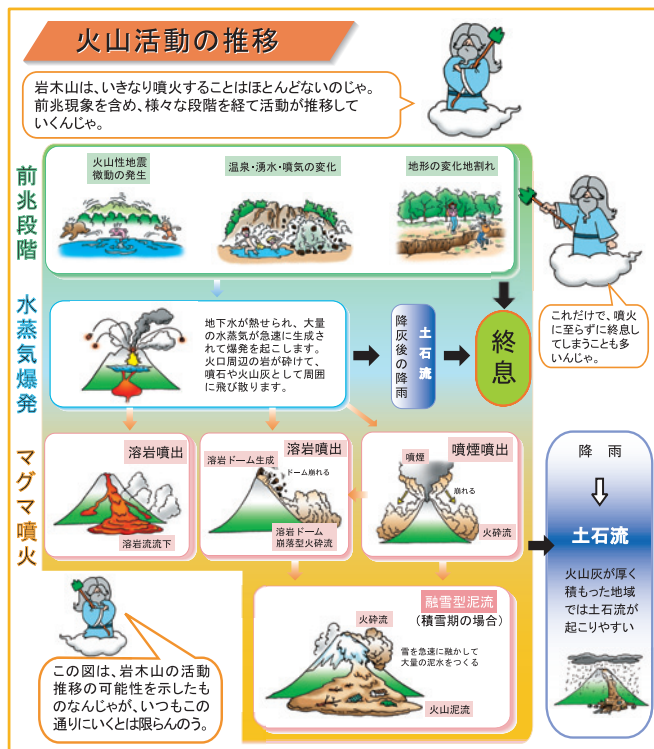


図2 火山活動の推移を表示した事例(岩木山火山ハザードマップ)
提供：青森県河川砂防課

青森県にある岩木山火山ハザードマップ²⁾や秋田焼山火山防災マップなど、一部のマップには、災害が時間を追って拡大していくことを表示しているものもある(図2)。

ii 火山防災マップに表現できない大切なこと

噴火はすぐに破局的にはならない 噴火活動は、噴火開始から段階を経て影響範囲が拡大していくのが一般的であり、噴火と同時に色づけされたすべての範囲が瞬時に壊滅してしまうことはない。したがって、噴火が始まったただちに避難という状況は、登山中など火口に近い所にいないかぎり、そう簡単には起きないのである。

マップに記述されない現象も起こる 通常、火山防災マップには人的災害を起こす能力を持った現象が中心に描かれている。しかしながら、マップには表現しにくいが注意しておくべき現象も少なからず存在する。その代表例が空振である。空振とは、爆発によって火口周辺の空気が瞬時に圧縮され、衝撃波となって遠方まで到達する現象で、ときに衝撃波によって窓ガラスの損壊や建物の振動などが起きる。

火山の熱は表現されない 火山活動を発生させる原動力の一つは、火山の持つばく大な熱量である。同じ質量の火砕流が斜面上にあっても、火砕流の温度が違くと到達距離

が極端に異なり、高温の火砕流ほど、より遠方に到達することが実験で証明されている(伊藤ほか, 2012)³⁾。また、溶岩流が流れてくる前面では、溶岩流からの輻射熱により火災が発生するおそれも示唆される。さらに、火口から飛散する噴石によって火災が引き起こされることは、火山災害の現場でしばしば目撃する現象である。しかしながら、これらのことは火山防災マップ上には表現されない。

複合的に起きるもの・単独で起きるもの 爆発的な噴火の場合、火口からは火山灰とともに噴石が放出され、火口周辺に放物線を描きながら落下する。また、軽石の放出を主体とする噴火(プリニー式噴火など)では、火口上空に形成された噴煙柱が崩壊して、火砕流となることもある。これらの噴火では、火山灰の放出と噴石や火砕流が同時に発生する(図3)。



図3 火山灰が積もった後、噴石で打ち抜かれた住宅
(2000年有珠山噴火)

一方、溶岩流の場合、大量の火山灰放出を伴うことはあまりなく、火口から穏やかに流出するだけのことが多い。ただし、粘り気の強い溶岩の場合、溶岩ドームを形成し、その溶岩ドームの一部が崩落して火砕流となることもある。

iii 火山防災マップはあくまでも目安

東日本大震災では、津波防災マップに示された浸水区域を大きく越えて津波が押し寄せ、非常に多くの人が亡くなった。太平洋沿岸各地の自治体では、これまでの津波災害の経験から、津波防災マップを準備し、津波災害に備えていた。しかしながら、想定を超える津波が発生し、甚大な災害へと発展した。

一方、岩手県釜石市では、この災害禍のなか、学校の管理下にいた児童・生徒の99.8%が津波の難から逃れている。長

年、釜石市で津波防災教育を実践してきた片田(2012)⁴⁾は、津波避難三原則(想定にとらわれるな、ベストを尽くせ、率先避難者であれ)を徹底させていた。釜石市の児童・生徒らがそれを当然のごとく実践した結果であると述べている。

片田が提唱する避難三原則に、「想定にとらわれるな」がある。相手は自然現象であることから、その規模は想定よりも大きくなる場合も小さくなる場合もあり得る。また、従来とは全く違う形態の災害に発展する場合もあり得る。したがって、火山に限らず、防災マップを用いて災害時のさまざまな状況をイメージし、局面に応じた行動を促す能力を養うことが重要であると考えられる。

3 土砂災害の基礎知識

土砂災害も火山災害と同様に多種多様であり、土石流、斜面崩壊(表層崩壊および深層崩壊)、地すべりなど、発生条件や流下形態によりさまざまに分類される。

地震による直接的な外力が働く場合を除き、土砂災害のほとんどは、急峻な地形条件と雨水や融雪水などの斜面への供給に起因して発生する。したがって土砂災害が発生しそうな地形条件を有している地域では、下流の人家や施設との関係から、事前に土石流危険渓流、急傾斜地崩壊危険箇所など、法的指定がかけられていることが多い。さらに、特定の条件を満たした斜面等においては、土砂災害防止法による土砂災害警戒区域、土砂災害特別警戒区域などのより制約条件の厳しい指定がかけられている。これらの法的指定の意味を理解することで、土砂災害に関する知識を養うことが可能である。以下では、これらのうち、最も身近な土石流危険渓流と急傾斜地崩壊危険箇所について述べる。

i 土石流危険渓流とは？

土石流とは、土砂が水と混合して、河川や渓流を流下する現象である。通常、斜面勾配が15°以上で発生し、10°までが流下域となり、勾配が2~3°で停止することが知られている。都道府県では、これらの地形的特徴を踏まえたうえで、渓流の下流における人家や公共施設等の分布状況を勘案して、重要度別にⅠ~Ⅲの土石流危険渓流を設定している。国土交通省の調査によると、土石流危険渓流は国内で183,863箇所存在している(国土交通省、2003)⁵⁾。

ii 急傾斜地崩壊危険箇所とは？

自然斜面の崩壊は、斜面勾配が30°以上で発生し、特に40~50°前後で発生実績が多い(建設省、1995)⁶⁾。急傾斜地崩壊危険箇所は、これらの特徴を持っている高さ5m以上の斜面とその付近で、かつ崩壊により相当数の居住者等に危害が生じるおそれのある土地について、都道府県知事が指定するものである。上述の国土交通省による調査によると、国内で急傾斜地崩壊危険箇所総数は330,156箇所にのぼる。

4 災害軽減のための防災教育実践例

火山で起こる災害現象を理解するためには、その災害因子の特徴を理解することが重要である。林ほか(2005)⁷⁾は、中学校理科第2分野の教科書(東京書籍版)における火山用語を抽出し、火山専門家が一般向けに書いた普及啓発書における専門用語の出現数との比較を行っている。その結果、中学校理科の教科書においては35の火山用語が出現するのに対し、一般向けの火山の普及啓発書においては、1ページあたり9.3の火山用語が使用されていることを明らかにした。このことは、義務教育を修了した程度では、防災に関する知識がほとんど得られていないことを示唆している。この傾向は、土砂災害についても同様で、小学校5年生で習う「流水の働き」の単元で、侵食や河川災害についての記述は多いが、土石流や地すべりなどの土砂災害についての記述はほとんどない。

そこで、現在までに災害軽減のためのさまざまな防災教育手法が開発されてきた。ここでは筆者も関わってきた防災教育の一例を紹介する。

A キッチン火山学実験

林(2006)⁸⁾は、身近な食材や材料を使用して、火山で発生するさまざまな現象を可視化する手法(キッチン火山学)を開発した。例えば溶岩の粘性は、ウスターソースととんかつソース、マヨネーズの比較で表現する。溶岩ドームの貫入に伴う地殻変動は、ココアパウダーで作った火山の直下に、とかしたチョコレートを注射器で注入することで表現する。

この手法は、手軽に実験可能で、かつ視覚に訴えるため、現象の理解が容易である。以下に一例を示す。

図4は、同じキッチン火山学実験のうち、降灰後の土石流発生メカニズム実験(伊藤・林、2006)⁹⁾を示す。上述した



図4 キッチン火山学実験の実践例 ココアパウダーとスポンジケーキによる土石流再現実験

とおり、火山灰の堆積と土石流発生には密接な相関がある。それは火山灰が斜面に積もることにより、降雨の地中への浸透が阻害され、雨水が斜面の表面を流れ始めることに起因しているが、この実験は、その現象を忠実に再現している。しかも身近な食材を用いることにより、児童・生徒が楽しく実験に参加できる。

B 簡易型土石流シミュレーションモデル

伊藤ほか(2008)¹⁰⁾は、机上で簡単に土石流の挙動と砂防ダムの効果が可視化できる簡易型土石流シミュレーションモデルを開発した。この実験では、厚紙に印刷した地形モデルを準備し、それを折って立体地形とする。教室で水や土砂を使うのは後片づけや設備等の面から困難であることを考慮し、球状のマーブルチョコレートやキャンディ、金平糖で土砂の挙動を表現する。

地形モデルの河岸部には、いくつかの切れ込みを入れ、プラバンや園芸用硬質ビニルネットで作った不透過型・透過型ダムを配置できるので、実験者が河道内の任意の位置に砂防ダムを配置し、その効果を確認することができる。砂防施設の配置が適切であれば、保全対象の直上でお菓子土石流は止められる。

5 持続可能で楽しい防災教育を目指す

災害発生時における円滑な避難行動の実施には、防災に関する知識の習得が必要不可欠である。特に火山災害や土砂災害は、現象そのものが多岐にわたり、かつ発生形態も複雑であることに加えて、義務教育における情報習得の場も限られていることから、短時間の勉強で災害の本質を児童・生徒らに強く印象づけておくことが求められる。

キッチン火山学実験や簡易型土石流シミュレーションモデルなどの簡易実験は、材料費もそれほどかからず容易に実施可能なうえ、それぞれの現象を支配する物理条件をシミュレートできて視覚的にもわかりやすい。これらは通常の理科の授業にも工夫しだいで取り込むことが可能であろう。❖

参考文献

- 1) 岩手県ほか：「岩手山火山防災マップ」(1998年),
http://www.pref.iwate.jp/~hp0108/bosai_map/bosaimap_r.html
- 2) 青森県：「岩木山火山ハザードマップ」(2002年),
http://vivaweb2.bosai.go.jp/v-hazard/20iwakisan/20iwaki_1h01-L.pdf
- 3) 伊藤英之・吉田真理夫・脇山勘治・長山孝彦・原田憲邦・南里智之：「融雪型火山泥流の発生プロセスに関する実験的研究」, 砂防学会誌, Vol.61(2012年), pp.47-53
- 4) 片田敏孝：『命を守る教育－3.11釜石からの教訓』, PHP研究所(2012年)
- 5) 国土交通省：「土石流危険渓流及び急傾斜地崩壊危険箇所に関する調査結果の公表について」(2003年),
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/05/050328_.html
- 6) 建設省土木研究所：「平成6年度地震時の土砂災害防止技術に関する調査業務報告書(その3)－地震による土砂生産、災害及び対策の検討, 第2編 大規模土砂移動編－」(1995年), p.108
- 7) 林信太郎・伊藤英之・毛利春治・吉本充宏：「中学校理科教科書火山分野に関する研究－日本人の火山知識のベースを探る」, 日本火山学会講演予稿集(2005年), p.8
- 8) 林信太郎：『世界一おいしい火山の本』, 小峰書店(2006年), p.127
- 9) 伊藤英之・林信太郎：「ココアパウダーとスポンジケーキによる噴火後の土石流再現実験」, 地球惑星関連学会合同大会予稿集(2006年), J242-P006, CD-ROM
- 10) 伊藤英之・清水武志・松下智祥・小山内信智・鴨志田毅：「土砂災害に関する理解促進を目的とした普及・啓発ツールの開発とその効果」, 平成20年度砂防学会研究発表会概要集(2008年), pp.522-523

II 理科教育における気象と災害 — 取り戻せ、地域のみんなの気象情報 —



京都大学情報学研究科

竹之内 健介 / たけのうち けんすけ

1980年三重県に生まれる。2005年京都大学大学院工学研究科博士前期課程修了後、気象庁予報部において気象情報に関係する各機関との連携業務および気象予測モデルの開発等に従事。仕事の傍ら、気象情報の社会還元をテーマに研究を進める。2011年より京都大学情報学研究科博士課程に所属し、気象情報の社会利用をテーマとした研究に従事する。日頃は気象分野の専門家・気象予報士として、地域の住民と気象災害をテーマに地域の防災力向上に取り組むとともに、災害時は関係機関との連携により減災に努める。専門は気象情報、地域防災。

1 はじめに — 最近の気象災害

気象災害の激甚化、最近ではこのような声を聞く機会も少なくない。事実、統計データによれば、非常に激しい雨とされる1時間降水量50mmを超える豪雨の頻度は、顕著な増加傾向を示している(内閣府, 2012)¹⁾。数十年前には、気象災害というと、1959年の伊勢湾台風に代表されるように、数百から数千人規模の死者・行方不明者が出る災害も多く、人々の気象災害に対する危機感は現在とは異なるものであっただろう。その後、河川や海岸における護岸の整備や法面の補強工事等のハード面での整備に加え、より高密度の気象観測網の整備と気象予測モデルの開発による気象予測の精度向上により(竹内, 2004)²⁾、日本における気象災害のイメージは変化を遂げてきた。局地豪雨など一部の災害を除き、気象災害は事前にある程度予測でき、回避できるものであると言われることも多くなった。実際、大規模な気象災害の典型である台風の予測精度は以前に比べ格段に向上し、災害につながる可能性の高い爆弾低気圧や大雪の事前予測も改善されている(古市ほか, 2010)³⁾。

そのような中、一方で、人々の気象災害に対するおそれは衰退してきたとも言える。そこに到来したのが昨今の気象災害の激甚化である。被災地で聞く多くの声、「こんな災害は初めてだ」、「こんなことになるとは思わなかった」。人々はハード、

ソフト含め、さまざまなものに守られ、実際に自分自身が災害に遭うという感覚を忘れかけてはいないだろうか。

ここでは、気象災害の基礎知識と最新の気象情報について確認するとともに、利用者である住民や生徒たちに求められる気象情報への意識、そしてそこに理科教育がどのような役割を果たすことができるのかを確認したい。

2 気象災害の基礎

気象災害と言えば、水に関わるもの(水害、雪害など)から、風や気温、気圧に関わるもの(竜巻、熱波、高潮など)まで、さまざまなものが存在する。その中でも、代表的な気象災害として、「内水氾濫(大雨による浸水)」、「外水氾濫(河川の氾濫)」、「土砂災害」、「大雪」などの水に関わるものが挙げられる。

ここで注意しないといけないのは、それぞれの災害により、災害の特徴や対処方法が大きく異なるという点である。

i 内水氾濫(大雨による浸水)

内水氾濫の多くは、ごく狭い範囲の短時間強雨や河川の本流の増水に伴う支流の氾濫に伴って発生する。街の水路や下水道などの排水能力が追いつかず、水が滞留することにより、浸水が発生する。内水氾濫の場合、平屋建てを除いて、垂直避難により人的被害を防げる場合が多い。浸水時に移動する

際に、浸水により見えなくなった水路などに足をとられるなどして、被害に遭う場合も多い災害である。平屋建ての世帯では早めの避難が、また短時間強雨のような場合は、一時的な避難場所の用意が、日頃から必要である。

ii 外水氾濫（河川の氾濫）

河川の氾濫は、内水氾濫と異なり、その発生回数は少ないが、発生した場合溢れた水の流れは速く、量も多くなるため、木造家屋に大きな被害をもたらす。中小河川では短時間に水位が高くなる場合もあるが、多くの大規模河川の場合、現在ではリアルタイムの水位観測がなされており、それらの観測データを確認することで、事前に対応が取れる場合も多い。逆に氾濫後の避難は難しく、2階建ての家屋についても倒壊等の危険もあるため、早めの避難が重要となる。

iii 土砂災害

土砂災害については発生するかもしれないが重要となるが、その分予測が難しく、避難のタイミングが難しい事例が多い。地鳴りなどの予兆現象を避難に結びつけることで、うまく事前に避難できた事例がある一方で、危険に気づいたときには発生間際となり、生死を分ける判断を迫られることも少なくない。土砂災害については、被害が局所的になる場合が多いことから、大雨の際は周囲のようすに注意し、事前に地域で何らかの対応を決めておくことも重要となる。いずれにせよ、危険を感じたら斜面の付近には近づかず、少しでも斜面から離れた場所で災害の危険が通り過ぎるまで待つということが必要と言える。

iv 大雪

大雪は、過去の経験から天気図や衛星画像を利用してある程度判断が可能である。そのため、事前にテレビ等で危険が周知されることも多い。しかし、現実には、雪による人的被害は、近年風水害による人的被害を上回る年もある。この要因として、雪下ろしなどの除雪作業中の事故が多く、高齢者等が大雪に対処しようとして被害に遭う場合が多い。最近では雪に対するセーフティネットの整備の取り組みも見られ、日頃から個人レベルで雪に関する情報に注意するとともに、対処については地域全体での連携が重要である。

以上、代表的な気象災害の被害の特徴と対処について述べた。次に、このような気象災害に対する気象情報と気象教育の関わりについて考えていきたい。

3 最新の気象情報

気象情報と言えば、読者はどのようなものを思い浮かべるだろうか。真っ先に思いつくのは、やはり日々の天気予報だろう。学校行事、日々の部活動などいろいろな場面で、学校教育の現場において天気予報に触れることも多い。次に挙げるとすれば、大雨、洪水、暴風、大雪などに代表される災害の危険を知らせる各種の注意報・警報ではないだろうか。生徒たちにとっても、授業の休止にもつながる関心の高い情報である。

このような気象情報も、過去の災害経験を踏まえ、さまざまなものが開発されてきた。ここ数年で言えば、土砂災害の危険が高まった際に発表される土砂災害警戒情報（立原，2006⁴⁾；気象庁 HP：土砂災害警戒情報⁵⁾）、河川水位のレベル化を考慮した指定河川洪水予報（気象庁 HP：指定河川洪水予報⁶⁾）、竜巻注意情報（瀧下，2009⁷⁾；気象庁：リーフレット「竜巻から身を守る～竜巻注意情報～」⁸⁾）など、各種の災害現象に特化した情報の高度化が気象庁を中心に図られてきている。さらに気象庁では2013年に、今までに経験したことのないような大雨などにより、重大な災害の起こるおそれが著しく大きい場合に発表する「特別警報」の導入を予定している。

これらの情報は、やや専門的な部分もあるものの、理解して利用すれば有効活用できるものばかりである。興味のある方は、参考文献や気象庁 HP 等で詳細を確認いただきたい。

4 学校における気象教育

一方、学校における気象教育には、どのようなものが挙げられるだろうか。小学校と中学校について言えば、小学校では2011年4月から、中学校では2012年4月から、それぞれ新学習指導要領の実施が始まった。この中で、理科における気象分野を確認すると、小学校においては、第4学年で天気の基本となる気温や水の三態変化から「天気の様子」を、第5学年で災害のイメージにもつながる河川における「流水の働き」や「天気の変化」を学ぶことになっている。また中学校では、実際の観測方法やその結果と天気の関係を扱う「気象観測」、天気図や衛星などの気象情報を利用した「天気の変化」や「日本の気象」について学ぶことになっている。

学術的な視点で言えば、これらの授業は自然環境を把握するうえで必要とされる自然科学の知識を学ぶ内容となっており、理科教育上、重要な学習内容である。しかし、これらの学習内容が社会において、特に学校区において、どのような影響を及ぼすのか、地域の災害という視点ではどうだろうか。「雨が1時間に100mm降りました」、「積雪が明日朝までに100cmに達するでしょう」、これが学校区にどのような意味をもつか。教職員を含め、生徒たちは認識できているのだろうか。

これからの気象教育に求められるのは、自然環境を把握する自然科学の能力に加え、そこから社会に発生する現象をイメージする、気象災害に対処する社会科学の能力である。そのためには、これまでの「教え/学ぶ」の教育だけでなく、「共にする」教育が重要となる(矢守, 2013)⁹⁾。気象情報の立場から言えば、ここで「共にする」というのは、気象情報を単に与えられる情報としてとらえるのではなく、その情報から自分たちがどのようになるのか、そしてどうすべきなのかを情報とともに主体的に考える教育を、理科教育の中に組み込むということである。

5 取り戻せ、地域のみんなの気象情報 —自分たちの気象情報であるという認識—

先に挙げたたくさんの気象情報は、いかに外部の専門家からの情報が多いことか。このことは、みんなが気象災害について外部への依存を高め、結果的に自分自身の被災への危機感を自分自身で生み出すことを難しくする危険をはらんでいる(メタメッセージ, 矢守, 2009)¹⁰⁾。

気象情報が不足し、気象災害による被害も大きかった時代、人々は、地域の災害に対して敏感に反応し、その危険性を常に意識しながら生活していた。裏山の地鳴り、堤防から湧き出る濁水など、それが地域の気象情報となり、災害の予兆として、地域コミュニティを通して共有されていた。しかし、今では災害に遭遇することも少なくなり、地域コミュニティの衰退とも相まって、地域の中からの気象情報に外部からの気象情報が取って替わった。

「取り戻せ、地域のみんなの気象情報」、この稿の副題にもあるこの表現、これは現在の気象情報を否定するものでは

ない。予測精度が向上し、高密度の予測が可能となった現在、地域レベルで有効活用できる気象情報は数多くある。これらの減災につながるさまざまな気象情報を地域において有効活用し、自分たち自身の情報として再認識し、一人一人が災害時にどう行動するかを情報から考えていくことを意味する。

6 宮川中学校における取り組み

ここで、著者が関わっている三重県伊勢市立宮川中学校の事例を紹介したい。宮川中学校が位置する地域は、一級河川である宮川がそばを流れ、昔から水害を多く経験している。しかし、近年、堤防等の整備に伴い、水害の規模や頻度は減少している(最近では平成16年、平成23年に内水氾濫に伴う被害を受けている)。学校自体は地域の中でも一番の高台に位置し、災害時の避難場所としての役割が地域住民から強く求められる存在である。

筆者は、宮川中学校の先生方と協力しながら、平成24年度より防災教育の取り組みを実施している。この教育で重視しているのは、理科教育における気象教育を生活の中の防災(生活防災については、矢守(2011)¹¹⁾を参照)に応用することである。理科教育で学んだ内容が、どのように社会において応用されているか、それを学び、実際に日常生活の中で利用する環境を構築している。内容としては、①気象情報についての学習、②日常利用、③地域との連携の大きく三つの視点から構成している。

まず授業において、関係する気象情報を生徒たちに具体的に示し、その情報と自分自身や自分たちの地域との関係性を確認する。例えば、低地に住む生徒はどのようなときに浸水被害が発生し、その際、どのような気象情報が発表される可能性があるのかを考えることで、自分自身に必要な気象情報を確認するわけである。そして、実際にその情報を日常的に利用する環境を提供する。ここで、その大きな役割を担っているのが、学校の玄関に設置されている地域気象情報モニターである(図1)。このモニターは、関係機関の協力のもと、地域に密接に関係する気象情報や観測情報を表示しており、生徒たちは、日頃から登下校の際や部活動の際に雨や川のようすを確認し、最新の地域の気象情報を学校生活で身近に利用できるようになっている。具体的には、河川の映像や水位



図1 地域気象情報モニター（三重県伊勢市立宮川中学校） 地域の気象情報をテーマとして学校玄関に設置されているモニターおよび授業風景

情報、地域のレーダー画像、伊勢市の詳細な気象情報等が表示されている。なお、これらはすべてインターネットでも確認できる情報である。また学校のブログコーナーも設け、気象情報だけでなく、自分たちが利用するツールとしての機能も備えている。理科教育で学習した、自分自身に必要な気象情報をこのモニターで日頃から確認するわけである。そして、生徒たちには、地域の防災活動への参加を促している。このことにより、生徒たちは学校を越えて、地域における災害への意識を高め、災害をより我が事として認識できる。なお、取り組みについては、宮川中学校区地域気象情報HPや竹之内ほか(2013)¹²⁾などを参照いただきたい。

7 まとめ：理科教育における気象教育に求められるもの -科学の知識と社会の実践の連携-

ゲリラ豪雨などに見られる、依然予測が難しい現象を除き、現在では気象災害の多くは、その災害につながるポテンシャルの予測が可能であり、事前にその危険を社会的に認識できるようになった。

そして、これらの気象災害を知るうえでの基本は、自然環境について学ぶ理科教育にある。生徒たちの理科への興味を高める意味でも、今こそ、自然科学の知識と社会科学における実践の連携を図ることが重要であり、特に防災教育においては、社会的にもそれが強く要望されている。

気象教育において、気象災害の背後にある自然現象を生徒たち自身の身近な日常にあるものとして伝え、ときには災害につながるというイメージを持たせる、その一つのきっかけを提供することが、学校における理科教育に求められている。



参考 気象教育関連サイト

宮川中学校区地域気象情報HP

<http://www.drs.dpri.kyoto-u.ac.jp/yamori/miyagawa/>

防災教育支援推進ポータル

<http://www.jishin.go.jp/main/bosai/kyoiku-shien/bosai.html>

気象庁：天気急変から身を守るために

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/tenki_chuui.html

気象庁：防災啓発ビデオ「急な大雨・雷・竜巻から身を守る！」

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/cb_saigai_dvd/index.htmlなど

参考文献

- 1) 内閣府：『平成24年版 防災白書』(2012年)
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/>
- 2) 竹内義明：「高度化する気象予測シミュレーション(<特集>大規模計算機シミュレーション)」, システム/制御/情報, 48(7)(2004年), pp.261-266
- 3) 古市豊ほか：「気象庁における降雪量ガイダンス」, ワークショップ『降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究(第8回)』(2010年)
- 4) 立原秀一：「土砂災害警戒情報の発表開始について(気象業務の窓)」,

天気, 53(1)(2006年), pp.43-45

- 5) 気象庁HP：土砂災害警戒情報,
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/doshakeikai.html>
- 6) 気象庁HP：指定河川洪水予報,
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/bosai/flood.html>
- 7) 瀧下洋一：「突風に関する防災気象情報の改善：竜巻注意情報の発表開始(気象業務の窓)」, 天気, 56(3)(2009年), pp.167-175
- 8) 気象庁：リーフレット「竜巻から身を守る～竜巻注意情報～」, http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/tatsumaki/tatsumaki_201305.pdf
- 9) 矢守克也：「防災教育と理科教育 -総論-, 特集 防災教育における理科教育の役割I」, Rimse, No.4(2013年), pp.2-8
- 10) 矢守克也：「災害情報のダブル・バインド, 特集 災害情報リテラシー」, 災害情報, Vol.7(2009年), pp.28-33
- 11) 矢守克也：『〈生活防災〉のすすめ(増補版)』, ナカニシヤ出版(2011年)
- 12) 竹之内健介・島田真吾・河田慈人・中西千尋・矢守克也：「地域気象情報の共有による減災の取組～伊勢市辻久留地区におけるアンケート調査を通じて～」, 災害情報, No.11(2013年), pp.101-113

Ⅲ 放射線（原子力）教育を考える —「自ら考え、判断する力」を身につけるために—



大阪大学コミュニケーションデザイン・センター 准教授

八木 絵香 / やぎ えこう

1972年宮崎県に生まれる。2005年東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士（工学）。早稲田大学大学院人間科学研究科修了後、民間シンクタンクにおいて、災害心理学研究に従事。近年は、意見や利害の異なる人どうしが対話・協働する場の企画、運営、評価をおもな研究テーマとしている。おもな著作に『対話の場をデザインする—科学技術と社会のあいだをつなぐということ—』（大阪大学出版会）など。

1 放射線について判断するための知識

A 福島第一原子力発電所事故の影響

平成20年に改訂された中学校理科の学習指導要領では「人間は、水力、火力、原子力などからエネルギーを得ていることを知るとともに、エネルギーの有効な利用が大切であることを認識すること」について教育する際、「放射線の性質と利用」に言及することが盛り込まれている。

しかし、指導要領の改訂時とは状況が大きく変わった。福島第一原子力発電所の事故を受け、私たちは「ベクレル」、「シーベルト」といった放射線に関する用語を日常的に見聞きするようになった。地域による程度の差はあれ、保護者や生徒の間でも「放射線（原子力）」への関心は飛躍的に高まったと言えるだろう。また事故の直後には、農水産物や水道水から基準値を超える放射性物質が検出され、福島県はおろか東北地方全般の農水産物の買い控えや、ミネラルウォーターの買い占めなどが発生した。そして事故から2年以上が過ぎた今日でも、福島第一原子力発電所事故による風評被害^{*1}は、解決困難な課題として位置づけられている。また、小さな子供がいる世帯を中心に、放射線の影響についての不安の声も根強く残っている。

B 放射線の基礎知識

これらの福島第一原子力発電所事故をめぐる課題への対処

を、理科教育との関わりで考えれば、「放射線の人体影響」に関する教育が、解決のための一つの糸口となる。このような考えから、文部科学省でも放射線教育に関する副読本を作成している（図1）。そしてそこには「このような特別の状況に国民一人一人が適切に対処していくためには、まず、放射線等の基礎的な性質について理解を深めることが重要であると考えます。（中略）放射線や放射能、放射性物質について学び、自ら考え、判断する力を育むことが大切であると考えます。」（傍点は筆者）と記されている。

では、放射線（原子力）について「自ら考え、判断する力」を身につけるためには、どのようなアプローチが必要なのだろうか。

2 放射線リスク —科学で判断できること、できないこと—

A 科学によって答が出せる問題

放射線の健康影響のとりえ方にはいくつかの説があるが、「（自然界から受ける放射線量に加えて）累積100ミリシーベルトの被ばくにより、生涯における発がんのリスクは約1パーセント増加する。もしくはがんによる死亡リスクは約0.5パーセント増加する」という国際放射線防護委員会（ICRP, 2007）¹⁾の考え方が、現状における一つの指針となっている。



図1 文部科学省発行の放射線に関する副読本

左から、小学校児童用、中学校生徒用、高等学校生徒用

つまり、1000人の人が累積で100ミリシーベルトの線量を受けたとすると、それが原因でおおよそ5人ががんで亡くなるということである。この考え方については、専門家の間でも意見の相違はない。つまり100ミリシーベルト以上の放射線の影響は、科学によりその答を導き出すことができる。

B 科学だけでは答が出せない問題

問題は、100ミリシーベルト未満の影響の考え方である。100ミリシーベルト未満の線量では、放射線によりがん死亡が増えることを示す明確な証拠は「現段階では」存在しない。より厳密に言えば、あるレベル以下の低線量被ばくによる発がんリスクは、その発生確率が非常に小さく、検証に必要とされるサンプルサイズ(調査の対象となる被ばくされた方々の人数)があまりにも巨大になるため、科学における標準的かつ最も厳密なアプローチによって、その確率を検証することができない(調, 2013)²⁾。このような状況から、100ミリシーベルト未満のいわゆる低線量被ばくの影響について、どのようなモデルを採用するかという問いに対する答えは、専門家の中でも完全には一致しない。

しかし、放射線によるがん発生のメカニズムに関する実験や理論研究から導き出される、現在の科学水準から最も妥当な仮説は、「線形閾値なし(LNT)モデル」と呼ばれるものである。このモデルでは、放射線量とその健康影響との間には閾値がなく、直線的な関係が成り立つという考え方を採用している(図2)。

ICRPは100ミリシーベルト未満の線量を受けた場合であっても、その量とがん死亡率の間に比例関係があると考えたうえで、100ミリシーベルト未満であっても、慎重な考え方に

基づき、可能なかぎりその線量を抑制することを推奨している。つまり、100ミリシーベルト未満の放射線影響への対処方針は、科学的な考え方を下敷きしつつ、社会的な要素も加味したうえで決められるべきとすることができるのである。

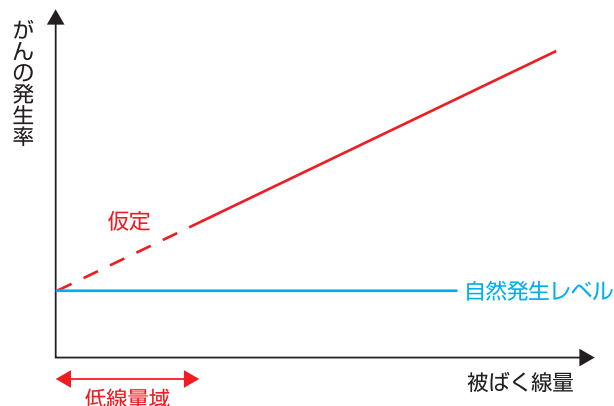


図2 線形閾値なし(LNT)モデル

C 科学とは別の知識を用いて考えなければならない問題

加えて、さらにやっかいな問題も存在する。仮にLNT仮説を採用することにしたとして、どのレベルの影響までなら、私たちの社会は、事故による放射線リスクを許容できると考えるべきなのだろうか。そしてその線引きは、どのようにして決められるべきなのだろうか。

この判断のための一つの指針は、ALARA (As Low As Reasonably Achievable) の原則である。ALARAの原則とは、ICRPが1977年勧告で示した放射線防護の基本的な考え方で、「すべての被ばくは、社会的・経済的要因を考慮に入れながら合理的に達成可能なかぎり放射線被ばくをできるだけ低く抑える必要がある」という考え方である。つまり放射線被ばくによって生じる不利益と、それを受忍することによる利益を比較したうえで、そのバランスを取りながら被ばく量を可能なかぎり低く抑えることをICRPは推奨している。

これは個人のレベルで言えば、一定量の放射線被ばくを受忍することと、住み慣れた地域で生活することのメリットを天秤にかけ、それが受忍できない場合は住み慣れた地域を離れるという選択が、受忍できる場合は被ばく量を可能なかぎり抑えつつそこで生活するという選択が適切である、という考え方である。

この問いに対して、私たち個々人はどのように判断すべきなのだろうか。(住み慣れた土地から離れるにせよ、住み慣

れた土地に住み続けるにせよ)その支援方策は、どのように決められるべきなのだろうか。その支援にかかるコストはどのように負担されるべきなのだろうか。ここまで視野を延ばしてみれば、この問いかけは、すでに科学で答えられる範疇を大きく超えてしまっているということになる。

放射線(原子力)の問題を考える際には、科学的な知識はもちろん不可欠であるが、科学的知識だけでは判断できない問題もそこには多く含まれるのである。

□ トランス・サイエンスという考え方

このように、科学に問うことはできるが、科学(だけ)では答えることができない問題群が、放射線、特に低線量の放射線被ばくをめぐる問題の中には存在する。1972年、アメリカの核物理学者アルヴィン・ワインバーグはこれらの問題群を「トランス・サイエンス^{※2}」と呼んだ(Weinberg, 1972)³⁾。純粋な科学の領域と価値判断の領域は区別できるという考え方ではなく、この区別がしがたく、その両者の交錯する領域の問題群が大きくなってきているという指摘である。そしてこの領域の問題群には、現段階では科学によって答えることができないが、将来は科学によってだけで答えられるようになる問題もあれば、さまざまな安全規制(食品や医薬品、化学プラントや原子力発電所など)のように、科学的知見に加えて、常にそれ以外の要素も含めた形でトランス・サイエンスとして取り扱わなければ解決しない問題群も含まれている。

前述の低線量被ばくの問題について言えば、100ミリシーベルト以上の放射線による影響は「科学」の領域の問題。100ミリシーベルト未満の放射線による影響は、「科学の領域に近い」トランス・サイエンスの問題群として扱わなければならない問題。さらに、その場合にどの程度の防護措置が必要なのか(どの程度の線量まで許容するのか)という問題は、「社会(政治)の領域に近い」トランス・サイエンスの問題群であると言える。



図3 トランス・サイエンス

つまり、本当の意味で放射線(原子力)について「自ら考え、判断する力」を身につけるためには、放射線に関する科学的知識のみならず、トランス・サイエンスの視点も含めた学びが必要になってくるのである。これは、原子力や放射線というキーワードに関わる問題について理解するためには、その問題が置かれる社会的な文脈を考慮して深く考えることにつながる学びや、単なる科学的な原理や概念の理解にとどまることなく、日常生活におけるさまざまな状況で科学を用いることにつながる学びが必要とされていると言い換えることもできる。^{※3}

3 文脈に重ねて知識を身につける

A スーパーサイエンスハイスクールでの試行

では、どのようにすれば、このような学びの機会をつくることが可能となるのだろうか。

筆者は、福島第一原子力発電所事故から約9か月後の2011年12月に大阪府立豊中高等学校のSSH(スーパーサイエンスハイスクール^{※4})の授業で、放射線リスクやその認知をテーマとした授業を行った。その当時既に関西地域では、福島第一原子力発電所の状況や、避難生活を続ける人々の状況に関する情報に接する機会は激減していた。そしてそのような状態では、単純に「自分が福島県内に住む高校生だと仮定して」と設定しても、生徒たちがその状況にリアリティを持つことは難しいだろうと考えた。

そこで、放射線リスクに関するグループディスカッションに入る前に、福島第一原子力発電所近傍に生活していた高校生が置かれている文脈を丁寧に共有することを試みた。その具体的な方法は次のようなものである。

① 福島第一原子力発電所と、県庁所在地である福島市との距離について質問し、考えてもらう。そのうえで、(当時の)福島市の空間線量がどの程度かについて説明し、その放射線影響について科学的観点から解説する。

② 豊中高校から最も近い位置にある原子力発電所はどこかについて質問し、その原子力発電所と豊中高校の距離を示すことにより、福島市の状況と、豊中高校が潜在的に置かれている状況の間には、物理的な距離という意味ではそれほど差がないことを理解してもらう。

③ そのうえで、福島第一原子力発電所事故の後、旧警戒区域^{※5}の高校生が置かれた状況(入学式の延期、修学旅行の中止、入学できた高校に一度も通うことなく転校せざるを得なかった生徒の存在や、震災以降一度も自宅に帰ることができずにいる人々の状況など)について説明する。

このような説明は、放射線に関する基礎知識を習得する授業とは、一見すると関係ないように見えるだろう。しかし前述のとおり、「日常生活におけるさまざまな状況で科学を用いる」力を身につけるためには、「もし自分がこの問題に対処しなければならない当事者であったら」という視点で、問題をとらえ直すことが不可欠なのである。



図4 スーパーサイエンスハイスクールでの授業のようす
(2011年12月、大阪府立豊中高等学校)

B「対話」を通じて学ぶ

そしてそのうえで、原子力発電所近傍の地域の高校生がかかえるさまざまなリスク(直接的な放射線リスクに限らない)について、どのようなものがあるか、またそれについて自分たちはどう感じるか、どのような対処策が必要かなどについて、生徒どうしで議論し、発表してもらうという形式で授業を進めた。このような方法を用いることにより、科学的な知識を学ぶのみならず、自らの価値観を見つめ直したうえで、科学的知識も含めた形で、放射線リスクに関する自らの意見を形成するよう促したのである。具体的な議論の方法は「論点抽出カフェ(八木ほか、2011)⁴⁾」の手法を活用し、ポストイットを利用したグループディスカッション(図4)を通じて、生徒個々人が均等に発言の機会を持つよう促した。

参加した生徒からは、「自分の意見とはだいぶ違う意見も出てきて、他人を理解することは難しかったけど、楽しかった」

た」、「他の班や他のメンバーの意見で、自分で思いつかない考えがたくさんあって興味深かった」、「大阪も原発に近くて福島のこと他人事ではなく、解決・対策を考えていかなければならないと思った」、「被災地の人々が実際どのように考えているかを深く吟味できた。もう少し議論したかった」など、原子力や放射線をめぐる問題について自らの意見を出すこと、または他者の意見を聴き、理解することの難しさを指摘する声がある一方で、リスク問題をめぐる多様性を理解し、また我が事に引きつけてその問題をとらえ直そうとする姿勢が見いだされた。

科学的に正しい知識を学ぶ。それと同時に、その科学的知識が具体的に利用される場面を体験する。これにより、科学だけでは解決しようのない問題にぶつかったとき、どのように考えればよいかを学ぶ。そのような学びの場が、放射線について「自ら考え、判断する力」を育むためには不可欠であると考えられる。



補注

※1 関谷は風評被害を、「ある社会問題が報道されることによって、本来『安全』とされるものを人々が危険視し、消費、観光、取引をやめることなどによって引き起こされる経済的被害」と定義している。関谷直也『風評被害-そのメカニズムを考える』(光文社新書、2003年)を参照。

※2 「トランス・サイエンス」については、『Rimse』第4号に大阪大学中村征樹氏の詳しい解説があるので、そちらを参照のこと。

※3 これらの考え方は、OECDにおけるキー・コンピテンシーの考え方とも整合的である。

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/016/siryo/06092005/002/001.htm

※4 スーパーサイエンスハイスクールについては次のホームページを参照のこと。
<https://ssh.jst.go.jp/>

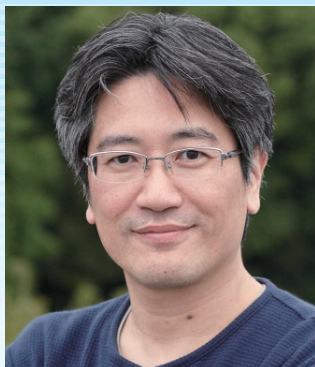
※5 2013年5月28日に、福島第一原子力発電所から20キロ圏内に設定されていた警戒区域のすべてが解除され、帰宅困難区域(50ミリシーベルト/年以上)、居住制限区域(20-50ミリシーベルト/年未満)、避難指示解除準備区域(20ミリシーベルト/年未満)に再編された。

参考文献

- 1) ICRP: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication.103. (2007年)
- 2) 調麻佐志: 奪われる「リアリティ」—低線量被曝をめぐる科学/「科学」の使われ方、『ポスト3.11の科学と政治』(中村征樹編)収録、ナカニシヤ出版(2013年)
- 3) Weinberg, Alvin M.: "Science and Trans-Science" Minerva, Vol.10(1972年), No.2
- 4) 八木絵香, 中川智絵: 科学技術に関するさまざまな論点を可視化する; 科学技術に関する「論点抽出カフェ」の提案, Communication-Design, No.4(2011年), pp.47-64

第4回

もっと自由に考える



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。

「あなた」という人

ここまでの連載で、世界は数学でできているということ、そして、数学は世の中の役に立っていることを知ってもらいました。私が編纂した『数学活用』という教科書にも、そういう話題がたくさん載っています。いずれも「数学は人とともにある」を裏づけるような話題ばかりです。そして、もっと大切なことは、「あなた」という人が数学とともにあるということです。

世界を司るしくみとしての数学やさまざまなテクノロジーを支える数学を知ることとはとても興味深いことです。しかし、そういう数学は、「あなた」が直接関わることのできない世界、「あなた」の外の世界で繰り広げられている…。そう思っ

てしまっただけではもったいない。そういう数学をおもしろいと思う「あなた」、おもしろいと思うことのできる「あなた」がそこにいることを忘れないでください。

確かに、学校で習う算数・数学はすでに完成された学問のように思えます。つまり、自分とは別の誰かが作ったものなので、それは自分の外にある。そういう外部装置としての数学を受け入れて自分のものにするために、必死に練習をする。それが算数・数学の勉強だと思っている人も多いでしょうね。でも、本当は大人から習わなくたってできる数学がたくさんあるのです。それを知ってもらうために、『数学活用』の中にはパズルのような問題がたくさん散りばめられています。

パズルに挑戦！

例えば、「もっと自由に考える」という單元では、次のような問題が紹介されています。

問題 1 から9までの番号が書かれたカードが2枚ずつあります。「同じ番号のカードの間には、その番号の示す枚数のカードが並んでいる」というルールを守って、すべてのカードを横一列に並べることはできるでしょうか。

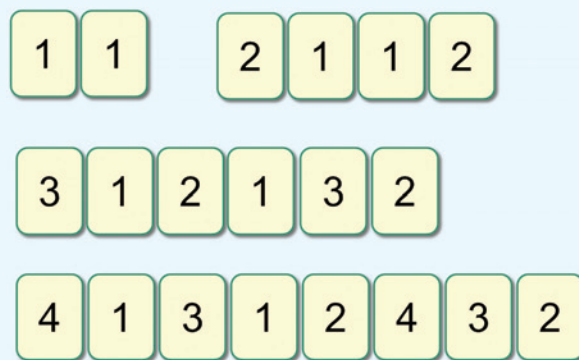


図1 1, 2, 3, 4の場合、カードを並べてみると…。

まず、問題の意味を理解するために、カードの番号を制限して考えてみましょう。例えば、番号が1のカードしかなければ、その2枚を並べるしかない。しかし、その間には他のカードが1枚入るというルールが守られていません。番号が2までの場合には、2枚の2の間に他の2枚のカードが並ぶ

ことになります。しかし、他には1のカードしかありません。その1のカード2枚を2の間に並べても、その1のカードに対してルールが守られていません。

カードの枚数が少なすぎたのでは、うまくできなくても当然でしょう。実際、カードの番号を3まで、4までと増やしてみると、図1のように、ルールを守って、すべてのカードを並べることができます。これは簡単なパズルです。実際に自分でパズルの答えを探してみると、左右を反転させたものを除くと、答えはこれしかないとわかるでしょう。

ところが、5までのカードでチャレンジしてみると、なかなか答えが見つかりません。実際、詳しく場合分けをして考えていくと、5までのカードをすべて並べすることは不可能だと結論できます。しかし、場合分け的な議論をだらだらと述べても、面白くありませんね。もっと気の利いたアイデアで、サクッと証明したいものです。

とはいえ、「う～ん」とうなってみたところで、うまいアイデアがひらめくわけではありません。そういうときには、うまくできた場合をよく観察してみることです。例えば、3までの場合と4までの場合の並べ方を観察して、何かがわからないでしょうか。

ひらめきを誘導する魔法

そう言われたところで、何をどう観察すればよいのかわからないかもしれませんね。そこで、カードたちがあなたにひらめきを導いてくれるように、魔法をかけてあげましょう。一列に並べたカードの左端から赤と青の付箋紙を交互に貼ってみましょう。そして、同じ番号のカードの付箋紙の色を確認してみてください。

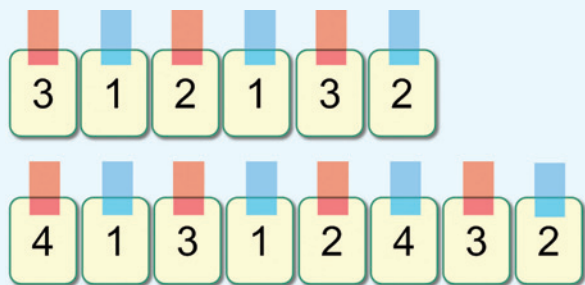


図2 カードに付箋紙を貼って考える。

さて、あなたは付箋紙の色について何か気づいたでしょうか。3までの場合だと、1は青と青、2は赤と青、3は赤と赤です。4までの場合は、これに加えて4が赤と青になっています。この事実をもう1歩進めて抽象的にとらえると、奇数のカードは同じ色が2枚で、偶数のカードは異なる色が2枚になっていることに気づきませんか。

まず、事実としてそれを受け止めたうえで、よく考えてみると、そうなる当然であることにも気づくでしょう。ルールを守っているかぎり、奇数のカードの間には奇数枚のカードが並んでいます。ということは、最初が赤で、赤、青、赤、青と交互に色が変わっていけば、当然、最後は赤で終わります。反対に、偶数のカードの場合は、間に偶数枚のカードが並んでいるので、赤、青、赤、青とくれば、最後は青になって、両端のカードの色は異なることになります。

この発見に加えて、どの番号のカードも2枚ずつなので、赤と青の枚数が等しいことも心にとどめておきましょう。それは何番までのカードを並べたかに関係なく成り立つ事実です。

赤と青は同じ枚数。奇数のカードは同じ色、偶数のカードは異なる色という法則を念頭において、5までのカードの場合を考えるとどうなるでしょうか。この場合は、赤と青が5枚ずつで、偶数の2と4がそのうちの2枚ずつを消費します。なので、残りの赤3枚と青3枚が1, 3, 5の3個の奇数に2つずつ割り当てられることになります。しかも、同じ番号のカードには同じ色が…。

でも、それは不可能ですね。仮に1が赤と赤なら、残りの赤1つを他の奇数に割り当てられません。ということは、5までのカードでは、ルールを守って横一列に並べられないということです。並べられたとすると、上で述べた法則が成り立たない。したがって、「並べられたとする」という仮定が正しくない。つまり、**背理法**によって、5までのカードは、どんなに頑張っても、ルールどおりには並べられないことが結論できました。

パズルから数学へ

この考え方を振り返って、より一般的な理解を試みましょう。まず、うまく並べられたとすると、偶数のカードは異なる色、奇数のカードは同じ色になります。なので、まず、偶

数のカードに赤と青を1枚ずつ割り当てる。そして、残った赤と青を、同じ色を2枚ずつ組にして、奇数に割り当てると考えましょう。

そのとき、もしも残りの赤が奇数枚だったら、奇数のカードに2枚ずつ割り当てると1つ余ってしまいます。これは残りの青についても同様です。つまり、すべてのカードをうまく並べられたとすると、残りの赤も青も偶数でないといけない。残りの赤と青も同じ数だけあって、その合計の半分が奇数の個数です。その合計の半分は残りの赤の枚数と同じだから、奇数の個数は偶数個ということになりますね。

ここまででわかったことを一般的な形でまとめると、次のようになります。

番号が n までのカードを、ルールを守って、すべて一列に並べられたとすると、 n までの奇数は偶数個である。したがって、 n までの奇数が奇数個ならば、うまく並べることはできない。

例えば、5までのカードの場合、5までの奇数は1, 3, 5の3個なので、うまく並べられない。番号を6までにしても、奇数の個数は変わらずに3個で、やはりうまく並べられないことになります。

さらに、7までと8までの場合、7が奇数として追加されるので、奇数は全部で4個です。でも、「4は偶数だから、並べられる!」と喜んではいけませんよ。上のまとめは、「奇数が奇数個ならば、できない」と言っているだけで、その逆については何も言っていない。つまり、現段階では「奇数が偶数個ならば、できる」とは結論されていません。

では、最初の問題にあるように、番号が9までの場合はどうでしょうか。9までの奇数は1, 3, 5, 7, 9の5個です。つまり、奇数の個数は奇数です。ということは、上のまとめに従えば、ルールを守って、すべてのカードを並べることはできないと結論できますね。「できるでしょうか」と聞いておきながら、「できない」が答えだなんて、ずるいと思っている人もいるかもしれませんね。

以上をまとめると、表1のようになります。うまく並べられた場合には○、並べられないと結論できたところには×を書きました。

表1 番号9までの並べ方の結果

1	2	3	4	5	6	7	8	9
×	×	○	○	×	×			×

実は、7と8の場合はうまくカードを並べることができます。ここではその答えを示さずに、読者の皆さんのお楽しみのために、チャレンジ問題として残しておきましょう。

これで、9までのカードに限定すれば、うまく並べられるための**必要十分条件**が明らかになりました。10以上のカードに対しても同じ問題が考えられますが、同じ条件が一般的に成立するかどうかは私にもわかりません。その真偽を確定することは、もはやパズルの域を越えています。

数学的規範

さて、長々と解説をしてきましたが、あなたは何回うなずいたでしょうか。「背理法」や「必要十分条件」など、数学の時間に学ぶ言葉も使ってみました。何かを覚えていないとわからないという話ではなかったと思います。あなた自身の中に「それはそうだ」と思える基準のようなものがあって、知らず知らずのうちに、その基準に照らし合わせて、納得しながら、議論の流れを追っていったのだと思います。

最近、私はそういう皆さんの中にある基準のようなものを「数学的規範」と呼ぶことにしています。そして、自分自身の中にある数学的規範の存在を確認することが、数学をするうえで大切だということに気づきました。

それは単に論理的だというだけではありません。目の前にある数学的な事実を受け止めることや、数学的に考えることはよいことだとする価値観なども含んでいます。

今回は、あなた自身が数学的規範に従って行動していることを知ってもらうために、パズルにチャレンジしたり、魔法のかかったカードを見て何がわかるかを考えたりしました。完成された論理を追っていくのではなく、あなた自身が論理を生み出していく過程を体験してもらいました。そういう問題解決の流れを楽しむことができると、算数・数学がもっと面白くなっていきます。そして、算数・数学の自由研究へとつながっていくのです。



第4回

空気の重さと風の力



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。博士（工学）。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。

風の恐ろしさ

台風やハリケーン、竜巻など強風による大きな被害が報告されています。風は空気の流れですが、強風の恐ろしさは、自分自身が強風で飛ばされて転倒し怪我をする、あるいはさまざまなもの、固いものや重いもの、尖ったものが飛ばされてきて身体に衝突し、怪我をすることでしょうか。「三匹の子豚」では、わらの家も、木の枝の家も、狼が息を吹きかけると飛ばされてしまいます。狼の息がそれほど強いものとは思いませんが、この物語を聞くと風によって家が飛ばされることが想像され、絵本の挿絵が心に残ります。風の恐ろしさ、風を侮ってはいけないということを狼に例えて教えているような気がします。



図1 風の威力

空気の重さ

空気のように軽いものが流れてきても、大したことはないと思ってしまいます。空気はどれくらい軽いのか、理科で考えてみましょう。風呂にいっぱいに入れた空気の重さはどれくらいあるでしょうか？ まず質量を求めてみます。

化学で学んだように、気体の量は分子の数、モル数で数えます。1モルは約 6.02×10^{23} 個（アボガドロ数）の分子で、標準状態（温度 0°C 、圧力1気圧）では約22.4L（リットル）の体積になります。一般的な家庭の風呂は湯をいっぱいまで張ると約300L、適量では約200Lです。空の湯船には約300Lの空気が入っていて、モル数では $300 \div 22.4 \div 13.4$ （モル）です。

分子1モルの質量が分子量で、そのままg（グラム）の単位です。空気は分子量28の窒素が約8割、分子量32の酸素が約2割で、平均すると約28.8です。よって、空の風呂に入っている空気の質量は $13.4 \times 28.8 \div 386$ 、約400gです。500mLのペットボトルの飲み物が約500gなので、飲みかけのペットボトルの中身を考えればよいということになります。さて、風呂いっぱいの空気が400g、重いと感じますか、軽いと感じますか。

わかりやすいように、この空気を軽いビニル袋に詰めて持ってみましょう。サンタクロースのように肩に背負っても重さは感じません。質量は確かに400gあるのですが、実は秤に



図2 空気を詰めたビニル袋の重さは？

載せても針は振れません。もし振れたとすると、それはビニル袋の質量です。

空気を詰めたビニル袋の外側にも同じ密度の空気が満ちているため、ビニル袋の空気には内部の空気の重さと同じ大きさの浮力が作用し、重さと浮力が釣り合っているため、人間の肩にも、あるいは秤にも力が作用することはない、重さを感じることはありません。持っても重さを感じないので、空気の重さも軽さも「実感」することは難しそうです。

大気圧

手のひらを水平に出してみましょう。ビニル袋に詰めなくても、今、手のひらの上には空気が載っています。手のひらの上の空気の重さを感じるでしょうか？

手が支えている空気の質量を求めてみましょう。筆者の手のひらは少し大きめで、広げると幅が約8cm、長さが約16cmで、正確には長方形ではありませんが面積はおおよそ128cm²としましょう。では、空気の高さはどこまであるのでしょうか。それでは屋外に出て空を見上げて考えます。

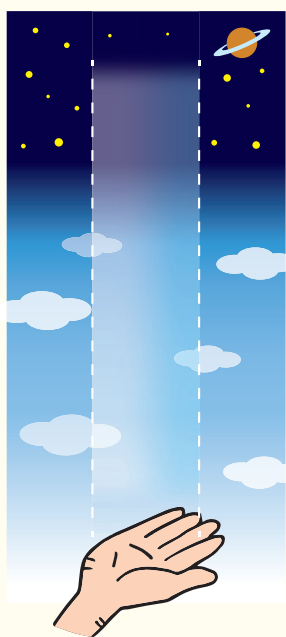


図3 空気はどこまであるのか？

果たして、地球の空気はどこまであるのでしょうか。『理科年表』には標準大気モデルとして、高度と気圧、気温のデータが示されています。地上からおもな高度の気圧と気温（『理科年表』は℃ですが、ここでは絶対温度Kに換算）をグラフに点で示すと、図4のようになります。富士山頂3776mでは地上の $\frac{2}{3}$ 程度、エベレストの頂上8848mでは地上の $\frac{1}{3}$ 程度の気圧で、上空に行くほど気圧は徐々に低下します。

図4の赤線は、地上0mの気圧が1013hPa（ヘクトパスカル）であるとして、高度に対して指数関数で気圧が低下すると仮定した計算値を示しています。後述の温度変化の影響で少しずれるところもありますが、地表から100km程度まで、

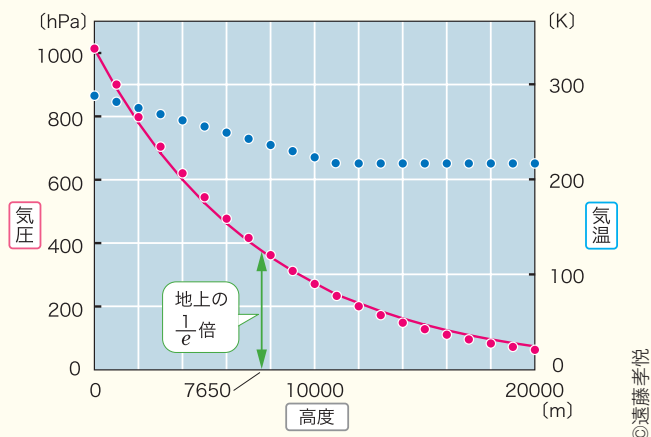


図4 高度と気圧、気温の関係（『理科年表』より）

気圧はほぼ高度に対して指数関数で減少します。気温はきれいな折れ線のように変化していますが、これはあくまでも折れ線的に変化するというモデルです。

さて、化学や物理では気体の状態方程式と呼ばれる関係式が登場します。気体の圧力を p 、体積を V 、モル数を n 、絶対温度を T とすると、 R を定数（気体定数）として次の関係が成り立ちます（気体の状態方程式）。

$$pV = nRT$$

これにより、モル数密度（単位体積あたりのモル数）は、

$$\frac{n}{V} = \frac{p}{RT}$$

となるので、圧力に比例し、絶対温度に反比例します。

ここでは話を簡単にするため、絶対温度の変化は小さいので無視することにして、圧力が分子のモル数密度を表すと考えましょう。図4の赤線で示した気圧の指数関数曲線で、気圧が地上の $\frac{1}{e}$ （ e はネイピア数と呼ばれる数で、約2.72）になるのは高度7650mあたりです。実際には図4の曲線のように上空まで延々と分布する空気を、地上と同じ圧力（モル数密度）に寄せ集めたとすると、ちょうど気圧が $\frac{1}{e}$ になる7650mまで空気があるということに相当します（参考）に解説）。

改めて手のひらを見てみましょう。私の手のひらに載っている空気の体積は幅8cm×長さ16cm×高さ7650m＝97920000cm³、約98000Lになります。モル数は98000÷22.4÷4380となり、質量は4380×28.8÷126000(g)で、約126kgにもなります。手のひらの面積が128cm²の場合ですから、単位面積あたりで言えば約1kg/cm²となります。つまり、圧力は約1kg重/cm²になります。実はこの1kg重/cm²

こそが地上の大気圧、1気圧の1013hPaです。そう言われると手のひらが少し重く感じられるようになったのでしょうか？実は、圧力はすべての方向に作用するので、手のひらを上から押すのと全く同じ力で下側からも支えているため、つり合っています。よって空気の重さを感じることはありません。

もし手の裏側に空気がなければ、本当にこの重さを感じるはずです。昔のテレビはブラウン管と呼ばれる真空管で、ガラス製の画面の内側は真空でした。画面サイズを「20型」などと表示しましたが、これは対角線が約20インチ（約50cm）という意味で、昔のテレビは縦横比が3:4でした。対角線が50cmのテレビ画面は、縦30cm、横40cmで、面積が $30\text{cm} \times 40\text{cm} = 1200\text{cm}^2$ 、そうすると1200kg重の重さがガラス製の画面にかかります。画面が垂直であっても、圧力はどの向きにも同じようにかかります。そしてガラス製画面の内側は真空で、大気圧とつり合う空気がありません。昔のテレビは、ガラスでできた画面に例えば1200kg重、自動車1台くらいの重量がかかっていたのです。この大気圧の大きさを理解して以降、私自身はテレビを画面に近づいて見ることはしなくなりました。もちろん安全を考えて設計されていたので、自然に破損することはありません。また、最近の液晶テレビは内部が真空ではありませんから、安心してください。

風速と気圧

風速は風の速さを秒速で表したもので、風速30mとは30m/sのことです。ふだん、速さを表現するには時速を用いることが多いので換算してみましょう。

風速10mは秒速なので、 $10\text{m/s} \times 3600\text{s} = 36000\text{m} = 36\text{km}$ 、時速36kmであることがわかります。風速20mは時速72km、風速30mは時速108kmです。時速108kmと言えば、高速道路を疾走する自動車や特急電車の速さです。風の強さで言えば、風速30mの中で立っていることは特急電車の屋根に立っているのと同じことになります。台風やハリケーンで風速60mなどとなれば、時速216km、もはや新幹線の屋根の上ですから、脆弱な建造物が壊れるのは当然で、人間も含め、ほとんどのものが飛ばされてしまいます。

風の原因は気圧の差です。低気圧は上空の空気が少ないのではなく、上昇気流によって生じます。理科で学んだように、

上昇気流は水蒸気を上空へ運ぶので、低気圧では天気が悪くなります。台風や発達した低気圧では気圧が900hPa近くまで低下することがあります。気圧が1割下がれば周囲との100hPaの気圧差は、大気圧の $\frac{1}{10}$ に相当し、 0.1kg重/cm^2 です。この気圧差が風を起こし、窓ガラスに当たっていると考えましょう。ガラス窓が $100\text{cm} \times 100\text{cm}$ とすると面積は 10000cm^2 なので、 0.1kg重/cm^2 をかけると1000kg重、実に1トンの力になります。もちろんガラス1枚を挟んでこれほどの気圧差が生じるわけではありませんが、風を起こす原因の気圧差を考えれば、軽いと思っている空気が非常に大きな力を生むということが理解できると思います。

おわりに

空気の重さや風の力の強さを考えてきましたが、風を有効に利用するアイデアも昔からあります。帆船と風車です。欧米では大型の風力発電が急速に普及しつつあります。大陸では季節や時間帯にあまり依存せず安定した風が常に吹いていて、本当にうらやましい風況です。あいにく日本は季節や時間帯による風の変動が激しく、欧米と同じようにはいきませんが、何とか工夫して風の力を活かしたいものです。

「空気を読む」とか「空気が読めない」などと言いますが、目に見えず、また軽いからと侮ってはいけません。理科のセンスでしっかり空気を読み、風を見抜くことが大切です。❖

参考 地表の空気で換算した空気柱の高さ

地球を取り巻く空気の圧力は、地表の気圧を p_0 、高さを x とすると、上空に行くにしたがって次式のように指数関数的に減少しています。

$$p_0 \cdot e^{-\frac{x}{L}} \quad (L \text{ は定数で、気圧が地表の } \frac{1}{e} \text{ になる高さ})$$

この指数関数を ∞ (上空)まで積分すると、

$$\int_0^{\infty} p_0 \cdot e^{-\frac{x}{L}} dx = p_0 L$$

となり、気圧が $\frac{1}{e}$ になる高さ L まで一定の気圧 p_0 であることと等しくなることがわかります。

第4回

サイエンスカフェ



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)。

現在進行形の科学

前回、前々回の連載で、さまざまな現実的制約のもとで科学が限界をもつこと、科学だけでは答えられない問題群が出現していることを述べた。私たちは科学を、これまで描いていたイメージとは違った形でとらえていくことが必要そうである。では、それはどのようなものなのだろうか。

「すでに確立された科学(的知識)」だけではなく、「現在進行形の科学」に目を向けること。それが一つのポイントではないだろうか。実際、近年、さまざまな立場からその重要性が指摘されてきた。

細胞生物学者でありながら、生命倫理の研究にも携わってきたフレデリック・グリーンネル(テキサス大学教授)は、その著書『科学の日々の実践』¹⁾で強調する。教科書に描かれる「科学」の世界では、あたかも初めからすべてを知っていたかのように実験が順調に進展するように見える。しかし、研究者が日々携わっている研究活動はそのようなものとは大きく異なる。最先端の研究では、まず何をすべきかも、有効なデータとノイズの区別も明確ではない。実験の多くはうまくいかず、予期しなかった結果が出てくる。そのような結果が重要な発見につながることもある。新発見は必ずしも歓迎されず、しばしば他の研究者によって疑いの目で見られ、否定される。なぜなら、最先端の研究とはいまだ誰も踏み入ったことのない世界に入っていくものであり、手探りで進んでいかざるを得ないからである。現在進行形の科学研究は、多くの人が描いているような完成された科学の姿とは大きく異なる。科学研究の醍醐味は、むしろ視界が不鮮明で不確実な世界で道を作っていくことにこそあるのである。

アメリカの連邦政府機関である全米科学財団も、2000年頃より、「現在進行形の科学」の姿を伝えていくための取り組みに力を注いできた。既に確立された知識がイメージされがちな「科学(Science)」という言葉ではなく、あえて「研究(Research)」という言葉が使われることが多いが、そこにも彼らの想いを読み取ることができる。

さらに最先端の研究領域では、既存の学問領域の壁を越えてさまざまな分野の研究者が共同して研究に携わることも多い。

地球温暖化問題など社会的な課題解決が求められる場面ではとりわけ、関与する研究者の学問分野は多様であり、それだけ、視野の不鮮明さや不確実さに新たな要因が加わる。また、社会に与える影響の大きさゆえに、考慮すべき課題も多岐にわたる。研究者に限らずさまざまな人々が問題解決へのプロセスに関与する社会からの要請が研究の方向性を左右することも少なくない。

「現在進行形の科学」では、社会との関わりが大きくなることも大きな意味をもってくるのである。

サイエンスカフェ

「現在進行形の科学」が重視されるようになるのと並行す

る形で、科学とのつきあい方を変える新しいアプローチが台頭してきた。この間、さまざまな取り組みが登場してきたが、そのなかでも今回は、近年、日本でも広がりつつあるサイエンスカフェという取り組みを紹介したい。

サイエンスカフェとは、カフェやバーといった場所で、コーヒーやビールなどを飲みながら、研究者と市民が科学技術をめぐるさまざまなテーマについて語り合うイベントである。1997年頃に英国とフランスで誕生し、その後、世界中に広がった。日本でも2005年以降、急速に普及し、現在、全国で100以上の団体・機関が開催するに至っている。

サイエンスカフェで取り上げられるテーマは最先端のものが多く、「再生医療」、「バイオ燃料」、「放射性廃棄物」、「働かないアリ」、「合成生物学」、「メディアアート」など多岐に及ぶ。既存の知識を教えるのではなく、まさに現在進行中のテーマが多く取り上げられるのである。論争的なテーマが扱われることも少なくない。

サイエンスカフェは、研究者が壇上で一方的に講演を行い、市民はそれをただ聞くだけといった、従来の市民向け講演会のようなイベントとは大きく異なる。カフェやバーを会場に、アットホームな雰囲気のもとで研究者と市民が気軽に対話し、互いに素朴な疑問を提示したり自由な意見を述べたりすることが重視されるのである。

一口にサイエンスカフェといっても、そのスタイルは多様である。まずは英国のやり方を見ておこう。

英国では、基本的に一人の研究者がゲストとして招かれる。ゲストが15分～20分程度の短い話題提供を行った後、ドリンクの注文などのための休憩時間を15分前後はさんで質疑や意見交換、議論が1時間近くにわたって行われる。

ここで重要だとされるのが、ゲストの話題提供の後の休憩時間である。わずか1時間半ほどのイベントで話題提供の直後に休憩を取るのとは異例に思えるかもしれない。事実、休憩を取るようになったのは偶然によるものだった。第一回目のサイエンスカフェが平日の夜に開催されたとき、仕事帰りの参加者たちの多くは、何とかゲストの話題提供に間に合うように開始時間直前に会場に滑り込んだ。そして話題提供が終わったところで、何人もの参加者がドリンクを注文しようとカウンターに向かったのだった。主催者はそのままディスカッションを続けるつもりだったが、コーヒーをいれる機械の音



図1 グラスゴーで開催されたサイエンスカフェ(2007年3月5日)

が大きく、ディスカッションを続けるのが困難だったため、やむなく休憩を取ることにしたという。しかしその休憩が思わぬ効果をもたらすことになった。カフェのテーブルで偶然隣り合わせて座った参加者たちは、休憩時間の間、ゲストによる話題提供をめぐって雑談し始めた。「〇〇がよくわからなかった」、「〇〇が納得できないんだけど」。隣の人とそんな会話を交わすと、同じような疑問や感想を抱いているのが自分だけではないことが明確になる。そのことが発言に対する心理的バリアを低めるように作用した。人は得てして、話を理解していないのは自分だけではないかと思うと、そのことをなかなか率直には表明しにくいものである。結果として、休憩後のディスカッションはかなり盛り上がることになったという。その経験を活かして、英国スタイルのサイエンスカフェでは話題提供後に休憩を取るのが一般的となっている。

そのほかにも、講演会のような雰囲気になるのを避けるために、パワーポイントの利用を原則的に避ける、〇〇先生と呼ばずにゲストに対してもファーストネームで呼び合うなどの工夫がなされている。そのような配慮のもと、リラックスした雰囲気のなかで研究者と参加者との率直な対話が展開される。

研究者に期待される役割も従来のイベントとは大きく異なる。壇上から一方的に講演するのではなく、参加者と同じ目線で語ること、参加者の素朴な疑問や率直な期待・懸念に耳を傾けることが研究者には求められる。

また、サイエンスカフェでは、既にわかっていることだけでなく、何がわかっていないかも含めて研究の現状が語られ

ることも重要である。実際、研究者が研究の明るい展望だけではなく、その課題についても率直に語る場面を目にすることも多い。また、自身の研究だけではなく、自分の研究と対立する理論・見解についても紹介する研究者も少なくない。

最先端の研究では科学者の間でも論争があり、多くの課題・困難がある。その点も含め、科学研究のありのままの姿が語られ、「現在進行形の科学」の姿が伝えられること、そこにサイエンスカフェの魅力の一つがあると言えるだろう。

地球温暖化をめぐる対話

サイエンスカフェではしばしば、社会的に大きな論争を呼ぶテーマが取り上げられる。フランスのサイエンスカフェは、そのようなテーマをめぐる議論することをより意識したスタイルとなっている。

フランスでは通常、さまざまな観点からの切り口を意識して、多様なバックグラウンドをもつ3名から4名程度のゲストが招かれる。ゲストが冒頭にごく簡単な自己紹介を行ったのち、すぐに会場を交えた議論や質問、意見交換に移る。その際、英国の場合と同様に、パワーポイントの利用を避け、また、ファーストネームで呼び合うのが一般的である。

今から9年近く前にフランス・パリで参加したサイエンスカフェは、地球温暖化をテーマにしたものだった。ゲストには企業の地質学研究者、国立研究所の海洋学研究者、国営石油研究所の技術者の3人が迎えられた。

サイエンスカフェは、進行役の「本当に地球は温暖化しているのでしょうか？」という問いから始まった。そのような問いかけに対して、3人のゲストはそれぞれ手短かに答えていく。地質学研究者は科学アカデミーの報告などを紹介しながら、地質学的な観点からは温暖化が進行していると言えと指摘した。海洋学研究者も、温暖化については同様の見解を提示した。それに対して国営石油研究所の技術者は、二酸化炭素の振る舞いは極めて複雑であり、その動向を把握することが難しいという。二酸化炭素が増加しているにしても、その二酸化炭素がどこに由来しているかを確認することが重要であり、なかでも火力発電が主要な二酸化炭素の排出源であると指摘した。

以上のような発言が進行役とゲストの間で15分ほど行わ



図2 パリで開催されたサイエンスカフェ（2005年11月2日）

れた後、議論は会場の参加者へと開かれた。会場からは、地球温暖化を避けるために地中への貯蔵に頼るのではなく、例えば何らかの方法で二酸化炭素の分子を破壊するなどの形で二酸化炭素の排出を削減することは考えられないのかという質問をはじめ、多くの質問や意見が出された。議論は非常に活発に続き、あっという間に1時間半が過ぎたのだった。

地球温暖化をめぐるサイエンスカフェは、社会と密接に結びついた現代科学の在り方を印象づけるものであった。

「現在進行形の科学」へのアプローチ

先に述べたように、サイエンスカフェは1990年代の終わりに英国、フランスで誕生し、その後、急速に普及した。この時期は、遺伝子組み換え作物問題をはじめ、科学技術への不安・不信が高まった時期でもあった。科学というものと、これまでとは違った形で接していく必要があるのではないか。そんな思いがサイエンスカフェの普及の背景にあるようにも思われる。

科学研究が現在進行形であるがゆえにもつ不確実性を踏まえながら、科学について考えていくこと。サイエンスカフェの成功は、そのことの重要性和面白さを物語っているように思う。

参考文献

- 1) Frederick Grinnell, *Everyday Practice of Science*, Oxford University Press, 2008.

地域における 理科・環境体験 支援活動

はじめに

資源の少ない日本が世界をリードするためには、創造性を発揮し新たな科学技術領域を切り拓く科学技術創造立国を目指すことが必要である。また、資源の枯渇、水不足、地球温暖化などの地球規模の課題への対応にも、技術開発とその実用化による貢献が期待されている。

このような中で、次世代の科学技術を担う人材育成が重要である。特に、学校の理科教育では、教員の資質向上と観察・実験、体験活動の充実が必要である。また、学校外の企業や地域社会においても、社会的責任および社会貢献の立場から、ものづくりを通じた創造性の育成支援が大切である。

筆者は、現職時代に、中学校の理科教育および教育行政における科学教育を通して、観察・実験を重視し科学的に探究する能力の基礎の育成を図ってきた。また、退職後の第二ステージでは、縁あって社会貢献事業として「民間体験教育学習」を推進する企業に籍を置き、ほぼ発足当初から理科および水環境をテーマとする学習の場の提供と指導の支援を行っている。さらに、継続的な科学調査やものづくり等を通じて、創作する喜びと発明工夫の楽しさを体験を通して実感し、創造性を育てることを目的に、今年度から栗東少年少女発明クラブを開設することとなった。

ここでは、民間体験教育施設でのこれまでの活動とその成果、および栗東少年少女発明クラブの今後の方向を述べる。

民間体験教育施設での「琵琶湖に学ぶ」活動

日本最大の湖、琵琶湖畔に本社を置くオプテックス株式会社は、社業を通じて安全・安心・快適な生活環境の創造に貢献することを事業目的としている。同社は、琵琶湖の豊かな自然に学びながら地域社会と交流を図るとともに、企業経営



滋賀理科大好き研究会 会長
栗東少年少女発明クラブ 会長

川崎 睦男 / かわさき むつお

の一使命としてさまざまな社会貢献活動に取り組んでいる。

ここでは、同社の子会社オパールオプテックス株式会社の施設を拠点に、2002年より本格的に展開している「琵琶湖体験学習などの支援活動」を紹介する。この事業は、四季を通じてさまざまな景観を見せる琵琶湖畔に位置する同社が、その立地環境を生かして、小・中・高校生を対象に、琵琶湖畔での「体験学習の場の提供」と「活動支援」を目的に実施している。琵琶湖環境体験活動のおもな内容は、次のようである。

1 湖畔の水環境調査体験活動

琵琶湖畔や河川の水を採取し、水温、透明度、デジタルパックテストでpH、COD、リン酸等を調べ、調査方法を学ぶ。

2 プランクトン観察体験学習

琵琶湖でプランクトンを採取し、顕微鏡を使って観察する。そして、いろいろな生き物がさまざまな場所で生活していることを知り、生き物に対しての関心を高める。

3 生き物しらべ体験学習

琵琶湖に入り、水に触れながら琵琶湖の生物や水草を観察し、多くの生物が深く関わり合って生活していることを学ぶ。そして、水環境を保全することの大切さを理解する。

ほかにも、以下のような活動を行っている。

4 ヨシ紙を使った笛づくり体験学習

5 外来魚しらべ体験学習（釣り体験）

6 琵琶湖真珠工芸体験学習

7 環境とエネルギー体験学習

このような活動を展開し、子供たちに実感を伴う感動体験を提供している。この10年間でおよそ10万人が「学ぶ意欲を高め、たくましい体をつくり、自然と共生する確かな環境観」や「科学的に探究する基礎と態度」を身につけてくれている。民間体験活動支援施設である同社施設での自然体験や環境体験は、学校教育が行う教育活動のいっそうの充実のために、

今後もさらに活動内容の改善を図って、その一翼を担っていき
たいと考えている。

新生「栗東少年少女発明クラブ」での ものづくり活動

ものづくりの資質の低下が課題となっている。例えば、日
頃の生活で「簡単なものでも自作せず買って済まそうとする」、
「鉛筆削りを使い、ナイフはあまり使わない」などが、ものづ
くりの機会を減少させ、資質低下の一因といえる。このよう
な中で、ものづくりの楽しさとすばらしさを育む「ものづく
り体験」の場と機会の確保・充実が期待されている。

滋賀県では、改訂「科学技術政策大綱」のもとで、新しい
滋賀を創造するための大きな原動力として、科学技術の振興
に取り組み、例えば、バイオ・ITなどの産業分野の育成を推
進している。

このたび新たに、「栗東少年少女発明クラブ」が、滋賀県
7番目のクラブとして平成25年7月から開設されることにな
った。活動の概要は、以下のとおりである。

活動会場：〒520-3004 滋賀県栗東市上砥山232

滋賀県工業技術センター別館1階

活動日：原則として毎月第3土曜日

参加条件：市内在住の小学校4～6年生、中学生が原則

定員：20名程度

費用：年会費 5,000円

一般社団法人滋賀県発明協会は、創立以来「発明の奨励」
等の事業を実施し、地域産業の振興発展を支援している。そ
の事業の一つに、少年少女発明クラブの育成支援をあげて、
子供向け発明教室の開催も実施している。新生「栗東少年少
女発明クラブ」は、滋賀県発明協会と栗東市の全面的支援の

もとで開設されることとなった。

「栗東少年少女発明クラブ」の今後の活動の基本方針は
(1) 少年少女が本来持っている創造性をできるだけ発揮させ
るよう、楽しみながら自由に各種の制作や加工を行う。
(2) 集団での話し合いの指導、技術的な助言等は行うが、少
年少女の自主性を尊重する。(以下5項目をあげている)

栗東市の今後における経済活動の確かな飛躍の原動力は、
研究開発企業の集積と支援による科学技術の振興であると思
えられる。そして、その基盤整備は、子供たちに科学への興
味・関心を持たせ、ものづくりや創作活動を通して、創造性
豊かな人づくりであるといえる。

「栗東少年少女発明クラブ」の開設による、子供が行う多
様なものづくり教室等の実施を通して、栗東市や周辺地域、
さらには滋賀県が、科学技術を活かした新しい郷土として創
生されることを期待している。

人づくりを通した確かな育成に向けて

ものづくりは、日本の持続的経済成長にとっての生命線と
いえる。ものづくりの基盤は、熟練技術者の確保であり、そ
の人材育成と理数教育のさらなる充実である。

そのためには、学校教育における「ものづくり体験学習」
の強化とともに、学校外の地域社会や企業においても、もの
づくり人材の育成がさらに強化されることが必要である。

今般、公益社団法人発明協会から「栗東少年少女発明クラ
ブ」の開設の承認を受けることになった。今後は、関係者・
支援者とともに「ものづくり活動」を着実に展開し、次世代
の栗東市、さらには滋賀県の人材育成の一翼を担いたいと思
っている。



図1 活動のようす 左から、ソーラーボートづくり、琵琶湖のプランクトン観察、琵琶湖畔の生き物しらべ

..... 編集後記

「防災教育における理科教育の役割」第2弾をお届けします。次号では、「持続可能な開発のための教育(ESD)」を特集します。日本が
提唱し、2005年からスタートした「ESDの10年」が来年には最終年を迎え、2014年11月に名古屋市と岡山市で世界大会が開催されます。
日本におけるESDのこれまでの取り組みを次号で紹介する予定です。

(財)理数教育研究所 事務局

サルにされたチャールズ・ダーウィン

(「敬うべきオラン・ウータン」, 'The Hornet' magazine, イギリス, 1871年3月22日掲載の風刺画, 作者不明)

現在、多くの人は人間とサルが共通の祖先を持つことを認めていると思います。そうした考えが広まるのに大きな影響を与えたのがイギリスの博物学者チャールズ・ダーウィン(1809～1882年)です。彼は『種の起源』(1859年)で「生物進化」のしくみに関する考えを発表しましたが、人間の進化にはあまり触れませんでした。それでも波紋は広がりました。人間への言及に慎重だった彼が『人間の由来』(1871年2月)ではっきりと人間も下等な動物から進化したと述べると、早速ここに紹介するようないろいろな風刺画が当時の雑誌などに掲載されました。進化論はキリスト教文化圏の人々には人生観・世界観などに関わる大問題だったのです。

大阪教育大学 名誉教授 鈴木 善次



© PoodlesRock/Corbis/amanaimages

Rimse (リムス)

No.5

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：binary code

©nadla/ ゲッティ イメージズ