

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No.

24

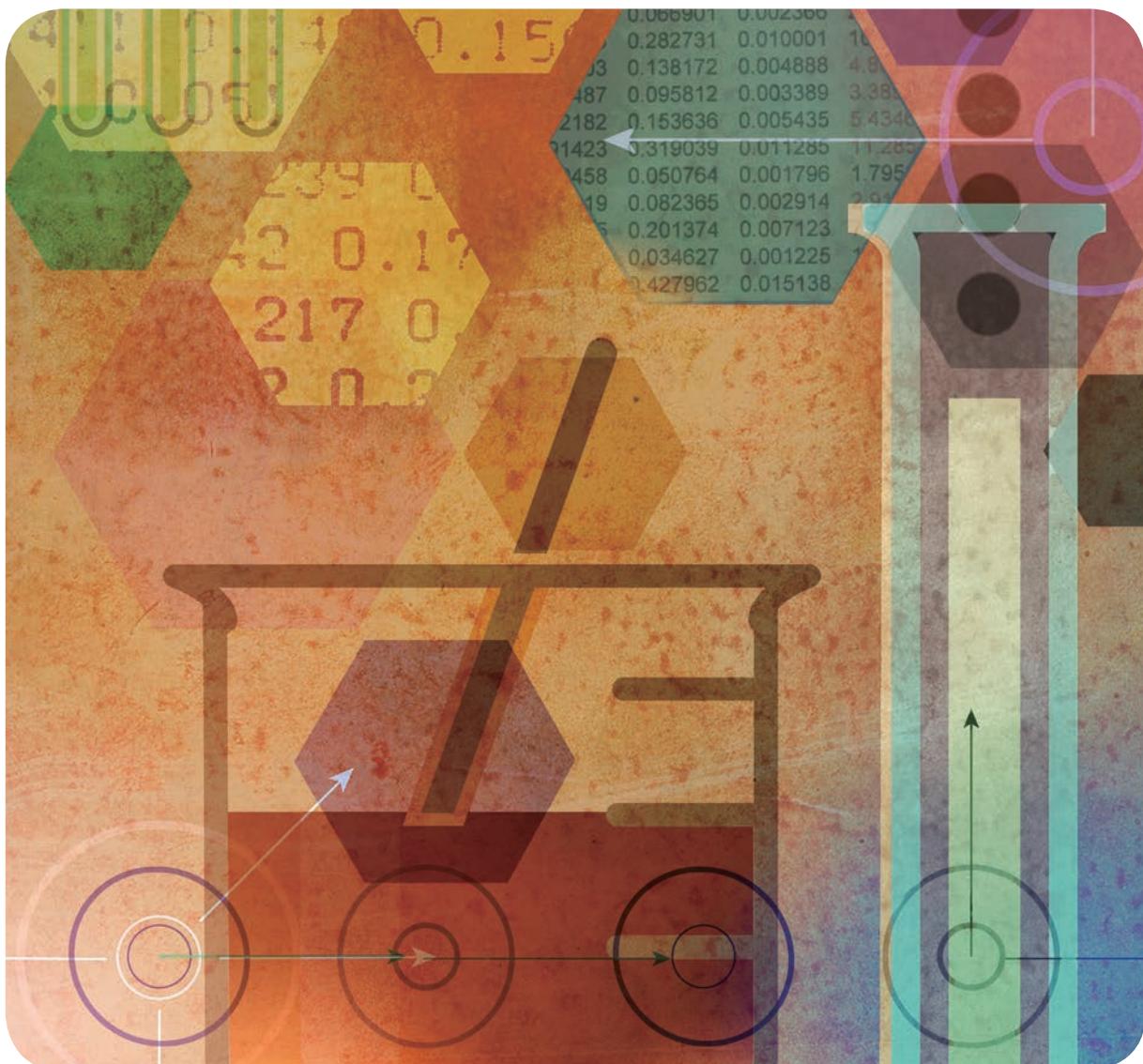
February

2019

特集

課題研究にどう取り組めばよいか I

塩野直道記念 第6回「算数・数学の自由研究」作品コンクール 受賞作品の発表



Contents

表紙裏

巻頭言

数学は「新しい価値」を創り出せるか

京都大学大学院情報学研究科 教授 中村 佳正

卷頭言

Kantougen

特集 | 課題研究にどう取り組めばよいか I

- 2 **I 学習指導要領における探究的な学習の位置づけと SSH, SGH 事業**
一般社団法人 Glocal Academy 代表理事 岡本 尚也
- 6 **II 人文社会科学の課題研究を実践する**
～理数科教育との方法の共有を意識しながら～
中京大学現代社会学部 准教授 相澤 真一
- 10 **III 理科教育と課題研究**
愛媛大学教育学部 教授 関田 学

14 塩野直道記念

第6回「算数・数学の自由研究」作品コンクール受賞作品の発表

- 15 受賞作品一覧
20 作品の審査を終えて -中央審査委員からのメッセージ-
22 表彰の集い
23 最優秀賞・優秀賞・特別賞 -受賞作品の紹介と講評-

33 連載 | ヒトの生物学を教えよう 第13回

免疫チェックポイント阻害剤を考える

東京都立国立高等学校 主任教諭 大野 智久

36 連載 | 統計の見方・読み方・使い方 第1回

マクロスコープ

慶應義塾大学大学院健康マネジメント科 教授 渡辺 美智子

39 連載 | 物理法則の科学史 第1回

慣性の法則

国立科学博物館理工学研究部 研究員 有賀 暢迪

42 教育に新しい風を |

数字のドラマ

北海道教育振興会 顧問 丹羽 祐而

44 広場 | 地域教育で活躍する人々 第23回

“考えることは楽しい”を学習風土に

～永田雅宜氏プロジェクト～

愛知県大府市教育委員会 教育長 宮島 年夫

裏表紙

知られざる女性数学者の素顔 | 第4回

ソフィア・コワレフスカヤ

～ロシア初女性大学教授、恋愛と数学に捧げた41年の人生～

サイエンスナビゲーター® 桜井 進



京都大学大学院情報学研究科 教授
同研究科長

中村 佳正 / なかむら よしまさ

1955年愛知県生まれ。時習館高校卒業、京都大学工学部数理工学科卒業、同工学研究科博士後期課程数理工学専攻修了。工学博士。岐阜大学教育学部助教授、同志社大学工学部教授、大阪大学大学院基礎工学研究科教授などを経て、2001年より京都大学大学院情報学研究科教授。2009年から2011年までと2018年から情報学研究科長、2012年から理事補(教育担当)、学際融合教育研究推進センター長。この間、2002年から2008年まで科学技術振興機構さきがけ研究者、2005年から2012年まで日本応用数理学会理事、2011年同副会長、2016年同フェロー、2008年から2011年までJSIAM Letters誌初代編集委員長を務める。専門は可積分系・計算数学。著書に『可積分系の機能数理』(共立出版、2006、単著)、『可積分系の数理』(朝倉出版、2018、共著)などがある。

数学は「新しい価値」を創り出せるか

のちに国立民族学博物館の初代館長となる梅棹忠夫は1963年に「情報産業論」を著し、農業の時代から工業の時代へ、そして情報産業の時代へという文明史的変化を予見しています。その後、情報産業の誕生に呼応して1970年前後に多くの大学の工学部に情報工学科が新設されました。2000年前後には工学に取りきらなくなつた「情報の学」のため、大学院情報学研究科等が創設されました。また最近では、情報社会の次の社会である超スマート社会、あるいは、Society 5.0の実現を模索する議論が盛んになってきました。ここでは農耕社会の前に狩猟社会を置くことで工業社会がSociety 3.0、情報社会がSociety 4.0とされています。

数学や物理学・化学が工学の基盤であったこと、さらには、数学や計算機科学が情報学においておおいに役に立っていることを考えますと、まだ見えていないSociety 5.0において数学がどのような役割を果たし得るかを考えてみることは夢があってとても楽しいことです。

主唱する内閣府によれば、Society 5.0とは「サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会」とあります。そこでは、人工知能（AI）やビッグデータ処理は情報セキュリティと並ぶ基盤技術となっており、それらを使った高度道路交通システムやものづくりシステムなどの開発により、人間中心の社会の「新しい価値」が創り出されるとされています。人工知能やビッグデータが拓く未来社会には期待と不安が背中合わせですが、Society 5.0では、「新しい価値」という表現で、ポジティブなものだけを取り出そうとしているようです。

数学は、その高度な抽象性により、個々の事象のもつ価値や主観から自由になり、その結果、普遍性を獲得してきました。数学を基盤とする諸科学では、ある仮説をもとに数学モデルを立て、それを実験・解析してもとの仮説を検証してスパイラル状に真理に迫っていきます。一般的・普遍的な前提から結論を得る論理展開の方法である数学が人工知能による「新しい価値」の創出に関わることはできるでしょうか。

人工知能、とりわけ機械学習・深層学習は、一種のブラックボックスとして、ノイズを含む大量のデータをコンピュータで高速に処理して、人間が判断の根拠を与えることなく自

動的に「まなぶ」ことができます。人工知能の研究者は「どうやって解いたかわからないが、ともかくうまく解いている」と言います。自動運転や仮想通貨を想定すれば、どのような推論が行われているか判断の根拠がわからない人工知能の「託言」を心から信用できるとは思われません。

Society 5.0の基盤技術とされる人工知能はブラックボックスの中にあって、人間は「新しい価値」を取り出すどころか、まだ「わかった」というレベルに達していないのではないかでしょうか。

チェスや将棋のようにルールがある場合には人工知能は特に有効で、コンピュータ同士が対戦して質の良いデータを大量に生成しながらどんどん精度を高めていきます。ルール、つまり、広い意味での数学モデルの存在が人工知能の信頼性を高めるのです。また、その判断に何らかの数学的根拠を与えることができれば、人工知能の所作を「わかる」といって良いでしょう。この数学的に「わかる」の意味は広く、いかに抽象的であっても構いません。数学モデルに裏付けられ、判断根拠を説明できる人工知能が実現されるなら、数学は人間が中心となる社会のポジティブな面につながるような「新しい価値」を創り出すことに貢献できるといえます。

古代ギリシアのプラトンから近代のカントにいたる哲学研究では、人間の精神が求める普遍的な価値である「真」「善」「美」を一体のものとして追求することが大切と説いています。これを数学研究に置き換えれば、「真」とは、数学における真理の探究であり、「善」とは、数学によって人間のより良い生き方と社会の価値を考えることです。「美」は、真理の探究の原動力であり、かつ「善」によって豊かになる人の心の内にあるものかもしれません。

「真」と「善」の間の分断は現代科学に共通する大きな課題ですが、数学も例外ではなく、長い間、真理の探究が数学そのものと解されてきました。意図的に「善」の判断を避けてきたのかもしれません。しかしながら、情報社会から人間中心の社会に進み、科学技術によっていかにこの社会の「新しい価値」を創り出すかというときに、膨大なデータに潜む未知の価値を根拠のある判断に基づいて取り出すことができる数学の役割は非常に大きなものとなります。数学への期待と新たな発展の方向がそこに見えています。



課題研究に どう取り組めばよいか I

I 学習指導要領における探究的な学習の位置づけと SSH, SGH 事業

一般社団法人 Glocal Academy 代表理事

岡本 尚也 / おかもと なおや

慶應義塾大学理工学部卒、同大学院理工学研究科終了後、University of Cambridge にて物理学博士号取得、University of Oxford にて現代日本学修士号取得。全国の学校にて探究活動、課題研究の指導、運営指導を行っている。主な著書として『課題研究メソッド～よりよい探究活動のために～』、『課題研究メソッド Start book』(2017 年出版、2019 年出版、新興出版社啓林館) 等がある。



1 ■ 新学習指導要領と探究的な学習

2016 年に新学習指導要領への答申が行われ、幼稚園から高等学校まで段階的に周知、実施が行われる(幼稚園は 2018 年度から、高等学校は 2022 年度から)¹⁾。本稿では、今回特に高等学校において中心的な学習過程となる「探究的な学習」、そしてその探究的な学習の先進的な取り組みであるスーパーサイエンスハイスクール事業 (SSH)、スーパーグローバルハイスクール事業 (SGH) についてその概要と課題について解説を行う。

1.1 ■ 学習指導要領の改訂と探究的な学習の背景

今回、新たに示された教科・科目の構成には学習指導要領の改訂の方向性が色濃く示されている。国語科では、古典探究、地理歴史科では、地理探究、日本史探究、世界史探究、理数科では理数探究基礎、理数探究が置かれ、総合的な学習の時間と呼ばれていた時間も総合的な「探究」の時間へと変更となる。つまり、「探究」という言葉が多く盛り込まれ、教育課程に大きな影響を及ぼすようになったことがわかる。このような変更の背景としては、情報化やグローバル化といった社会的変化が、人間の予測を超えて進展するようになってきていること、そして、人工知能の発達により、与えられた目的を処理するのではなく、目的を自ら考え出し、その目的に応じて必要な情報を見いだし、情報を基に深く理解して自分の考えをまとめたり、相手にふさわしい表現を工夫したり、答えのない課題に対して、多様な他者と協働しながら目的に応じた納得解を見いだしたりすることの必要性の高まりが挙げられている。そして、そのた

めに必要な資質・能力として学習指導要領では、①学びを人生や社会に生かそうとする学びに向かう力・人間性等の涵養、②生きて働く知識・技能の習得、③未知の状況にも対応できる思考力・判断力・表現力等の育成が挙げられている²⁾。このように、与えられた課題に取り組む力だけではなく、自ら目的や課題を設定し、それに対して情報を収集し、他者と協働しながらより良い答えを導く力の必要性が今回の学習指導要領では示されている。現在の日本の教育の現状を示すエビデンスや課題(PISA テストの順位・スコアの向上や、中学校や高等学校の学び直しを行っている大学の割合の増加等)があまり活かされておらず、概念的な教育課題の設定と議論が中心となっている点は改善しなければならないが、以上のような点が学習指導要領の改訂と探究的な学習の背景となる。

1.2 ■ 探究的な学習とは？

では、上記の背景から示されている探究的な学習とはどのようなものであるのか。文部科学省では、以下のようなプロセスを図 1 のように例示している。生徒は①日常生活や社会に目を向けたときに湧き上がってくる疑問や関心に基づいて、自ら課題を見つけ、②そこにある具体的な問題について情報を収集し、③その情報を整理・分析したり、知識や技能に結び付けたり、考えを出し合ったりしながら問題の解決に取り組み、④明らかになった考え方や意見などをまとめ・表現し、そこからまた新たな課題を見つけ、更なる問題の解決を始めるといった学習活動を発展的に繰り返していく³⁾。これまでのように学習内容および教科書等の教材があらかじめ示されておりそれに従って学習

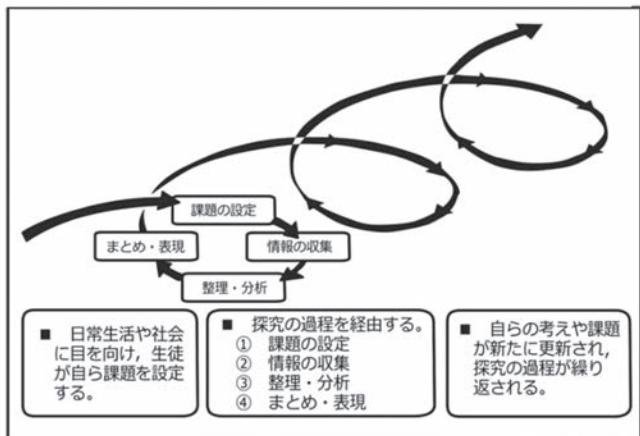


図1 探究における生徒の学習の姿（文部科学省 高等学校学習指導要領解説 総合的な探究の時間編 2018年より引用）

するのではなく、自ら設定した答えの用意されていない課題を題材として、探究のプロセスの中で前述のような「資質・能力を養成する」ことが求められる点が特徴である。当然、図1のような概念図だけでは指導が難しいため、学校の中でそれらを指導するための体制づくりや教材の開発、教員の育成が必要となってくる（『課題研究メソッド』、および『課題研究メソッド Start book』はそのための教材として執筆した）。

1.3 ■ 探究的な学習と大学入試改革

今回の学習指導要領の改訂等の一連の教育改革はかなり大きな規模であると言える。その理由としては、大学入試改革においても学習指導要領の改訂が色濃く影響を与えているからである。これまでの学習指導要領の改訂でも今回の探究的な学習の原型となる取り組み（総合的な学習の時間の使い方）は示されてきたが、大学入試との関連が薄く、多くの学校が取り組みを「後回し」としていた。しかし、今回は、一般入試も含め全ての入試において探究的な学習の時間における学習成果が求められる。その一例を示すと、現在の一般入試では、「主体性をもって他者と協働して学ぶ態度の評価が不十分」であるため、調査書や志願者本人の記載する資料の積極的な活用を行うとされている⁴。この調査書や志願者本人の記載する資料の中に、総合的な学習の時間（後に探究の時間）において取り組んだ課題研究⁵等、なぜその課題研究を行ったのか、その成果・概要を示すことになっている。現行の推薦・AO入試においては既にこのような入試になっているが、次の教育改革では一般入試においても探究的な学習の時間で取り組んだ成果がその評価に影響を及ぼすことが考えられる。

表1 大学入試の変更のポイント

（文部科学省 高大接続改革の進捗状況について（平成29年5月16日）をもとに作成）

入試区分 (名称の変更あり)	変更後のポイント
一般入試⇒一般選抜	<ul style="list-style-type: none"> ・本人記載資料、調査書の積極的な活用 ・記述式問題の導入・充実に向けて取り組む。 ・英語四技能の評価に務める。 ・教科・科目に係るテストの出題科目の見直し
推薦入試⇒学校推薦型選抜	<ul style="list-style-type: none"> ・推薦書の中で学力の三要素⁶の評価を必須化。 ・知識・技能および思考力・判断力・表現力の評価のため、大学実施の評価方法または、共通テストのうち、一つ以上が必要。 AO入試⇒総合型選抜 ・本人記載資料、調査書を積極的に活用し、詳細な書類審査と丁寧な面接による評価の充実 ・知識・技能および思考力・判断力・表現力の評価のため、大学実施の評価方法または、共通テストのうち、一つ以上が必要。
AO入試⇒総合型選抜	<ul style="list-style-type: none"> ・本人記載資料、調査書を積極的に活用し、詳細な書類審査と丁寧な面接による評価の充実 ・知識・技能および思考力・判断力・表現力の評価のため、大学実施の評価方法または、共通テストのうち、一つ以上が必要。

2 ■ SSHとSGH

今回、探究的な学習が学習指導要領の改訂の中心となり、大学入試にも影響を与えるようになったが、その背景にはこれまで行われてきていたSSH、SGHの取り組みがある。SSH、SGHに指定された学校では探究的な学習の中の課題研究が中心的に取り組まれているため、この取り組みを実際に正在する学校の現状を見ることで、近い将来多くの学校が直面する課題や教育成果を見ることができる。

2.1 ■ SSHとは

スーパーサイエンスハイスクール（SSH）事業は、2002年度から開始された事業で初年度を除き、独立行政法人 科学技術振興機構（JST）が主たる実施主体となっている（初年度は文部科学省）。事業の目的は「将来の国際的な科学技術人材を育成

することを目指し、理数系教育に重点を置いた研究開発を行う」となっている。この事業の背景には経済協力開発機構（OECD）や国際教育到達度評価学会（IEA）の調査結果で、「理科が好き」「将来科学を使う仕事がしたい」と回答した者の割合が最下位で、国民の科学技術に対する関心が低いことが挙げられる。現在の指定校は、全国で204校（2018年度現在）である。この事業の指定を受けた学校は、高等学校の段階から将来の科学技術人材育成のために最先端の科学技術等を駆使した教育を実施することを可能にする「科学技術人材育成」としての役割と、教育課程の改善に資する「研究開発校」としての役割を有している（独立行政法人 科学技術振興機構 スーパーグローバルハイスクール HPより）。

2.2 ■ SGHとは

一方、スーパーグローバルハイスクール（SGH）事業は、同様な命名がなされているが、政策決定までのプロセスがSSHとは異なり、2009年あたりから文部科学省の他、内閣府、経済産業省等が行っていたグローバル人材育成戦略の流れを汲む政策で、その背景としてはいわゆる若者の「内向き志向」やグローバル化の中の経済発展の担い手育成がある（グローバル人材育成推進会議 2012）。2014年から実施され、高等学校等におけるグローバルリーダー育成に資する教育を通して、生徒の社会課題に対する関心と深い教養、コミュニケーション能力、問題解決力等の国際的素養を身につけ、もって、将来、国際的に活躍できるグローバルリーダーの育成を図ることを目的としている（スーパーグローバルハイスクール HPより）。SSHと同様に人材育成事業の他、研究開発校としての役割も担っており、現在全国で123校がその指定を受けている。

2.3 ■ 事業の成果と課題

SGH事業と比べSSH事業は年数が長く、事業の成果と課題が多く示されている。例えば事業実施当初の課題であった理科への関心や意欲は、導入校において向上していること、また大学進学時における進路選択においても高等学校時の取り組みが影響を与えることがわかる⁷。また、指定学校への予算の集中に対する批判や、客観的な成果の把握などにおいて課題は残るが、ある一定の成果が見られる。

一方、SGH事業は、2016年度の指定以降、新たな指定は

行われず、新たな事業への転換が予定されている。具体的な成果と課題に関しては、国外研修参加人数の増加や英語力の向上、国際キャリアをめざす比率の若干の向上などがあるが、事業目的とその内容の不一致や、事業成果の設定方法などに課題が示されている⁸。

実際に両事業の指定校にて生徒への指導、教員向けに研修を行った経験から両事業を比較すると、SSH事業が長く続いている要因として、実施主体がJSTという専門的な機関である点と、科学技術人材の育成という教育目標が学校現場でも比較的想像でき、指導可能な教員もいるという点、全国的に事例が蓄積されてきており、徐々に事業の効果が向上している点が挙げられる。また、問題点としては、学校全体で取り組む際に理科系の教員と文科系の教員とで取り組みに対する認識に差が生じてしまっている点が挙げられる。一方でSGHの場合、政策目標として掲げられているグローバルリーダーという定義があいまいな上、学校現場と教育目標の距離が遠く、目指すグローバル人材の設定もあいまいなまま事業が進められているという印象が強かったと言える（学校によつては、以前行われていたスーパー・イングリッシュ・ランゲージ・ハイスクール（SELHi）のような事業になつてゐる学校もあった）。また、予算も初年度は一校当たり1600万円と示されていたが、指定校が増えるに連れて減少し、現在では一校当たり約800万円程度となるなど予算の段階的な縮小も現場の混乱を生んでいた。これから進められる後継事業では、これらの点も改善が望まれる。

3 ■ 総合的な探究の時間の実施に向けて

前述のように探究的な学習は学習指導要領の中心的な教育課程である上、入試においても影響を及ぼすようになったため、文理問わず全ての生徒が取り組む体制の整備が必要となる。前述のSSH、SGH校の現状から、これからどのような体制づくりへの準備が学校、特に高等学校で必要かを解説する。

3.1 ■ 資質・能力ベースの教育目標を設置する

今回の学習指導要領では「何ができるようになるのか」という項目が強調されている⁹。つまり、学校で3年なり6年間教育を受けると何ができるようになるのか資質・能力ベースの教

育目標を掲げるということである。通常教科の学習でもその必要性が示されているが、探究学習のような現場において自由度の高い教育課程であればよりその重要度は増す。言い換えれば、どのような教育目標を掲げて探究的な学習を行っているかに学校の特徴が色濃く出るということである。この資質・能力ベースの教育目標を掲げるメリットとしては、次のようなものがある。

①学校全体の教育方針の指針となる。

学校全体で教育課程に取り組む際に教育目標が定まっていない状況で探究的な学習を始めると、各教員がバラバラの動きになってしまい、担当する教員の経験によって指導力に大きなバラツキが出てしまう。資質・能力ベースの教育目標が学校で共有されている場合は、なぜ探究的な活動を行うのか学校での位置づけが明確になる上、教育目標達成のためのプリントなどの教材を学年ごとに共有できるようになる。抽象的な理念のみの教育目標では、現場での共有も次に示す具体的な教育課程との関連も見えなくなってしまう。

②具体的な教育課程との関係を示すことで、教育課程の評価・見直しが可能となる

探究的な学習では、その評価を開発したループリックを用いて行うことが推奨されている^{*3}。育成する資質・能力ベースの教育目標が定まっていない場合は、どのような観点から評価を行うのか、また何を用いて（論文やプレゼンテーションなど）評価を行うのかが不明瞭である場合があるため、十分な評価が行えない可能性がある。生徒がその資質・能力をどの程度育むことができたのか、学校としての教育目標が達成できたのかを確認することで探究的な学習におけるカリキュラム、教材、指導方法の改善を行うためにも資質・能力ベースの教育目標を掲げる必要がある。

③多忙化の中の業務精選の基本指針となる（カリキュラム・マネジメント）

多くの学校が現在、教員の多忙化に頭を悩ませている。そのような中で探究的な学習を実施しようとすると、追加業務となってしまい、多忙化をさらに悪化させることになる。しかし、一方で業務の削減、特にそれが事務的な作業ではなく、教育に関するものである場合は、抵抗感が強い上、私立学校の場合には保護者への説明も必要となる。資質・能力ベースの教育目標を掲げることによって、これまで行われてきた教育課程も含

め、なぜそれを行っているのかをもう一度見直し教育目標の明確化による教育効果の改善や、教育課程の縮小や廃止の指針とすることができる。その結果、保護者への説明も行えるようになる。ぜひこの教育改革を機会とし、業務の追加を行う前に管理職などが中心となり資質・能力ベースの教育目標から業務精選を行うことをお勧めする。

3.2 ■ 教員の育成

SGHの事業検証に関する中間まとめにおいて、指定校が必要とする活動の案件が示されている。最も多かった項目は「教員・スタッフの育成」であった^{*4}。現場で必要な認識として「研究や探究活動は予算が行うのではなく人が行うものである」ということである。つまり、いかに予算が配分されても、それを担う人材が育たなければ研究も探究も十分には行えないということである。教員採用試験も含め、基本的にはその教科の指導力がベースになっており、探究活動・課題研究の指導力は問われていない。学校全体で実施する体制づくりを行うためにも、学校内での研修や先進校への視察等を通じて教員の指導力を向上させる取り組みを管理職は計画し、実施していく必要がある。

次回の特集では、文系、理系も含めた探究活動、課題研究において具体的にどのような指導が必要となるのかを解説する。



参考・引用文献

*1 文部科学省 学習指導要領「生きる力」改訂のスケジュール 2017a

*2 文部科学省 新しい学習指導要領の考え方－中央教育審議会における議論から改訂そして実施へ－ 2017b

*3 文部科学省 高等学校学習指導要領解説 総合的な探究の時間編 2018a

*4 文部科学省 高大接続改革の進捗状況について 2017c

*5 課題研究とは、先人たちが行った研究の諸業績をふまえたうえで、社会・学術の諸問題から自分が取り組むべき課題を見いだし、それに対して客観的なデータを基にしつつ、自分自身の考察やアイデアなどで新たな知見を想像、探究し、他者と共有することで、課題解決に貢献すること（岡本尚也 2017）。

*6 「知識・技能」、「思考力・判断力・表現力」、「主体性をもって多様な人々と協働して学ぶ態度」

*7 小林淑恵、小野まどか、荒木宏子。スーパーサイエンスハイスクール事業の俯瞰と効果の検証。科学技術・学術政策研究所、2015

*8 文部科学省 初等中等教育課スーパーグローバルハイスクール(SGH)事業検証に関する中間まとめ、2018b

II 人文社会科学の課題研究を実践する ～理数科教育との方法論の共有を意識しながら～

中京大学現代社会学部准教授

相澤 真一 / あいざわ しんいち

1979年長崎県に生まれ、神奈川県にて育つ。2001年慶應義塾大学総合政策学部卒業、2009年東京大学大学院教育学研究科博士課程修了。博士（教育学）。2012年より現職。中等教育の比較歴史社会学的研究を行いつつ、中高の社会科の教員養成に携わり、社会科・公民科教育法及び社会調査の担当教員として、社会の教え方や調べ方を探求している。



1 ■ はじめに

2018年3月に公示された高等学校学習指導要領は、新しい高大接続関係を想定しながら、具体的な改革を学校現場に要求することが明記されている。この改革は、本誌の主な読者であろう理数教育の関係者のみならず、多くの教員の授業内容や授業方法に影響を与えることは間違いない。

今回の学習指導要領の改訂の基本的なポイントとして、「知識の理解の質を高め、確かな学力を育成」することが目標に掲げられ、また、そのような「主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善」を求めている。本稿では、「主体的・対話的で深い学びの実現」に向けて、期待を寄せられている「課題研究」を実施するまでの問題点と実施運営において留意すべきことを人文社会科学の教育の視点から提供する。

2 ■ 課題研究につきまとう影—「学力低下」と「はいまわる経験主義」

新しい学習指導のもとで課題研究を実践しようとするときに、必ず直面するであろう批判として「学力低下」と「はいまわる経験主義」に触れない訳にはいかないであろう。

ちょうど今から20年前、「総合的な学習の時間」を新設した学習指導要領が告示され（小中学校は98年、高等学校は99年告示）、2002年度より完全実施された。当時、「ゆとり」をもって、自ら学び自ら考える力などの「生きる力」をはぐくむことを目指したものであった^{*1}。この学習指導要領は、学校週5日制の完全実施に伴い、削減された内容を多く含むことから、「ゆとり」という言葉が一人歩きし、「ゆとり教育」批判ひいては「ゆとり世代」という言葉を産み出していくこととなった^{*2}。

このような「ゆとり」教育による学力低下が論じられた時期に、その傍証として論じられたデータが、OECDが実施するPISA（Programme for International Student Assessment、生徒の学習到達度調査）である。2000年に開始され、3年おきに実施されている。2003年の結果が、2004年に発表され、2000年より有意に低下したことがセンセーショナルに報じられた。その後、文科省は、「ゆとり」の部分を削除し、「生きる力」を前面に押し出し、「確かな学力」として「基礎的な知識・技能を習得し、それらを活用して、自ら考え、判断し、表現することにより、様々な問題に積極的に対応し、解決する力」を現行学習指導要領において打ち出すようになった^{*3}。

皮肉なことに、「学力低下」への批判とその対応は、新しい学習指導要領において、課題研究にどう取り組めばよいか、という点について、極めてねじれた関係を浮かび上がらせている。2013年12月に、2012年のPISAの結果が読解力、科学的応用力が4位、数学的応用力が7位に順位を上げた際、新聞各紙は、「学力 脱ゆとり効果 12年 OECD 調査 日本の高校生、順位を上げる」（日経新聞2013年12月4日）、「OECD 学力到達度調査 脱ゆとり成果『レベル維持し教育再生』」（産経新聞2013年12月3日）、「国際学力調査、日本は過去最高点『脱ゆとりが奏功』」（朝日新聞2013年12月4日）と一緒に、「脱ゆとり」の効果という文科省の説明をそのまま認めて報じている。

一方、PISAリテラシーは、教育学の観点から見た場合、「内容的知識やポリティクスの視点を捨象し、グローバルに共通すると仮想された機能的リテラシー」を測定しようとするものであり、調査問題に具体化される段階で、グローバルに実施される国際調査として多くの制約を背負い込んでいる^{*4}。すなわち、

PISAで測定されている学力は、「確かな学力」で謳われている表現のうち、冒頭の「基礎的な知識・技能」が充分に測定に含まれられていない。

これに対して、「脱ゆとり」によって重点的に進められた施策は、基礎・基本への回帰であった。PISA2012の報告書では、2012年調査での日本の良好な結果は、上記の教育政策の変化よりも、総合的な学習の時間の貢献が大きいことが論じられていること⁵はあまり注目されていない。

この「学力低下」批判から、基礎・基本への回帰へという流れは、日本の教育の歴史では、しばしば繰り返されてきた。とりわけ有名なのは、戦後の新教育に対する批判である。文部科学省の説明に拠れば、「戦後の新教育の潮流となっていた経験主義や単元学習に偏り過ぎる傾向があり、各教科のもつ系統性を重視すべきではないか」という問題認識から系統主義を重んずる学習指導要領改訂が1950年代後半に行われている⁶。この頃に、偏り過ぎた経験主義や単元学習を揶揄した表現が「はいまわる経験主義」であった。すなわち、ただ経験をし、はいまわっているばかりで、学習を得ていないという批判であった。

「主体的・対話的で深い学びの実現」をするために期待を寄せられている課題研究は、このように「学力低下」として批判されることや「はいまわる経験主義」に陥る可能性と常に表裏一体の関係にある。筆者も2015年度よりSGHの外部評議委員として関わっており、会議のなかでは幾度となく、教職員の方から、近隣の塾や保護者から、SGHの実践に対して、このような批判が寄せられていることを聞かされている。では、このような批判に応えるために、課題研究にどう取り組めばよいのだろうか。

3 ■ 「方法を身に付ける」というメタ認知の難しさ—課題研究の実験的取り組みから

筆者は、大学の社会科学教育と中等教育の社会科教育（高校の地歴公民を含む）が教育実践のなかでどのように接続できるかを検討すべく、2014年度より3年間かけて、科学研究費補助事業「未来の社会科学ユーザを育てるためのカリキュラム構築」として補助を受けて、教育研究活動を行ってきた⁷。具体的には、2014年度に、9月から10月の12コマ分の授業を用いて、中学3年生が文化祭の際にアンケートを配り、文化祭

後、このデータの分析を行った。2015年度は、高校の1学期（=大学の春学期）に高校の2コマ分（=大学の1コマ分）を用いて、総合的な学習の時間として、高校生と大学生を対象としたアンケート調査を行い、このデータの分析を行った。どちらの実践でも、自分たちでアンケート調査を作り、表計算ソフトで分析し、プレゼンテーションを行った⁸。

筆者自身は、上記の題目にも掲げたように、「未来の社会科ユーザを育てる」ことを目的として、中等教育での社会科教育と接続できることを目的としていた。実際に、行った営みは、学術的研究でも行われているアンケート調査（質問紙調査）の方法のエッセンスを伝え、実際に生徒たちがデータを集め、得られた分析結果からストーリーを語れるようにすることであった。いくらか簡略化したことはあるものの、普段、筆者が教えている大学生とほぼ同水準の内容を扱っている。この営みをわかりやすく示しているのが、岡本尚也氏の『課題研究メソッド』の第1章冒頭に示されるイラストイメージ（次頁図1）である。本書に出会ったのは、これらの実践を行った後であったものの、「課題研究」ひいては「主体的・対話的で深い学びの実現」を目標とする学習過程としての「世界共通の学術的な方法（メソッド）」がこのイラストに集約されている。

すなわち、このような学術的な方法を身に付けているか、に焦点を当てた評価を組み立てられるようになれば、「学力低下」あるいは「はいまわる経験主義」といった批判に対して、「主体的・対話的で深い学びの実現」に向けた方法論を身に付けていると反論することができるようになる。

しかしながら、中学生と高校生の学びの差として顕著に感じたことは、その活動を通じて得た知識のみならず、「方法を身に付ける」というメタ認知に発達段階の差が見られたことである。中学生の場合は、実践内容を丸暗記する傾向が見られた一方で、高校生の場合、丸暗記するのではなく、考える方法を身に付けていくことが大切であることを認識している発言も見られた⁹。

研究する方法（メソッド）を身に付けるためには、一連の過程をやってみて、その全体の動きを理解することが必要となる。だが、そこで直面したのは、「方法を身に付ける」あるいは「方法を理解する」というメタ認知を学習者が得ることが決して容易ではないことであった。この認識と評価方法を確立しなければ、単なる「はいまわる経験主義」に陥ってしまい、知識の量

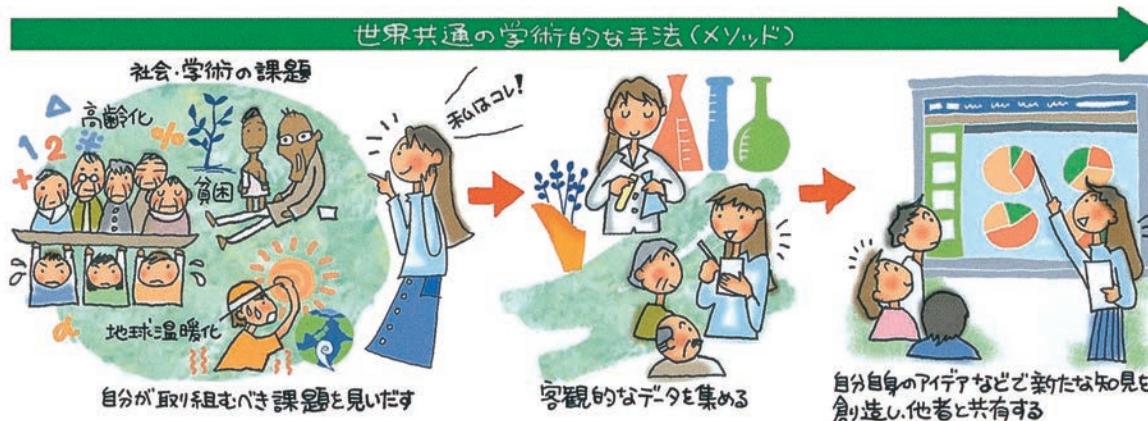


図1 課題研究のイメージ図 岡本尚也『課題研究メソッド』(啓林館, 2017年) 8頁より引用

的多寡の観点から見た場合、「学力低下」と見なされてしまう傾向があることは否めない。

4 ■ 課題研究を進めるために、準備すべきことは何か

新学習指導要領では、公民では、必修科目が「公共」となり、地理歴史では、日本史・世界史・地理それぞれの「探究」が設けられるようになった。理数科同様に、探究学習を組み込んだ授業実践が要求されていくであろう。

現行学習指導要領までは、社会科や国語科は、習得すべき知識を基に、科目名が組まれていた。そのため、教科書の内容も、静的な社会に関する知識を示した中等教育の教科書と、動的な社会の動きを捉える方法論を示しているのが大学の社会科学の教科書という対照を成していた¹⁰。今後、どのようにすれば中等教育に「学術的な方法(メソッド)」として、「自分が取り組むべき課題を見いだす」ことや「客観的なデータを集めること」、「自分自身のアイデアなどで新たな知見を創造すること」を組み込むことができるのか。

逆説的に聞こえるかもしれないが、第一に必要なのは、体系だった知識のインプットであろう。課題研究の営みは、決して無からは生まれない。むしろ、膨大な知識体系のなかで、「巨人の肩の上に立つ」姿勢が求められる¹¹。例えば、近代化や産業革命といった概念をただ概念として覚えるのではなく、政治・経済・社会・文化に関連した社会変動として理解できれば、身の回りの社会を考察するヒントを得ることができる。最近の例を挙げれば、医学部入試で女子受験生が一律に減点されていたことは、日本国憲法にある「両性の本質的平等」に明確に反

する。では、なぜ、そのような差別は近代国家では違法なのか、今までにどのような差別があり、それにどのような対処がなされたのか、あるいは、医者の労働環境が女性に適合していないのであれば、なぜ、るべき労働法制に対して、そのような労働環境が存立してきたのか、この差別を解消するためには、どのような法律的手段が取られるべきなのか。実は、これらの問いに答えるための基本知識は、すべて中学の公民的分野の教科書に収められているにもかかわらず、活用できる人は大人でも少ないのである。

このように、体系だった知識を知ることで、初めて、身の回りの疑問を体系化することができるため、体系だった知識のインプットは必要である。しかし、体系だった知識はそのままで抽象的なものにとどまる。では、身近な経験と抽象的な知識体系はどのように接続できるのだろうか。この際、図2に示したコルブの経験学習の枠組が役に立つ。コルブは、「具体的な経験」から、「なぜ」が生まれたときに、「内省的検討」によって意味づけ、「抽象的思考」によって知識枠組のなかで理解をし、「積極的な行動」に移すことにより、知識の習得を促すモデルとして、主に経営教育で良く知られている¹²。

課題研究を進める場合も、主体的・対話的な学びを深めようとする場合も、生徒が出した身近な問い合わせていかなければならない。この際、「はいまわる経験主義」を避けるべく、これまでの叡智の積み重ねを生かしていく際、経験を「内省的検討」として意味づけ、さらに、「抽象的思考」によって体系化していく必要がある。社会科教育法の観点から見て、これまでの教育法では、「具体的な経験」を導入すること、その一方で、「抽象的思考」のなかで体系的に教えることには長けてきたも



図2 経験学習のサイクルに基づいた知識の習得

ピーターソン&コルブ, 2017,『最強の経験学習』,辰巳出版, 36頁の図を筆者が改訂
の、経験を生徒たち自身が意味づけた上で、知識枠組のなかで理解する思考法を鍛え上げていく必要がある。

上記の学習サイクルを参照しつつ、課題研究に向けて、教員はどのような準備をしていくべきであろうか。第一に、教員が、課題研究のテーマが既にどのように研究が行われているか、についての知識を増やしていくことである。もちろん、多忙な先生方にそのようなことを課すことが困難であるのは十分承知している。そうであれば、関係者を通じて、大学で研究している人とのネットワークを作っていく、人づてに大学で研究がどのように行われているのかについて「耳学問」を増やしていくことが有用であろう。

特に、社会科学は、「理系」的な計量化・定量化と、「文系」的な個性記述的方法の両者により、多様な世界を形成している^{*13}。中高生のみならず、大学生でも陥りがちなのは、社会科学の方法が教わった最初の先生のものが唯一の正解であると捉えてしまうきらいがある。この点でも方法論的多様性まで触れることが望ましい。

第二に、今回の学習指導要領のなかで科目間連携の鍵として重視されているのが統計学である。『統計学は最強の学問である』(2013年、ダイヤモンド社)という書籍も出ているように、統計学は、文理科目を問わず、応用可能な手法である。課題研究に統計学をうまく組み込めるかは、「学力低下」と「はいまわる経験主義」からの批判に応える重要な試金石となっていくのではないか、と筆者は考えている。

そして、最後に、困難だが、重要な準備姿勢を掲げたい。社会科学の課題研究は、人間社会の軋轢や葛藤に直接的に向き合う言葉を用いることになる。むしろ、利害対立するからこそ、

社会問題が起きてるのである。日々の生徒の感想、入試の面接、小論文に始まり、教員採用試験の答案にもびびる「共感」を喚起させるきれいごとだけを述べる「マジックワード」^{*14}から脱却していく必要がある。岡本尚也氏も述べるように、課題研究で求められる文章は、より具体的で客観的な言葉・文章である。このことを最後に改めて強調したい。

参考・引用文献

- *1 文部科学省「新しい学習指導要領の主なポイント（平成14年度から実施）」http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/cs/1320944.htm (2018年11月30日取得)。
- *2 このような議論を研究として、俯瞰した研究として、佐藤博志・岡本智周『『ゆとり』批判はどうつくられたのか』(2014年、太郎次郎社エディタス)が挙げられる。
- *3 文部科学省「学習指導要領『生きる力』」
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/idea/index.htm (2018年11月30日取得)。
- *4 松下佳代, 2014, 「PISA リテラシーを飼いならす」『教育学研究』第81巻第2号, 22頁より引用および参照。
- *5 文部科学省「総合的な学習の時間について 教育課程部会生活・総合的な学習の時間ワーキンググループ資料7」http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/064/siryo/_icsFiles/afieldfile/2016/05/23/1370879_5_1.pdf (2018年11月30日取得)。
- *6 文部科学省, 2011, 「学習指導要領等の改訂の経過」。http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/idea/_icsFiles/afieldfile/2011/03/30/1304372_001.pdf (2018年11月30日取得), 3頁より引用。
- *7 本プロジェクトの詳細については下記URLを参照のこと。<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-26590101/>
- *8 中学校での実践については、児玉英靖・竹内麻貴・森田次朗・相澤真一, 2015, 「未来の社会科学ユーザを育てる社会科・公民科の授業づくり」『中京大学教師教育論叢』第4巻, pp.11-28。高校での実践については、相澤真一, 2016, 「『未来の社会科学ユーザ』として現代社会学部の学びを高校生と共有する」『中京大学現代社会学部紀要』第9巻第2号, pp.23-46。
- *9 相澤前掲2016, 37頁より。
- *10 社会科学全般にわたる考え方を伝える教科書として、評価を確立しているものに高根正昭『創造の方法学』講談社, 1979年や苅谷剛彦『知的複眼思考法』講談社, 2002年がある。
- *11 このことは、岡本尚也前掲9頁を参照。
- *12 コルブの経験学習の説明については、中原淳, 2013, 「経験学習の理論的系譜と研究動向」『日本労働研究雑誌』639, pp.4-14に詳しい。
- *13 隠岐さや香, 2018, 『文系と理系はなぜ分かれたのか』星海社, 218頁。
- *14 岡本尚也, 2017, 『課題研究メソッド』啓林館, 19頁。

III 理科教育と課題研究

愛媛大学教育学部 教授

隅田 学 / すみだ まなぶ

1970年愛媛県生まれ。1992年九州大学理学部卒業。1997年広島大学大学院教育学研究科博士課程後期修了。博士（教育学）。広島大学教育開発国際協力研究センター、宮崎大学教育文化学部を経て現職。1998年米国ジョージア大学客員研究員、2012年英国ケンブリッジ大学教育学部、ホマートン・カレッジ、客員研究員。研究分野：科学才能教育。



1 ■ はじめに

‘知’の大競争時代において我が国は未来への分岐点に立つ。20世紀後半から21世紀にかけての科学の急速な拡大と変化は、社会構造に大きな影響を及ぼし、定型的な仕事や肉体労働を伴う仕事が減少し、抽象的で創造的な課題に取り組む仕事が増加している^{*1}。

我が国の第3期科学技術基本計画（2006）では、「科学の発展と絶えざるイノベーションの創出」が謳われた。そこでは、イノベーションを「科学的発見や技術的発明を洞察力と融合し発展させ、新たな社会的価値や経済的価値を生み出す革新」と定義し、産学官を含めたイノベーション創出のシステム強化や地域イノベーション・システムの構築が提起された。科学技術イノベーションは我が国の成長戦略の重要な柱と位置付けられており、2013年、2014年、2015年、2016年、2017年に科学技術イノベーション総合戦略として議論を重ねて閣議決定され、実践的指針が示されている。

学校教育では、平成30年告示の新高等学校学習指導要領において、現行の数学科「数学活用」、理科「理科課題研究」及び専門教科「理数」の「課題研究」を踏まえ、「理数探究基礎」及び「理数探究」が新しい科目として設置された。全国のスーパーサイエンスハイスクール（SSH）で行われている「課題研究」等の科学的成果や教育的有効性を踏まえ、さらに発展させる理科教育として、強い知的好奇心や自発的な研究態度、自ら課題を発見したり未知のものに挑戦したりする態度などを身につけ、将来、学術研究を通じた知の創出をもたらすことができる人材の育成が期待されている。

2 ■ 生徒の個性や才能をトリガーする課題研究

課題研究は、児童生徒が自分の個性や能力を発揮する場面、そして理科教員はそうした個性や能力を見いだす場面として、大きな意義がある。我が国の児童生徒は、同じ年齢グループで同じ学年を構成し、学習指導要領に示された同じ学習内容を共に学んでいる。一方で、日本の児童生徒の理科の成績への影響要因について、男女差や家庭所得差なども含めて、多様化が無視できない状況になりつつあり、ヘテロな集団を前提とした理科教育の在り方を考える必要がある^{*2}。

スーパーサイエンスハイスクールなどでも課題研究は核となる取り組みとなっており、生徒による主体的で多様な研究活動が行われている。以下に、その活動における子どもと教師の役割という点から類型を試みた。生徒が自分の個性や能力、その伸長を実感できるよう、漸進的な学習機会の提供を行うことにより、さらなる精緻・体制、普及・定着が期待される。



図1 子どもと教師の役割から見た課題研究のモード

図1中のMode 4として、課題研究において、生徒が自分

で問い合わせを立て、方法を選択して実行し、結論を導き出したとしても、そのプロセスに教員が全く関与していないことはない。隅田・白旗・加藤（2010）は、理科研究コンクールにおいて、特に顕著な賞を受賞した児童生徒を過去に何度も指導している教員を対象にインタビュー調査を行い、受賞児童生徒の特性、研究内容や指導、教員の特性などについて明らかにし、その指導のプロセスに関してモデル化を行った³。表1は、研究の着想段階である「Stage 1」、研究の遂行段階である「Stage 2」、そして研究成果の表現段階である「Stage 3」、それぞれの段階において、教員が特筆した受賞生徒の個性や能力と、教員による生徒への関わりのポイントを整理したものである。特に小中学生の場合は、研究の段階にかかわらず、家庭との連携や家庭におけるサポートの重要性に多数の言及があった。

表1 自由研究の各ステージで見られる児童生徒の個性・能力と教員によるサポートのポイント

	Stage 1	Stage 2	Stage 3
児童 生徒	<ul style="list-style-type: none"> ■ひらめき・発想力 ■豊かな感性 	<ul style="list-style-type: none"> ■こだわり・夢中になる ■課題意識の明確化 	<ul style="list-style-type: none"> ■論理性・創造性 ■文章構成力
教師	<ul style="list-style-type: none"> ■本人の主体性・理科的興味の把握 ■豊富な資料の提示 【学習者特性の把握】 【個別差への対応】 	<ul style="list-style-type: none"> ■相談 (方法・機器) ■環境整備(実験室の開放・薬品等の貸し出し) 【計画性・持続性】 【研究の方法・スキル】 【学習環境の整備】 	<ul style="list-style-type: none"> ■努力に見合った評価 ■自己達成感の向上(発表会) 【評価】 【コミュニケーションを促進する場の設定】
	<ul style="list-style-type: none"> ■家庭との連携【協同】 		

生徒による課題研究の質的向上には教員の意識改革が欠かせない。隅田らは、自由研究で顕著な成績を挙げる児童生徒に頻繁に指導に関わる理科教員及びそうした教員が尊敬する理科教員の特性や習慣として、以下の7つを挙げている。

- ①学習者の個性や能力、興味関心の把握
- ②十分な情報収集・準備と適時な提供
- ③研究の方法やスキルの習得
- ④継続的な学びへの支援
- ⑤学習者独自の発想や努力に対する評価

- ⑥継続的な自己研鑽
- ⑦家庭との密な連携

3 ■ 課題研究の評価をどうするか

課題研究は単純な知識理解だけでなく、思考・表現、技能、情意的な側面等を含む統合的な活動であるため、評価規準・基準が比較的明確なルーブリックを用いた評価が効果的だと考えられる。しかしながら、高校生の理数探究の先進的な研究開発校であるスーパーサイエンスハイスクールで行われる課題研究の評価であっても、ルーブリック評価を行っている学校数は20%弱であり、課題研究のプロセスにおいて形成的な評価まで行っている学校数は約10%に限られている⁴。

課題研究の指導において、「指導」と「評価」は表裏一体であり、その到達目標や評価規準・基準を生徒に明示し、共有することが望ましいが、実情は必ずしもそうなっていないことが多い。諸外国の科学コンテストで採点項目や配点が示されることはあるが、教育として利用するためには、最終成果物のみの評価ではなく、形成的な評価として生かすための工夫・改善が必要であり、加えて、教師自身による省察のツールとしての活用も効果的である。

隅田ら（2017）は、高校生の課題研究を生徒自身が振り返るとともに教員が指導に生かすことができるよう、オリジナルな評価ルーブリックを開発した⁵。評価の観点として、まず大きく、①研究デザイン力、②研究遂行力、③研究発信力、④研究協働力の4つの観点を設定し、それぞれの観点について、3もしくは4つの下位観点を設定した。それらの観点と下位観点を整理したものが表2である。

それぞれの下位観点について、3(十分満足できる)、2(お

表2 隅田ら(2017)⁵が開発した課題研究のためのルーブリック評価の観点

観点	下位観点
研究デザイン力	課題設定、情報収集、実行可能性、研究倫理
研究遂行力	内容理解、実験・観察の技能、分析・解析、多面的思考
研究発信力	表現の適切さ、論理性・一貫性、わかりやすさ、質疑応答
研究協働力	役割分担、相乗効果、リーダーシップ

おむね満足できる), 1 (努力を要する) の基準が設定されている。例えば、①研究デザイン力の「情報収集」であれば、「3 (十分満足できる)」は「先行研究や関連分野についてよく調べて整理し、研究の位置づけや背景を理解している」ことを基準とし、「2 (おおむね満足できる)」は「先行研究や関連分野について調べ、初步的な資料を収集している」こと、「1 (努力を要する)」は「先行研究や関連分野について調べていない」ことが基準として設定されている。

加えて、隅田らは、最終的に生徒が自律的に研究を行うことができるすることを目指し、①研究デザイン力から④研究協働力まで、「3 (教員の補助なしに自分でできる)」「2 (教員が少し補助をすれば自分でできる)」「1 (教員の大きな補助が必要である)」から選択する項目を設定している。

隅田ら⁵は、高校生の課題研究について、その研究計画段階（7月）、中間発表段階（11月）、最終発表段階（1月）に、この開発したループリックを利用し、生徒自身による自己評価と教員による評価の推移を調べた。その結果、研究が進展して評価の回数が増すにつれて、生徒と教員との間でループリック評価の平均値の差が小さくなり、教員からの評価が上昇した。1月の最終発表段階では、全ての観点について生徒と教員間で有意差は見られなくなった。研究の初期段階からループリックで規準・基準を明確化し、教員と生徒が共有して形成的に利用することは、自律的な研究能力の質的向上に有効であると思われる。

4 ■ 「21世紀型探究・発見学習」の理科教育へ向けて

(1) 20世紀型探究・発見学習の特徴と問題点

科学は探究のプロセスとして教えられるべきであるという理科教育における探究学習は、20世紀半ばに米国で展開された理科カリキュラム改革運動に大きく影響を受けた。川原（1986）は、急速に拡大する当時の探究的教授・学習の特徴・前提を次の7つに整理している⁶。

- ① 探究授業は注意深く計画される。
- ② 探究授業は一般的なパターンに従う。
- ③ 探究学習は高度にプロセス志向である。
- ④ 教授・学習は疑問中心である。

⑤ 教師は学習の指導者である。

⑥ 子どもは前もって答えを知らない。

⑦ 時間は最も重要なものではない。

20世紀型の探究学習には、生徒が授業の中心として参加する点、口頭による教授や演示実験といった教師から生徒への一方的な理科授業から生徒を解放した点、生徒自身が学習活動を通して自分の能力感の向上を実感できる点、理解と態度、興味を統合的に促進できる点など、従来の理科授業を大きく転換させるような利点が含まれていたのは事実であり、現在にも引き継がれている。

一方で、あらかじめ定められている結論へ向けた「one model fits all」的な学び（全ての子どもが同じ内容を一律に学ぶ）、個への対応に関わる時間的制約、生徒間の固定的な役割分担などの問題点も指摘されるようになってきた。また探究学習では、生徒中心的な側面が過度に強調されが少なからずあるが、探究のプロセスそのものの学びであっても、教師の介入なくしては十分な成果が得られないことが示されている⁷。

(2) 「21世紀型探究・発見学習」による理科授業

20世紀型の探究・発見学習は、授業時間内に、全ての生徒が「同じプロセス」で「一つの科学的な答え」に向かうものであった。21世紀型の探究・発見学習による理科授業では、①探究の基盤となるリテラシーとしての科学知識・技能を理解して活用すること（良識のある consumer）と②科学知識・技能を自分で意図的・実践的に個性化して価値創造できるようになること（個性豊かな producer）により、「科学技術の prosumer（生産消費者）を育む」視点が重要である。

隅田ほか（2015）は、小学5年「ものの溶け方」単元を題材に、単元を通して〈科学のきまり〉や〈科学のたとえ〉を汎用モデルとして共有しながら、単元の後半において児童がオリジナルの実験を計画・実践・共有して学びを個性化する授業を行った。図2は、単元の最後に友達の関連発表も含めて、単元で学んだことに自分たちの「発見」を加えて、整理したものである。参加した児童はオリジナルな実験へと自分たちの学びが拡がり深まるにつれて、「難しい」けど「面白い」「もっと調べてみたい」と思うようになり、自信をなくすことなくなかった⁸。

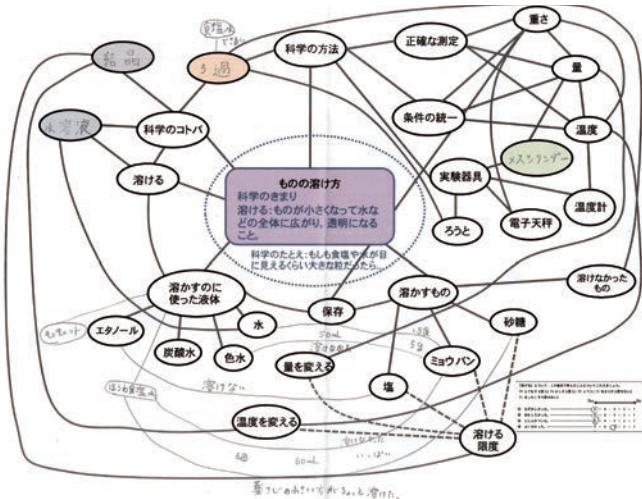


図2 授業後に自分たちのオリジナル実験による「発見」を整理したマップ

5 ■ おわりに

スウェーデンのアルフレッド・ノーベルが1896年に亡くなった後、遺言で創設されたノーベル賞は、1900年にノーベル財団が設立し、1901年に第1回目のノーベル賞が授与された。ノーベルの遺言では、「その前の年に人類にもっとも貢献した者に」授与されると書かれている。Sumida & Ohashi (2015)は、過去約100年間におけるノーベル化学賞受賞者について、その所属機関の分布や研究領域の変化、研究形態の変化について分析を行った。彼らは、その結果から、21世紀型科学研究スタイルの特徴として、①協働性、②学際性、③国際性の3点を挙げている⁹。孤高の天才が人知れず取り組む研究像や西洋中心主義的な拠点研究像は、21世紀の科学研究スタイルから大きく乖離している。

情報化社会の次に起こる、新たな社会 Society 5.0 では、全ての人とモノがつながり、さまざまな知識や情報が共有される。さまざまな分野を越境しながらイノベーションを創出し、課題や困難を克服できる子どもを育成していくことが期待される。高大連携や産官学連携等、学校と社会が一体となつた人材育成が必要である。多様な文化や価値観の人々とともに、個性豊かに自分たちの知識や発見、技能を高め拡げて社会に貢献し、長期的に文化資本を累積していくための新しい理科教育が求められており、課題研究は大きな可能性を秘めている。

引用文献

- ¹ P・グリフィン, B・マクゴー, E. ケア編『21世紀型スキル: 学びと評価の新たなかたち』北大路書房, 2014.
- ² Sumida, M., S, Saruta, Y., Inada, Y., & Lin, S. 「Diversity Dilemmas of Science Education in East Asia」 H. Lin, J. K. Gilbert, & C. Lien (Eds.) 『Science Education Research and Practice in East Asia: Trends and Perspectives』 pp. 191-215, Higher Education Publishing, 2016.
- ³ 関田学・白旗あすみ・加藤智威「才能ある子どもの個性・能力を伸長する理科教員の養成プログラム開発(1)- 理科研究入賞児童生徒を指導する教員の思考・行動特性-」『日本科学教育学会第34回年会論文集』 pp. 355-356, 2010.
- ⁴ Ozawa, Y., & Sumida, M. 「Evaluation of ‘Science Project Research’ as a Subject in Japan’s Super Science High Schools」『Proceeding of the International Conference of East-Asian Association for Science Education 2016』 p. 105, 2016.
- ⁵ 関田学・小澤優樹・佐藤栄治・真鍋昌嗣「高校理科教員における科学研究指導力向上を図る研修プログラムの開発と実践(IV)－形成的なループリック評価を通じた研究の質的向上と教員の省察－」『日本理科教育学会四国支部会報』35, pp. 21-22, 2017.
- ⁶ 川原寄人, 「探究学習」学校理科研究会編『現代理科教育学講座5巻 方法編(上)』, pp. 37-62, 明治図書, 1986.
- ⁷ Samarapungavan, A., Mantzicopoulos, P., & Patrick, H. 「Learning Science through Inquiry in Kindergarten」『Science Education』92, 5, pp. 868-908, 2008.
- ⁸ 関田学・和田敬行・坂本定生・今林義勝・石田靖弘・大橋淳史「『21世紀型探究・発見学習』による理科授業の開発(1)－小学5年『ものの溶け方』での試行－」『日本科学教育学会研究会報告』29, 6, pp. 19-22, 2015.
- ⁹ Sumida, M., & Ohashi, A. 「Chemistry Education for Gifted Learners」 G. Javier, & S. Elena (Eds.) 『Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends』 pp. 469-487, Wiley-VCH, 2015.



受賞作品の発表



一般財団法人 理数教育研究所では、児童・生徒が日常生活や学校での学習などから興味をもった事象を、算数・数学的な見方・考え方を活用して主体的に探究していく姿勢を培养するために、2013年度から塩野直道記念「算数・数学の自由研究」作品コンクールを開催しました。今年は第6回となります。

塩野直道記念 第6回「算数・数学の自由研究」作品コンクールには、全国の小学生、中学生、高校生の皆さんから合わせて16,485件の作品が届きました。海外からも31件の応募をいただきました。ありがとうございました。

作品は各地域で選考後、中央審査委員会で最終審査を行い、p.15-17のように受賞者が決定しました。

●塩野直道賞顕彰委員会

吉川 弘之 東京大学名誉教授 / Rimse 名誉理事

岡本 和夫 東京大学名誉教授 / Rimse 理事長

清水 静海 帝京大学教授 / Rimse 理事

平上 一孝 公益社団法人 全国珠算教育連盟理事長

[特別顧問]

塩野 宏 東京大学名誉教授

中央審査委員会

委員長	根上 生也	横浜国立大学大学院 教授
	伊藤 由佳理	名古屋大学 准教授/東京大学 教授
	銀島 文	国立教育政策研究所 総合研究官
	桜井 進	サイエンスナビゲーター®
委員	藤田 岳彦	中央大学 教授
	蒔苗 直道	筑波大学 准教授
	吉川 成夫	國學院大學 教授
	渡辺 美智子	慶應義塾大学大学院 教授

(五十音順)

主催：一般財団法人 理数教育研究所

協賛：株式会社 内田洋行

株式会社 学研ホールディングス

公益財団法人 日本数学検定協会

カシオ計算機株式会社

後援：文部科学省

国立教育政策研究所

読売新聞社

公益財団法人 文字・活字文化推進機構

公益社団法人 全国珠算教育連盟



中央審査委員会（2018年11月25日、東京・アルカディア市ヶ谷）

<受賞者一覧>

塩野直道記念

第6回「算数・数学の自由研究」作品コンクール

最優秀賞

塩野直道賞
小学校低学年の部

砂を使って大きさ（面積）測ってみよう
兵庫県 仁川学院小学校3年 金光 叶夢

塩野直道賞
小学校高学年の部

お掃除ロボットが動くと……。
滋賀県 滋賀大学教育学部附属小学校6年 辻 歩乃果

塩野直道賞
中学校の部

「西から昇ったおひさま」が見たい!!
青森県 弘前大学教育学部附属中学校3年 工藤 優耀

塩野直道賞
高等学校の部

じゃんけんの拡張～大人数でも秒で決着をつけたい～
東京都 筑波大学附属駒場高等学校1年 米田 優峻
開成高等学校1年 米田 寛峻

文部科学大臣賞

飛び込め数学!!
東京都 東京学芸大学附属世田谷中学校1年 大木 菜穂

Rimse 理事長賞

2次曲線上の3点を頂点とする三角形の垂心について
愛知県 愛知県立一宮高等学校3年 鶴津 裕之

優秀賞

読売新聞社賞

トマトの糖度を糖度計を使わずに求めることができるか。
長野県 長野市立長野中学校2年 真木 さやな

内田洋行賞

変化する速さの時間に対する走行距離をはかろう！
京都府 洛南高等学校附属小学校5年 金城 凜子

学研賞

三年生で習う一番むずかしい漢字は何？
奈良県 王寺町立王寺北小学校3年 田中 紗

日本数学検定協会賞

伊能忠敬の測量方法をもとに自分で地図を作る
大阪府 大阪教育大学附属池田中学校1年 田中 莉穂

特別賞

審査委員特別賞

自分流「ルービックキューブの公式」
京都府 洛南高等学校附属小学校3年 矢野 忠久

審査委員特別賞

地獄からの復活劇～御釈迦様からの試練～
岡山県 岡山大学教育学部附属小学校5年 末光 由季

審査委員特別賞

レジ打ち前はこちらも用意
山形県 山形大学附属中学校1年 中西 美文

審査委員特別賞

二項係数の新しい公式と確率論への応用
兵庫県 関西学院高等部3年 寺本 雅治、柏木 麻理子

👑 奨励賞

Rimse 奨励賞 小学校低学年の部

作品タイトル	学校名	学年	受賞者氏名
スイカのタネのふしき	山形県 山形大学附属小学校	3年	和田 紗采
ハートのかたちにへんしんするには？	茨城県 茨城大学教育学部附属小学校	1年	宮崎 陽奈望
142857は、ふしきな数	千葉県 浦安市立明海南小学校	2年	大友 韶貴
信号が力チカチする回数をしらべて	東京都 晓星小学校	3年	工藤 颯真
九九の表には、どんなルールがあるの？	東京都 杉並区立久我山小学校	3年	齊木 晴香
新しいトランプのゲームのけんきゅう	愛知県 北名古屋市立師勝西小学校	2年	森田 航太郎
一粒も残さずに～私が食べる田んぼの面積～	京都府 洛南高等学校附属小学校	3年	高島 瑞生
まわすぞ!! 三角コマ	鳥取県 米子市立明道小学校	2年	今岡 莉子
六角形のひみつ	岡山県 岡山大学教育学部附属小学校	3年	高木 音葉
くだものにかくされた2, 3, 5, 8, 13	熊本県 熊本大学教育学部附属小学校	3年	園田 唯衣

Rimse 奨励賞 小学校高学年の部

作品タイトル	学校名	学年	受賞者氏名
あらゆる正多角形を作図する！ ～糸を使って～	山形県 山形大学附属小学校	6年	三浦 千奈
おり紙を開いてみよう！ ～いろんな形がかくれているよ～	愛知県 小牧市立小牧小学校	4年	清水 璞桜
ふり駒は平等か？	愛知県 新城市立東郷東小学校	6年	八田 勝友
夕日よ永遠に	滋賀県 滋賀大学教育学部附属小学校	6年	大杉 悠真
効率的な雑巾掛けでお手伝い	京都府 京都教育大学附属京都小中学校	5年	森岡 葵早
5になつたら消える指遊びゲームについて	京都府 洛南高等学校附属小学校	4年	牧田 拓人
切つたら面白いね ねじれた輪の不思議	京都府 洛南高等学校附属小学校	5年	箕輪 怜晟
父よりすごい三山くずし必勝法	福岡県 北九州市立星ヶ丘小学校	6年	水町 義彦, 水町 義秀
コップの音の高さ	長崎県 長崎大学教育学部附属小学校	6年	土谷 風音代
パソコンで一番よく使うキーは? ～ローマ字入力～	熊本県 天草市立本渡北小学校	5年	池田 拓登, 田尻 快人

Rimse 奨励賞 中学校の部

作品タイトル	学校名	学年	受賞者氏名
循環する無限小数の循環節の長さに、規則性を見つけた！	新潟県 新潟市立両川中学校	3年	中村 和佳
月を見て、地球のことを考えてみる ～小天体の衝突を分析する PART 3～	福井県 福井大学教育学部附属義務教育学校 後期課程	8年	金原 成秀
作文の「大変さ」を数学で考える。	愛知県 愛知教育大学附属岡崎中学校	3年	近田 菜緒
歩く速さを速める時には	愛知県 愛知教育大学附属名古屋中学校	3年	平崎 りな
あやとりでつくる図形	京都府 京都教育大学附属京都小中学校	9年	上田 彩加
初代王者を日本の手に !!!	大阪府 大阪教育大学附属池田中学校	2年	駒田 真理菜
一番球体に近いのはどの果物・野菜？	大阪府 四天王寺中学校	1年	内田 みくあ
あみだくじの確率を統計から考える	鳥取県 鳥取大学附属中学校	2年	井口 結仁
バスケットボールの軌道とドーナツの関係	岡山県 岡山大学教育学部附属中学校	1年	泉浦 宇美
知らないと危険！車の巻き込み事故に気をつけて！	愛媛県 愛媛大学教育学部附属中学校	2年	大西 花乃

Rimse 奨励賞 高等学校の部

作品タイトル	学校名	学年	受賞者氏名
イソップ物語の矛盾 －本当にカラスは水を飲めたのか－	埼玉県 慶應義塾志木高等学校	3年	後藤 龍星
立方体倍積問題の近似解	東京都 筑波大学附属駒場高等学校	3年	北脇 優斗
渦潮の速度論考	東京都 東京学芸大学附属高等学校	1年	長尾 信孝
n 進レピュニット数が素数となる条件の考察	東京都 東京学芸大学附属高等学校	2年	小坂 孝一郎
美しすぎる正二十面体について	神奈川県 横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校	1年	坂井 実
ある多重ガンマ関数の漸近的挙動	大阪府 清風高等学校	1年	川村 花道
バナナが伝えていること	兵庫県 小林聖心女子学院高等学校	2年	藤井 さくら
4次元空間での折り紙	兵庫県 兵庫県立加古川東高等学校	2年	寺田 桃実
サイクロイドを包絡線に持つ曲線族について	福岡県 早稲田佐賀高等学校	3年	武知 由真
信号機の数と事故件数の相関関係について	宮崎県 宮崎県立五ヶ瀬中等教育学校	4年	飯干 瑠美奈

全応募作品の中から、最優秀賞、優秀賞、特別賞、奨励賞の受賞者のほか、下記の方々の作品が地区審査から中央審査委員会の最終審査に推薦されました。

小学校低学年の部

学校名		学年	氏名
東京都	暁星小学校	3	工藤 鳩真
		3	杉岡 孝一郎
神奈川県	白百合学園小学校	3	山本 京佳
滋賀県	横浜雙葉小学校	3	三田 小暖
京都府	滋賀大学教育学部附属小学校	1	若代 智華
		1	吉松 慎一郎
		1	大地 健仁
		1	西原 沙弥
		1	深堀 翔大
		1	村川 真麻
		1	山田 翔平
		2	幾野 和心
		2	井腰 鳩太
大阪府	大阪教育大学附属池田小学校	3	兒玉 望来
		3	岩井 飛祐
		1	稻谷 龍哉
		1	木村 真聰
兵庫県	関西大学初等部	2	大澤 由佳
		2	佐藤 夕波
兵庫県	賢明学院小学校	3	今村 亮太
		3	保本 紗奈
		3	山本 佳
奈良県	葛城市立當麻小学校	3	西横 渉
岡山県	岡山大学教育学部附属小学校	2	板東 郁仁
福岡県	北九州市立本城小学校	2	岩下 祥大
佐賀県	佐賀大学教育学部附属小学校	2	西郡 己子
		3	久保 惟真
鹿児島県	肝付町立内之浦小学校	3	橋口 真桜

小学校高学年の部

学校名		学年	氏名
宮城県	宮城教育大学附属小学校	6	姉崎 和真
茨城県	茨城大学教育学部附属小学校	6	榎本 悠花
千葉県	千葉市立海浜打瀬小学校	4	田口 漢音
	野田市立尾崎小学校	6	戸邊 悠希
東京都	白百合学園小学校	5	加藤 優音
		5	村松 志優
		6	磯部 恭輔
富山県	富山大学人間発達科学部附属小学校	6	元起 唯翔
岐阜県	岐阜大学教育学部附属小学校	6	香田 倫果
静岡県	浜松市立河輪小学校	5	田中 晴登
愛知県	小牧市立小牧小学校	6	清水 爽来
京都府	京都市立朱雀第四小学校	5	飯尾 桐芭
	京都聖母学院小学校	5	大谷 玲也
		6	池川 涼
	洛南高等学校附属小学校	4	安積 尚汰
		4	井上 聰人

京都府	洛南高等学校附属小学校	4	多根井 優澄
		4	原田 侑
		4	横山 仁香
		5	奥村 尚希
		5	尾野 悠人
大阪府	池田市立緑丘小学校	5	村上 黎華
		5	織田 幸花
		6	鎌田 あおい
兵庫県	小林聖心女子学院小学校	6	木村 賢純
		5	尾川 セリ
		5	細見 梨恋
		6	川西 華凜
	神戸大学附属小学校	6	木浦 衣央
		5	鈴木 葉瑠子
	仁川学院小学校	5	住野 李羽
		5	川野 真穂, 林 杏樹
山口県	姫路市立手柄小学校	5	佐々木 陽生
		6	松尾 葵奈
		5	久保 黛子
福岡県	山口大学教育学部附属山口小学校	4	大牟田市立羽山台小学校
	北九州市立黒崎中央小学校	6	北九州市立黒崎中央小学校
	福岡教育大学附属福岡小学校	6	福岡教育大学附属福岡小学校
長崎県	島原市立第四小学校	6	島原市立第四小学校
	長崎市立福田小学校	5	長崎市立福田小学校
	長崎大学教育学部附属小学校	6	長崎大学教育学部附属小学校
鹿児島県	鹿児島市立大明丘小学校	6	鹿児島市立大明丘小学校
	霧島市立国分小学校	6	霧島市立国分小学校
海外	ジュネーブ日本語補習学校	4	千葉 麟太郎

中学校の部

学校名		学年	氏名
北海道	北海道教育大学附属釧路中学校	2	山森 心美
	北海道教育大学附属札幌中学校	2	露崎 日菜
		3	佐竹 栄哉
埼玉県	埼玉県立伊奈学園中学校	1	大山 遥香
	さいたま市立大宮東中学校	2	猪股 佑衣
	埼玉大学教育学部附属中学校	3	小林 実樹
千葉県	千葉市立花園中学校	2	青柳 佳歩
東京都	東京学芸大学附属世田谷中学校	1	板垣 陽
	立教池袋中学校	1	服部 優成
神奈川県	カリタス女子中学校	1	瀬谷 香乃
福井県	福井大学教育学部附属義務教育学校 後期課程	9	木村 優花
		9	宮内 茗子
愛知県	愛知教育大学附属岡崎中学校	1	根本 真菜美
	田原市立泉中学校	2	小笠原 愛
三重県	三重大学教育学部附属中学校	3	浦川 小百合
		3	中村 雪乃

京都府	京都市立西京高等学校附属中学校	2	市川 ゆり
	京都市立桃山中学校	2	久保 沙哉乃
大阪府	関西大学中等部	2	木村 舞樹
	四天王寺中学校	1	磯部 万智
		1	深瀬 鈴乃
兵庫県	小林聖心女子学院中学校	1	福島 由莉
		1	力石 聰子
		2	増田 有希
		1	姫路市立増位中学校
		1	岡村 勇哉
		2	姫路市立安富中学校
奈良県	広陵町立真美ヶ丘中学校	3	榎本 亮
和歌山県	開智中学校	1	山内 杏
	和歌山県立向陽中学校	1	岸田 健吾
鳥取県	鳥取大学附属中学校	2	杉村 優太
島根県	島根大学教育学部附属中学校	3	伊藤 混太
岡山県	岡山大学教育学部附属中学校	1	後藤 弘暉
		1	成田 みのり
広島県	広島大学附属中学校	2	守矢 雅喜
		3	渡邊 真
山口県	山口大学教育学部附属山口中学校	2	松本 七星
		3	福田 遥
香川県	香川大学教育学部附属高松中学校	3	松浦 凰
愛媛県	愛媛大学教育学部附属中学校	2	磯野 由依
福岡県	九州国際大学付属中学校	1	松永 若菜
		2	寺田 一燐
	福岡教育大学附属小倉中学校	1	中村 楳
		1	松尾 俐花
佐賀県	唐津市立加唐中学校	1	緒方 咲乃
	佐賀大学教育学部附属中学校	1	千綿 ひかり
		1	峰松 輝太朗
		2	内田 美桜
		3	藤井 亮輔
		3	矢幡 由季
	太良町立多良中学校	3	山口 瑞貴
熊本県	熊本大学教育学部附属中学校	2	上田 順真
		2	田尻 慎太朗
大分県	大分県立大分豊府中学校	1	坪居 さくら
		3	田崎 萌
宮崎県	延岡市立島野浦中学校	2	阿部 晏志
	宮崎大学教育学部附属中学校	2	櫻井 怜菜
		2	日高 陽暉
		2	前田 篤哉
	鹿児島市立伊敷中学校	1	桑波田 那津
鹿児島県	鹿児島市立武中学校	1	末吉 陽葉
	鹿児島大学教育学部附属中学校	1	荒武 匠彦
		1	大島 風仁
		1	辻松 瑠子
		1	平山 鈴華
		2	堂園 万佑子
		2	中村 悠希
沖縄県	琉球大学教育学部附属中学校	3	眞榮城 汐海

高等学校の部

学校名	学年	氏名
埼玉県立越谷北高等学校	2	木ノ下 啓太
東京学芸大学附属高等学校	2	青柳 俊吾
愛知県立一宮高等学校	3	宮崎 翔
三重県立名張青峰高等学校	2	松生 拓磨
東山高等学校	3	榛澤 篤樹, 岡 潔志
大谷高等学校	1	石黒 遥, 岡 歩美, 堺 想子, 設樂 華, 松浦 由依
近畿大学附属高等学校	1	高森 愛実
小林聖心女子学院高等学校	2	馬場 日和
香川県立観音寺第一高等学校	2	齊藤 巧馬
宮崎県立五ヶ瀬中等教育学校	4	唐立 莉緒
沖縄県立球陽高等学校	3	富名腰 義基, 比嘉 佳斗, 金城 重孝, 翁長 凜, 平良 倫太郎

審査を終えて －中央審査委員からのメッセージ－



根上委員長

これまで応募総数は年々増加を続けてきましたが、今年度は16,485件と昨年度の17,120を若干下回ってしまいました。とはいえ、この数は決して小さい数ではありません。また、今年もこれまでの作品に負けず劣らずの作品がたくさん集まりました。特に審査委員の皆さんに衝撃を与えたのは、中学生の部で最優秀賞となった工藤優耀さんの作品です。それは『「西から昇ったおひさま」が見たい！！』という『天才バカボン』の主題歌を現実のものにするという試みです。そんなことが可能なのかと誰もが思うところを、工藤さんはそれを可能にしてくれました。しかも、東京にいながらにして西から昇るおひさまを目撃する方法を数学の力によって解き明かしています。

その他の作品は堅実に研究を積み重ねたという感じのものが多かったように思います。

一方、高校生の一部には、Geogebraというソフトウェアを使って初等幾何の枠を越えた発見をするという研究スタイルが根付いているようです。そのせいか、高校生の応募数は増加傾向にあります。このスタイルを模してさらなる発見を試みるのもよいかもしれませんね。しかし、教えてもらった枠にとらわれていては、「自由研究」ではなくくなってしまうので、要注意！



伊藤委員

皆さんの応募作品のうち、おもに高校生の作品を審査させていただきました。日常的に発見した疑問を数学を使って考えた作品や、いろんな例を眺めて発見した性質を証明した数学研究のような作品など、着眼点も個性にあふれていて、とても面白かったです。今後のコンクールにも、自由な発想で、数学がいろいろと工夫して遊べるオモチャのような無限の可能性を秘めていることを教えてくれるような作品が出てくるのを楽しみにしています。

銀島委員

今年もたくさんの素晴らしい作品を見せていただき、皆さんの算数・数学に対する熱意と可能性を感じながら楽しく審査ができました。素朴な疑問から出発して、その疑問に取り組む方法を編みだし、わかったことや反省点、次の課題を文章でまとめる……。この流れは大人になっても、いろいろな場面で通用します。皆さんひとりひとりの「不思議だな」を大切にして、自由な研究を続けていってほしいと思います。



桜井委員

本コンクールが第6回を迎えた、チャレンジしようする児童・生徒の皆さんに参考にできる受賞作品が過去5回分になりました。研究テーマの選び方、レポートのまとめ方など初めて参加する皆さんには参考になったことでしょう。

参加作品のレポートの書き方・仕上げ方の技術の向上が見て取れます。しかし、レポートをまとめることに集中するあまり、テーマの掘り下げ方が浅くなってしまっている作品が目立ちました。テーマと研究方法を自らの手で探し出すことをじっくり時間をかけて楽しみながらチャレンジされることを期待します。



藤田委員

おもに高校生の審査を担当しました。塩野直道先生の言われている「日常から見つける事象の数理的分析」や、そこから派生する「数学そのものの面白さ」を存分に表現した作品がたくさんありました。

特に高校生の部で塩野直道賞を受賞した『じゃんけんの拡張～大人数でも秒で決着をつけたい～』は、じゃんけんのルールを拡張し、大人数でも公平性を保ちながら短時間で勝者を決定するにはどのようにしたらよいかという「日常事象」からの面白い数理分析で、たいへん素晴らしい作品です。



蔵苗委員

身のまわりにある問題や現象を、算数・数学を使って明らかにしていく自由研究への挑戦は、これからの変化の激しい社会や、これまでよりも人間性が求められていく未来において、きっと役立つ経験となります。与えられた問題

を解き、答え合わせをしてもらうのではなく、自分で疑問に思ったり、問題を見つけたりして、そして、解決の方法を考えることが大切です。正解はいくつもあります。それら一つ一つを自分で評価していくように、考えてみてください。来年も多くのお応募を待っています。



吉川委員

小学校高学年の部の審査を担当しました。算数で学習する数学的な内容や方法を、実際の場面に当てはめて調べたり、算数の内容をさらに発展させる考えにチャレンジしたりする作品が見られました。

優れたアイデアを含む作品や、自分の考えや調べたことをわかりやすく的確に述べるなど、レポートとしての完成度が高い作品も印象的でした。言葉や数、式、図、表、グラフ、写真などを上手に使い、算数・数学の問題を考え、説明している点が素晴らしいと感じました。



渡辺委員

今回は、中学校の部の審査をおもに担当させていただきました。このコンクールも回を重ねる度に、現実の課題解決に数学を活用することの意義と活用範囲の広さ、研究成果の社会的価値の高さが感じられる作品が多く集まっているようで、たいへんに喜ばしいことです。スポーツ、地球惑星、農産物、歴史に政治、スーパーでの買い物と生徒の皆さんの日常を数理的思考で切り取る創造力溢れる作品に出会えることは、私にとってもとても勉強になっています。来年も皆さんの自由な発想をとても楽しみにしています。

表彰の集い

優秀作品の受賞者を招いて、2018年12月16日に東京・アルカディア市ヶ谷にて表彰の集い(表彰式・作品発表)を開催しました。



最優秀賞・優秀賞・特別賞 - 受賞作品の紹介と講評

塩野直道賞

小学校低学年の部

砂を使って大きさ（面積）測ってみよう

兵庫県 仁川学院小学校3年 金光 叶夢

全5ページ



研究テーマ（タイトル） 砂を使って大きさ（面積）測ってみよう

兵庫県 仁川学院小学校 3年 名前 金光 叶夢

①研究のきっかけ
マスコンの本を見ていて、手の面積の出し方には分かっていたが、手全体（手のひら、こう、すきまもすべてふくめて）の面積を出してみたいと思いついた（6月からじゅくで色々な图形の勉強をなさい始めたから）色々と考えてみた。

④じ、人びとする物



①カップと計量器
計量器は、今まで測れる物を使う。カップを上にのせたい、うたいで目もり。

⑤ムラが出ない様砂をはたいて均等にする。
⑥余った砂をカップにもどし、もう一度重さを測る。（270、49）

糸吉 果

実験1より $300g - 291.8g = 8.2g$
 $100cm^2$ あたり $8.2g$ 砂がついたので
1cmあたりに直すと $0.082g$ になる。
これをもとに実験2、3を計算すると

実験2より

① $400g - 398.7g = 2.3g$ （手についた砂の量）
② $2.3g \div 0.082g (1cm\text{あたり}) = 28.75cm^2$
になるので手の面積は $28.75cm^2$ になる。

実験3より

① $300g - 290.48g = 9.6g$ （ペットボトルについた砂の量）
② $9.6g \div 0.082g (1cm\text{あたり}) = 36.97cm^2$
になるのでペットボトルの面積は $36.97cm^2$ になる。
※答えは小数点第3位を切り捨てています。

まとめ
面積は、計るだけでわたくて重さとで
れいしてどうやれる事がわかった。

▲1ページ目

- 5 -

④手のうち、表、すきまにしがり砂がついていることをかくに人する。
⑤ムラが出ないように砂をはたいて均等に測る。（378.7g）
⑥余った砂をカップにもどし、一度重さを測る。（300g）

実験3（ペットボトルの表面積）

①砂の重さを測る。（300g）
②測った300gの砂を紙の上におく。

③ペットボトルにまんべんなくのりをぬる。
(キャップ) 部分をのぞく。
④ぬれた場所に砂をかける。

- 4 -

▲4ページ目

講評

この作品では、手に糊を塗って付着させた粉の重さと面積の比例関係を利用して、手の表面積を計算しています。小学生の知識で計算できる面積に分割して近似値を求める作品が大半ですが、この作品はそれと比べるとかなり精度の高いものになっています。また、カップの中に残った粉の重さから手に付着した粉の重さを求めるという「引き算」の発想も他の類似作品とは異なり、高く評価できます。

※紙面の都合で、受賞作品は一部のみを紹介しています。理数教育研究所のホームページで、

作品のすべてをご覧いただけます（<http://www.rimse.or.jp/>）。

中央審査委員会

塙野直道賞

小学校高学年部

お掃除ロボットが動くと……。

滋賀県 滋賀大学教育学部附属小学校6年 辻 歩乃果

全5ページ



お掃除ロボットが動くと……。

滋賀大学教育学部附属小学校6年 辻 歩乃果

1. 研究のきっかけ

部屋の掃除を掃除ロボットを見て、どんな軌跡を描くのか?

筆者自身について不思議に思い調べてみることにした。

2. 研究の内容と方法と結果

実際にお掃除ロボットには人間が組み込む機能や、学習機能などをもとに複雑な動作をすることで簡単な条件を与え、次のうな手順で動きを検証することにした。

A. まず、基本的な条件を設定する。

★標準的な部屋のサイズを使用。部屋200×360mmの四辺形の範囲とする。

★お掃除ロボット本体……200×200 mmとした。(今後本体を表記)

★部屋の状態……何を重いといふか状態とする。

★スタート地点……原点(100,100)又は(200,200)に

本体の中心を合わせる。

★ゴール地点……最も可能な限り部屋が軌道でつなぐべく位置を定め不可能にした地点。

B. かく基本的な条件を決める

条件は無限にあり、簡単検証では組みがいくつかを抜粋する。今回では次の条件と重きの条件を決め何種類かの条件を決める。

★スタート地点の向き……①スタートは壁と平行 ②スタートは斜め45°

★スタート地点の位置……③スタート(100,100) ④スタート(200,200)

★スタート後の動きの条件……⑤直進して壁に当たると本筋の方向に移動する。

⑥直進して壁に当たると半径100mm 45°円弧の軌道を移動する。

⑦直進して1000mm 45°円弧の軌道を移動する。

C. 上記条件のリスト

(条件の個数を算式) $2 \times 2 \times 3 = 12$

□□[①+②+③] ④[①+②+③] ⑤[①+②+③]

□□[①+②+④] ⑤[①+②+④] ⑥[①+②+④]

□□[②+③+④] ⑤[②+③+④] ⑥[②+③+④]

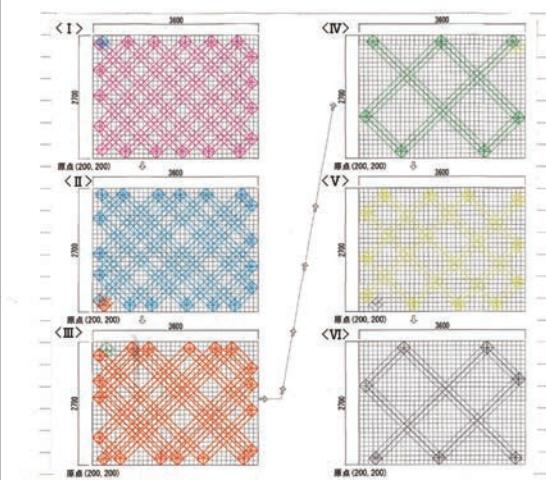
□□[②+③+⑤] ⑥[②+③+⑤] ⑦[②+③+⑥]

□□[③+④+⑤] ⑥[③+④+⑤] ⑦[③+④+⑥]

□□[③+④+⑥] ⑦[③+④+⑥] ⑧[③+④+⑦]

★上記

▲1ページ目



3. 研究のまとめ

①お掃除ロボットが「直角」形をしているのが分かる。②直角だと部屋の壁に直角に直進する時、時間が長い円弧を描く時、時に円弧の半径が大きくなることで直角壁に近づいた回転が起こる事だ。

③直角が直角の場合は動きが直角の面に直角に進む時に、どうかわる条件や回転が起きる場合がある。必要に思えた。

④直角に直した動きを描くことで、無理に基準的なパターンが出来上がり、それらは実際には適用できない。

⑤直角を直すと、フローティングが消滅してしまう。

4. 結論と今後の予想

実際に物を置いた状態で検証しました。プログラミングで学習してみたいと思った。

参考書や使用したもの JW-Cad や Windows の解説リフレンス (JW-CAD)

▲5ページ目

③[①+②+⑦の場合]

①スタートは壁と平行

②スタート(100,100)

③直進して1000mm 移動すると半径100mm 45°円弧の軌道を移動する。

結果: 2度目のパターンを描くまでに直進して二度目のルートを走った。本筋の直角がかかるから、折り返しを描くことはできなかった。三度目のくり返しが原点までより本筋に向には長い。直進して壁に当たりストップした。距離を走る直角になら、二度の同じルートが描かれた。

④[②+③+⑦の場合]

②スタートは斜め45°

③スタート(100,100)

④直進して壁に当たると半径100mm 45°円弧の軌道を移動する。

結果: 原点(100,100)では本筋を含め45°に設置不可。よってスタートは直角のところがどこかで壁に直角に向かうもののみに斜め45°に移動不可だった。壁に当たりストップした。回転時に本筋が四角形の為、角度が45°回転不可。

④[①+⑥+⑦の場合]

①スタートは壁と平行

②スタート(200,200)

③直進して1000mm 移動すると半径100mm 45°円弧の軌道を移動する。

結果: 原点(200,200)では本筋を含め45°に設置不可。よってスタートは直角のところがどこかで壁に直角に向かうもののみに斜め45°に移動不可だった。壁に当たりストップした。回転時に本筋が四角形の為、角度が45°回転不可。

⑤[②+④+⑦の場合]

②スタートは斜め45°

④スタート(200,200)

⑤直進して壁に当たると半径100mm 45°円弧の軌道を移動する。

結果: 原点(200,200)では本筋を含め45°に設置不可。よってスタートは直角のところがどこかで壁に直角に向かうもののみに斜め45°に移動不可だった。壁に当たりストップした。回転時に本筋が四角形の為、角度が45°回転不可。

▲3ページ目

講評

一般家庭に普及してきたロボット掃除機について、その性能をロボット掃除機の動きにフォーカスし、数理の眼差しで自ら確かめようとした研究です。条件設定—長方形の部屋を座標を用いて表現している点と初期条件の設定—が的確であることと、コンピューター・ソフトを用いて描写したロボット掃除機の軌跡を表すグラフのクオリティが評価されました。

中央審査委員会

塩野直道賞
中学校の部

「西から昇ったおひさま」が見たい!!

青森県 弘前大学教育学部附属中学校3年 工藤 優耀

全10ページ



青森県上級選手

「西から昇ったおひさま」が見たい!!

弘前大学教育学部附属中学校 3年 工藤 優耀

1. 研究の動機

「西から昇ったおひさま」が見たい!!
これは誰もが一度は聞いたことがある曲、天才ハカボンの主題歌である。僕は小学生の頃、「太陽が昇る方角はこの歌詞の逆」というふうに覚えていた。
しかし中学生になると、西から昇る太陽を見ることが理論上可能なのでないか、という疑問を持った。そこで今回は西から昇ったおひさまを見る方法について、調べてみることにした。

2. 研究の方法

- (1) この研究をするにあたって、必要な準備知識を学ぶ。
- (2) 理論上西から昇る太陽を見ることが可能である方法を考える。
- (3) (2)で考えた方法について、条件や仮定を設定する。
- (4) (1)～(3)をもとにして計算し、(2)で考えた方法が可能であるかを調べる。
- (5) (4)で調べたことを一般化し、表やグラフにまとめる。

3. 研究結果

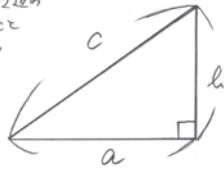
2で示した順序に基づいて考えていく。

(1) 準備知識

(2) 三平方の定理

直角三角形の直角をはさむ2辺の長さを a, b 、斜辺の長さを c すると、次の関係が成り立つ。

$$a^2 + b^2 = c^2$$



▲1ページ目

前ページの線分QQ'をまる式¹を用いて、日々入り65の時間で西の太陽を見るのに必要な地上からの高さの表、グラフは次のようになります。

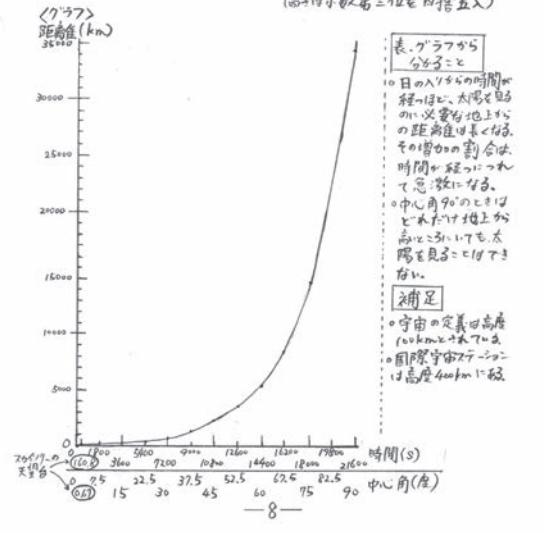
（表）

時間(s)	中心角(度)	高さ(km)	時間(s)	中心角(度)	高さ(km)
0	0	0	10800	45	2144.80
160.8	0.67	0.35	12600	52.5	3327.80
1800	9.5	44.68	14400	60	5178
3600	15	182.66	16200	75	8352.77
5400	22.5	426.69	18000	75	14828.26
7200	30	801.04	19800	82.5	34492.20
9000	37.5	1348.73	21600	90	なし

（高さ小数第三位を四捨五入）

（グラフ）

距離(km)



▲8ページ目

（2）西から昇る太陽を見よ吉法

今回の研究では、日々入りで西に太陽が沈んだ後に、再び西の角から太陽を見ることができれば西から昇る太陽を見よことができる、ということです。

どんな方法があるのか？

①飛行機や旅客機に乗り、地球の自転と逆の方向へ進んでいく。
⇒ 太陽は地球の自転によって東から西に動くよう見えます。

自転と逆の方向へ自転の速度よりも速い速度で進めば、一度沈んだ太陽を再び昇らせることができます。

②太陽が沈んだ後に、エレベーターなどを使って高いところに行く。

⇒ これは水平線までの距離離と関係している。観測者は水平線との距離は観測者が海面から高いところにいるほど長いから（図1）。これを例えば、一度沈んだ太陽を再び昇らせることができます。

③この方法だけで飛行機や旅客機、何種類があるためそれがどれだけかかるか、証明するのが非常に難しい。そのため、今回の研究では②の方法について詳しく調べてみたいと思います。

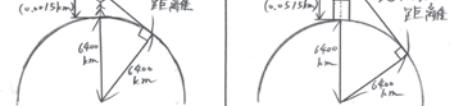
（図1）

地球の半径を6400kmとして、

（1）観測者の自転とともに地上にいるある

ときの水平線までの距離離

（2）観測者より海上50kmの建物の上にいる目の高さが1.5m（身長）、目の高さより海上51.5m（ある）いるときの水平線までの距離離



地平線までの距離離を x km とし、三平方の定理を利用して、

$$(1) x^2 + 6400^2 = (400,001)^2$$

$$x^2 = 19,204,002.25$$

$$x = 4,381.9 \dots$$

$$(2) x^2 + 6400^2 = (400,051)^2$$

$$x^2 = 159,202,652.25$$

$$x = 25,674.9 \dots$$

（1）より、観測者が海面から高いところにいる場合は、水平線との距離離が長くなることが証明できた。

—4—

▲4ページ目

講評

現在は、大変革の時代と言われています。そこで求められているのは逆転の発想とその発想を実現化する理論と技術です。この研究では、誰もが思いつきもしない課題を設定し、数学でその解を導いています。スケールの大きな数学の魅力がしっかり伝わる作品です。特に、緯度と日の入りからの経過秒数、必要な地上からの高さの間の関係式を導き、具体的に、スカイツリーで「西から昇る太陽を見る」ことが実現できることを示した研究の価値が高く評価されました。

中央審査委員会

塩野直道賞 高等学校の部

じゃんけんの拡張 ~大人数でも秒で決着をつけたい~

東京都 筑波大学附属駒場高等学校 1年 米田 優峻
開成高等学校 1年 米田 寛峻



全 10 ページ

じゃんけんの拡張 ~大人数でも秒で決着をつけたい~

筑波大学附属駒場高校 1年 米田 優峻
開成高校 1年 米田 寛峻

はじめに

「じゃんけん」というゲームは、誰が商品をもらうか決まり、学校で委員会を決める時によく使われる dari, ほとんどの日本人が知っていると思います。ある日、私たちは 10 人以上の人数でじゃんけんをする機会がありました。その時、優勝者を決めるのに 30 回以上じゃんけんが必要だったのを覚えています。

あの時から、「人数が多くて簡単に優勝者を決められるように、じゃんけんを改良する方法はあるのか」ということにいて考え始めました。もしも優勝者を簡単く決められ、かつ実用的である改良方法があれば、今までの「大人数でのじゃんけんに決着付」ということのゼロになるのではないかと考え、研究をすることになりました。

研究の方法

研究の対象となる問題は、「じゃんけんをする時に、じゃんけんを改良する方法はあるか」というものです。例えば、通常のじゃんけんにおいては、「8 人のうち 5 人がパーを出し、3 人がチョキを出す」という状況であれば 5 人が勝ち、さらにもう 5 人の中でもう 1 人が勝ちに行き、優勝者を決める必要はありません。

しかし、プレイヤーの出す手の組み合わせに対して勝者を 1 人だけ出すことになると、すぐに優勝者が決まるので、「勝者一人が決まる」または「あいこ」に帰結することを考えます。つまり、各プレイヤーの出す手 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_N$ ($a_i = \{グー, チョキ, パー\}$) に対して、関数 $f(a_1, a_2, a_3, \dots, a_N) = S$ が存在し、 S は必ず 1 以上 N 以下の整数（誰が勝った）または -1（あいこ）であるということを意味します。当時のごとく、各プレイヤーが最適な戦略を行ったときに全てのプレイヤーが平等な確率で勝つようならじゃんけんを考えなければなりません。例えば、2 人で通常のじゃんけんを行う時、確率の組は以下のようになります。

$a_1 \setminus a_2$	グー	チョキ	パー
グー	-1	1	2
チョキ	2	-1	1
パー	1	2	-1

$f(a_1, a_2)$ の値

なお、3 人で通常のじゃんけんをやる場合は、勝者が 2 人いる場合がありますので、このようなことは考えないことにします。

今回の研究では、まず通常のじゃんけんが如何に時間がかかるかというのを説明したうえで、上記のようなルール（勝者が 1 人、またはあいこ）のもとで、仮に人数が 100 人・1000 人程度ととても多くても、早く決着がつきかつ実用的であるじゃんけんの方法を考察しました。

-1-

▲1ページ目

8. 実用化できそうな解法②：さらに直進にじゃんけんをする方法

[前提]

基本的に、7. 章の方法を借用します。ただし、8. 章の方法のキーポイントは、「勝者が決まる確率が半分以上である平均で 2 回以内のじゃんけんで勝者が決まる」ということを利活用したことです。これを活用して、計算時間を $\log N$ に縮めます。

さて、 $B = \log N$ 以上の最小の整数となります。そして、 $C = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdots c_{B-1} \cdot c_B + 3^{B-1} \cdot c_B$ となります。 C を N で割ったときに勝者が決まります。 $(C \bmod N = 0$ のとき、1 人が勝ち、1 人が勝つ) とあります。つまり、 $c_1, c_2, c_3, \dots, c_B$ ($c_i \in \{0, 1, 2\}$) に対して、 $f(b_1, b_2, b_3, \dots, b_N) = f(a_1, a_2, a_3, \dots, a_N)$ (ただし、 $b_i = T(a_i)$ になります) が成り立ちます。そのため、 $b_1, b_2, b_3, \dots, b_N$ を満たすと、そのとき、次の定理が成立します。

定理 8.1 「この 2 つの条件をすべて満たすこと」は、「じゃんけんの試合として成立する 3 条件を満たすこと」であるための十分条件である。

A. $(b_1, b_2, b_3, \dots, b_N) = k$ を満たす N -tuple $(b_1, b_2, b_3, \dots, b_N)$ の集合を S_k ($1 \leq k \leq N$) とするとき、
 $|S_k| = |S_{k+1}| = |S_{k+2}| = \cdots = |S_N| \neq 0$ を満たす。
B. $f(b_1, b_2, b_3, \dots, b_N) = f((b_1+1) \bmod 3, (b_2+1) \bmod 3, (b_3+1) \bmod 3, \dots, (b_N+1) \bmod 3)$ を満たす。

5. 勝敗を決まりやすくする「新しいじゃんけん」 - N の場合で一般化できるか？

一般化するためには、先ほどの 3 つの条件を、数学的な式に書き換えなければならないと思います。5. の前半では条件を定式化すること、後半ではこれを用いて一般的 N に対する「じゃんけんの回数の期待値」の最小値を求めてみたいと思います。

しかし、5 人以上になると書くにすると結構長くなるので、一般的の N に対して考えてみることにしましたが、これにはもう 1 つ工夫が必要になります。これを 5. で書ききます。

▲4ページ目

例えば、 $N = 10$ で各人が {パー、 チョキ、 グー、 パー、 チョキ、 グー、 パー、 チョキ} とします。このとき、 $(c_1, c_2, c_3, \dots, c_9)$ は $3^9 \bmod N = 1$ 以下です。 $3^9 \bmod N = 1$ のとき、 $3^9 \bmod N < 3^9 - 2$ より「あいこ」の組み合わせは $3^9 - 2$ 通りあります。つまり最初の 4 人の手の組みを決めておけば、そのときの勝者が決まります。つまり、この方法は基本的じゃんけんと同じであるが、「最初の $k+1$ 人の手しか気にする必要がない」というところだけが違う、ということです。

つまり、この方法は基本的じゃんけんと同じで、最初の $k+1$ 人の手しか気にする必要がない」ということです。

例えば、 $N = 10$ で各人が {パー、 チョキ、 グー、 パー、 チョキ、 グー、 パー、 チョキ} とします。

組み合わせは $3^9 \bmod N = 1$ 以下です。 $3^9 \bmod N = 1$ のとき、 $3^9 \bmod N < 3^9 - 2$ より「あいこ」の組み合わせは $3^9 - 2$ 通りあります。つまり最初の 4 人の手の組みを決めておけば、そのときの勝者が決まります。

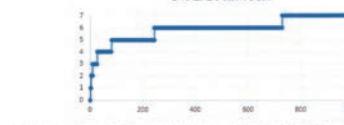
よって、決着が 1 回のじゃんけんで付く組み合せが $3^9 - 2$ 通りあると見えます。なぜなら確率が半分超える（証明省略）

また、この方法において、勝者が 1 回で付く確率は半分を超える。

また、この方法において、 $B = \log_3 N + 1$ を切り捨てたものなので、勝者が決めるためにかかる計算回数は $\log_3 N + 1$ (実数) 回になります。すなはち、たとえ 100 人で改良版じゃんけんを行っても $B = 5$ 、世界の人口 76 億人で改良版じゃんけんを行っても $\log_3 7,600,000,000 < B = 21$ となるので、計算回数もかなり短時間なものになります。

参考程度に、 B と N の値は以下のようになります。

8. の値と人数の関係



ですので、10 人、40 人、あるいは 100 人以上といった大人数で優勝者を平等に決めたいとき、この「改良版じゃんけん」の実用性は高そうだということが分かりました。

-8-

▲8ページ目

講評

たくさんの人がじゃんけんを行なうとき、じゃんけんのルールをうまく定めて、早く勝者が決定できるように工夫しています。また、ただ早く決定できるだけなく、どの手で誰が勝つかをもちろんあらかじめ公表しておくので、すべての人の出す手の中で有利、不利があってはダメだという制約条件が必要になりますが、そこもうまくクリアして面白い事実や計算結果などを得ています。専門的にはブロックデザイン、実験計画法などにも発展する考え方で現代応用数学としても重要なテーマの一つです。

中央審査委員会

文部科学大臣賞

飛び込み数学 !!

東京都 東京学芸大学附属世田谷中学校 1年 大木 菜穂

全 8 ページ



飛び込み数学 !!

東京学芸大学附属世田谷中学校 1年 大木菜穂

動機や目的

私は水泳を習っていて、日々タイムを上げることを目指して努力している。そこで私のチームは、フォームなどを意識してタイムを上げることを目指しているが、その一方で飛び込みへの意識は薄く、普段飛び込んでタイムが速い人が飛び込むとタイムが遅くなる事がある。なので、飛び込みが速くなる方法を数学から活かして、チームとして1人1人が飛び込みに強くなる。そして、自分としてもタイムを上げて夢を叶える事を目的とする。また、科学的に見てもこの実験の結果が将来を期される選手にとって日本オリンピック競技に貢献でき、世界の1つの国としてこれからも繋がっていける事を目的にこの研究を始めた。

研究の方法

入水角度を求める、飛び込みの速さのコツを数学から出す。なぜ入水角度の比較にしたかというと、飛び込みで条件を変えられ、タイムに大きな影響を与えるのが結局は全て入水角度によって変わってしまうと考えたからだ。

1. 実験をやってもらう人に感覚で大きい、小さい、普通の入水角度で飛びこんでもらう

2. ビデオカメラで撮影した(水面ギリギリにカメラを設定しておく)

3. 5mライブに手の先が床までのタイムを計る

4. コースロープを水平なためコースロープと手の間を入水角度とし図る

5. その結果を元にグラフを作り、どの入水角度が一番速いのか求める

1. 衣を脱ぐ

2. 各入水角度で平均時間を求めた

3. 散布図の作成

4. 二次関数式によるグラフ

5. タイムが最も小さな入水角度を求めた方法は下図を参照

この実験の対象者は、中学1年生～中学生3年生で水泳経験が3年以上ある6人です。

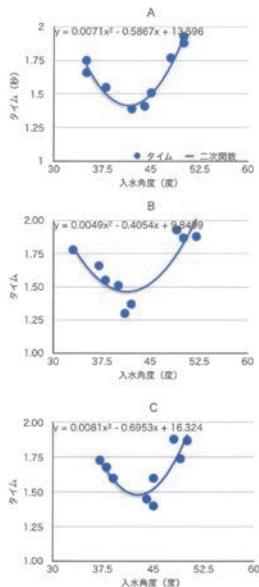
予想

わたしの予想では中くらいの入水角度、つまり普段行なっている入水角度が一番早くなると思う。なぜなら、大きすぎてしまうと手の先が下の方に向いてしまい、奥の方へ行ってしまうため抵抗が大きくなってしまうし、逆に小さ過ぎても前にいく力がなくなってしまうと思うからである。その点、中くらいであると大きい時の弱点も、小さい時の弱点もまかなえると思うからである。抵抗を受けずにそしてトップスピードになり込めるのは中だと思う。

▲ 1 ページ目

3. 散布図の作成

集まった結果で散布図を作ってみると、下の方が凸になった。そこで、Numbersを用いて二次関数でフィッティングして、1番タイムが速くなる入水角度を求める為にタイムが同じになる二つの入水角度の中点をコンパスで求めた。選手ごとに1番最適な入水角度が存在しそうであることがわかった。また、面白いことにその入水角度はほぼ同じになった(平均が41.05、最小が38.76、最大が42.92)。



▲6ページ目

角度の測り方

上から順番に普通、大きい、小さいの順番である。測り方は全て同じである。コースロープは水の影響で平行になっているため、コースロープを平行と考えた上で手の内側とコースロープの角度をはかる。



普通の入水角度



大きい入水角度



2

▲2ページ目

講評

競泳の飛び込みを題材とした研究で、入水角度に着目した実測データから、グラフを作成し、最適な入水角度を求めています。個人差が大きくなるのではないか、という予想に反して「綺麗な結果」にまとまり、面白い結果が得られました。この結果への考察には、数学を使ってさらに探究を深め、将来に役立たせたいという気持ちや、数学で自分の夢が叶うという思いが書かれています。

中央審査委員会

2次曲線上の3点を頂点とする三角形の垂心について

愛知県 愛知県立一宮高等学校3年 鷲津 裕之

全5ページ



2次曲線上の3点を頂点とする三角形の垂心について

愛知県立一宮高等学校 3年 鷲津 裕之

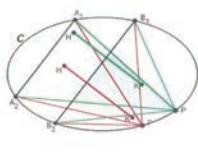
1はじめに

GeoGebraを用いて三角形の性質を調べていて、次の定理が成立することを見出した。

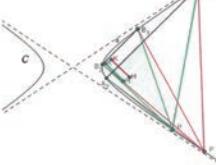
2定理

【定理1】 1つの2次曲線Cに対して、固定された2本の平行な弦A₁A₂, B₁B₂がある。C上の動点Pに対して△A₁A₂Pと△B₁B₂Pの重心はそれぞれH, Kとなると、辺分HKの長さはPの位置にかかわらず一定である（<図1><図2>の赤と緑のPに対して、赤と緑の辺分HKの長さが等しい）。

<図1>

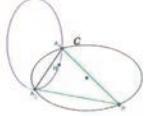


<図2>

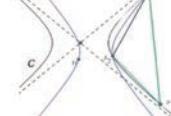


【定理2】 2次曲線Cの弦A₁A₂とC上の動点Pに対して、△A₁A₂Pの重心Hの軌跡は、Cと相似な2次曲線である。ただし、Cが放物線で、弦A₁A₂がCの軸と垂直な場合は、Hの軌跡は直線である。（<図3>～<図6>の黒がHの軌跡。なお、2点A₁, A₂は軌跡から除外される）

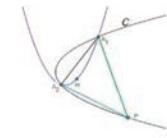
<図3>



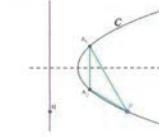
<図4>



<図5>



<図6>



▲1ページ目

(iii) $x=a$ のとき

$H((2-e^2)a+(1-e^2)t-2, t)$ だから、 $X=(2-e^2)a+(1-e^2)t-2, Y=t$ として、 $x=\frac{X-(2-e^2)a+2}{1-e^2}, t=Y$

を②へ代入して整理し、平方完成すると

$$(X+1-(2-e^2)a)^2+(1-e^2)t^2=e^2 \quad \dots \text{⑧}$$

 X^2, Y^2 の係数を0と見比べると(7) $0 < e < 1$ （楕円の範囲）のとき、 H は綫長の横円で①と相似（長軸がCの長軸と直交）。(8) $1 < e$ （主軸がX軸の双曲線）のとき、 Y^2 の係数は負で右辺 > 0 だから、⑧は主軸がX軸方向の双曲線で、 H はCと相似である。(9) $e=1$ のとき $H(a-2, t)$ であり、 H の軌跡はX軸に垂直な直線である。したがって、Cが放物線で、弦A₁A₂がCの軸と垂直な場合は、 H の軌跡は直線である（<図6>）。

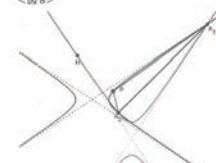
以上で、【定理2】が証明された。

実際にGeoGebraで曲線を描いてみると、例えば(8)の場合、 H が曲線⑧または⑨上を動き、軸の方向なども確認できた。

(8)(9)の軌跡は<図3>

(9)(10)の主軸がX軸方向のままの場合の図は<図4>

(10)(11)の主軸がY軸方向へ変わる場合の図



(10)(11)の図は<図5>

5 感想と今後の課題

計算が非常に煩雑であったため、初等幾何的手法で証明ができないかを調べたい。

6 参考文献

特になし。

▲5ページ目

3 【定理1】の証明

xy平面上の点(1, 0)を焦点、y軸を準線とする離心率 $\epsilon (> 0)$ の2次曲線Cの方程式は、

$$e^2x^2 = (x-1)^2 + y^2 \quad \text{から} \quad (1-e^2)x^2 - 2x + y^2 + 1 = 0 \quad \dots \text{①}$$

直線A₁A₂の方程式が、次の(i)～(iii)の場合に分けて示す（ a, m は定数）。

$$(i) \quad y = mx + a \quad (m \neq 0) \quad \text{のとき} \quad (ii) \quad y = a \quad \text{のとき} \quad (iii) \quad x = a \quad \text{のとき}$$

(i) $y = mx + a \quad (m \neq 0)$ のとき①と $y = mx + a$ から y を消去した x の2次方程式

$$(m^2 + 1 - e^2)x^2 + 2(m - 1)e^2x + 1 = 0 \quad (m^2 + 1 - e^2 \neq 0) \quad \text{を解くと},$$

$$d = (e^2 - 1)a^2 - 2ma + e^2 - m^2 > 0 \quad \text{として}, \quad x = \frac{-me + 1 \pm \sqrt{d}}{m^2 + 1 - e^2}$$

これより

$$A_1\left(\frac{-me + 1 + \sqrt{d}}{m^2 + 1 - e^2}, \frac{a(1 - e^2) + m(1 + \sqrt{d})}{m^2 + 1 - e^2}\right), A_2\left(\frac{-me + 1 - \sqrt{d}}{m^2 + 1 - e^2}, \frac{a(1 - e^2) + m(1 - \sqrt{d})}{m^2 + 1 - e^2}\right) \quad \text{とできる}.$$

Cを通り直線A₁A₂に垂直な直線の方程式は

$$y - \frac{1}{m}(x - a) + t \quad \dots \text{③}$$

直線A₂Pに垂直な直線の傾きは、 $\frac{1 - me + 1 - \sqrt{d}}{m^2 + 1 - e^2} = \frac{s(m^2 + 1 - e^2) + am - 1 + \sqrt{d}}{t(m^2 + 1 - e^2) - at(1 - e^2) - m(1 - \sqrt{d})}$ だから、

A₁を通り直線A₂Pに垂直な直線の方程式は

$$y = \frac{s(m^2 + 1 - e^2) + am - 1 + \sqrt{d}}{t(m^2 + 1 - e^2) - at(1 - e^2) - m(1 - \sqrt{d})} + \frac{at(1 - e^2) + m(1 + \sqrt{d})}{m^2 + 1 - e^2} \quad \dots \text{④}$$

④、⑤から△A₁A₂Pの重心Hのx座標は、 $d = (e^2 - 1)a^2 - 2ma + e^2 - m^2$ に注意すると

$$x_H = \frac{\int (m^2 + 1 - e^2)(ms + a - t)}{(m^2 + 1 - e^2)(ms + a - t)} \quad \dots \text{⑤}$$

ただし、

$$f = -t(e^2 + 1)m^2 - [(s + 2)a + (s - 2)t]m^2 + [(e^2 - 2)a^2 + 2(1 - e^2)at + e^2t^2 + 2s - t^2 - 1]m + (1 - e^2)st - (1 - e^2)st$$

この④⑤の式をして変形する。

$$f' + (s + ms - 1) \quad \text{の商と余りを計算した結果から}$$

$$\frac{\int f'}{a + ms - 1} = (e^2 - 2)ma - t^2(m^2s + ms + s) + m^2(2 - s) - z + \frac{m(m^2 + 1)(e^2s^2 - s^2 + 2s - t^2 - 1)}{ms + a - t} \quad \dots \text{⑥}$$

⑤と⑥

$$x_H = \frac{(e^2 - 2)ma - t^2(m^2s + ms + s) + m^2(2 - s) - z}{m^2 + 1 - e^2} \quad \dots \text{⑦}$$

また、直線B₁B₂Pの方程式は $y = mx + b$ とおくと、△B₁B₂Pの重心Kのx座標は⑦から

$$x_K = \frac{(e^2 - 2)ma - t^2(m^2s + ms + s) + m^2(2 - s) - z}{m^2 + 1 - e^2} \quad \dots \text{⑦}$$

⑥と⑦の差は

$$|x_H - x_K| = \left| \frac{(e^2 - 2)ma - (e^2 - 2)bm - (e^2 - 2)bm}{m^2 + 1 - e^2} \right| = \left| \frac{(e^2 - 2)ma}{m^2 + 1 - e^2} (a - b) \right|$$

— 2 —

▲2ページ目

講評

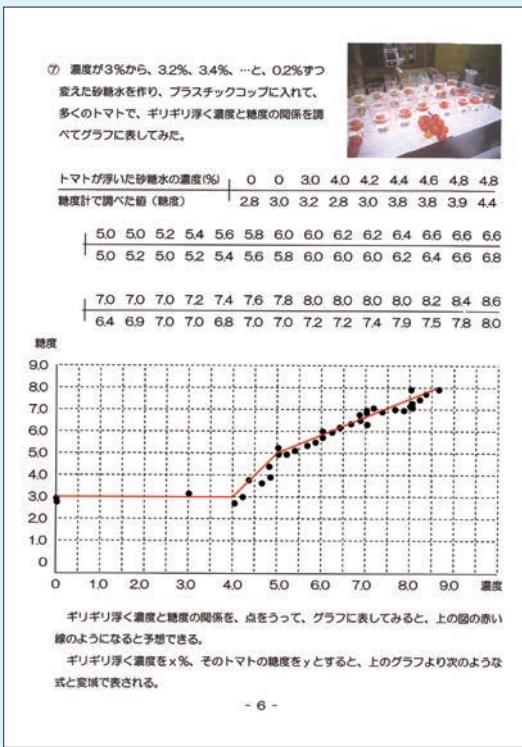
この作品では、2次曲線に成り立つ性質を発見し、それを定理として一般的な形で証明しています。これは発見と検証という数学研究の理想的な形で、見つけた性質を証明するために、具体的な座標を用いて地道に計算していることも評価できます。2次曲線の性質をGeoGebraという作図ソフトで発見したことでも現代らしく興味深いです。大学以上の数学を学ぶとともに世界が広がりますので、今後の発展も楽しみです。

中央審査委員会

読売新聞社賞

トマトの糖度を糖度計を使わずに求めることができるか。 長野県 長野市立長野中学校2年 真木 さやな

全8ページ



▲ 6ページ目

講評

見えないモノ、概念や感覚、味覚などを計量化することは、社会ではとても重要なサイエンスの領域です。この研究では、トマトの甘さを糖度計を差し込みず、非破壊状態で予測する簡便な方法をよく計画された実験と数学によって導いています。トマトに限らず、すぐにでも大量の果実に対して、出荷前の糖度の選別ができるシステムが考えられそうです。研究の過程で糖度計の性質にも作者なりの気付きがあり、そこに言及している点も見事です。

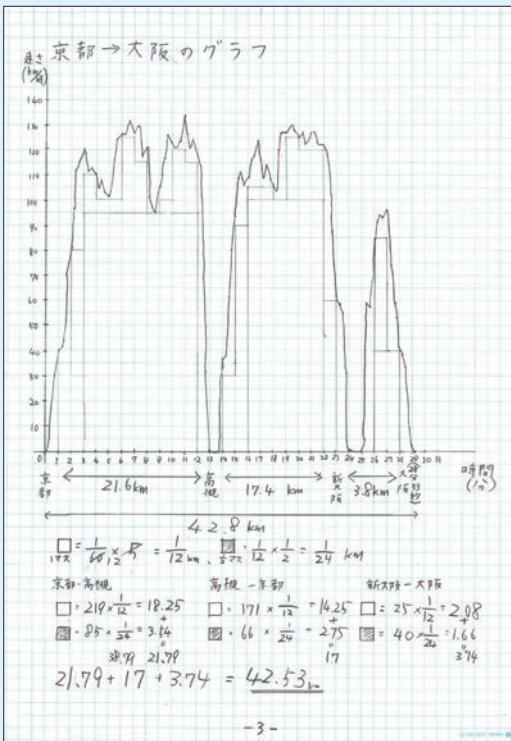
中央審査委員会

内田洋行賞

変化する速さの時間に対する走行距離をはかろう！

京都府 洛南高等学校附属小学校5年 金城 凜子

全5ページ



▲ 3ページ目

講評

小学校の算数では、速さが一定の場合について距離や時間を求める学習をしています。作者の金城さんは、変化する速さに興味をもち、動く電車の速さをアプリで実測し、走行した距離を「時間と速さのグラフ」での面積から求めています。直線ではないグラフの作成には努力した点が見られます。求めた距離が実際の値とほぼ一致していることがわかったときは、とても嬉しかっただろうと思います。数学への関心、数学的な調べ方としても優れた作品です。

中央審査委員会

学 研 賞

三年生で習う一番むずかしい漢字は何?

奈良県 王寺町立王寺北小学校3年 田中 純

全5ページ



3. 研究のけっかとまとめ

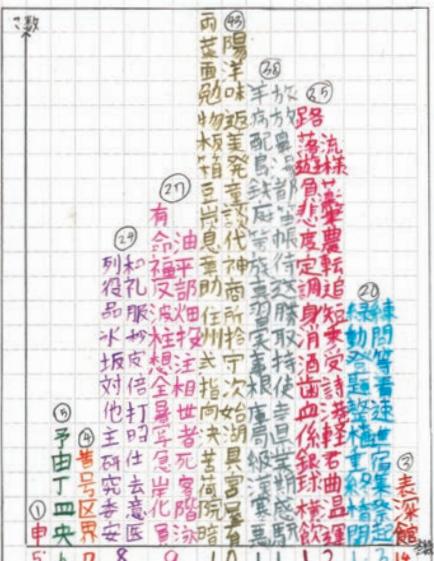


図1.漢字のむずかしさ

▲3ページ目

講評

作品の「感想」にも述べられているとおり、「算数の視点」で国語の学習漢字を考察した興味深い作品です。漢字の難しさを形の複雑さと読み方の多さで比較しようとして、画数の多さ、上下左右が似ているか、分解のしやすさ、をもとに独自の点数化のルールを編み出しています。研究の結果がわかりやすいグラフで示され、表現も工夫されています。また、今回のルールの不十分なところに言及されている点も高く評価できます。

中央審査委員会

日本数学検定協会賞

伊能忠敬の測量方法をもとに自分で地図を作る

大阪府 大阪教育大学附属池田中学校1年 田中 莉穂

全10ページ

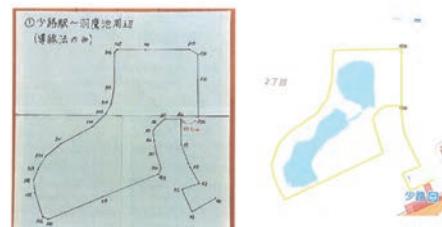


・計測データ

計測データ											
測量地図	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
	斜面高さ										
距離	33.5	24.7	26.4	26.7	26.8	28.5	23.8	13.4	12.2	12.2	12.2
	34.4	24.3	26.8	26.7	26.7	28.5	23.5	13.4	12.2	12.2	12.2
方位(角度)	西12度	西4度	西12度								
	東11度										
方位(度数)	258度										
	東108度										

このデータをもとに地図を描きます。大きく描く方が誤差が減ると考えられたので、A4サイズの方眼紙を4枚貼り合わせ、縮尺800分の1で書きこにしました。

(縮尺800分の1:10m=1.25cm, 1m=1.25mm)



A6地点とA32地点が一致するはず(図の赤ペンで記入した部分)ですが、地図上で3cm、実際の距離にして約24mの誤差が出てしまいました。右側のインターネット上の地図と見比べると、真ん中のくびれの部分が少し狭い気がします。やはり導線法だけでは、誤差が大きいようです。

7

講評

伊能忠敬の測量法をもとにして、実際に測量をして身近な公園の地図を作製した研究です。当時使われていた測量器具についても調べ、現代のもので代用をしています。いくつかの器具については自作のものも利用しています。測量では、「導線法」を基礎としながら、「交会法」を用いた誤差の修正もされています。評価、改善の視点が取り入れられた優れた研究です。

中央審査委員会

審査委員特別賞

自分流「ルービックキューブの公式」

京都府 洛南高等学校附属小学校3年 矢野 忠久

全5ページ

研究テーマ(タイトル)
自分流「ルービックキューブの公式」

私立 洛南小学校 3年 名前 矢野 忠久

1. 研究のき。かけ
家で父が昔遊んでいたルービックキューブで、それを完成させるための手引き書を見つけました。
1面が 2×2 の小さいやつも買い、2つで遊んでいる内に、「この2つのキューブを完成させると時、もししかしたら何か法則があるかも」と思い、調べてみるとにしました。

2. 研究の方法
(1)あらかじめ、大小2つのキューブをスムーズに完成させられるよう、十分練習しておく。
(2)毎日1回、大小2つのキューブを完成させること(これを10日間続ける)。
(3)その際、2つの方法でデータをとることにする。

- 1 -

▲ 1ページ目

講評

ルービックキューブの解法の手数や時間がキューブの個数にだいたい比例することを突き止めています。専門家でもその解法の手数を与える公式を正確に書き下すことは難しく、その値がおよそ何次関数で表されるか(オーダー)を考えます。自分がするところなるという実験結果に基づく粗い議論ですが、専門家が行うオーダーの評価と同じ着想に至っている点は高く評価できます。

中央審査委員会

審査委員特別賞

地獄からの復活劇～御釈迦様からの試練～

岡山県 岡山大学教育学部附属小学校5年 末光 由季

全5ページ

研究テーマ(タイトル)
地獄からの復活劇～御釈迦様からの試練～

岡山大学教育学部附属小学校 5年 名前 末光 由季

1. 調べたき、かけ
私は、ふしきに思ったことがあります。
それは、夏休みなので色々な本を読みかえしていました。私が気にいっていた本「蜘蛛の糸」を見つけ、久しぶりに読んでみると、その「ふしき」に出会いました。
この「ふしき」とは、た、たーひきの蜘蛛を助けただけで、大泥棒が極楽に行けるなんて、虫がよすぎると思い、本当に虫がいいのかを調べずにはいられなくなり、て、調べることにしました。

2. 研究内容
(1)蜘蛛の糸を健陀多が登りきるまでに何秒かかるか
(2)蜘蛛の糸は、どれくらいの重さにたえられるか

- 1 -

講評

芥川龍之介「蜘蛛の糸」を読んで浮かんだ疑問—蜘蛛を助けるだけで大泥棒が極楽に行けるなんて、どれだけの苦労なのだろうか—を数理の視点で確かめようとした研究作品です。主人公、健陀多(かんだた)が地獄と極楽の間を1万里として、どれくらいの時間で移動できるかを調べるため、蜘蛛の糸の代わりに登り棒を自ら登り平均移動速度を割り出し、12.7年かかるを得ています。問題意識、状況設定(仮定)にオリジナリティが認められます。

中央審査委員会

▲ 1ページ目

第13回 免疫チェックポイント阻害剤を考える



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年より現任教諭に勤務。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。

2018年のノーベル生理学・医学賞は、京都大学の本庶佑特別教授とテキサス大学のジェームス・アリソン教授が受賞しました。受賞理由は「免疫抑制の阻害によるがん治療法の発見」です。なぜこの研究がノーベル賞を受賞したのか、その重要性とともに、現在の状況を見ていきましょう。

がん細胞が免疫から逃れる戦略

まずは、がん細胞と免疫の関係性について紹介します。がんの「もと」となる細胞は、誰でも毎日数千個生じますが、それらは腫瘍を形成することはありません。これは、体の免疫機能によって日々排除されているためと考えられています。

がん細胞は、さまざまな戦略によって免疫細胞の攻撃から逃れようとしています。そのおもな戦略は図1のとおりです。

免疫細胞は、がん細胞表面のMHCに結合したがん抗原によってがん細胞を見分けています。ということは、がん細胞においてMHCやがん抗原の産生が低下すれば見つからなくなるというわけです（①のしくみ）。

また、がん細胞は、免疫抑制性サイトカインを分泌したり（②のしくみ）、制御性T細胞などを呼び寄せたり（③のしくみ）して、免疫応答を弱めます。

さらに、T細胞に働きかけることでT細胞を無力化する

- ①がん細胞の表面に存在するMHC及びがん抗原の産生を低下させること
- ②がん細胞がさまざまな免疫抑制性サイトカインを分泌すること
- ③免疫抑制機能を持った細胞をがん組織の内部や周囲に呼び寄せて防御体制を固める
- ④がん細胞が攻撃してくるT細胞を無力化するシグナルを送る

図1 がん細胞が免疫細胞の攻撃から逃れる戦略

しくみももっています（④のしくみ）。2018年のノーベル賞に関係しているのは、このしくみです。これについて詳しく見ていきましょう。

免疫チェックポイント阻害剤のしくみ

免疫は本来、病原体などの非自己を排除するためのしくみですが、過剰に働いてしまうと、自分自身の細胞を攻撃してしまい、自己免疫疾患につながることがあります。そのため、免疫反応には、過剰な反応を防ぐためのしくみがあります。このしくみに、2種類の「免疫チェックポイント分子」と呼ばれる分子が関係しています（ここでいうチェックポイントは、細胞周期でのチェックポイントとは異なるものです）。

一つ目は、CTLA-4という分子です。T細胞は活性化すると、CTLA-4を細胞表面に発現します。すると、CTLA-4は、樹状細胞表面にあるB7分子と結合し、T細胞の働きがおさえられます。これは、免疫系の過剰な応答を防ぐためのしくみと考えられます。その証拠に、CTLA-4タンパク質ができるないようにしたマウスは、過剰な免疫反応により自己の正常組織が破壊され、生後3～4週間で死んでしまいます。

二つ目は、PD-1という分子です。PD-1は、CTLA-4とは異なり、T細胞が活性化してしばらくしてから表面に発現します。T細胞は、PD-1に何かが結合した場合、それを敵とはみなさずに攻撃をしないという性質があります。がん細胞の表面にはPD-1のリガンドであるPD-L1が発現しており、これらが結合することで、T細胞を無力化してしまうのです。

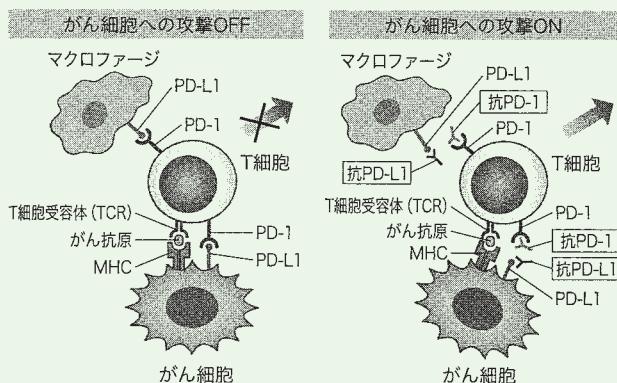


図1 抗PD-1抗体ががん細胞に対する攻撃力を増強するしくみ 『「がん」はなぜできるのか』（講談社ブルーバックス）より引用

2018年のノーベル賞の受賞者であるアリソン氏はCTLA-4を、本庶氏はPD-1をそれぞれ発見しました。

CTLA-4もPD-1も、過剰な免疫反応を抑制するという点で共通しています。そこで、これらの分子の働きを阻害することで、がん細胞に対する免疫反応を増強させる、新しいがん免疫療法が考えられました。具体的には、それぞれの分子に対する抗体を作成し、リガンドとの結合を阻害するというものです。抗CTLA-4抗体や、抗PD-1抗体が、がん治療のための「薬」となるというわけです。これらを「免疫チェックポイント阻害剤」といいます。

2017年4月時点では、日本で保険適用になっている免疫チェックポイント阻害剤は、オプジーボと、ヤーボイ、キイトルーダの3種類。オプジーボとキイトルーダはヒト化

抗PD-1抗体、ヤーボイは抗CTLA-4抗体です。免疫チェックポイント阻害剤は、現在、全世界で1,000近くの臨床試験が進んでいます。

免疫チェックポイント阻害剤の効果

免疫チェックポイント阻害剤の中でも、日本で特に有名なのが、抗PD-1抗体であるオプジーボです。

オプジーボは、2014年9月に厚生労働省から悪性黒色腫（メラノーマ）の薬として承認されました。その後、腎細胞がんや非小細胞肺がんにまで適用範囲を広げ、今後も適用は拡大していくようです。

オプジーボは、その劇的な効果で注目されました。その効果を測る考え方には「奏効率」というものがあります。これは、抗がん剤や放射線などで治療した後に、がんが小さくなったり、がんが消滅した患者の割合を意味します。

メラノーマの場合、既存の抗がん剤の奏功率が7～12%程度であるのに対し、オプジーボは約23%。末期の肺がん患者でも、既存の抗がん剤を使った場合、奏功率は10%程度であるのに対し、オプジーボでは20%となっています。1年後の生存率でも既存の抗がん剤に比べてよい結果が出ており、末期がんの一部の患者ではがん自体が消えるという結果も出たそうです。がんの種類にもありますが、他に治療の手立てがない患者の2～3割に対し効果が表れているという報告もあります。

また、オプジーボとヤーボイは異なる分子を標的としているため、併用することができます。オプジーボを使用しただけでは、そもそもCTLA-4が働いているため、そもそも免疫反応が抑制されているので、そこにヤーボイを併用することによって、さらにがん細胞に対する免疫反応を増強できると考えられます。実際に、オプジーボとヤーボイを併用したところ、メラノーマ患者の半数以上でがん細胞の縮小が確認され、2013年には免疫チェックポイント阻害剤が米科学誌サイエンスの「ブレイクスルーオブザイヤー」のトップに選ばれました。

免疫チェックポイント阻害剤のメリット

免疫チェックポイント阻害剤は、単に治療に効果があると

いうだけではなく、他にもメリットがあります。

まず、副作用が少ない点です。抗がん剤を使った患者の5割に副作用が認められたのに対してオプジー^ボは1割程度だという報告があります。また、副作用の程度も比較的軽く、入院せずに治療をしている患者さんもいます（ただし、特有の副作用などの課題もあり、これについては後述します）。

また、効き目が長く持続することも特徴です。一般的な分子標的薬は、使い続けるとがんが耐性を獲得してしまい、早ければ半年、長くても数年できかなくなることが多いですが、免疫チェックポイント阻害剤は、5年間以上効果が続いている例もあるそうです。

免疫チェックポイント阻害剤の課題

オプジー^ボなどの免疫チェックポイント阻害剤には課題もあります。

まずは、「すべての患者に効果があるわけではない」ということです。効果がある患者は2~3割程度で、残りの7~8割の患者にはそれほど大きな効果はありません。また、なぜこのような違いがあるのかについてもまだよくわかつていません。これに関して、最近わかつってきたことの一つは、PD-L1を発現しているがん細胞のほうがよく効くということです。しかし、他の要因もあるため、今後の研究が待たれます。

副作用に関する課題もあります。先ほど、副作用が少ないと書きましたが、それでも全く副作用がないわけではありません。免疫チェックポイント阻害剤は、過剰な免疫反応をおさえるためのブレーキを外すため、免疫細胞が過剰に炎症性物質を放出し、皮膚と大腸に炎症反応が出ることがあります。ただ、生じた発疹や腹痛、下痢などは免疫抑制剤でおさえることができるようです。

実際の治療の場面で大きな課題が、「薬の使用の止め時の判断」です。オプジー^ボの効果がない場合、6ヶ月以内に打ち切らざるを得ませんが、腫瘍が一時的に大きくなってしまう「偽増悪」という現象が知られています。肺がんでは8%もこの偽増悪があることが報告されており、単純に腫瘍の大きさで判断してしまうと、本当は効果がある患者さんへの使用を中止してしまう可能性があるのです。これも現在研究中です。

オプジー^ボの薬価（公定価格）の高さも大きな課題です。一人当たり年3,500万円かかるとも言われ、国の医療費負

担が大きくなる可能性が指摘され、2016年には「一剤なつて国滅ぶ」と批判を浴び、国民的な議論に発展しました。最終的には安倍晋三首相が政治決断し、2017年2月から従来の半分の価格にまで価格は引き下げられました。さらに、2018年4月には24%下がり、同年11月にはさらに38%引き下げられるなどしていますが、今後も引き続き検討が必要な重要な課題です。

免疫チェックポイント阻害剤の今後

オプジー^ボは、もともとメラノーマの薬として承認されたものですが、先ほども述べたように腎細胞がんや非小細胞肺がんにまで適用範囲を広げ、現在は食道がん、肝細胞がんなどの治験もスタートし、今後さらに適応が拡大すると考えられます。

また、先ほどは異なる免疫チェックポイント阻害剤の併用を紹介しましたが、他の治療法との併用も効果が高いと考えられています。例えば、放射線治療とオプジー^ボの投与を併用すれば、放射線治療だけではたたけなかつたがん細胞を、免疫チェックポイント阻害剤による免疫の活性化で攻撃することができるのです。

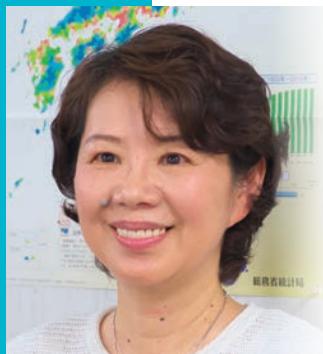
免疫チェックポイント阻害剤の今後を考えるうえで、最後に、こんな事例を紹介します。60代の男性患者が、自由診療によりオプジー^ボを投与し、その約3週間後に、自分自身から取り出した免疫細胞を活発にして体内に戻す免疫療法を併用したところ、その後心不全で死亡してしまったそうです。ただでさえ免疫のブレーキを外しているうえに活性化させた免疫細胞を体内に追加投入すれば、その危険性は明らかです。

どんな画期的な治療法にも、リスクは存在しています。それをしっかりと認識したうえで、適切な医療機関で適切に使用するという当たり前のリテラシーが、今後新しい治療法が次々と登場するであろう現代では、特に非常に重要だと思います。

参考文献

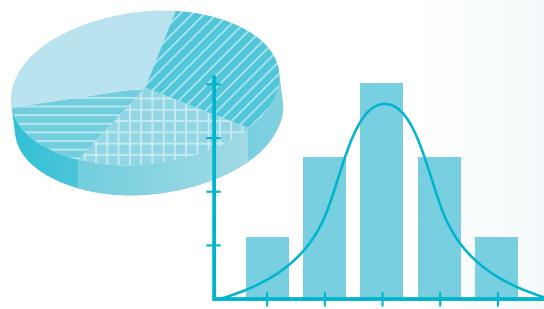
- NHKスペシャル取材班（2017年）『がん治療革命の衝撃』NHK出版新書
- 国立がん研究センター研究所編（2018年）『「がん」はなぜできるのか』講談社
- 日本経済新聞社編（2017年）『免疫革命 がんが消える日』日本経済新聞出版社
- J.D.ウォルコック（2018年）『免疫の「ブレーキ」解除でがんをたたく』、『日経サイエンス』2018年12月号、p.12、日経サイエンス社

第1回 マクロスコープ



慶應義塾大学大学院 健康マネジメント科
教授

渡辺 美智子 / わたなべ みちこ



九州大学大学院総合理工学研究科修士課程修了。理学博士。九州大学理学部附属基礎情報学研究施設文部教官助手、関西大学経済学部専任講師、助教授、東洋大学経済学部教授を経て、2012年より現職。専門は統計学、特に多変量解析（潜在構造分析法）と統計教育。日本学術会議連携会員、2012年度日本統計学会賞受賞、2017年度科学技術分野の文部科学大臣表彰「科学技術賞（理解増進部門）」受賞。おもな著書として、『21世紀の統計科学Ⅲ 数理・計算の統計科学』（東大出版会 分担執筆）、『身近な統計（改訂新版）』（放送大学教育振興会 共著）など。放送大学「身近な統計」主任講師、統計グラフ全国コンクール審査委員長、「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。

統計は、マクロスコープ

私たちは、細菌や花粉、微生物など目に見えない小さなモノを見るととき、マイクロスコープ（顕微鏡）を使います。小学校の理科の授業で、顕微鏡を初めて覗いたときのワクワク、ドキドキ感は、大人になっても忘れられない体験です。両目をあけたまま片一方の目で覗く、不器用な私にはすぐには見ることができず、なかなかコツがつかめず焦った記憶がありますが、科学的な探究を初めて実感した大切な瞬間であったことには間違いありません。

では逆に、目に見えない大きなモノを見るときは、何を使つたらいいのでしょうか？　マイクロスコープの対語はマクロスコープです。マクロスコープを辞書でひくと、「巨視的」と出でます。現象に対する視野が大きく、微細な個々の様相にこだわらず全体的な姿で現象を捉え理解することあります。つまり、俯瞰することを意味します。

この連載のテーマである「統計」は、この見えない大きなモノを見るための唯一つの科学の道具、マクロスコープです。例えば、好きな食べ物を考えてみましょう。自分のことはわかります。家族や親しい友人のこともわかるかもしれません。でも、町内の人たちの好きな食べ物は？　日本人の好きな食べ物は？など、対象の規模が大きくなると、途端にはっきり

したこととはわからなくなります。今日、自分が経験した暑さはわかりますが、地球全体の暑さはやはりわかりません。

統計は、「統べて計る」と書きます。1人1人の考え方や1つ1つの出来事をデータとして大量観察し、何が起こったのか（事象の洗い出しと分類）、何人または何回起こったのか（確度）を数え上げ、それらをまとめて表現することで、対象としている現象の全体像や傾向を捉え、起こっていることへの理解を深めることができます。

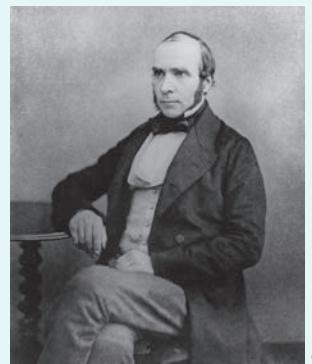
これが統計であり、諸分野のこれまでの具体的な科学的成果を支えてきた探究活動の基盤となる方法知です。統計学が、「メタサイエンス（科学を形成する科学）」、「最強の学問」とも言われているのは、このためです。

統計で偶然をマネジメントする

統計は、「計って統べる」とも読みます。つまり、統計を使ってモノごと（現象）を理解するだけではなく、支配（マネジメント）することも可能になります。例えて言うと、ゾウの足下にいるアリには、ゾウの存在や姿は見えません。踏まれても踏まれなくても、偶然で片付けるしかありません。何が起こったのかすらわかっていないことでしょう。しかし、複数のアリが協同して見えているゾウの断片や足跡を集め

ば、ゾウの概観と行動特性を捉え、踏まれる偶然（可能性）を変えることができるのです。

19世紀、統計のこの威力を世に示したのは、医者で疫学者のジョン・スノウ(1813-1858)です。スノウは、日本の幕末にあたる1854年、ロンドンのソーホー地区で発生したコレラの流行に対して「この水を飲めばコレラになる」という、データから検証した(AI推論が使う言葉でいえば、学習した)原因と結果のルールによって、コレラ菌はおろか、「細菌」というもの自体が発見される20年以上前に、その蔓延を防止しました。ちなみに、ベルト・コッホ(1843-1910)がコレラ菌を発見したのは、およそ30年後の1883年のことです。



©GRANGER.COMアフロ

図1 ジョン・スノウ

問題の井戸の存在



©Science Photo Libraryアフロ

図2 スノウによるコレラ発生地図

図2は、コレラの死者の調査データからスノウがコレラの発生と井戸水の関係を示すために作成した有名な統計グラフです。現在で言う空間統計、地図上の統計情報(GIS)です。地図上の黒いドットでコレラ死者の位置を示し、井戸ポンプのある場所に度数が集中していること、その近くでコレラに罹患しない家庭は別の独自の井戸水を使用していたこと、遠くで罹患した家庭はわざわざその井戸水を運んで使用したこと等を示し、当時の人々が信じていた、病気の元は悪臭「瘴気」の空気感染とするもっともらしい説を覆し、井戸水が原因であるとする結論を科学的に導きました。

実際、その井戸のポンプを外すことで、住民の1/3が1週間で死亡していたロンドン地区のコレラの伝播が急速に収束しています。

19世紀、統計万能の時代

スノウによって、特定の事例(事象)にとらわれず、データを集めることで全体が俯瞰でき、思い込みにとらわれず、短時間で原因を特定し、コレラ蔓延の問題が解決できたということで、疫学統計や公衆衛生学という科学的研究の方法論が確立される基盤となりました。

同時に、この19世紀中頃の時代は、イギリスのみならずヨーロッパ全体で、政府機関や学術団体が統計局、統計協会、統計学会を次々と設立するなど、統計万能の時代の到来と言われるほど、社会的な課題に統計データを活用することの意義が広く認知されてきました。当時発表されたイギリス王立コーンウォール学芸協会の主張に、以下があります。

『統計学的知識の価値はもはや疑う余地はない。それは慈悲の博愛家の努力に対して目標と効果を与える。また立法者に対しては、社会の福祉に関する方策の資料を与える。』

医者が患者の状態を諸種の検査値で診断するように、政府は自国の状態(集団としての実体、国勢)を統計指標で診断し、政策にあたる必要があることをこの頃からヨーロッパ諸国は強く認識していました。

また、統計は古くから「弱者のための統計」と言われるように、声が届かないもしくは上げることができない弱い立場の人間の声や状態を公平に代表するものと言われています。上述の『慈悲の博愛家の努力に目標と効果を与える。』が意味するところです。コレラの発生が貧民街からの悪臭「瘴気」の空気感染ではないことをスノウが統計で示したこと、貧民街に対する一つの偏見はなくなりました。

幕末・明治維新と統計

統計万能の時代、オランダでは、1854年、世界各国の面積や人口、輸出入の量などを載せた統計資料集『地球上の全土に関する統計表』(P.A.de Jong, Statistische Tafel van Alle Landen der Aarde)が出版されました。そのわずか6年後の1860年、幕末の日本で、咸臨丸^{からりんまる}で渡米する直前までこの本の翻訳に取り組んでいたのが、当時の啓蒙思想家で教育者、慶應義塾の創設者でもある福沢諭吉です。福沢は渡米から帰国後、弟子の岡本博卿とともに日本で初めての西洋の統計書として『万国政表』を出版しました。

鎖国で世界が見えていない日本人に、広い世界の状況を客観的に見せる、福沢は統計書で最初にそれを実行したのです。さらに、統計書を出すだけではなく、『学問のすゝめ』の中で、

『学問の要は活用にあるのみ。活用なき学問は無学に等し。』

として、西洋にあって日本にない学問「統計学」が「実学（サイエンス）」に極めて有用な考え方（統計学的視座）であることを、『文明論之概略』などの著作でもひろく啓蒙しました。例えば、大量観察の重要性を

『^{たと}譬如、一国の山^{やまさわ}沢を計るには、その国中に布在せる山沢の坪数を測量し、その総計を記してこれを山国と名づけ又は沢国と名くべし、稀に大山大沢あればとて遽かに臆断して之を山国沢国と云うべからざるが如し。』

一つ、二つの大きな山（沢）を見て、それが全体であるかのように、山国（沢国）と早計な判断を下してはいけない。國の状態を知るには一つ一つの山（沢）を測り、総計し判断するべきである。

と説明しています。さらに、『福翁百話』の中では、

『或は有形を離れて無形に入り、政治、法律、経済等の由來を尋ねても、その進歩発達は數理の賜に非ざるはなし。西洋諸国の人^{たまもの}人が夙に統計の法を重んじ、人間万事の運動を視察するに統計の実数を利用して、以て最大多数の最大幸福を謀るが如き、亦以てその思想の所在を窺うに足るべし。…苟もこの統計全体の思想なき人は共に文明の事を語るに足らざるなり。』

と述べ、マクロスコープとしての統計の役割だけではなく、統計的視座（思考）が、統計的なマネジメント、即ち、根本的な問題解決の考え方と技法であること、西洋と肩を並べ社会の文明化を進めるためには、日本人が統計思考力を持つことが必須であることを示していました。

現代社会の中での統計

1881年、『國の情勢を統計によって明らかにしなければ、政府は政治を執り行えないし、政策の評価もできない。』という大隈重信の建議によって、明治政府は「統計院」（現在の統計局の前身）を設立しました。政府行政に統計を活用する、この原則は、国勢調査の他、国が行う政府の諸種の統計調査に活かされています。図3は、いわゆる國の健康診断として総務省統計局が都道府県を通じて定期的に行っている4



図3 総務省統計局統計調査ポスター(平成30年度)

調査（経常4調査）の広報ポスターです。調査結果は、国民の共有財産として、日本経済の発展や国民生活の向上に活用されています。

事象の大量観察をベースに、地理的、空間的、時間的に広く大きくモノごとを俯瞰し、そこから、社会課題の解決に役立つ原因と結果のルール「この水を飲めばコレラになる」等の新しい知識が統計的に推測できる。この統計の威力が遙か昔から認められていたからこそ、その実現を容易にするための計測技術や情報処理技術が次々と進化し続け、現在の人工知能技術に繋がってきました。AI将棋やAI碁は、大量のデータで学習した「この手を打てば勝つ」ルールを実行しているだけのアルゴリズムです。ただし、統計的に導かれたルールは確率的な法則であり、適用に際しリスクと限界があることを理解する必要があります。福沢が指摘した統計全体の思想、リテラシーが現在こそ、社会全体に必要とされています。

新学習指導要領の中では、社会に開かれた教育課程として、統計（データの活用、データの分析）とプログラミング（データサイエンス）の内容が拡充され、小学校から学習内容の系統的な配置が実現されました。この連載では、統計の見方・読み方・使い方、そしてその背景にある考え方の話題提供ができればと思っています。

参考

John Mackenzie

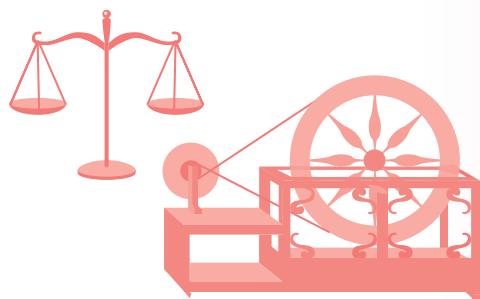
<http://www1.udel.edu/johnmack/frec682/cholera/>

第1回 慣性の法則



国立科学博物館理物理学研究部
研究員

有賀 暢迪 / ありが のぶみち



1982年生まれ。京都大学総合人間学部卒業（2005年）、京都大学大学院文学研究科博士後期課程研究指導認定退学（2010年）。大学の非常勤講師などを経て、2013年より現職。高校では「理系」を選択し、大学では物理学を主専攻としていたが、大学院から「文系」に転じて科学史を修めた。現在は、物理学・数理科学の歴史と、近現代日本の科学技術史という二つの領域で、幅広い調査・研究活動を行っている。著書に、『力学の誕生』（単著、名古屋大学出版会）、『20世紀物理学史』（共訳、名古屋大学出版会）、『ビジュアル版 科学の歴史』（共同監修、ポプラ社）などがある。京都大学博士（文学）。

はじめに—連載にあたって

小学校・中学校・高校で学習する理科の内容には、さまざまな物理法則が登場します。「物理」という言葉こそ小・中学校では使われないものの、「力」「運動」「電気」「磁気」「熱」「エネルギー」「音」「光」などを扱う単元では、物理学の初步を学んでいると言えます。

ところで、物理の用語には、人名がついているものが少なくありません。電気に関する「オームの法則」や、エネルギーの単位「ジュール」などが代表的な例です。こうした名称は、今日では当たり前のように教科書に記されている法則や現象をかつて探究し、立証した科学者たちがいたことを思い出せてくれます。そしてそのことは、人名のつかない用語についても同様であるはずです。

そこでこの連載では、毎回、教科書に出てくる法則（または物理学に関わる事項）を一つ取り上げて、それが実際にはどのような形で登場してきたのかを、なるべく原典に即して紹介してみようと思います。今回、連載の第1回目で取り上げるのは、「慣性の法則」です。

慣性の法則

物理学のうち、力や運動を扱う分野は「力学」（りきがく）

と呼ばれています。慣性の法則は、力学でもっとも基本的と言ってもよい法則で、今から300年以上前、17世紀に確立したと考えることができます。

具体的な歴史の話に入る前に、この法則が、現行の教科書ではどのように書かれているかを確認しておきましょう。慣性の法則は、小学校では学習せず、中学校3年の「運動とエネルギー」という単元で最初に学びます。高校の物理や物理基礎では、「物体の運動」のところで登場します。それぞれの記述を、以下にまとめてみました（本連載では、啓林館の教科書を参照しています）。

◎中学校理科

物体に力がはたらいていないときや、力がはたらいていてもそれらがつり合っているときは、静止している物体は静止し続けるし、動いている物体は等速直線運動を続ける。

◎高校物理

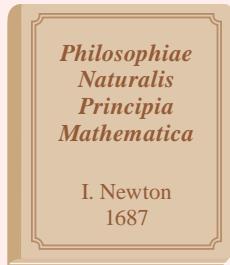
物体に力がはたらいていないとき、または物体にはたらく合力が $\vec{0}$ のとき、物体の速度は変化しない（静止している物体は静止を続け、運動している物体は等速直線運動を続ける）。

読み比べてみると、高校では「 $\vec{0}$ 」（ゼロベクトル）や「速度」（向きを持った速さ）という概念を使って、中学校の内容を言い換えているのがわかります。とはいえ、説明されていることからは基本的に同じと考えてよいでしょう。

では、この法則はいつ、どのような形で、知られるようになったのでしょうか。ここからは、その原典を繙いてみることにします。

■ ニュートンの「運動の法則」

慣性の法則は、「ニュートンの運動の第1法則」、あるいは単に「運動の第1法則」と呼ばれることがあります。そこでまず、ニュートン（1642–1727）がこれをどこで、どのように述べているのか見ていきましょう。



1687年、イギリスのロンドンで、ニュートンの主著『プリンキピア』が出版されました。この本は、タイトルを正確に訳すと『自然哲学の数学的諸原理』となるのですが、このうち「諸原理」を意味するラテン語の「プリンキピア」が通称として使われています。

読者の中には、「自然哲学」（英語では「ナチュラル・フィロソフィー」）という言葉に驚かれた方があるかもしれません。しかし、これは当時としてはふつうの言い方で、自然について探究する行為は「哲学」の一部とされていたのです。

運動の第1法則

さて、『プリンキピア』の中身を見ていくと、最初のほうに、「公理、あるいは運動の法則」と題された部分があります。ニュートンはこの中で、3つの「運動の法則」を述べており、そのうち1番目が慣性の法則です。なお、2番目は力と運動の変化の関係について、3番目は作用と反作用について述べた法則ですが、本稿では立ち入りません。

ニュートンによれば、運動の第1法則とは、次のようなものです（筆者による翻訳）。

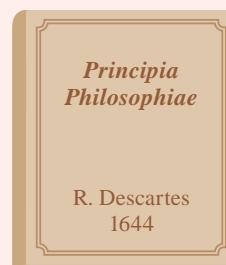
すべての物体は、刻印力によってその状態を変えるよう強いられない限り、静止または一様直進運動の状態を堅持する。

これを現代の教科書の説明と読み比べると、だいたい同

じことを言っています（詳しい説明は省略しますが、「刻印力」は「力」と同じ意味です）。細かく見れば、「物体に力が働いていないときは」（または、「つり合っているときは」）という言い方になってしまいますが、そのときには物体は、「その状態を変えるよう強いられない」ことになるでしょう。また、ニュートンは「一様直進運動」と言っていますが、「一様に」というのは「一定の速さで」という意味で使われている表現です。

したがって、慣性の法則は確かに、『プリンキピア』の中で、運動の第1法則として述べられていました。ですが、このことは、「ニュートンが慣性の法則を最初に発見した」ことを意味するとは限りません。実は、ニュートンがこの法則を述べたとき、参考にしていたと考えられる人物がいます。フランスの哲学者、デカルト（1596–1650）です。

■ デカルトの「自然法則」



デカルトは、『プリンキピア』よりも40年ほど前の1644年に、『哲学原理』という題名の本を出版していました。デカルトというと、「我思う、ゆえに我あり」というフレーズが有名で、いわゆる「哲学者」だと思われていますが、先ほど述べたとおり、この時代の「哲学」は広い意味を持っていて、自然の探究も含まれます。実際、『哲学原理』の大部分は、この世界の成り立ちや自然現象のメカニズムについて、包括的に説明しようという内容になっています。

『哲学原理』は、当時のヨーロッパの学者たちに、大きな影響を与えました。ニュートンも、この本を読み、その内容を詳しく検討しています。そのことを示す一例が、今回取り上げている「慣性の法則」です。

第1および第2の「自然法則」

『哲学原理』は4部から成っており、そのうち第2部で、物体の性質や運動に関する一般的なことがらが述べられています。この中に登場するのが、デカルトの言い方では「自然法則」とされるものです。

まず、「第1の自然法則」から見てみましょう（既存の日本語訳より引用、以下も同じ）。

いかなるものも、できるかぎり、つねに同じ状態を固持する、ということ。したがって、いったん動かされたものはいつまでも運動しつづける、ということ。

続けて、「第2の自然法則」を引用します。

すべての運動はそれ自身としては直線運動である、ということ。したがって、円運動をしているものは、つねに、それにによって描かれる円の中心から遠ざかろうとする傾向をもっている、ということ。

この2つの内容を合わせると、ほぼ慣性の法則になることがわかるでしょうか。運動している物体が運動し続けることと、それが直線運動であるという2つのポイントが述べられているからです。このうち第1のポイントは、デカルトよりも前の人たち、例えばガリレオ（1564-1642）も把握していましたが、まっすぐ運動するという第2のポイントを明確に指摘したのは、デカルトが最初だったと考えられています。

また、デカルトは第2法則（直線運動）を説明するために、「投石器」の例を持ち出しています（図）。いま、石（A）が投石器（EA）によって振り回されているとしましょう。石がしからAへと動いてきたとき、この石は、その後A→B→Fのように曲線運動をするのではなく、Cに向かって直線運動をするように定められているのだ、とデカルトは言います。実際、もしこの瞬間に石が投石器から放たれると、石はBでなくCのほうへ飛んでいくのです。

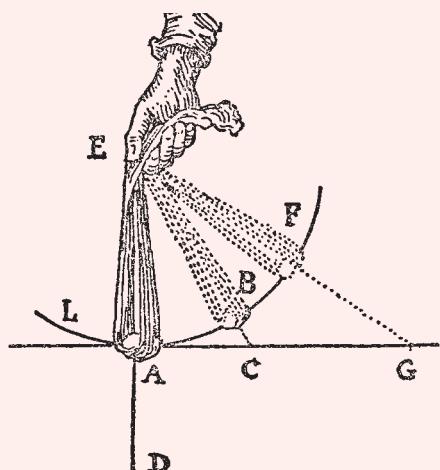


図 直進運動の説明（デカルト『哲学原理』より）

このように、デカルトは『哲学原理』の中で、第1および第2の「自然法則」として、慣性の法則を述べていたと考えることができます。なお、「自然法則」にはもう1つ、第3法則があり、物体の衝突に関する内容となっているのですが、これには立ち入りません。

慣性の法則を最初に述べたのは誰か

現在の教科書で「慣性の法則」とされているものは、ニュートンが述べた運動の第1法則と、基本的に同じです。これに相当することは、デカルトが先に書いていたわけですが、1つの法則に整理して提示したのはニュートンが最初だと考えてよいでしょう。しかし、だからと言って、ニュートンがこの法則を初めて述べたとするのはやや言い過ぎであるように感じられます。

他方で、デカルトの書いていたことが現代の慣性の法則とまったく同じかというと、実はそうとも言い切れません。例えば、第1法則の説明の中には、こんな文章が出てきます。「もし物質のある部分が四角形であるとするなら、その形を変えるものが何かよそからやってくるのでなければ、それは永遠に四角形のままであるだろう」——どうやらデカルトは、慣性の法則よりも広い意味での「自然法則」を考えていたようなのです。

このように見えてくると、慣性の法則というのは、誰か一人がどこかの時点で明らかにしたものではないことがわかります。むしろこの法則は、長い年月の間に少しづつ、現在のような形に整理されていった、と考えるべきでしょう。今回取り上げたニュートンとデカルトの文章は、その過程の中からごく一部だけを抜き出して紹介したにすぎません。一つの物理法則が成立するまでには、多くの人たちの探究の積み重ねがあったのだということを、この連載では繰り返し、見ていくことになると思います。

原典についての情報

Isaac Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*,

London, 1687. /【日本語訳】河辺六男訳「自然哲学の数学的諸原理」、『世界の名著 ニュートン』（中央公論社、1971年）所収。

René Descartes, *Principia Philosophiae*, Amsterdam, 1644. /【日本語訳】井上庄七ほか訳「哲学の原理」、『科学の名著 デカルト』（朝日出版社、1988年）所収。

教育に
新しい風を

数字のドラマ



北海道教育振興会 顧問

丹羽 祐而 / にわ ゆうじ

④ 40回のゴミ拾い

現在、私は「浜辺と海をきれいにする会」というやや長めの名称の団体の二代目代表になっている。何をしている団体かと言うと、読んで字の如く海浜を美しくすることを趣旨とし、それに向かって実践活動をしているのである。



さて、会の活動内容であるが、海浜で楽しい時間を過ごしたであろう多くの人々の副産物とも言える一年分のゴミ類を拾うことを中心とし、40年活動している。毎年9月の第一日曜日を実施日と決めているのである。実践対象浜は、多くの老若男女が訪れる石狩新港浜、平成30年は、9月2日で40回目のゴミ拾いを展開した。当季は台風の連続到来ではあったが、実施当日は好天に恵まれ、とてもさわやかな空の下、ゴミ拾い日となった。自然界も40周年の祝意を持ってくれているように感じ、1,000人余の参加ボランティアも心地よい汗を流していた。また、上空に激励飛来した海上保安庁の大型飛行機の機体が青い天空に鮮やかに映えていたのがとても印象的であった。



柔らかい足裏

ところで、私がこの活動に関わりを持ったのは、建築家の友人からの誘いであった。私自身は海が大好きで学生時代の夏休みは、毎日のように小樽の銭函海岸に午後3時近くまでいて、そ



れから算塾学校師範代理のアルバイトに行くのが日課であった。その時分、真夏の陽射しのもと波と砂を相手に過ごしていたが、海浜のゴミ等の存在は全く気になつてはいなかつたのである。

ただ、10年ほど後に事態は変わつた。幼稚園児の娘と砂浜を走ったときのことであった。「あっ」と声を発し、娘が屈んだのであった。引き返したとき、砂の上に赤い液体を見つけた。なんと、娘の柔らかい足裏から血が流れていた。砂の中を見ると飲料缶のリングが主犯であったことが直ぐ判明した。実は、私自身はこの時点から海岸のゴミ等の存在が多いに気になり始めたのである。前述の友人からの誘いは、その後直ぐであったと記憶しているのだ。

会の初めての顔合わせは都心にあった法律事務所だった。実は、この事務所が現在も当会の事務局を担当し、我々ボランティアメンバーのサポート基地となっている。集まつた顔ぶれは、建築士、弁護士、税理士、印刷デザイン業、電気工事業、倉庫業、ヨット愛好家、潜水クラブ、食品製造業、建設業、サラリーマン、作曲家等々の多士済々であった。いわゆる異業種の集まりとあって、話題も豊富で有意義な時間をお互い共有できるという予期せぬ収穫があり、その魅力もあってか以後の会合も進行展開している。また、特筆できるのは前述メンバーの8割方は、現在も幹事役でアクティブに稼動しているのである。

● 1000人×40年

この清掃イベントのために浜辺にきたボランティアの老若男女の人数を概算であるが、計算してみた。平均して毎年1,000人参加したとすると、40年の積み上げで40,000人という大きな数字になった。当然であるが、この40,000人には人としての美しい心が備わっていると考えられる。ポスターの上部に「美しい心で 美しい地球を…」と一文が入っているが、まさに秀作のヘッドコピーと自画自賛しているのだ。

美しい地球の持続を願い、そして一緒に活動をした40,000の人たちの美しくて熱い心は、現在も地球上でその輝きを存在させていることは間違いないと思うのである。

次に、海浜のゴミ等について記述してみることにする。第一回の記録を開くと、わずか200mの範囲を1,500人の市民が一時間かけてきれいにするのが精一杯で、そのとき集めたゴミは4t トラック8台分あったとある。ゴミはいくら拾っても浜辺はきれいにならなかつたのだ。さて、40年目の平成30年9月2日は、左右2,000m範囲を1,000人余りで一時間半の作業であったが、砂浜は元の美しい自然な状態に復元されたのである。また、肝心のゴミの量であるが、トラック2台弱であった。このような状態に推移してきたのは、当然ながら家庭、学校、地域社会や職場での長い時間をかけた環境教育の成果と言えるのではなかろうか。ただ、この数字を喜んではいられないと考える。自国はもちろんのこと、地球全体ではどのような数値になるであろうかと。また、時折話題に登場するが、宇宙空間での想像もつかないゴミ問題は今後どのようにしていくのだろうか。

● 積み重ねが奇跡を

人は学習し、研究し、その成果をかなりのスピードで上げてきている。その一つに、最近頻度多く出てくる人工知能のことがある。この分野はますます精度が向上し、ある時点では創造の人間を追い越して行くことになるのではと、個人的には推測している。

さて、科学技術の進化した時代が休みなく到来することは間違いないと思っているが、そのころは、前述のゴミ類はどのようなスタイルになっているのだろうか。科学技術の進展に伴つて、新しいタイプのゴミ群が出現することは間違いないことと思うのだ。ただ現に処理することが不可能に近い物質が存在していることも周知の事実であり、宇宙的にも実際に困った問題と認識している。これらの点について、人工知能周辺は、どのように対応していくのであろうか。その働きを個人的にはとても期待しているのである。

ボランティア諸氏の純粋な行為できれいになった石狩浜にふと立ち止まった。新しい年号での9月の第一日曜日は1日である。41年目のゴミ拾い実施日となるのだが、40回目と同様穏やかな一日であることを、砂の上で強く念じたのであった。◆

“考えることは楽しい”を 学習風土に ～永田雅宜氏プロジェクト～



愛知県大府市教育委員会

教育長

宮島 年夫 / miyajima toshio

■『永田雅宜(ながた まさよし)氏プロジェクト』始動!!

皆さんは永田雅宜氏をご存じでしょうか。

永田氏は大府市に生まれ、数学という学問において、数々の偉大な功績を遺したことで、世界にその名を知らしめた人物です。永田氏を語る上で、欠かすことができないのはヒルベルト第14問題の解決でしょう。数学には、ノーベル賞がありません。しかし、永田氏が不变式論を用いて反例を構成し、半世紀あまり解決されていなかったヒルベルト第14問題をわずか7ページの論文で否定的に解決したことは、数学界においてノーベル賞に匹敵するほど価値のあるものがありました。その他にも、100以上の論文を世に出し、「永田のコンパクト化」に代表される幾何学の基盤として現在も用いられる重要な定義を行うなど、永田氏の功績は数え上げればキリがありません。

また、指導者としても大変優れた才能を発揮した方でもありました。母校である名古屋大学や、人生の多くを過ごした京都大学などで教鞭を取られていましたが、その教え子の中には、世界の数学界をけん引する方々が数多く存在します。

数学界のトップランナーとして活躍を続けた永田氏ではあります。幼少期から数学で秀でた才能を発揮していたわけではありません。中学生の時、恩師から教わった勉強法で飛躍的に数学の才能を伸ばしたそうです。その勉強法とは、問題集の図形のみをメモ紙にいくつも書き写し、暇な時間があれば、メモを開いて問題を思い出しながら答えを導き出すというものでした。単に問題と答えを暗記するのではなく、常に思考するということを中学生の頃から訓練し、のちに偉大な功績を生み出したのです。

永田氏は生前、学ぶことは「考えること」であり、考えて答えがわかることが「喜び」に繋がると話していました。永田氏が生涯に渡って人々に伝え続けた“考えることは楽しい”を大府市の学習風土にしたい、数学好きな子どもを増やしたいと

いう思いから、『永田雅宜氏プロジェクト』を平成29年度から始動させました。

■『永田雅宜氏プロジェクト』の概要

本プロジェクトを始動する際、その目的を次の三本柱として定め、各種事業を展開することとしました。

また、事業を3つに大別し、市民や協力機関などを巻き込みながら、効果的に実施するように心がけています。プロジェクト全体のイメージは次のとおりです。

『永田雅宜氏プロジェクト』の三本柱

三本の矢(「NAGATAシリーズ」「M-ICP」「M-OCP」)を放つことで、市民ムーヴメントを巻き起こし、以下の三本柱を達成することを目指します。

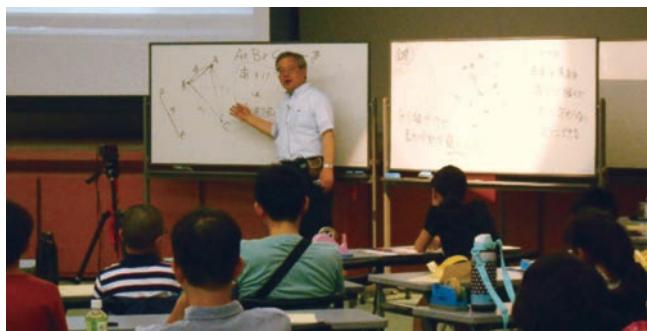
- I 永田雅宜氏の思いを継承し、大府市らしい学習風土、学習気質を醸成します。
- II 永田雅宜氏の功績、考え方方に触れることにより、氏を育んだ大府市への愛着、郷土愛(誇郷)を醸成します。
- III 永田雅宜氏の関連した様々な活動により、大府市の認知度、注目度を全国的に高めます。

(1) NAGATA シリーズ

NAGATAシリーズは、永田氏が重要視した「考えること、そしてわかることは楽しい」を実感してもらうための生涯学習事業群であり、『永田雅宜氏プロジェクト』の基幹事業と位置付けている事業です。NAGATAシリーズでは、「覚える」ではなく「考える」を重視することを意識して事業を展開しています。これらの事業を通して、永田氏の思いを継承した大府市らしい学習風土や学習気質を醸成することを目指しています。

平成30年は、8月4日に永田氏のご子息で京都大学数理解析研究所助教の雅嗣氏を講師にお招きして、「メビウスの帯」を題材とした市民公開講座『おもしろ数楽ゼミナール』を実施したほか、市内に所在する公民館で、事業の目的に合致した

講座を開講しました。今後も数学だけに分野を限らず、あらゆる学びにおいて“考えることは楽しい”をコンセプトとした講座をシリーズとして開講していく予定です。



おもしろ数楽ゼミナール

(2) M-ICP (Mission : Improvement of Civic Pride)

M-ICPは、永田氏の輝かしい功績や優れた考え方を紹介することにより、郷土愛を醸成する活動です。

平成30年は、永田氏の功績を顕彰したタペストリーを母校である大府小学校に掲示したほか、市内全小・中学生に略歴や功績を記したクリアファイルを配布しました。また、永田氏をデフォルメしたイラストを塗り絵にして、希望者や公民館来館者に配布するなど、永田氏の認知度を高めるとともに、優れた功績を残した人物が大府市出身であると知らしめることで、郷土愛を深める事業を実施しました。

(3) M-OCP (Mission : Obu City Promotion)

M-OCPは、市民参加の広報により、本市の全国認知度

A screenshot of the official website of Obu City. At the top, there is a navigation bar with links for 'Home', 'Community', 'Healthcare', 'Education', 'Culture', 'Sports', 'Business', 'Citizen', 'Information', and 'Search'. Below the navigation, there is a banner for 'Motoyuki Nagata Project'. The main content area features a portrait of Motoyuki Nagata and text about his contributions to mathematics. The text mentions that he was born in Obu City and has made significant contributions to the field of mathematics, particularly in number theory. It also highlights his efforts to promote mathematics education and his work on the 1900-year-old 'Hibert's Problem'.

永田雅宜氏プロジェクトHP

を向上させる活動です。

平成30年は、本プロジェクトの各事業をマスコミに情報提供することにより、新聞やCATVなどのメディアに取り上げてもらったほか、本市ホームページでも情報発信を行いました。

■ プロジェクトを推進していくための課題

学習風土醸成の継続的な取り組みとするためには、数学に対する見識が深い協力者の存在が不可欠となります。しかしながら、単に数学の知識を広めるだけでなく、答えを導き出す過程で思考する楽しさを広めることができる人材は、非常に高い知識と技術を要するため、なかなか得難いと感じています。人材の発掘は大きな課題ではありますが、永田氏にゆかりのある京都大学や出身校である名古屋大学などから、協力者を求めていきたいと考えています。

■ おわりに

「数学離れ」「理科離れ」という言葉を耳にするようになります。数学や理科のような理系科目は、単に公式や解法を暗記するだけでは、その本質にある面白さに気づくことは難しいでしょう。人に個性があるように、答えの導き出し方には個性があつてもいいはずです。答えに到達する過程をさまざまな方法で思考し、その本質にある楽しさに気づいてもらうことが「数学好き」「理科好き」を育てていくことに繋がるようになります。

『永田雅宜氏プロジェクト』は始まったばかりです。本プロジェクトを通して、大府市に住む全ての住民が“考えることは楽しい”と感じてもらえるような取り組みを今後も進めていきたいと思います。そして将来、“考えることは楽しい”が大府市の学習風土となっていることを願っています。



・編集後記・

平成の時代が幕を閉じようとしています。阪神・淡路大震災、東日本大震災など大きな災害に見舞われた平成ですが、教育界においても、「ゆとり教育」から「脱ゆとり教育」への転換という大きな変化がありました。平成に続く新しい時代の教育では「主体的・対話的で深い学びの実現」が重視されていて、学校での「課題研究」の実践が注目されています。今号と次号では「課題研究にどう取り組めばよいか」を特集します。

(財)理数教育研究所



ソフィア・コワレフスカヤ ～ロシア初女性大学教授、 恋愛と数学に捧げた41年的人生～

サイエンスナビゲーター® 桜井 進／さくらい すすむ

1850年1月15日、ソフィア・ヴァシリエヴナ・コワレフスカヤはモスクワに生まれた。父はロシア帝国軍将校、母はロシア貴族出身で母の祖父は數学者・天文学者であった。幼少期のソフィアに影響を与えたのが叔父のクルコーフスキイであった。昔、砲兵将校だった彼は数学に興味を持っていた。ソフィアは彼から数学——円と同じ面積の正方形を求める問題、無限、漸近線——について話を聞いた。さらにソフィアについて家庭教師マレーウィチもまた彼女の数学の才能を認め、高等数学の教科書を彼女に与えることで数学への思いを援護することになった。ソフィアが14歳のとき、家の近くに住む海軍兵学校教授から物理学の教科書をプレゼントされた。未知の内容に触れたソフィアは幼少の頃からの持ち前の粘り強さで、自力で三角法の概念を考え出してしまった。父がそのことを教授に伝えると、教授は「ソフィアには真剣に数学を教える必要がある。なぜなら彼女は新しいパスカルだから！」と言い、ソフィアのために新しい数学教師を見つけた。

ソフィアは偏微分方程式やアーベル積分の研究を行った。ベルリン大学のワイエルシュトラス（1815-1897）へ弟子入りを認められたソフィアはワイエルシュトラスの家族にも娘のように可愛がられ、1871年から4年間の充実した研究生活を送った。偏微分方程式の解の存在定理であるコーシー＝コワレフスカヤの定理やアーベル積分を楕円積分に帰着する方法はこの時期の研究成果である。ベルリン大学は女性であることを理由に、講座の受講を拒否。ソフィアの類い希なる才能を見抜いたワイエルシュトラスはソフィアの家庭教師として指導することになった。1874年、ゲッティンゲン大学から数学の学位が授与された。1889年、論文『固定点を中心とする剛体の回転運動について』を発表。これが有名なコワレフスカヤのコマの発見である。1888年、フランス科学アカデミー主催の数学コンクールのテーマが「1点を固定された剛体の回転運動」であった。

剛体（コマ）の回転運動を記述するのがオイラー方程式と呼ばれる連立微分方程式である。オイラーのコマとラグランジュのコマのオイラー方程式は厳密に解けるが、これ以外に厳密に解ける場合があるか、という問題がフランス科学アカデミーの問題だった。ソフィアはオイラーのコマとラグランジュのコマの解が時間 t の一価関数で、複素数の t に対して極以外の特異点を持たないことに着目し新しいコマの発見に到った。それはコマの主軸 x,y,z の周りの慣性モーメントを A,B,C とするとき、 $A=B=2C$ で重心が x 軸と y 軸を含む平面内にあるコマで、コワレフスカヤのコマと呼ばれる。ソフィアは超橍円関数を用いた解の表示を導いた。ソフィアの偉業に対してフランス科学アカデミーは当初の倍の賞金を与えた。

女性であるソフィアがここまで到るまでは苦難に満ちたものだった。ソフィアは18歳のとき、外国に行くために地質学者コワレフスキイと偽装結婚をした。ドイツ、ハイデルベルク大学に行くも入学は拒否された。そこで出会ったのがワイエルシュトラスだった。彼による4年間の指導の後、業績を上げ学位をとったのにもかかわらず大学での職は得られなかった。容姿が優れていたソフィアは社交界デビューしている。夫コワレフスキイとの関係は本当の結婚となり、1878年に娘を出産。結局学位取得後6年間、数学の研究から離れていたが、1881年から研究を再開。1883年、夫コワレフスキイが事業の失敗から自殺。ショックを受けたソフィアの生活は荒れた。それでも、立ち直り研究を再開し、論文『結晶体内における光の屈折について』を発表。1884年にスウェーデン、ストックホルム大学教授に任命。ロシア人女性として初の大学教授になった。かくして1888年にコマの研究の快挙に到る。1889年、ソフィアはスウェーデン科学アカデミー賞を受賞、チェビシェフの推薦でロシア科学アカデミー会員に選ばれた。ロシアでの就職を諦めたソフィアは、終の住処と決めたストックホルムで新たな気持ちで数学に取り組み始めるが、1891年1月29日、肺炎により41歳の若さで亡くなった。

人類のために自然の法則を認識する道をひらく
すべての科学のうちで、最も力強く、最も偉大な
のは数学である。

ソフィア・コワレフスカヤ

Rimse (リムス)

No.24

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：© Roy Scott/Ikon Images /amanaimages