

日本の理数科教育をサポートする

Rimse

Research Institute for Mathematics and Science Education

No. 36
February
2023

特集 探究的な学習活動の充実 I

塩野直道記念 第10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

数理探究 ―高等学校新課程に際して

理数教育研究所 理事長／東京大学 名誉教授 岡本 和夫

特集 探究的な学習活動の充実 I

2 I これからの時代に求められる資質・能力育成と探究活動の充実

① 高等学校の新教科「理数」における探究について

文部科学省 初等中等教育局 視学官 藤枝 秀樹

4 ② 総合的な探究の時間において求められる探究活動

文部科学省 初等中等教育局 教育課程課 教科調査官／愛知淑徳大学 准教授
加藤 智

6 II 探究活動の充実に向けて

① 探究活動の充実を県教育委員会として支援および推進する

奈良県教育委員会事務局 高校の特色づくり推進課 高校教育指導係長
真井 克子

10 ② 探究活動の充実のために SSH 指定を活用する

京都市立堀川高等学校 教頭 飯澤 功

14 塩野直道記念

第10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 受賞者一覧

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 1枚の図から地球を考える

～地球はどんなところか～ 第10回(最終回)

地球はどんなところか

開成中学校・高等学校 教諭 有山 智雄

36 連載 確率の現代的活用 第1回(新連載)

ベイズの定理 ―確率入門―

東京大学 名誉教授／(株)ベイズ総合研究所 代表取締役 松原 望

39 連載 物理用語の成り立ち ～万物の根源を求めて～ 第1回(新連載)

元素(エレメント element) I ―古代ギリシャにおけるエレメント

元徳島県公立高等学校 教諭 西條 敏美

42 教育に新しい風を ―東京懇談会より―

時代に応じた教職の魅力づくりの方策を

日本義務教育学会 事務局長 押尾 賢一

44 広場 地域教育で活躍する人々 第35回

未来を生き抜く子どもたちに「考える力」をプレゼント

～本巢市『数学のまちづくり』～

岐阜県本巢市 教育長 川治 秀輝

裏表紙 数学と言葉 第4回

「否定」その1

数学用語と日常の言葉のズレ

サイエンスナビゲーター® 桜井 進



Kantougen



理数教育研究所 理事長
東京大学 名誉教授

岡本和夫 / おかもと かずお

1948年東京都生まれ、東京大学理学部卒業、理学博士。一橋大学助教授などを経て、2010年まで東京大学大学院数理科学研究科教授、この間大学院数理科学研究科長、大学総合教育研究センター長。その後大学改革支援・学位授与機構理事、現在は同機構参与、東京大学特任教授。専門は数学、特に可積分系の理論、おもに非線型微分方程式の定めるパンルヴェ函数系を研究し、『パンルヴェ方程式』(岩波書店)にまとめた。近年の著書として『数学 理性の音楽』(共著、東京大学出版会)、『数学の森』(共著、東京図書)、『関流和算書大成』(全11巻、東アジア数学史研究会編、勉誠出版)など。日本学術会議会員、日本数学会理事長、東京大学出版会理事長などを歴任。現在は城北会理事長、NPO法人数学月間の会理事長。

数理探究 — 高等学校新課程に際して

令和4年度から高等学校でも新学習指導要領に基づく教育課程が開始された。その中で「数学・理科にわたる探究的科目」である「理数探究基礎」,「理数探究」が新設されている。新設のねらいについては本誌 No.20 の小玉秀史氏による論考を参照いただきたい。その中でも触れられているが,中央教育審議会「高等学校の数学・理科にわたる探究的科目の在り方に関する特別チーム」では,科目名を「数理探究」とするか「理数探究」とするか議論があり,結局後者となった。「特別チーム」主査であった筆者は,いずれの科目名にせよ「数学・理科にわたる探究的科目」の趣旨が活かされることが大切であると考えている。

理数探究については石浦章一氏の近著『理数探究の考え方』(ちくま新書)に理科の観点で詳しく紹介されているので,本稿ではあえて数学の立場から考えてみたい。表題を数理探究としたのは単にその意味である。

近年,データサイエンスという言葉を目にする機会が多い。人材育成の点で遅れを取り戻すために,高校生の半数以上,すなわち高等教育課程で学びを続けるほとんどすべての若者を対象として「数理・データサイエンス・AI教育プログラム認定制度(リテラシーレベル)」が動き出している。政府が設定した大学での教育プログラムであるが,すでに多くの大学の課程が認定を受けている。同じプログラムの応用基礎レベルや大学コンソーシアムが設定しているモデルカリキュラムなどはウェブで公開されている。具体的な内容はそちらを参照いただくとして,このような動きの方向は,これまで何の抵抗もなく受け入れられていた我が国独特の方式の終焉である。その方式とは早くから文系と理系を数学の履修で区分する,というものである。少なくとも終わりの始まりである。

数理探究の立場から見れば,探究は対象を数学的に表すことから始まる。正確に言えば数理モデルの構築である。このモデルを数学という道具を使って調べる。その解析の結果としての知見を数学という言葉を使って表す。これによって得られたものはもとの対象にフィードバックされるが,同時に再び道具として活用される。これが数理探究の形である。この形は理数探究の観点では数学の役割と言ってもよい。

ごく身近なことがらに興味を持って調べようとする。これは小学生も普通にできることで,そのような例は算数自由研究として蓄積されてきた。中学生の興味はさらに広い範囲に

及んでいる。高校生は使える数学も深くなって,探究の対象をコンピュータなど活用して思わぬ発見がある。

このように10年間続けてきた理数教育研究所の「算数・数学の自由研究」作品コンクールは数理探究実践の場であり続けている。このコンクールが永く続いて多くの人たちの興味と関心を今以上に集めていくことを強く期待している。

ところで学習指導要領では,成果が期待できる場合には「理数探究基礎」または「理数探究」の履修をもって総合的な探究の時間の履修の一部または全部に代えることも可能とされている。理数探究基礎の内容は,いわゆる理系コースの生徒対象だけではなく文系の人たちにとっても必要なことがらであり,教科書も用意されている。

学習指導要領に基づく『理数探究基礎』の内容は以下のような章と節から構成されている(啓林館版)。

第1章 探究の進め方

- 第1節 探究へのいざない
- 第2節 課題の設定
- 第3節 課題の探究
- 第4節 発表と報告書の作成
- 第5節 探究に取り組む姿勢

第2章 探究の事例

- 第1節 科学技術に関する事例
- 第2節 自然環境に関する事例
- 第3節 自然現象や社会現象に関する事例
- 第4節 数学的事象に関する事例
- 第5節 先端科学や学際的領域に関する事例

第3章 探究の課題例

終章 能動的に学び,世界へ羽ばたこう

科目の内容から見てもこれは理系だけの科目ではない。高大接続の観点からもすべての高校生に身に付けてほしい内容である。入学試験のテスト教科には馴染まないけれど,履修を必須にしたいとさえ思う。スマートフォンなどを悪用した不正行為が報道されているが,世の中に不正により不当な利益を得ようとする輩はなくならないとしても,若者たちが探究について学ぶ中で,不正行為に対する抵抗感を身に付けてほしい。その意味でも探究科目についての実践と工夫を教育現場に訴えたい。少なくとも「理数探究基礎」は多くの高等学校で学ぶ機会を作っていただきたい。



I これからの時代に求められる資質・能力の育成と探究活動の充実

① 高等学校の新教科「理数」における探究について

文部科学省 初等中等教育局 視学官

藤枝 秀樹 / ふじえだ ひでき

香川県立高等学校に理科教諭（主に「生物」を担当）として勤務し、香川県教育センター主任研究員及び指導主事等、2014年から国立教育政策研究所 教育課程研究センター 教育課程調査官・学力調査官（併任：文部科学省 初等中等教育局 教育課程課 教科調査官）を経て、2019年4月から現職。



1 ◆ 理数科の新設の経緯と基本原理

高等学校の各学科に共通する教科「理数」（以下、「理数科」）は、平成28年12月の中央教育審議会答申で、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創造性豊かな人材の育成を目指し、そのための基礎的な資質・能力を身に付けることができる数学・理科にわたる新たな探究的科目の設定が提言されたことを受けて新設されたものである。

理数科の基本原理は、アイディアの創発、挑戦性、総合性や融合性等の視点を重視し、従前の教科・科目の枠にとられない形で整理されている。特に、「数学的な見方・考え方」や「理科の見方・考え方」を豊かな発想で働かせたり、組み合わせたりすることが特徴である。

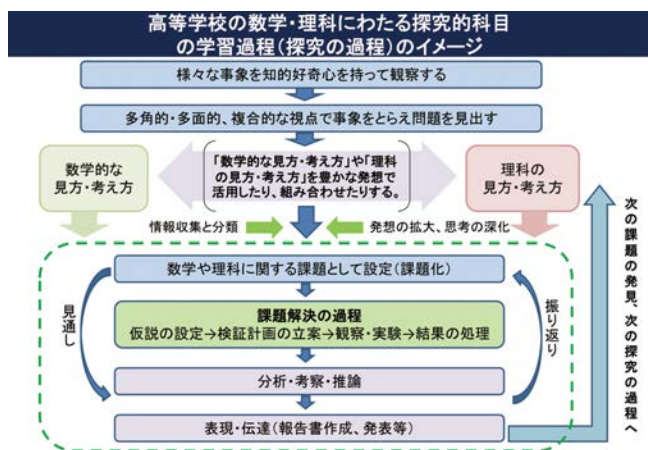


図1 高等学校の数学・理科にわたる探究的科目の学習過程

2 ◆ 理数科の目標

理数科の目標は、次のとおりである。

様々な事象に関わり、数学的な見方・考え方や理科の見方・考え方を組み合わせるなどして働かせ、探究の過程を通して、課題を解決するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 対象とする事象について探究するために必要な知識及び技能を身に付けるようにする。
- (2) 多角的、複合的に事象を捉え、数学や理科などに関する課題を設定して探究し、課題を解決する力を養うとともに創造的な力を高める。
- (3) 様々な事象や課題に向き合い、粘り強く考え行動し、課題の解決や新たな価値の創造に向けて積極的に挑戦しようとする態度、探究の過程を振り返って評価・改善しようとする態度及び倫理的な態度を養う。

これは、理数科において、どのような資質・能力の育成を目指しているのかを簡潔に示したものである。初めに、どのような学習の過程を通してねらいを達成するかを示し、(1)では育成を目指す資質・能力のうち「知識及び技能」を、(2)では「思考力、判断力、表現力等」を、(3)では「学びに向かう力、人間性等」をそれぞれ示し、三つの柱に沿って明確化している。

3 ◆ 理数科の科目編成と内容の取扱い

理数科は、「理数探究基礎（標準単位数：1 単位）」及び「理数探究（標準単位数：2～5 単位）」で編成されている。「理数探究基礎」の特徴は、探究の過程全体を自ら遂行するための基本的な知識及び技能を身に付け、粘り強く考え行動し、課題の解決に向けて挑戦しようとする態度を養うなど、課題を解決するために必要な資質・能力を育成することである。一方で、「理数探究」は、「理数探究基礎」などで身に付けた資質・能力を活用して、自ら設定した課題について主体的に探究することを通じて、これらの資質・能力をより高めていく科目である。特に「理数探究」においては、「生徒が自身の知的好奇心や興味・関心に基づき主体的に課題を設定する」「探究を進める中でのアイディアの創発、挑戦性をより重視する」など、生徒がより主体的、挑戦的に探究することを目指している。

理数科の内容の取扱いとして、「理数探究基礎」または「理数探究」の履修をもって総合的な探究の時間の履修の一部または全部に替えることができる。なお、「理数探究基礎」および「理数探究」の履修における順序はないが、それぞれの科目の目標や内容は段階的に構成されており、「理数探究基礎」を履修した上で「理数探究」を履修することが望ましい。ただし、「理数探究基礎」で育成を目指す資質・能力が、「総合的な探究の時間」などで養うことができていると判断される場合には、「理数探究基礎」を履修せずに「理数探究」を履修することも考えられる。

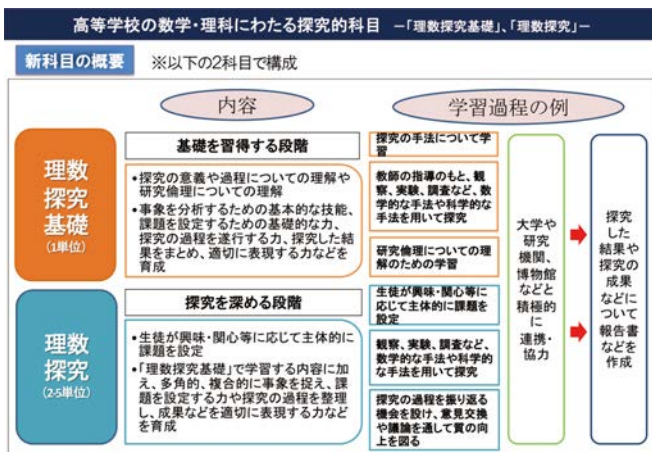


図2 高等学校の数学・理科にわたる探究的科目

4 ◆ 理数科の探究の過程について

理数科においては、生徒が『課題の設定』『課題解決の過程』『分析・考察・推論』『表現・伝達』という探究の過程を通じた学習活動を行い、教師はそれぞれの過程において、資質・能力が育成されるよう指導の改善を図ることが大切であると考えられる。

理数科の探究の過程については、以下のように示すことができる。

① 課題の設定

自然や社会の様々な事象に関わり、そこから数学や理科などに関する課題を設定する。

② 課題解決の過程

数学的な手法や科学的な手法などを用いて、仮説の設定、検証計画の立案、観察、実験、調査等、結果の処理などを行う。

③ 分析・考察・推論

得られた結果を分析し、先行研究や理論なども考慮しながら考察し推論する。

④ 表現・伝達

課題解決の過程と結果や成果などをまとめ、発表する。

このような探究の過程全体を生徒が主体的に遂行できるようにすることを目指すとともに、観察などを通して生徒が様々な事象を常に知的好奇心をもてるようにすることや、多角的・多面的、複合的な視点で事象を捉え問題を見いだして数学や理科に関する課題として設定することができるようになることを重視すべきである。なお、理数科を指導するに当たって留意すべきことは、探究の成果を上げさせることも大切であるが、それ以上に探究の過程を通して、主体的に探究の過程全体をやり遂げるための資質・能力の育成を重視していることである。

参考文献

「高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 理数編」, 平成30年7月, 文部科学省

② 総合的な探究の時間において求められる探究活動

文部科学省 初等中等教育局教育課程課 教科調査官／愛知淑徳大学 准教授

加藤 智 / かとう さとし

1980年愛知県生まれ。2005年愛知教育大学大学院教育学研究科生活科教育分野修士課程修了。愛知県公立小学校・中学校教諭、浜松学院大学短期大学部講師、准教授を経て、2015年より愛知淑徳大学文学部准教授。2019年9月より国立教育政策研究所教育課程研究センター教育課程調査官（文部科学省初等中等教育局教育課程課教科調査官併任）を兼任。



1 ◆ はじめに

今次改訂の学習指導要領では、高等学校の「総合的な学習の時間」の名称が「総合的な探究の時間」に変更された。これは、平成28年12月の中央教育審議会答申における「小・中学校における総合的な学習の時間の取組の成果を生かしつつ、より探究的な活動を重視する視点から、位置付けを明確化し直すことが必要」との指摘を踏まえたものである。これまでの高等学校の総合的な学習の時間については、地域の活性化につながるような事例が生まれている一方で、小・中学校の取り組みの成果の上に高等学校にふさわしい実践が十分展開されているとは言えない状況であるとの課題も指摘されている。

本稿では、高等学校の総合的な探究の時間において求められる「探究」について論じることとしたい。

2 ◆ 高等学校における総合的な探究の時間の位置付け

今次改訂の学習指導要領では、総合的な探究の時間に加えて、古典探究や地理探究、日本史探究、世界史探究、理数探究基礎及び理数探究と、探究を冠する科目が複数新設された。このように、高等学校においては探究への注目が高まるばかりだが、総合的な探究の時間で行われる探究と他の科目において行われる探究との違いについて整理しておきたい。

一点目は、総合的な探究の時間における学習の対象や領域が、実社会や実生活における複雑な文脈の中に存在する事象であり、特定の教科・科目等に留まらず、横断的・総合的で

あるという点である。二点目は、他の探究が、その教科・科目等における理解をより深めることを目的にしていることに對し、総合的な探究の時間における探究では、実社会や実生活における複雑な文脈の中に存在する問題をさまざまな角度から俯瞰して捉え、考えていくことから、複数の教科・科目等における見方・考え方を総合的・統合的に働かせるという点である。三点目は、総合的な探究の時間における学習活動が、解決の道筋がすぐには明らかにならない課題や唯一の正解が存在しない課題に対して、最適解や納得解を見いだすことを重視しているという点である。例えば、近年は総合的な探究の時間で取り組む探究課題について、SDGsの視点を踏まえて探究する事例も見られる。SDGsの目標やターゲットは多様かつ多岐にわたっているが、その実現は、特定の教科・科目等の枠組みの中だけでは不可能であり、実社会・実生活における多様な他者と関わり合いながら、最適解や納得解を模索することが求められる。図1は、『学習指導要領解説 総合的な探究の時間編』において示されている探究課題それぞれに関連すると考えられるSDGsの目標を重ねて示した例である。このように、総合的な探究の時間において取り組む探究課題にSDGsの視点を加えて示すことにより、生徒たちは、自分たちが解決しようと取り組んでいる課題が、地域や国を超えて地球規模で関わっていることをより実感することにつながると考えられる。

さらに、各学校において定める総合的な探究の時間の目標は、学校の教育目標と直接的につながるという独自の特徴を有している。各学校が育てたいと願う生徒の姿や育成すべき

資質・能力などを、各学校の創意工夫に基づき明確に示すことが期待されている。

	探究課題(学習対象)	関連するSDGsの目標の例
横断的・総合的な課題 (現代的な諸課題)	外国人の生活者とその人たちの多様な価値観(国際理解)	10 人や国々の間での公平な開発 16 平和と公正 17 パートナーシップ
	情報化の進展とそれに伴う経済生活や消費行動の変化(情報)	9 産業、イノベーション、基構
	自然環境とそこに起きているグローバルな環境問題(環境)	6 きれいな水と衛生 13 気候変動 14 海洋資源 15 陸域生態系
	高齢者の暮らしを支える福祉の仕組みや取組(福祉)	3 健康と長寿
	心身の健康とストレス社会の問題(健康)	3 健康と長寿
	社会生活の変化と資源やエネルギーの問題(資源エネルギー)	7 再生可能エネルギー 12 持続可能な消費と生産 13 気候変動
	食の問題とそれに関わる生産・流通過程と消費行動(食)	1 貧困をなくそう 2 飢餓をゼロに
	科学技術の発展と社会生活や経済活動の変化(科学技術)	8 持続可能な成長 9 産業、イノベーション、基構
地域や学校の特色に応じた課題	地域活性化に向けた特色ある取組(町づくり)	5 ジェンダー平等 11 持続可能な都市とコミュニティ
	地域の伝統や文化とその継承に取り組む人々や組織(伝統文化)	8 持続可能な成長 11 持続可能な都市とコミュニティ
	商店街の再生に向けて努力する人々と地域社会(地域経済)	8 持続可能な成長 11 持続可能な都市とコミュニティ
	安全な町づくりに向けた防災計画の策定(防災)	3 健康と長寿 6 きれいな水と衛生 11 持続可能な都市とコミュニティ
生徒の興味・関心に	文化や流行の創造や表現(文化の創造)	4 質の高い教育をみんなに 5 ジェンダー平等 12 持続可能な消費と生産
	変化する社会と教育や保育の質的転換(教育・保育)	4 質の高い教育をみんなに 5 ジェンダー平等 8 持続可能な成長 16 平和と公正
	生命の尊厳と医療や介護の現実(生命・医療)	1 貧困をなくそう 2 飢餓をゼロに 3 健康と長寿
職業や自己の進路に関する課題	職業の選択と社会貢献及び自己実現(職業)	8 持続可能な成長 9 産業、イノベーション、基構 17 パートナーシップ
	働くことの意味や価値と社会的責任(勤労)	5 ジェンダー平等 8 持続可能な成長 10 人や国々の間での公平な開発

図1 探究課題とSDGsの関連の例

3 ◆ 総合的な探究の時間で期待される質の高い探究

小・中学校の総合的な学習の時間が、課題を解決することで自己の生き方を考えていく学びであるのに対して、高等学校の総合的な探究の時間は、自己の在り方生き方と一体的で不可分な課題を自ら発見し、解決していくような学びを展開していくことを重視している。これは、社会への出口に近い高等学校が、初等中等教育の縦のつながりにおいて総仕上げを行う学校段階として、自己の在り方生き方に照らし、自己

のキャリア形成の方向性と関連付けながら、自ら課題を発見し解決していくための資質・能力を育成することが求められるからである。

このような生徒の姿を生み出すためには、生徒がより洗練された質の高い探究に取り組む必要がある。質の高い探究とは、「探究の過程がより高度化する」ことや「探究がより自律的に行われる」ことと考えるとよい。

高度化した探究とは、整合性、効果性、鋭角性、広角性などの視点で捉えることができる。整合性は、例えば、課題の解決に必要な仮説を立て、適切な検証方法を考え、計画を立案するといったことである。効果性は、各教科・科目等で学んだ力を適切な場面で活用、発揮しているかということである。鋭角性は、焦点化し深く掘り下げること、広角性は、幅広い可能性を視野に入れ、俯瞰して捉えることと考えるとよい。高等学校の探究では、鋭角性を追求するあまり、解決の方法が現実と乖離してしまったり、あるいは、広角性を重視するあまり、対象を絞り込めず、効果的な解決方法を見いだすことができなかったりすることがある。高度化した探究を実現する上では、鋭角性と広角性の両立を意識する必要がある。

自律的な探究とは、上の高度化した探究を生徒が自分自身で行っていくことであり、その視点としては、自己課題、運用、社会参画がある。自己課題とは、探究する課題が自分にとって関わりが深いものになることで、いわば課題が「自分事」になることである。総合的な探究の時間では、生徒自身が自己の在り方生き方と一体的で不可分な課題を自ら発見し、解決していくことが期待される。したがって、生徒一人一人にとっての「課題の設定」が極めて重要であり、十分な時間をかけて一人一人の生徒にとって価値のある適切な課題を設定する必要がある。また、運用とは、生徒が「課題の設定」から「まとめ・表現」に至る探究の過程を見通して自分の力で進めていくことである。そして、社会参画は、得られた知見を生かして、実際に地域社会に参画する中で、社会的な課題の解決に向き合うことである。

このような生徒の質の高い探究の実現のためには、適切な教師の指導・助言が欠かせない。課題設定や解決方法を教師が必要以上に教え過ぎてしまう事例や、生徒に任せきりで学習活動が深まらない事例も散見される。生徒の探究に「伴走」する教師の姿勢が極めて重要である。



Ⅱ 探究活動の充実に向けて

① 探究活動の充実を県教育委員会として支援及び推進する

奈良県教育委員会事務局 高校の特色づくり推進課 高校教育指導係長

真井 克子 / さないかつこ

奈良県立高等学校理科教諭(専門分野:化学)として勤務後、2013年より奈良県教育委員会に所属。
奈良県立教育研究所指導主事、奈良県教育委員会事務局学校教育課指導主事を歴任後、2022年より現職。



奈良県教育委員会は、文部科学省指定のスーパーサイエンスハイスクール(以下「SSH」という)指定校の「探究の評価の在り方」についての研究開発を支援し、成果を県内外に普及すべく取り組んでいる。また、平成30年文部科学省告示の高等学校学習指導要領において新設された共通教科「理数」の開設推進を図っている。探究的な学習活動の充実につながる、これらの取り組みについて紹介する。

1 ◇ 探究の評価の在り方について

(1) 学習意欲を高める探究の評価を目指して

2017年度にSSH指定校である奈良県立青翔高等学校・青翔中学校(以下「青翔」という)から、生徒が自ら研究テーマを決めて探究活動を行う学校設定科目「探究科学」の評価の在り方について研究したいとの申し出があった。それ以降、奈良県教育委員会は研究を継続して支援し、ともに検討・改善に取り組んできた。現在も各学校の学習評価について把握しアドバイスを行う立場にあるが、評価は「生徒の現状の見取り」とともに「生徒の次の学びへの意欲向上につなげるもの」であるということを教員はあまり意識していないのでは、と感じるところである。当時、研究開始に当たり重視したのは、「学ぶ意欲を高める評価」にすることであった。評価に対する教員の意識改革に努め、評価の取り組みにより毎時間の探究活動を充実させたいと考えた。「指導と評価の一体化」は以前から示されてきたことであり、青翔においても既に、生徒に評価の観点や具体的な評価項目を示し、生徒が研究に

取り組むようす、実験ノートの記述、研究発表、論文などから評価を行っていた。その評価の良さは生かしつつ、生徒による自己評価、相互評価を行うことで、生徒が自己の学習の実態を自覚し、学習意欲を高めることができるのではないかと考え取り組んだ。

① ルーブリックの作成と実践(自己評価)

「探究科学」の長期的ルーブリックを作成した(図1)。

中学校第1学年から高等学校第3学年の生徒が使うものとなる。生徒が主体的に学習に取り組むために、生徒自身が長期的ルーブリックを基に毎時間、授業でどのような力を身に

	知識・技能
A	研究内容について新しく学んだ知識を深めて実行できる。
B	教員に指示された内容を理解し、実行できる。
C	先行研究同様に、データを収集し、分析して、操作できる。
	思考・判断・表現
A	自ら調べて理解し、ものの見方を働かせて、新しい発見をしたり、自ら新しい課題を設定したりして取り組むことができる。
B	自ら調べたり、教員にたずねたりして取り組むことができる。
C	教員の指示のもとに取り組むことができる。
	主体的に学習に取り組む態度
A	探究科学での学びを将来につながるものにしようとしている。
B	自分の研究内容について様々な視点から捉え、どのようなことに応用できるか考えようとしている。
C	自分の研究内容について考えようとしている。

図1 探究科学の長期的ルーブリック

付けるのかについて考え、教員と相談して目標を設定する取り組みを以下のステップで行った。

- ① 授業の目標や取り組みに適した「知識・技能」「思考・判断・表現」のいずれかの観点を生徒が教員とともに定める。
- ② 研究内容の具体的な目標を教員と生徒が相談して設定するとともに、評価規準についても考える。
- ③ 目標や評価を文章で記述させるようにする。

なお、「主体的に学習に取り組む態度」については、教員が学期末に生徒の記述や発表などを総合的に捉えて評価した。

②相互評価表の作成と実践（相互評価）

「グループの研究内容について記述でまとめる」という課題について、以下のステップで相互評価を行った。

- ① これまでの「グループの研究に対する結果と考察」を各自が記入
- ② 相互評価表を用いて自己評価（提出時）
- ③ ①で記入された研究の結果と考察を他者（同じグループのメンバー）が評価
- ④ ②の自己評価と③の他者評価の内容を見て振り返った後、再度「グループの研究に対する結果と考察」を記入
- ⑤ 相互評価表を用いて、再度自己評価（再提出時）

後藤（2013）の相互評価表^{*1}の要素と記述例を基に、「設問に対応している」「結論が示され、必要な根拠があがっている」「文章的に正しく書かれている」を評価基準とした（図2）。この評価基準は科学的リテラシーと関係があることが知られている。相互評価表の大項目2の小項目③～⑥は2021年度に新たに追加した項目である。

1. 設問に対応している (学習目的・学習内容理解)	①研究の目的に対応した内容を記載しているか。 ②必要なキーワードが含まれているか。関連のないことが含まれていないか。 ③自分の意見(感想・気持ち)が混ざっていることはないか。
2. 結論が示され、必要な根拠があがっている (考察記述の内容と議論の構造)	①結論の説明に必要な具体的な事実や根拠があがっているか。 ②「(結果)より、(結論)と考えた。その理由は(考察)だからである。」といった構造になっているか。 ③多角的な研究・議論が行われているか。 ④適切なデータが可視化されているか。 ⑤事象を分析するための技能を活用しているか。 ⑥研究の内容に対応した文献を調査し、それに基づき、新規性が高いか。 ⑦主張の内容が正しいか。
3. 文章的に正しく書かれている	①主語と述語の対応・誤字・脱字・助詞・接続語等の誤りはないか。 ②一つの文が長すぎたり、多くの情報を詰め込みすぎたり、文章量が与えられた枠を超えていることはないか。 ③読みにくくはないか。

図2 相互評価表

(2) 探究の評価の取り組みによる生徒の変容

研究がスタートした2017年当初から、「探究科学」における評価基準についてルーブリックを明示するとともに、生徒による自己評価や相互評価を行うことで、生徒が自己の成長を認識できることや、生徒の探究活動における学習意欲を高められることが示唆されている。現在に至るまで、青翔では自己評価と相互評価の取り組みが、さまざまな視点からの

改善を加えながら継続されている。「探究科学」における複数の教員の実践や、教科「生物」としての実践においても同様の結果が得られたため、2020年度から全教科にわたり長期的ルーブリックの作成による授業改善を行うこととなった。また、相互評価については「探究科学」で科学的リテラシーの向上が見て取れたため、各教科における資質・能力の育成に活用できると考え、全ての教科での実施を試みている。

このように、探究の評価に学校が取り組む中で育まれた2021年度第3学年の生徒の相互評価による変容と学習意識調査の変容を紹介したい。この学年は、中学校第3学年から「探究科学」において自己評価、相互評価の取り組みを実施してきた。長期的ルーブリックを基に毎時間、自分たちで身に付けるべき資質・能力を意識して教員との相談のうえ目標を設定して課題研究に取り組み、振り返りも記述で行うことを継続してきた。また、図2の追加項目のない相互評価表の実践を行ってきたところ、2020年度の第2学年の段階の相互評価の結果では、自己評価の点数に対して、他者の評価を基に再度記述したものを自己評価した点数は、全ての評価基準において有意に高く、評価基準1～3のすべてで、ほぼ満点に近くなった（図3）。中学校第3学年から相互評価を実施してきたことから評価基準が身に付き、科学的リテラシーの向上が見て取れた。そのため、評価基準を上方修正することとし、追加した項目は、いずれも論理的に思考し、科学論文を記述する際に必要となる内容とした。

	提出時 平均値 (標準偏差)		再提出時 平均値 (標準偏差)	有意確率 (両側)P値	t値	N
評価基準1(設問に対応している) (3点満点)	2.09 (0.80)	<	2.85 (0.45)	0.000 **	5.12	34
評価基準2(必要な根拠があがっている) (3点満点)	0.97 (0.80)	<	1.47 (0.45)	0.000 **	4.88	34
評価基準3(文章的に正しく書かれている) (3点満点)	2.35 (0.69)	<	2.76 (0.43)	0.000 **	2.95	34

(t検定 *P<0.05 **P<0.01)

図3 相互評価における評価基準ごとのポイント

提出時と再提出時の比較 高等学校第2学年(2020)

新しい基準を用いて2021年度に第3学年で相互評価を実施した。その結果、再記述を自己評価した得点は、評価基準1と2で、有意に高かった（図4）。上方修正した評価基準2において7点満点中で平均が6点となる結果が得られたことは、評価基準を設定した側にとって、更なる高い水準の評価基準の設定が必要となるまで生徒が成長していることに気が付くことのできる機会ともなった。学習意識調査で

	提出時 平均値 (標準偏差)		再提出時 平均値 (標準偏差)	有意確率 (両側)P値	t値	N
評価基準 1 (設問に対応している) (3 点満点)	2.30 (0.80)	<	2.88 (0.60)	0.004 **	3.04	28
評価基準 2 (必要な根拠があがっている) (7 点満点)	5.03 (1.47)	<	6.00 (1.50)	0.020 *	2.39	28
評価基準 3 (文法的に正しく書かれている) (3 点満点)	2.34 (0.98)	<	2.63 (0.81)	0.231 ns	1.21	28

(t検定 *P<0.05 **P<0.01 ns P>0.05)

図 4 相互評価における評価規準ごとのポイント

提出時と再提出時の比較 高等学校第 3 学年 (2021)

は、2021 年度第 3 学年の 1 学期当初と 2 学期末の比較から、31 項目のうち 2 項目で有意に高かった (図 5)。調査項目は探究で身に付けたい資質・能力や自ら学ぶ意欲などを測るものとして作成したものであり、有意差はなかったが、2 学期末で 4 点満点中、平均が 3.5 を超えるものが 13 項目あったことは、中学校からの 4 年間の「探究科学」の学びの成果ではないかと考える。

質問 番号	質問項目	3年4月平均値 ±標準偏差		3年10月平均値 ±標準偏差	有意確率 (両側)P値	N
2	探究科学で学習したことは、将来、 社会に出たときに役に立つ。	3.25 ± 0.70	<	3.57 ± 0.57	0.048 *	28
3	わからないときには、納得がいく まで考える。	3.25 ± 0.70	<	3.54 ± 0.58	0.046 *	28

(Wilcoxonの符号順位検定 *P<0.05 **P<0.01)

図 5 1 学期当初と 2 学期末の比較において有意差がある項目
高等学校第 3 学年 (2021)

また、これまで「研究内容について記述でまとめる」といういわゆる考察記述において相互評価を行っていたが、研究レベルを高めるには課題の設定が重要であるとの考えに至り、2022 年度は高等学校第 1 学年の「課題の設定」において相互評価を実践し、課題設定を充実させている。中学校第 1 学年から探究を学ぶ生徒たちであり、今後の生徒たちの研究の進捗が楽しみである。

(3) 評価における ICT の活用

GIGA スクール構想の下、奈良県では早期に県内公立小学校、中学校、高等学校におけるすべての児童・生徒および教員に Google アカウントを付与し、Google Workspace for Education の活用などを推進している。青翔は導入当初から評価の取り組みに ICT を活用しており、自己評価、相互評価を行う際は、Google Forms を活用し、生徒が入力した文章などをスプレッドシートとして即、集約し、データ分析を行っている。相互評価では、クラス全体の提出時と再提出時の記述がデータ分析ソフトで視覚的に示されることで、生徒が自

己とクラスの生徒の成長を認識でき、学習意欲の向上につながっていると考える。紙により時間をかけて見取っていたものが、電子化されることで評価における教員の負担軽減にもつながっており、ICT を活用した学ぶ意欲を高める評価の在り方について引き続き検討したい。

2 ◆ 新しい教科「理数」開設の推進

(1) 「理数」開設に至るまで

県教育委員会として、新学習指導要領において新たに設定された共通教科「理数」の開設と科学技術人材育成に力を注いでいる。現在、再編を踏まえた実質 30 校の県立高等学校のうちの 6 校、つまり 20%が「理数」または SSH 探究科目を開設することとなった。そのうちの 5 校は普通科または総合学科である。

「理数」は、平成28年12月の中央教育審議会答申において、将来、学術研究を通じた知の創出をもたらしすることができる創造性豊かな人材の育成を目指し、そのための基礎的な資質・能力を身に付けることができる数学・理科にわたる新たな探究的科目の設定が提言されたことを受けて新設された。それぞれの生徒が自らの興味や関心などに基づいてさまざまな課題を設定して課題研究を行っているSSHの教育的な有効性が広く認められたことや、この教科の考え方がSTEAM教育の考え方と同じ方向を向いているとして、国が新教科・科目の開設を重視した意図を県教育委員会としても重く受け止めていた。また率直に、「数学的な見方・考え方や理科の見方・考え方を組み合わせるなどして働かせ、探究の課程を通して、課題を解決するために必要な資質・能力を育成する」という、この新しい教科を県内の学校でぜひ開設して、生徒の探究的な学びを充実してほしいと考えた。

2020 年 11 月段階で「理数」の開設を考えている県立高等学校を調査したが、理数科以外にはなかった。県内の理数科は 2 校であり、探究的な理数として SSH 指定校の 2 校をカウントしたとしても、前述の青翔が理数科で SSH 指定校のため、合計 3 校となる。開設できない理由として、「総合的な探究の時間を学年全体で使っているので、理系だけ別にするのはいかなものか。それによりアンバランスが生じる」「内容的にどのようなものをすればよいか、考えるのが難し

い」「実験などを行うために必要なお金がない」といった意見が上がっていた。

(2) 「理数」開設に向けた県の取り組み

そこで、県としては、「理数」開設を教員に理解してもらえるように、学習指導研究会などあらゆる機会で、「探究的に学ぶ」とはどのようなことか、「理数」という教科がなぜ新設されたのか、「理数」を学ぶ有用性などに触れることを心がけた。また、教員の困り感を解消すべく、県立のSSH指定校2校に快諾を得て、SSH指定校が県内の「理数」開設校をサポートする仕組みを図6のように整理し構築した。授業内容や評価の在り方などを支援するシステムであり、県教育委員会としては「理数」の授業が順調にスタートできるよう、教員対象の研修を行ったり、SSH指定校の開発した内容のどの部分を活用するかともに検討したりして、学校ごとに丁寧な支援する。探究的な学びの評価については、県教育委員会として、多くの学校における生徒の資質・能力育成に活用したいところである。

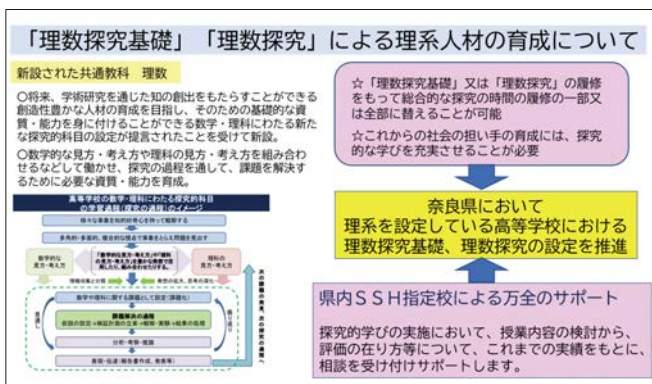


図6 教科「理数」開設を推進するための奈良県の仕組み

このシステム構築をもって、県教育委員会としてぜひ「理数」を開設してほしい県立高等学校2校の学校長に相談した。ともに理系のクラス数の多い普通科の高等学校であり、必ず「理数」の学びが生徒の資質・能力育成に役立つと考えること、SSH指定校の協力が得られること、県教育委員会としても全面的にサポートすることを伝えた。新しい教科であるため、その認知度は理科や数学の教員であっても完全とは言えず、それ以外の教科の教員にとってはさらに理解しづらいものであると考えた。仮に、理科や数学の教員が、「理数」開設を願っても、学校長の理解なく、学校にとって柱となる

教育課程を変更していくことは困難であると考えた。相談した2校の学校長はともに、探究的な学びを重視した教育課程を検討している段階とのことで、学校内で前向きに検討いただけることになった。学校内の検討の際には、直接教員に説明する機会も得て、学校ごとの状況に合わせてどのような授業内容が検討ができるかともに考えることができ、開設することの理解が得られた。

また、自主的に開設した学校が1校ある。開設した理由は、数学の教員から探究的な学びを重視したいという声があがり、それならば共通教科に入れるのがよいだろうと、理科、教務関係者で相談した結果とのことである。あらゆる機会「理数」による探究的な学びのアピールを発信したことが影響したのではないかと考える。奈良県では、全ての教員が各教科のGoogle Classroomに所属し、一人一人の教員に即時性をもって確実に情報が行き渡る環境を整えた。教員どうしの連絡・相談はもちろん、指導主事からも有益な情報を発信するよう心がけており、これらの取り組みの成果の表れではないかと考える。

2022年となり「理数探究基礎」を開設した学校の授業が始まった。第1学年の理数科2クラス、普通科7クラスの計9クラスで学んでいる。昨年度から一緒に授業内容を検討しており、SSH指定校の評価の取り組みを活用し、近隣大学などの協力も得ながら充実したスタートとなっている。授業における生徒のようすを見ると、生徒どうしが一生懸命話し合い、積極的に授業に取り組んでいた。「生徒の学びの充実」を目指して今後も探究的な学びの推進に取り組んでいきたい。



参考文献

- *1 後藤顕一「高等学校化学実験における自己評価の効果に関する研究－相互評価表を活用して－」『理科教育学研究』
Vol.54, No.1, pp.13-24, 2013.

② 探究活動の充実のために SSH 指定を活用する

京都市立堀川高等学校教頭

飯澤 功 / いいざわ いさお

京都大学大学院人間・環境学科研究科に在籍していた 2002 年より、同年スーパーサイエンスハイスクール指定を受けた同校の常勤講師として勤務。2015 年度まで SSH 研究開発指定に関する企画・運営ならびに「探究基礎」の授業計画策定や探究活動の指導を行う。教諭、主幹教諭を経て 2020 年度より現職。



平成 14 年に第 1 期指定を受けたスーパーサイエンスハイスクール（以下 SSH）の研究開発課題の変遷は、本校の探究活動の充実に向けた軌跡ともいえる。

本稿では、他校の探究活動の充実に向けた参考となることを目的として、本校がどのような問題意識をもって SSH 研究開発課題を検討したか、研究開発の中でどのような成果と課題を得たか、そして今後どのように研究開発を進めていきたいと考えているかを報告したい。

1 ◆ 本校のSSH指定は探究活動の改善のため

SSH 事業は、「先進的な科学技術、理科・数学教育を通して、生徒の科学的な探究能力等を培い、もって、将来国際的に活躍し得る科学技術人材等の育成を図る」ことを趣旨とし、この趣旨の達成に必要な「理数系教育に関する教育課程等の改善に資する実証的資料（理数系教育に係る高大接続の在り方に関するものを含む）を得るとともに、その成果を他の高等学校等における理数系教育に波及させる」ために指定されるのが SSH である。本校は平成 14 年度に SSH 第 1 期指定を受け、令和 2 年度まで SSH 指定を受けた（令和 2 年度は経過措置）。また、令和 4 年度には新たに SSH 認定校ならびに、科学技術人材育成重点校の指定を受けた。

さて、SSH 申請の際には、学校として育成したい生徒像や、将来の科学や技術に関わる上で必要となる能力のうち特に伸ばさせたいことや、どのような取り組みでその目的を達成するかということを明らかにした上で研究開発課題を設定する必要がある。本校におけるこれまでの申請でも、申請時に抱えてい

た課題を解決できるような研究開発課題を掲げてきた。本校において、課題意識によって探究活動をどのように変えてきたのか、ということは、SSH の研究開発課題を変遷によって辿ることができる。

2 ◆ SSH指定以前の探究活動

本校は平成 11 年に、それまでの普通科に加え人間探究科ならびに自然探究科という専門学科を設置した。この二つの学科は、「科学・文化の担い手を育成する」ことを大きな目的とし、卒業後も目的意識を持って主体的に学び続けていける生徒を育成することをめざしている。この新学科設置の際に、目玉科目として設置されたのが「探究基礎」である。当時の学習指導要領には「総合的な学習の時間」はなく、探究基礎は人間探究科・自然探究科の専門科目として設置された。このときの授業の目標は、「将来にわたって必要となる探究する能力と態度を育成する」というものであり、これは今と変わりはない。当時の授業内容は、1 年後期に実施する海外研修に向けた探究活動の準備や、グループでの探究活動・ディベート・英語でのプレゼンなども行いつつ、情報の取り扱い方やまとめ方や探究の手法を学ぶ、というものであった。

当時の探究活動は文献調査を中心とするものであり、いわゆる理系の生徒が在籍する自然探究科の生徒から「もっと理数系の探究活動をしたい」という要望が出ていた。しかし、当時の本校にはグループあるいは個人で探究活動を進められるような設備がなく、理数系探究活動の指導体制もなかった。そのようなとき、文部科学省から SSH 公募の案内があり、学校とし

では探究基礎における理数系の探究活動の体制を構築する、という目的意識で申請し、平成 14 年指定の 26 校のうちの 1 校として、3 年間の研究指定を受けるに至った。

3 ◆ 理数系探究活動の指導法の整理

第 1 期（平成 14～16 年度）の研究開発課題は「スーパーサイエンスハイスクール『京都市立堀川高等学校』における専門科目『探究基礎』を核とした『未来の科学者』養成のための理数系教育環境と指導法および大学・研究機関との継続的・発展的な連携の在り方に関する研究開発」であった。初年度は理数系の生徒に対して物理・化学・生物・地学・数学・情報の分野の少人数講座（ゼミ）を開講し、生徒に積極的に高度な研究課題について紹介するなど専門的な研究を進められる体制・指導法を開発・実施した。指定 2 年目にはそれを文系にも拡大し、8～9 の分野のゼミを、教科が担当するという体制が確立した。学年の探究活動の指導を担当団ではなく、教科で探究を指導する体制にしたことで、教科内で指導方法の引継ぎが容易になったことが大きな利点であった。この指導体制の構築に伴い、1 年から 2 年前期まで設置されていた「探究基礎」の指導の流れも整理された。1 年前期、生徒はホームルーム単位で探究活動の大きな流れや、文献検索や論文の書き方、議論の仕方などを学ぶ。1 年後期から、希望をもとにゼミに所属し、分野ごとの研究手法について学ぶ。2 年前期には 1 年次と同じゼミにおいて、個人で探究する課題を設定し、それを明らかにするための活動を進める。

また、この期間の指定に大学院生のティーチングアシスト（TA）を活用した教育活動が効果的であることがわかった。本校では、ゼミでの探究活動の指導を本校教員が行っている。教員がこれまで経験したことのない探究の指導をするにあたり、TA に専門的な知識に基づく指導補助に入ってもらいたいと考えた。これにより生徒の探究活動の支援をしてもらうだけでなく、本校教員の探究の指導研修にもつなげたかったからである。しかし、当初の文部科学省の想定は、TA は外部講師として大学教員に来校頂いた際の実験補助を行うということであったため、本校の趣旨を文部科学省に説明し理解を得た。現在でもゼミに所属する期間、TA には指導補助にあたっている。

一方、この期間中に探究活動の指導における課題が具体的

に把握されるに至った。その一つが、生徒が自分自身の探究の課題設定ができないということである。これにはいくつかのケースがある。

1. そもそも生徒に興味のある分野や現象がない場合
 2. 興味の分野・現象があったとしても、自分で明らかにしたいあるいは調べたいと思えるトピックや現象にたどり着かない場合
 3. 探究したいトピックや現象があっても実際に実験計画を立てられるまで具体化することができない場合
- などである。

1 のケースに効果的な指導については、現在も研究開発を続けている。一つにはゼミ担当者や TA との面談などで、他の科目の授業の内容や部活動、趣味、日常生活などから興味を持ってそうなことを見つけ出したり、気づけたりできるように支援をしている。また、令和 4 年度からは 1 年前期での授業内容を変更し、生徒が「知りたい」と思うことを広げたり、深めたりできるような取り組みを実施している（後述）。

2、3 のケースに関しては、生徒同士の議論、あるいは生徒とゼミの担当者・TA との面談などを通じて、新たな問いに気づいたり、課題の具体化が進んだりする例が多いことに注目した。そこで、第 2 期の SSH 申請では「よい質問をされることは、生徒が課題を発見・課題の具体化をする上で効果的である」と仮説を立て、教員が生徒に質問することを軸にした探究指導の研究開発と、生徒同士が議論、互いに質問しやすくなるような環境整備を進めることを目的とした。

4 ◆ 質問をベースにした指導法

「質問力向上を軸とした探究能力育成による、国際的な『科学の担い手』を育成するための小・中学校及び大学・研究機関などとの継続的連携のあり方と理数系教育の環境及び指導法に関する研究開発」という研究開発課題を設定した第 2 期（平成 17～21 年度）では、生徒が質問しやすい環境や質問する機会の増加、そして教員も質問をベースに指導する方法の研究を進めた。

本校では、2 年前期における探究活動の発表の機会として、かつては口頭発表を行っていたが、平成 16 年よりポスター発表とした。これは、本校では個人で探究活動を進めることが基

本であるため、発表人数が多く、口頭発表では発表時間が十分に確保できない、というのが理由の一つであった。第2期からの研究開発課題に関わって、平成17年度から論文のための中間発表という位置づけを明確にし、聴衆（同級生、下級生、教員、保護者、教育関係者）に質問を多くすることを促しつつ実施した。この結果、中間発表としての目的である「聴衆から、研究内容や主張の論拠や道筋についてアドバイスや別の視点の提示を受ける」ということに、ポスター形式の発表がもつ「話者と聴衆の距離が近く、議論がしやすい」という特徴が効果的に作用し、この発表を受けて、最後に作成する論文をどのようにまとめればいいのか、ということについて多く得られることがわかった。ただし、入学当初、質問という行為に対して「攻撃的」「怖い」といった印象を持っている生徒がいることがわかり、1年前期の段階で「質問は相手のことを理解しようとするものであること」「単語の意味がわからないなどの素朴な質問も歓迎」「質問によってお互いにわからないことを見つけれられるのはとてもよい」などということ伝えるようにした。

また、ゼミ担当者やTAは、質問することで生徒の思考を深めるような指導をするようにしていった。生徒から尋ねられたことのうち、生徒自身が考えることに価値があるものにはオウム返しに聞き返し（「次はどうすればいいですか？」に対して「次どうすればいいと思う？」など）たり、探究が行き詰まっている生徒には、目的や現状を改めて認識させるような質問（「そもそも何がわかりたかったんだっけ？」「いま、困っていることはなんだったっけ？」など）をしたりする。こういった指導方針を取ることで、ゼミの担当者が自分の専門外の領域であっても、生徒の探究の進捗をしっかりと把握するために質問したり、さらにその上でゼミの担当者本人が素直にわからないと感じた点を理解するために質問したりすることで、生徒自身が考えるきっかけとなる。

しかし、中間報告を受けて修正されたはずの論文であっても、他者が一読して研究が伝わるように記述されていないものが散見された。理数的な探究活動はもちろん、探究活動一般を進める上で、批判的な情報の受け取り方や論理的な表現力は必須であるし、基本的な言語能力が必要となる。そこで、理数系の探究活動の充実のためにも、探究の分野に関わらず必要となる言語力を育成するという方針を新たに立てた。また、指導者としての引継ぎという観点から、知りたいのは、生徒の研究

成果である論文よりも、生徒がどのようなプロセスを経て探究活動を進めているかを具体的に示してくれる資料である。しかし、そういった資料が網羅的にまとめられたものはなかった。そこで、探究活動のプロセスや指導の過程を共有するための資料のあり方の研究、という課題もあわせて次期の申請をするに至った。

5 ◆ 生徒の変容を把握できる活動録

第3期（平成22～26年度）の研究開発課題は「科学的な態度としての論理的・批判的言語能力を育成するための指導法の確立、ならびに探究活動による生徒の成長プロセスと探究活動の指導・支援過程とを共有する手法の研究開発」とした。授業中の面談や指導内容、そして論文添削の際によく見られた誤謬についてTAが記録することで、生徒の困りに対する指導とそれを受けた変容、という探究活動の指導事例を作成した。これらの指導事例をまとめ、ゼミの担当者と共有した。

また、生徒の探究の成果である論文集ではなく、生徒がどんなことに躓き、どんなふう乗り越え、そして何を学んだかをまとめる「活動録」を作ることになった。探究活動の目的が「よい研究を仕上げ、成果を出すこと」であるならば、「よい論文」を仕上げるのがゴールとなる。しかし、堀川高校での探究活動の目的は、自分の興味の在りかを探りつつ、それと学問上の価値や社会的な意味につながる点を探しだし、同時に既習の知識・技術を活用しつつ、必要に応じて新たなことを学ぶ、といったことを通じて、「将来にわたって必要となる探究する能力と態度を育成する」ことである。探究の成果である論文に記載されない、失敗したことや得られた学びについて「活動録」にまとめることで、自分の探究を振り返る機会とした。これは探究活動を進めてきた生徒にとってだけでなく、これから探究活動を進めようとする後輩や、本校の新転任の教員にとっても、どのような活動でどのようなことを学ぶのかということを具体的に見て取れる資料となった。

また、探究活動の準備期間である1年前期での指導の内容が精選され、探究活動の進め方や情報の取り扱いなどの授業内容を体系的にまとめ、1冊の独自教材にまとめることができた。これを教科書代わりに用いるようになり、生徒も授業内容を見直しをもって学ぶことができるようになっただけでなく、1年

前期に探究の指導にあたる教員の負担を軽減することができた。

さて、第3期の研究開発の際、新たな課題意識として認識されたのは、探究基礎の授業の指導法そのものよりも、探究活動が他の取り組みに及ぼす波及効果についてであった。探究活動を主体的に進めてきた生徒たちが、探究基礎が終わる2年後期以降、日々の教科学習についても主体的に取り組んだり、さらに発展的な課題に挑戦したりする姿が、まだまだ十分に見られていなかったことを課題と捉え、挑戦意欲を向上させるということを次期の研究開発課題とすることとした。

6 ◆ 自主ゼミを作る経験

第4期(平成27～31年度)指定では研究課題を「失敗さえ学びだと思えば『知りたい』を究めようとする生徒の育成」とした。平成27年度からは教科の授業や探究基礎のゼミなどで、本校教員や外部講師などが、教科学習と研究のつながりや、未解決問題の紹介をすることで、挑戦意欲を喚起する取り組みを取り入れた。また、教科の授業や探究基礎を超えた高度な分野の学習を自主的に進めるグループ(seminarium)を支援する取り組みを新たに進めた。これは、卒業後、ある分野を深く学んだり、分野をまたがる複合的な事柄を学んだりするための手段として自主ゼミや研究会を立ち上げるということを選択できるよう、生徒が学習・研究グループを作る経験ができる機会を作ることを目的とした。生徒はseminarium立ち上げの際には申請書を作成し、教員が審査をする。設立が認められれば書籍の購入や外部講師による講演、活動場所などについて支援することとした。平成28年度より毎年6～8のグループが立ち上げられた。どのグループも活動計画を立て、終了時にはポスター発表で報告を行った。

第4期の課題として、探究基礎1年前期における授業内容が固定化したことがある。前述のとおり、1年前期の授業内容をまとめることで、生徒が見通しをもてるようになること、また、教員の負担を軽減することがねらいであった。しかし、SSH運営指導委員会(本校のSSH事業の評価・指導を行う外部有識者からなる会議)において、本来主体的なものである探究活動の授業でありながら、「教科書」があることは、「探究とは教えてもらうもの」という誤解を生じさせかねないものであるという指摘を受けた。また、第1期から認識されていた課題の一

つである、生徒が課題設定をする際の指導の難しさについて、入学して間もない1年生に対して、もっと「知りたい」ということを深めたり広げたりすることで、生徒の個人研究で設定する課題が、より生徒本人の意欲を高めるものになるだろうと考えた。

7 ◆ 新たな探究活動へ:新教育課程とともに

認定校(令和4年度～令和8年度予定)の指定においては、特に新教育課程の実施と合わせ、大きく探究基礎の流れを変えた。これまで探究基礎1年前期では探究の流れや論文の書き方や発表の仕方といった「型」に相当する内容を扱ってきたが、新たに自分自身の興味を深めたり、広げたりするための半年とした。身近なことの疑問点を挙げその答えを調べ発表する取り組みや、研究者から研究内容だけでなく、研究テーマをどのように設定したかということ聞くような取り組みを実施した。生徒は1年前期の末に、実際に自分が興味を持ったことを調査し、その過程で自分の興味がどのように変容したか、ということを発表した。生徒は、探究で取り組む課題はその過程で具体化されたり、対象やその周囲の情報を知ることによって興味の先が変わったりすることを自覚したことが伺えた。一方、これまで扱ってきた内容は1年次に設置した新しい科目「理数探究基礎」で身につけることとした。

また、令和5年度には、2年前期の個人探究が終了後、自分の探究を更に深めたり、後輩の指導にあたりたり、グループを作り新たな探究を進めることができるようにする。新たなグループを作った探究は、seminariumを教育課程で実現したものであり、より多くの生徒が自主ゼミを立ち上げる経験を積めるようになって考えている。

このように、SSHを申請するときだけでなく、新たな教育課程を編成する際にも、それまでの探究活動を総括し、その課題を解決するための取り組みを考え、実施してきた。探究活動の総括は、生徒の探究活動が上手くいっているか、という観点だけでなく、学校全体の教育目標の中で位置づけられている探究活動の目的から評価する必要がある。つまり、探究活動の改善に向けて、探究活動そのものを評価するときは、生徒の研究内容によってではなく、探究によって生徒がどのように変容したか、という点を考える必要がある。



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うために、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ています。今年は第 10 回となります。

塩野直道記念 第 10 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 16,500 件の作品が届きました。海外からも 11 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。

なお、今回は第 10 回記念として、学校表彰も行いました。(学校名は p.22 に記載)。

●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 帝京大学教職大学院研究科長・教授 / Rimse 理事
 工藤 寿和 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

委員	委員長	根上 生也	横浜国立大学 名誉教授
		伊藤 由佳理	東京大学 教授
		銀島 文	国立教育政策研究所 生涯学習政策研究部 部長
		桜井 進	サイエンスナビゲーター®
		中島 さち子	(株) steAm 代表取締役、音楽家 / STEAM 教育者
		藤田 岳彦	中央大学 教授 / 一橋大学 名誉教授
		蒔苗 直道	筑波大学 准教授
		吉川 成夫	國學院大学 教授
		渡辺 美智子	立正大学 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

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 (2022年11月27日, 東京・アルカディア市ヶ谷)

<受賞者一覧> 第10回「算数・数学の自由研究」作品コンクール



塩野直道賞
小学校低学年の部

おいしいってなんだろう？

東京都 聖徳学園小学校 3年 原田 和

塩野直道賞
小学校高学年の部

草は考えている!?

群馬県 前橋市立大胡東小学校 6年 児島 諒尚

塩野直道賞
中学校の部

ゴールの公式 ―PK編―

福井県 福井大学教育学部附属義務教育学校 後期課程 7年 高村 樹輝

塩野直道賞
高等学校の部

新・世界地図 !!

神奈川県 桐蔭学園高等学校 3年 黒田 莉生・中川 琴那・野村 恵里・吉成 美樹

文部科学大臣賞

少子化問題を子どもなりに考えてみた

大阪府 吹田市立千里たけみ小学校 6年 峯 聖奈瑠

Rimse 理事長賞

ある平面幾何の定理とMiquel点の関係

兵庫県 灘高等学校 1年 中 洋貴



読売新聞社賞

将棋で一番強いコマはなに？

兵庫県 神戸大学附属小学校 2年 神谷 幸佑

内田洋行賞

山手線が脱線しない秘密 ~円の計算から見た山手線のわずかなかたむき~

東京都 北区立西浮間小学校 6年 今枝 駿斗

学 研 賞

2/365日消える信号

秋田県 秋田大学教育文化学部附属中学校 2年 平澤 玲那

日本数学検定協会賞

Ramanujan Machine による未解決予想の証明と

昨年度の Rimse 理事長賞受賞作品における未解決問題の解決

東京都 東京都立西高等学校 2年 山本 修真



**中央審査委員
特別賞**

ビー玉がすべらないで転がるには ~クッキーのはこでピタゴラそうちにチャレンジ~

東京都 白百合学園小学校 3年 小林 美怜

**中央審査委員
特別賞**

ゴーカートで速く走りたい

兵庫県 神戸大学附属小学校 5年 富士 修睦

**中央審査委員
特別賞**

楽曲を可視化する ―美しい葉序を参考に

京都府 京都市立西京高等学校附属中学校 3年 友松 美結

**中央審査委員
特別賞**

カタラン数の一般化

長野県 長野県諏訪清陵高等学校 3年 田名網 樹

奨励賞

中央審査委員奨励賞 小学校低学年の部

作品タイトル	学校名	学年	受賞者氏名
ゆびで1023までかぞえるほうほうをみつけたよ！	埼玉県 ふじみ野市立東台小学校	1	井上 悠
好きな絵で自分だけのダブルを作ろう!!!!	東京都 千代田区立九段小学校	2	竹内 佐保
フレアスカートのシルエットをしらべる！	神奈川県 慶應義塾横浜初等部	1	伊藤 理夏
かたちだいしゅうごう	京都府 京都聖母学院小学校	1	佐藤 青楓
どこではかる？ ひせっしょく体温計 ーコロナ時代を上手にすごそう！ー	京都府 洛南高等学校附属小学校	2	山田 陽翔
わたしの大きさはどれくらい？	京都府 洛南高等学校附属小学校	3	坪田 こはる
近くに見えて凄く遠い月までの距離	京都府 洛南高等学校附属小学校	3	森田 紗友里
算数を使って、木琴を作ってみよう！	大阪府 追手門学院小学校	3	格谷 さくら
大すきな色をつくろう！	大阪府 香里ヌヴェール学院小学校	1	原崎 藍
怒られることをへらすには？	島根県 松江市立母衣小学校	3	下村 岳

中央審査委員奨励賞 小学校高学年の部

作品タイトル	学校名	学年	受賞者氏名
しゃくとり虫の移動スピードはどれくらい速い	北海道 鹿追町立瓜幕小学校	6	笹木 楓真
頭首工から最上義光歴史館までの水が流れる時間は？ ～御殿堰をめぐる真夏の大冒険～	山形県 山形市立第四小学校	6	奥村 旭・ 佐藤 諒音
文字は、どこまでなら右上がりや右下がりに書いても読めるの？	栃木県 宇都宮大学共同教育学部附属小学校	4	奥田 由依
砂山の法則を発見！	千葉県 浦安市立明海南小学校	5	小田原 雅俊
C++ による完全数の判定と個数、その拡張となる倍積完全数について	千葉県 千葉市立轟町小学校	6	岩崎 解
エアコンの設定温度本当にそれでいいの？	富山県 富山大学教育学部附属小学校	4	岡部 真生
続 牛乳パックで座いすを作って考えたこと ～正三角柱が強いのか？～	岐阜県 美濃加茂市立山手小学校	6	岸 洸成
合唱の苦手をこくふくしよう！	京都府 京都聖母学院小学校	4	岩城 安弥芭
おうちの断捨離を数字で見えるようにしよう！	大阪府 大阪教育大学附属池田小学校	4	橘 優月
肩にずっしり！ どのくらい負担になってるの？	福岡県 北九州市立白野江小学校	6	大工 歩美

中央審査委員奨励賞 中学校の部

作品タイトル	学校名	学年	受賞者氏名
もし n 次元空間上に食塩があったら ～パスカルの三角形との意外な関係～	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附属中学校	3	本山 松明
『ヤマザキ春のパンまつり』から考える日本経済 ～景気を映す「白いお皿」～	神奈川県 サレジオ学院中学校	3	山出 行人
音程早見盤の制作と双子素数の調和	新潟県 上越市立雄志中学校	3	丸山 優佳
古典音律と平均律 ～ n 平均律と $1/k$ コンマ中全音律による p 限界純正律の近似～	山梨県 山梨学院中学校	2	疋田 權
『群青』を書として美しく書く	長野県 信州大学教育学部附属長野中学校	3	傳田 珂乃
数学で服を着こなせ！ ～ダサイとダサくないの境界線～	愛知県 愛知教育大学附属名古屋中学校	1	熊崎 英恵
規則のないベンローズ・パターンの規則を探そう！	大阪府 大阪教育大学附属池田中学校	2	翟 潤奇
龍安寺の石庭の謎に迫れ！！	大阪府 大阪星光学院中学校	1	小寺 啓太
「7と8のループ」に戻ってくるのか	福岡県 小倉日新館中学校	2	加藤 千尋
不器用な僕に、この傘はたためますか？	佐賀県 佐賀大学教育学部附属中学校	3	田中 響貴

中央審査委員奨励賞 高等学校の部

作品タイトル	学校名	学年	受賞者氏名
正四面体の三点が直交平面上を動く際の残りの一頂点の軌跡として表される、楕円の一般化図形に関する考察	北海道 北海道静内高等学校	3	菅原 諒
割当問題の拡張と実社会での応用	東京都 筑波大学附属駒場高等学校	2	平田 誠治
三角形と楕円	東京都 東京都立小石川中等教育学校	5	石田 瑛誉
ガウス＝ルジャンドルに挑戦	神奈川県 桐蔭学園中等教育学校	6	加藤 丈裕
源氏絵の絵師の視点を考える	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	市川 貴也
日本の大衆音楽を数学的視点から捉える	愛知県 愛知県立旭丘高等学校	2	戸川 瑤望・ 鈴木 煌也
「五平方の定理」への挑戦	大阪府 四天王寺高等学校	2	磯部 万智
Pass 付きの石取りゲームの研究 ー未解決問題の周辺ー	兵庫県 啓明学院高等学校	1	眞部 光
「六角中心点」の存在証明とその性質	愛媛県 愛媛県立松山西中等教育学校	4	橋詰 和夢
合同式と解の個数	沖縄県 沖縄尚学高等学校	1	吉岡 仁瑚

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
秋田県	秋田大学教育文化学部附属小学校	3	平澤 優妃
茨城県	茨城大学教育学部附属小学校	3	石井 希宥
京都府	京都聖母学院小学校	1	牧野 佑香
		2	中本 宙
		3	武田 莉乃
		3	植木 貴大
	洛南高等学校附属小学校	2	泉 心尋
		2	金田 静空
		2	富 光太郎
		2	野田 陸
		3	上野 向陽
		3	北村 征也
		3	坂井 宏規
		3	村島 伶昊
		3	村田 藍衣子
大阪府	関西大学初等部	3	郡田 ひまり
兵庫県	仁川学院小学校	3	古野 清将
		3	江川 梨紗
奈良県	奈良学園小学校	3	伊東 さくら
福岡県	福岡教育大学附属福岡小学校	3	安 美馨
熊本県	熊本大学教育学部附属小学校	3	

小学校高学年の部

学校名		学年	氏名
茨城県	茨城大学教育学部附属小学校	5	宮崎 陽奈望
埼玉県	川口市立鳩ヶ谷小学校	4	小牧 京介
東京都	暁星小学校	6	阿保 雄也
	筑波大学附属小学校	6	中川 結太郎
	立教小学校	4	齋藤 幹太
福井県	福井大学教育学部附属義務教育学校 前期課程	6	八木 詩月
愛知県	北名古屋市長勝西小学校	6	森田 航太郎
京都府	京都教育大学附属京都小中学校	6	石崎 脩也
	京都教育大学附属桃山小学校	4	小野田 祝
	京都聖母学院小学校	4	秋山 佳勲
		4	佐伯 すみれ
		4	塩村 桃菜
		4	今江 心奏
		4	谷 叡典
		4	山口 惺也
		5	中嶋 眞愛
		5	中西 賢佑
		5	宮脇 健司
	洛南高等学校附属小学校	4	大久保 伶
兵庫県	宝塚市立売布小学校	5	宮内 あみか
	仁川学院小学校	5	倉増 万結香
		5	城間 瑛太郎

兵庫県	仁川学院小学校	5	岡本 蓮太
		5	城内 愛子
奈良県	奈良学園小学校	6	江川 千紗
鳥取県	米子市立明道小学校	6	今岡 莉子
岡山県	岡山大学教育学部附属小学校	4	笹 光里
福岡県	春日市立春日東小学校	6	池田 葵
	北九州市立清水小学校	4	野田 瞬之介
		6	萩尾 聡太郎
	福岡教育大学附属小倉小学校	6	上地 智輝
佐賀県	佐賀大学教育学部附属小学校	6	藤岡 奏太
		4	古場 日陽
熊本県	熊本大学教育学部附属小学校	6	宮崎 結暉
		4	古閑 麗
宮崎県	宮崎市立大淀小学校	6	河津 智哉
		4	本田 陽己
		6	石井 漱弥
		4	

中学校の部

学校名		学年	氏名
北海道	北海道教育大学附属札幌中学校	3	大村 詩音
		3	奥村 太義
青森県	弘前大学教育学部附属中学校	1	室谷 桜花
宮城県	仙台市立七北田中学校	3	早見 勇希
埼玉県	草加市立草加中学校	1	金川 瑛奏
	さいたま市立大宮東中学校	2	河原塚 凜
	さいたま市立西原中学校	1	石井 聡一郎
千葉県	千葉大学教育学部附属中学校	3	秋岡 直
東京都	海城中学校	1	白石 惺之介
	東京学芸大学附属国際中等教育学校	1	岩波 祐希
		1	加納 彩由奈
		1	山田 真央
		1	池田 麟太郎
	東京都立白鷗高等学校附属中学校	1	宇田川 おりぞ
		1	田邊 昊大
		2	渋谷 美緒
神奈川県	サレジオ学院中学校	3	石橋 和磨
		3	鷹取 泰河
		3	山田 輝良
		3	田畑 陽大
		1	島 蒼士
福井県	福井県立高志中学校	9	松田 朋子
長野県	信州大学教育学部附属長野中学校	2	滝澤 惇雄
		2	岩崎 唯人
愛知県	長野市立長野中学校	2	北原 綾乃
		2	
	愛知教育大学附属岡崎中学校	1	池田 一輝
	愛知教育大学附属名古屋中学校	1	酒井 梨沙
		1	渡邊 あおい

愛知県	椋山女学園中学校	1	古井 紅羽
		2	太田 結子
		3	今木 琉依
三重県	三重大学教育学部附属中学校	3	栗原 佳大
		3	田村 真央
		3	西川 実杜
京都府	京都教育大学附属京都小中学校	9	高橋 里奈
	京都教育大学附属桃山中学校	2	福尾 湊
	京都市立西京高等学校附属中学校	3	武藤 奏子
	ノートルダム女学院中学校	2	山田 真子
大阪府	大阪教育大学附属池田中学校	2	宮本 拓実
	関西大学中部	1	篠塚 美優
	四天王寺中学校	1	江城 春花
		1	佐久間 美緑, 小林 紬
		1	橋本 芙季
	帝塚山学院中学校	2	前田 歩乃伽
兵庫県	小林聖心女子学院中学校	1	平野 恵理佳
		3	細見 梨恋
		3	村上 満保
	神戸大学附属中等教育学校	2	持田 理乃
	姫路市立白鷺小中学校	8	井上 佳保
奈良県	広陵町立真美ヶ丘中学校	1	笹岡 鈴
		1	重野 紗英
		1	米原 愛夢
和歌山県	和歌山県立向陽中学校	3	岸本 彩乃
鳥取県	米子市立福米中学校	2	井上 真里子
島根県	島根大学教育学部附属義務教育 学校 後期課程	9	黒崎 智隆
岡山県	総社市立総社東中学校	3	高谷 日内里, 吉井 優芽
広島県	広島大学附属東雲中学校	1	桑田 かれん
山口県	山口大学教育学部附属山口中学校	2	藤井 瑚雪
		2	劉 潤楷
徳島県	徳島市加茂名中学校	2	松尾 紗花
香川県	香川大学教育学部附属高松中学校	2	溝渕 瑞穂
		3	増田 理帆
		3	寺井 心寧
		3	黒川 奈々花
福岡県	九州国際大学付属中学校	2	世利 佳那美
	小倉日新館中学校	2	藤井 宥仁
		2	二宮 沙羽
佐賀県	佐賀大学教育学部附属中学校	2	井上 陽愛
		2	池田 瑛
		3	鶴田 聡志
熊本県	熊本大学教育学部附属中学校	1	竹村 慶一郎
		1	園田 唯衣
		2	永田 綾

大分県	大分大学教育学部附属中学校	1	野上 桜
		2	谷 彩風
		3	阿部 真也
		3	大谷 真夕
		3	辛島 海
宮崎県	宮崎県立宮崎西高等学校附属中学校	2	大西 奏愛
		3	鮫島 まみ
		3	米尾 幸
鹿児島県	宮崎大学教育学部附属中学校	2	保坂 多紀
	鹿児島玉龍中学校	3	鶴田 泰斗
	鹿児島市立城西中学校	1	濱田 一華
	鹿児島市立武中学校	3	山下 慶悟
	鹿児島大学教育学部附属中学校	1	赤瀬 安寿咲
		1	豊川 寧々
		1	前岡 咲彩
		1	山口 怜子
		2	荒武 京那
		2	鮫島 悠翔
		2	諏訪 健太郎
		2	谷口 兼一
		2	帖佐 怜奈
		2	長倉 佑助
		2	長倉 佑助
		2	長倉 佑助
		2	長倉 佑助
		2	長倉 佑助
沖縄県	沖縄県立開邦中学校	1	知念 愛佳

高等学校の部

学校名		学年	氏名
東京都	駒場東邦高等学校	2	渡邊 大貴
	桐朋高等学校	2	小池 翔太
	東京都立立川高等学校	2	高橋 一之助
神奈川県	フェリス女学院高等学校	2	山中 愛子
福井県	敦賀気比高等学校	2	藤田 昂生
愛知県	椋山女学園高等学校	1	鈴木 みりあ
		1	武田 恵菜
		1	筒井 梨緒
		1	宮嶋 杏樹
		3	沖永 妃菜
京都府	東山高等学校	2	神田 慎太郎
	ノートルダム女学院高等学校	1	下津 陽菜
大阪府	大阪府立岸和田高等学校	3	久禮 瑞己
	近畿大学附属高等学校	2	藤本 真帆
兵庫県	小林聖心女子学院高等学校	2	秋元 麗子
		2	大本 詩織
		2	桐山 迦音
		2	笹倉 歩実
		2	田淵 友梨
		2	田淵 友梨
	賢明女子学院高等学校	1	中川 優
		1	中野 紗希
宮崎県	都城工業高等専門学校	1	梶井 琉空, 川畑 喜裕, 増森 涼太

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

今年度は「算数・数学の自由研究」が第10回を迎える節目の年です。そのせいでしょうかは怪しいですが、応募作品数は16,500という切のよい数でした。昨年よりも減少していますが、決して少ない数ではありません。また、中央審査委員会に寄せられた作品を見る限り、コロナの影響を受けているという印象はほとんどありませんでした。どちらかというと、近年注目されている数理データサイエンスを感じさせる作品が目立ちました。とはいえ、何かを調べて集計しただけでは受賞にはつながりません。さらに算数・数学の見方・考え方を駆使して得られた発見やアイデアが盛り込まれないと。また、研究にPCを利用した作品もありました。しかし、プログラミングしただけではだめです。どういうアイデアでアルゴリズムを作ったのか、PCを使うことで何が克服できたのか、それによって何が明らかになったのかなどをきちんと述べてくれないと。高校生の部では、高度な計算や議論を展開した作品がたくさんありましたが、純粋に数学的な事実が書かれているだけでは、この「自由研究」の趣旨からは離れてしまいます。学年を問わず、皆さんの心の中にある「自由」を感じさせてくれる作品を期待します。



伊藤委員

皆さんは毎日の生活で、どんな算数や数学が使われているのか気にしたことはありますか？ 今回、特に高校生の作品の数学的なレベルが高く、審査も難航しました。もしかしたらコロナ禍で、一人でいろんな数学を勉強したり考えたりする時間が増えたのかもしれません。数学の発展という意味では嬉しいことです。ただ一方で、「身の回りの現象を数学で説明する」という、このコンクール本来の趣旨に沿う作品が少なかったのはちょっと残念でした。世の中は少しずつコロナ禍以前の生活に戻ってきましたので、数学の本に書いてあるような知識だけではなく、数学というメガネを通して世界を眺めたり、いろんな人と数学の議論をしたりする楽しさも味わってほしいです。

銀島委員

新型コロナウイルスの感染対策が続く中、今年もたくさんの児童生徒の皆さんからすばらしい作品が届きました。惜しくも受賞を逃した作品も力作ばかりで、こんな調べ方があったのかと感心させられる研究も含まれており、大変楽しく作品を読ませていただきました。パソコンのアプリケーションやプログラミングを取り入れた作品もあり、令和の時代の皆さんが新しいツールやテクノロジーを使いこなして研究に取り組んでいて、とてもすばらしいと思います。

これからも、皆さんの「不思議だな」を大切に、研究を続けていただきたいと思います。感染症やロシアによるウクライナ侵略、世界ではいろいろな難題がありますが、きっと、皆さんの研究意欲と探究心が問題の解決につながります。



桜井委員

本コンクールは第10回の節目を迎えました。本コンクールの特徴の1つに研究テーマについて数学以外の他分野に対して、数学を応用する点が挙げられます。音楽、歴史、交通、スポーツ、政治、経済、地理など多岐にわたります。今回もますますその傾向が顕著でした。普段の生活や学びの中で生まれる疑問や問題に対して、考察・分析・解決の模索をしたいと思うとき、数学は思いのほか役に立ちます。数学が持つ大きな特徴の1つである汎用性です。応募者の皆さんが自由にテーマを選び、自由に研究手法を選択ないし考案することで数学の汎用性は発揮されます。これからも、教科書の中から飛び出して数学と取り組むことでさらに数学の面白さに気づく人が増えることを期待しています。



中島委員

算数・数学の自由研究の審査はいつも心踊るものであり、毎年多くの新しい視点を教えてもらいます！ 長年続けるにつれて少しずつ似た作品がどうしても出てしまう印象ですが、あなたにとって初めての旅路ならば、そこには本物の歓びがあるはず！ ぜひ、この機会をうまく活用して、自分なりの数学（算数）との付き合い方や研究テーマを模索し、一歩踏み出してみてください。ときには、ずっと一つのことを考えるのもよし、全く関係ないと思っていた自分の好き・嫌いな世界と数学との関係を探ってみるのも楽しいはず。世界には数学があふれており、数学は皆さんの創造性を開く魔法です。そして、数学の顔は多彩であり、数学者一人一人、違う数学との向き合い方を構築しています。自由な数学の世界に出会い、自分の世界観を開き、心ときめく数学研究の旅を自分のペースと感性で楽しみ、そのかけらを私たちに魅せてください！ 皆さんの算数・数学研究の旅路を心から応援しています！



藤田委員

高校生の部の審査を担当しました。今年の高校生の作品はレベルが高かったです。純粋数学としてのすばらしい作品が多く見受けられました。また、中学時代にジュニア数学オリンピックで入賞した複数の生徒が作品を送ってくれました。

一方で、中学生以下の作品に多い現実的な問題を数学を用いて考察するような作品が少なかったのは残念でした。現実社会を表現する重要な「言葉」であるのが数学の重要な役割となっていますので、今後の自由研究に期待したいと思います。



蒔苗委員

今年も多くのすばらしいレポートを読ませていただきました。身の回りの本当に不思議なことや調べてみたいことをテーマにした作品では、その問題意識を共感できました。算数を使う際のモデル化や数値化で、驚くような工夫や面白いアイデアがあった作品もありました。データを集めたり、計算したり、図や表やグラフにまとめるといった丁寧な作業を積み重ねている作品には、努力の跡や熱心さを感じました。そして、何より、研究を通して感じたこと、思ったことに書かれている、何がわかったのか、何がすごかったのか、という気持ちを読み取れたとき、自由研究が応募してくれた皆さんの大切な経験になっていたと感ずることができて、うれしい気持ちになりました。



吉川委員

全国から選ばれた応募作品を、中央審査委員会場で読むことができました。小学校の部では、自分が興味や関心をもつ場面から問題を見だし、それを自分で調べ、考え、わかりやすく表現している作品が見られました。「将棋で一番強いコマは何か」という父との会話がきっかけとなり、自分の将棋の対局記録(棋譜)のデータをもとにして調べていく研究がありました。「データの活用」として興味深いものです。また、仕切りを入れた箱の中でビー玉を転がすというピタゴラ装置に興味をもち、図形の知識を生かして玉の転がり方を予想し、図に表し、その後実際の装置で確かめてみるという研究がありました。作者自身が楽しんでいるようすがこちらに伝わってきました。楽しい・面白いと思うものに取り組むことが、よい研究につながると思います。



渡辺委員

今年も皆さんからとてもすばらしい研究作品が応募されました。中学生の部の審査を担当いたしましたが、一つ一つの作品の研究の視点がとてもユニークで、皆さんがそれぞれ自由な発想で研究を楽しんでいるようすが目に浮かんできました。スポーツや音楽など身の回りのリアルな状況を目的をもって数学のフレームに落とし込み、考察を深めていく、そしてその結果を現実世界に戻し価値付けしていくという研究は、デジタルやAIが進化していく社会でとても大事な役割を担っています。来年もデジタルネイティブ世代の皆さんの研究作品を楽しみにしています。

表彰の集い

新型コロナウイルス感染予防の観点から、今年度は、2022年12月18日にオンラインにて表彰の集い（表彰式・作品発表）を開催しました。

また、第10回を記念して、過去にご応募いただいたすべての学校の中から、応募実績と受賞歴に基づいて選考した結果、以下の10校に学校賞をお贈りしました（都道府県順）。

小学校 京都聖母学院小学校／洛南高等学校附属小学校／仁川学院小学校

中学校 埼玉大学教育学部附属中学校／海城中学高等学校／愛知教育大学附属岡崎中学校／愛知教育大学附属名古屋中学校／三重大学教育学部附属中学校／岡山大学教育学部附属中学校／佐賀大学教育学部附属中学校





草は考えている!?

前橋市立大胡東小学校 6年 児島 諒尚

1. 研究のきっかけや目的

お手伝いで家の庭の小石がしき詰められているところの草むしりをするようになった。はじめは、小石の中に草が生えているとは思わなかったが、よく見たら小石と小石の間から至る所にいろいろな長さの草が生えていた。草を抜いてみたら根の長さが長いことにおどろいた。特に短い草は根の長さが長いような気がした。そこで、草の地上部分の長さと地下部分の長さの関係を調べたくなった。

2. 研究の方法や内容
(手順)

- ① 草が生えている周りの小石をていねいに取り除く。
- ② 根元から根が切れないように上手に抜く。
- ③ 草の地上部分と地下部分の長さを測定する。



草が生えている様子



周りの小石を取り除く



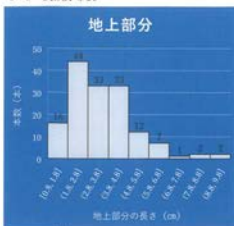
草を抜いた様子



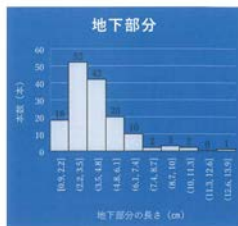
抜いた草は約200本

▲1ページ目

3-2 度数分布表

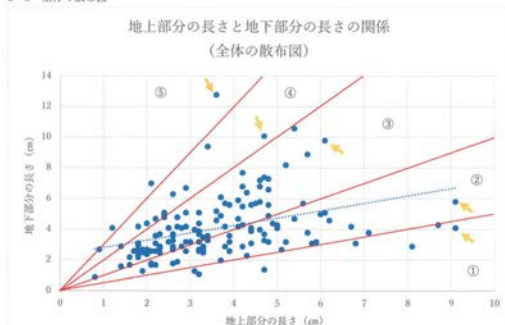


平均値: 3.5cm 中央値: 3.2cm



平均値: 4.0cm 中央値: 3.7cm

3-3 全体の散布図



両グラフ上の点線は近似曲線(エクセルのグラフにおいて、データの推移を大まかに表した線)。以下同様。

3

▲3ページ目

〈データの整理〉

- ④ 測定したものを表にまとめてみる。
- ⑤ 横軸に地上部分の長さ、縦軸に地下部分の長さを記録する。
- ⑥ 数学検定で勉強しているデータの分析方法を使ってまとめる。

3. 研究の結果

3-1 測定結果 (長さcm)

No.	地上	地下	No.	地上	地下	No.	地上	地下	No.	地上	地下	No.	地上	地下
1	6.8	3.1	*	31	4.1	4.7	*	61	2.2	4.7	*	91	1.6	1.7
2	5.9	3.2		32	3.3	2.7		62	3.3	2.6	*	92	1.7	2.6
3	6.7	4.2	*	33	2.6	2.5	*	63	2.8	4.1	*	93	0.8	0.9
4	5.2	3.2		34	4.4	4.1		64	2.2	1.7	*	94	3.2	4.4
5	7.1	3.8	*	35	4.7	7.4	*	65	5.2	8.2		95	4.8	3.2
6	5.4	4.7	*	36	3.1	4.0	*	66	4.1	5.9	*	96	2.9	4.2
7	4.7	1.4	*	37	3.2	5.1		67	3.9	3.2	*	97	2.6	6.3
8	4.2	4.3	*	38	4.5	5.7	*	68	3.7	6.1	*	98	2.7	4.8
9	1.6	1.7	*	39	4.4	5.6	*	69	3.2	3.8	*	99	2.0	2.7
10	5.8	3.1	*	40	1.2	4.1		70	4.2	2.9	*	100	1.8	2.4
11	4.1	4.2	*	41	1.9	2.5	*	71	2.6	2.8	*	101	2.2	3.6
12	2.5	4.1	*	42	2.0	4.4	*	72	0.9	2.7	*	102	1.6	2.2
13	2.2	3.1	*	43	2.9	5.1	*	73	2.2	3.1	*	103	1.8	2.7
14	1.4	2.9	*	44	1.8	4.2	*	74	3.3	3.5	*	104	1.7	2.6
15	2.0	2.4	*	45	3.6	5.2		75	3.4	3.3	*	105	2.6	3.3
16	2.4	4.8		46	2.1	1.7		76	3.2	1.1	*	106	1.8	3.0
17	3.2	2.7	*	47	5.6	5.7	*	77	2.3	2.9		107	8.7	4.3
18	4.6	5.8	*	48	3.0	3.2	*	78	3.4	3.6		108	5.0	4.3
19	2.9	2.6	*	49	3.4	9.4	*	79	2.6	3.6	*	109	3.8	4.2
20	2.1	1.8	*	50	5.4	11.0		80	3.2	2.6		110	3.9	2.6
21	2.6	3.6	*	51	4.2	5.5	*	81	2.9	3.2		111	5.7	3.8
22	4.3	6.4	*	52	4.8	5.6	*	82	2.5	3.2	*	112	2.3	2.8
23	4.7	10.0	*	53	2.2	3.1		83	2.2	1.7	*	113	4.8	7.3
24	4.4	3.1	*	54	2.5	4.1		84	1.9	1.3		114	6.0	5.0
25	5.0	4.1	*	55	2.1	2.6	*	85	1.4	1.6	*	115	4.2	6.8
26	2.7	4.2		56	4.6	4.0		86	3.1	1.3		116	8.1	2.9
27	3.8	2.9	*	57	3.6	13.0	*	87	4.2	7.7	*	117	1.9	2.7
28	2.7	1.9	*	58	3.9	5.6	*	88	2.2	2.6		118	5.1	2.7
29	3.2	3.9	*	59	3.6	4.6	*	89	1.9	2.7		119	2.6	1.8
30	4.6	7.2		60	2.1	1.8		90	3.7	2.0		120	4.3	2.3
												121	4.7	3.3
												122	9.1	5.8
												123	9.1	4.1
												124	4.8	4.9
												125	2.6	2.7
												126	4.9	4.4
												127	2.3	2.5
												128	6.1	5.1
												129	1.8	2.2
												130	3.7	4.9
												131	6.2	4.6
												132	3.9	3.6
												133	3.2	3.2
												134	3.3	2.5
												135	1.8	3.1
												136	3.2	3.7
												137	5.7	8.9
												138	4.6	6.8
												139	4.7	3.7
												140	2.3	3.7
												141	2.4	5.0
												142	2.9	6.7
												143	2.4	5.1
												144	2.6	3.7
												145	4.4	3.9
												146	4.8	6.6
												147	6.1	9.8
												148	2.8	2.9
												149	3.8	5.7
												150	2.1	7.0

※:「*」は地下部分の長さが地上部分の長さより長いもの

2

▲2ページ目

講評

家のお手伝いの草むしりが発端となり、抜いた草の根の長さに驚いて、草の地上部分の長さとの関係を調べた研究です。数学検定で勉強しているデータの分析方法を駆使して研究テーマに迫りました。散布図や近似曲線を用いたり、データを2グループに分けて傾向を考察したり、5領域の最大値を考察したり、さまざまな工夫をしています。草の土台の根と地上部分の考察をもとに、人間についても思考をめぐらせて、自分も土台がしっかりした人間になりたい、というすばらしい感想をまとめてくれました。

中央審査委員会



ゴールの公式 -PK編-

福井大学教育学部附属義務教育学校後期課程 7年 高村 樹輝

1. 研究の動機

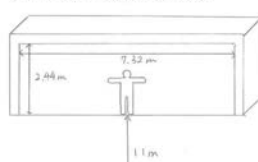
僕はサッカーをしています。サッカーは多くの点を取ったチームが勝ちなので、僕の入学しているチームが勝利するために、確実に点を取ることができないのかという疑問をもちました。そこでPKのシーンを利用して、確実にシュートを数学を使って、探してみることになりました。

2. 研究方法

- (1) シュートコースまでの距離を計算する。
- (2) (1)の距離をだす関数の式をつくる。
- (3) ボールの飛行時間を計算する。
- (4) キーパーの守備範囲を求める。
- (5) (1)～(4)でわかったことをもとに、点数が入る場合の状態を式化する。
- (6) 実際に、自分と元チームメイトのデータを入力して、ゴールの公式が正しいことを証明する。

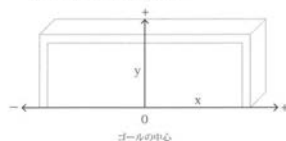
3. 研究の条件

- (1) ゴールは11人制のサイズとする。



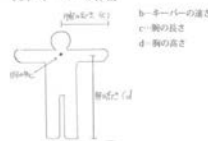
a=シュートのボールの速さ x=PK位置

- (2) シュートコースの表し方



ゴールの中心

- (3) キーパーの体格



- (4) その他条件

- ・ボールは空気の抵抗を受けず、減速しない。
- ・ボールの直径は0.22mで中心をける。
- ・キーパーはゴールの中心に立つ。
- ・キーパーはミスしない。
- ・キーパーの縦横への移動速度は同じとし、減速しない。
- ・キーパーの手にボールの中心が触れている時に無得点とする。



-1-

▲1ページ目

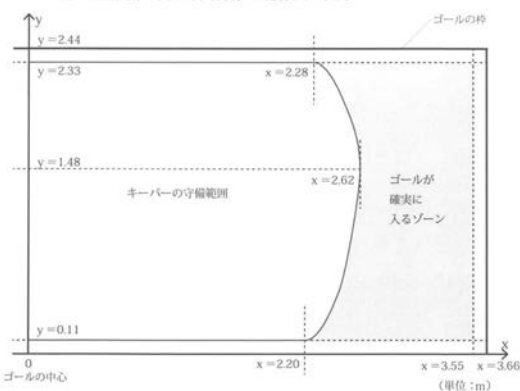
5. 考察

最後にボールを蹴る高さyを最大の2.33mとして、同様にゴールがきまるxの最小値を考えます。
y=2.33 (小数点3以下は切り捨てにて計算)

x	0.0m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	2.28m	2.5m	3.0m
e	1.775	1.777	1.782	1.791	1.803	1.811	1.818	1.837
f	-0.458	0.042	0.542	1.042	1.542	1.822	2.042	2.542
ゴール成功	×	×	×	×	×	○	○	○

この時、ゴールが確実に入るゾーンは次のようになります。
キーパーの守備範囲は、中心から手を回した範囲になるから、このような楕円になると予想しました。

ゴールの中心から左右対称になるため、右半分のみ記載しています。



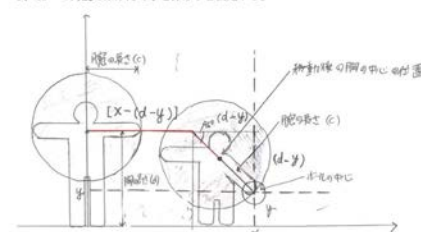
-7-

▲7ページ目

4. 研究結果

(yの高さがy<dである場合)

キーパーはボールに最短で到達するために、x方向に横移動してから、ボールの中心に向かって、45°の角度でかがんで手を伸ばすと仮定する。



ボールを止めるためには、胸の中心がボールの中心から胸の長さ(c)を引いた位置に移動している必要がある。

yの高さがy<dである場合のボールを止める為の胸の中心の移動距離は

$$\sqrt{(d-y)^2 + (d-y)^2} - c + |x - (d-y)| \text{ となる。}$$

よって、完成したゴールの公式は

y≥dである場合

$$b = \frac{\sqrt{(\sqrt{11+x^2})^2 + (y-0.11)^2}}{a} < \sqrt{(y-d)^2 + (y-d)^2} - c + |x - (y-d)|$$

y<dである場合

$$b = \frac{\sqrt{(\sqrt{11+x^2})^2 + (y-0.11)^2}}{a} < \sqrt{(d-y)^2 + (d-y)^2} - c + |x - (d-y)|$$

(シュート到達までに胸の位置が移動できる距離) (ボールを止める為に必要な胸の位置の移動距離)

となる。

この公式に当てはまる場合にゴールが決まるということになる。

ただし、ゴールの枠内に入れる必要がある為、ボールの半径を除くとxは3.55m以内、yは2.33m以内である必要がある。

-4-

▲4ページ目

講評

世界クラスの選手でも、その成否は運、神に祈るしかないと言っているサッカーのPKに対して、数学で確実に成功する公式を導くことにチャレンジした作品です。ゴールゾーン、キーパー、シュート位置など、パラメータ設定が適切に行われているのは、サッカー経験のある作者ならではの成果であり、PK戦でのシュートというリアルな状況に対して、冷静に一つ一つ仮定を置き、数学的なロジックを展開して目的である公式にたどり着いています。実際に中学生選手の具体的なパラメータ値を入れて、公式を検証している点も評価できる作品です。

中央審査委員会



新・世界地図!!

桐蔭学園高等学校
黒田莉生、中川琴那、野村恵里、吉成美樹

指導教諭 千田守先生

はじめに

私達は今までに、地理の授業で様々な世界地図があることを学んできました。例えば、目的地までの方向が分かるメルカトル図法や、最短距離が分かる正距方位図法。そして面積を正しく表しているメルワイデ図法などがあります。これらの地図を見て、方向、距離、面積以外の指標で世界地図を作ることができないかと考えました。そこで、時差、重力、日照時間の3つに着目して、新しい地図を作ってみることにしました。時差は経度によって、重力と日照時間は緯度によって異なるため、それらに対応した新たな経線と緯線を設定しました。最初はメルカトル図法のように緯線と経線が垂直になるように設定し、次に緯線と経線を双曲線に設定した地図を描きました。

経度ごとに差が一定である時差では、「双曲線上の任意の点から2つの焦点までの距離の差が一定」という性質を利用して、経線を双曲線に変換した地図を描きました。緯度や標高により変化する重力については、標高を一定に定めて同様の考察をしました。日照時間については、「昼の長さ」+「夜の長さ」=24 と常に一定であることに着目し、「緯線上の任意の点から2つの焦点までの距離の和が一定」という性質を利用して地図を描きました。また、「昼の長さ」-「夜の長さ」が緯度によって決まることに着目し、緯線を双曲線に設定した地図も描くことができました。このようにして、二次曲線を用いたユニークな世界地図をいくつも描くことができました。

いろいろな世界地図について考察した私達は、二次曲線を利用して異なる視点から物事を見つめることに興味を持ちました。そこで今回は日々の生活と関係が深い消費税を可視化しようと試みました。推測と検証を重ねた結果、日本の消費税を二次曲線を用いて分かりやすく表現することができました。また、消費税率は国によって様々なので、世界各国の消費税についても、可視化して比較することができました。

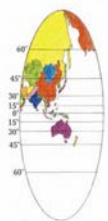
1章 新しい世界地図

§ 1. 経度によって変わる時差

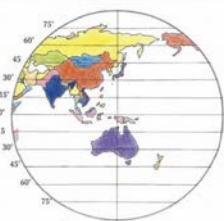
初めに私達は、経度によって変わる日本との時差に着目し、「双曲線上の任意の点から2焦点までの距離の差が一定」という性質を利用して、ユニークで新しい世界地図を作れないかと考えました。そこでヨーロッパを左端、カナダを右端、日本を中央に位置するように配置し、日本からの時差を表した世界地図を作ることになりました。そして、 $PP' - PP'' = 4$ (日本からの時差)により得られる双曲線を緯線に設定し、方程式を以下のよう定めました。この24本の双曲線を緯度として、それによって世界地図を双曲線の上に描きました。1本の緯線ごとに1時間の時差で、日本との時差が4時間の経線をおよびに定めました。これは時差による地図なので、インドネシア語で「時差」を意味する「perbedaan waktu」から、**パワート図法**と名付けました。

$$\frac{4x^2}{a^2} - \frac{400y^2}{11a^2} = 1 \quad (1 \leq a \leq 12 \text{ ただし } a \text{ は自然数})$$

ディオルネ図法



メルワイデ図法をアレンジした地図



昼の長さや夜の長さは緯度によって異なります。つまり、高緯度になればなるほど「昼の長さ」-「夜の長さ」が大きくなります。そこで私達は新たな緯線として昼の長さや夜の長さの差を考えました。「昼の長さ」-「夜の長さ」を 4h, 8h, 12h...と区切り、これらに対応する緯度を求めると、右の表のようになりました。ただし、北緯 66.6° を超えると白夜となり、南緯 66.6° を超えると極夜となるため、66° ~ 90° の間では常に 24h であることになりました。また、南緯 48° 以南は南緯大陸を除いて主要な大陸が存在しなかったため、表には記載していません。北緯 0° (赤道)と北緯 29°、北緯 29° と北緯 48° ...の緯線の幅が等しくなるような世界地図を「重力図」と同様の手順で描きました。そして、これを「日照時間図」と名付けました。

北緯 66° ~ 90° (24 h)
北緯 65° (20 h)
北緯 62° (16 h)
北緯 57° (12 h)
北緯 48° (8 h)
北緯 29° (4 h)
赤道 0° (0 h)
南緯 29° (4 h)
南緯 48° (8 h)

① 内は夏至における「昼の長さ」-「夜の長さ」

「双曲線上の任意の点から2焦点までの距離の差が一定」という性質を利用して、日照時間図を違った視点で捉え、新たな世界地図を描こうと試みました。2焦点からの距離の差「 $PP' - PP''$ 」を2aとおき、その差を「昼の長さ」-「夜の長さ」としました。そして、「 $PP' - PP'' = 2a$ 」によって得られる双曲線を緯線としました。緯線と地図が見やすくなるように調整を重ね、焦点の位置を $(0, \pm\sqrt{16+a^2})$ とする双曲線の方程式を以下のよう定めました。

$$\frac{x^2}{16} - \frac{y^2}{a^2} = -1$$

この双曲線を緯度とし、それによって世界地図を双曲線の上に描きました。これは日照時間による地図なので、スワヒリ語で「日照時間」を意味する「wazi beuzungu」から、**ワザ図法**と名付けました。日照時間図とワザ図法をメルカトル図法と比べたものが夜のページです。ちなみにスワヒリ語は、インドネシアのジャバ島西部で話されている言語です。

この双曲線を緯度とし、それによって世界地図を双曲線の上に描きました。これは重力による地図なので、英語で「重力」を意味する「gravity」から、**グラビティ図法**と名付けました。これらをメルカトル図法と比べてみました。アフリカや南米のような広大な大陸は、メルカトル図法の地図と比べて国の面積や形状に大きな違いが確認できます。

重力図

メルカトル図法に比べると、重力図の方はカナダ、ロシアが小さく見えますが、実際の面積はロシア>アメリカ>カナダ>中国>全土より、メルカトル図法より実際の面積に近いと思われます。

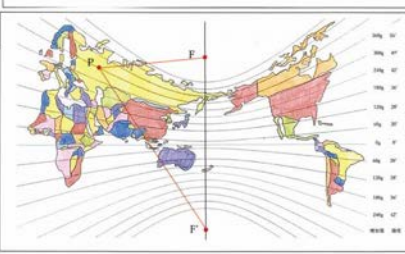


メルカトル図法



グラビティ図法

$PP' - PP''$ (赤道との重力の差)より、点Pを含む緯線上の全ての地点における赤道との重力の差は360gです。メルカトル図法に比べると、アメリカとカナダの面積比が大きく異なります。



講評

私たちがふだん使っている地図は、方向、距離、面積などに注目して作られています。この作品では、時差、重力、日照時間に注目した世界地図が描かれています。数学的な工夫として、時差の地図には双曲線、日照時間の地図には楕円が使われています。さらに地図ではありませんが、二次曲線を利用して、世界各国の消費税を可視化して比較することにも挑戦しています。二次曲線がいろんなことに使えることを教えてくれる面白い作品です。



少子化問題を子どもなりに考えてみた

吹田市立千里たけみ小学校 6年 峯 聖奈瑠

1.きっかけ

岸田総理が、少子化対策で出産一時金を増額すると話したとニュースでみました。ずっと前に、私は弟が妹が欲しくて両親に赤ちゃんを産んで欲しいとお願ひしたことがあります。「無理」と断られました。理由を聞くと、「体力的・経済的に」と言われ、「習い事の送迎の時間が取れなくなるかも」だけだったと言われました。習い事は辞めたくなかったので仕方ないかなーと思ったことを思い出しました。

子どもを育てるにはお金がかかるので、国は援助を拡大しようとしています。本当にそれだけで問題なのでしょうか。人口を減らさないためには、出生率を上げる必要があります。子どもを育てるために必要なお金を中心に、子どもが育てやすい方法はないか考えてみます。

2.調べ方

- ① 親の収入と生まれてから社会人になるまでに必要な金額を調べる
- ② 子どものお世話にかかる時間や負担を考える
- ③ 解決策について考える

3.調べた結果

①収入について

国民生活基礎調査によると、世帯平均年収は約552万円でした。

【表1】第一子誕生時の世帯の平均年収推移（平成13年～令和3年度）
（単位：万円）

世帯年収	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年	平成23年	平成24年	平成25年	平成26年	平成27年	平成28年	平成29年	平成30年	令和元年度	令和2年度	令和3年度
平均世帯年収	523.7	527.1	530.2	533.1	536.0	538.9	541.8	544.7	547.6	550.5	553.4	556.3	559.2	562.1	565.0	567.9	570.8	573.7	576.6	579.5	582.4

（単位：円）

初めて子どもを産む平均年齢が30.7歳なので、子育て世代の30代の平均世帯年収は614万円、40代の平均世帯年収は694万円、50代の平均世帯年収は756万円でした。この金額を基準にしたいと思いますが、実際は税金や社会保険料（年金・社会保険料）が引かれるそうなので、だいたいの金額を母に調べてもらいました。

（全国保険協会大阪府の報告）右の表を見ると、約20~25%減った金額が手取りになっています。この表の金額を基準にして考えることにします。なので、30代の手取り年収を480万円（月収40万円）、40代を528万円（月収44万円）、50代を570万円（月収47万円）とします。子どもの年の数で、私の周りは2~3歳差の兄弟が多いので3歳差で考えたいと思います。

教育費のデータが公立と私立に分かれていたので、2パターンで考えます。1か月の生活に必要なお金についても調べてみました。内訳表に教育費が含まれていたの、引いた金額を生活費としてすることにします。

世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収
世帯年収	523.7	527.1	530.2	533.1	536.0	538.9	541.8	544.7	547.6	550.5	553.4	556.3	559.2	562.1	565.0	567.9	570.8	573.7	576.6	579.5	582.4

世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収
世帯年収	523.7	527.1	530.2	533.1	536.0	538.9	541.8	544.7	547.6	550.5	553.4	556.3	559.2	562.1	565.0	567.9	570.8	573.7	576.6	579.5	582.4

1 / 5

▲1ページ目

Aに関しては、私が生まれた頃よりもお父さん達が育児休暇をとりやすい世の中になっているそうなので、両親で協力したら少しは負担が減ると思います。
おばあちゃんなど子育て経験者を頼りやすくするために、おばあちゃんが仕事をしている場合は休職というものをつくらせ、や交際費・宿泊費を払うということをしりたすといと思います。
Bに関しては、病気の時に子どもとお母さんのお世話をしてくれるサービスがあると便利だと思います。私が住んでいる吹田市のサービスを調べてみました。
・緊急保育・保護者が入院など突発的な理由で保育ができなくなった時、就学前の乳幼児を、期間を区切って保育所などで預かります
・一時預かり
・保育所など一保護者の断続的・短時間の就労や傷病などで一時的に保育が必要な場合
・のびのび子育てプラザ一保護者の傷病のほか看護・介護やリフレッシュなどの理由で一時的に保育が必要な時
利用できるサービスはいくつもありそうです。
子どもを預けたい時にすぐにお預けできると便利だと思います。
Cに関しては、解決策が思いつきませんが、他に大人の家族がいれば大丈夫だと思います。
Dに関しては、母が一番大変だった時期の平日のスケジュールをみました。



送迎の時間は短いけれど、短時間で出かけなければならなかったことが分かります。このほかにも、土日も習い事があったので、もっと送迎に時間がかかっていました。
では、この送迎を減らすにはどうしたらいいか考えてみます。
ほとんどの人が何らかの習い事をしているので、学校が終わった後、学校の教室内で習い事ができると、送迎の必要がなくなると思います。または、習い事教室の人が学校まで迎えに来てくれるサービスがあると便利だと思います。低学年の時は、習い事が始まる時間が早いので、お母さんが夕方までお仕事で送迎ができず通えない人もいると思うので、生徒が増えるのではないのでしょうか。
高学年になってくると、塾に通う人も増えるので、放課後の教室を利用して、もっと勉強したい人や苦なところを復習したい人も利用できる学習塾が学校内にあると便利だと思います。

4.まとめ

子どもを育てるには、思っていたよりもたくさんのお金と労力が必要なのことがわかりました。私は小さいころからいろいろな習い事をさせてもらって感謝していました。今の小さい、お金の面で考えると、普通（平均的）な収入では子育てが難しいことがわかりました。出産一時金ももらったとしても、その後にお金がかかるのだから、少子化が進むのだと思います。今回の生活費には、貯金は含まれません。老後の生活のために2000万円必要だとニュースになっていたことがありました。2000万円を30歳から65歳までの間に貯金するとすると、2000万円÷35年÷12か月で、1か月4.8万円貯金なくてはなりません。そうすると、ますます子どもを育てることが難しくなります。

4 / 5

▲4ページ目

<1か月の生活費の平均> 【3人家族】生活費の内訳

生活費	金額
食料・水道	23,247円
家賃・家賃補助	14,395円
娯楽・娯楽用品	12,587円
健康保険	12,431円
通信	17,453円
教育・教育費	27,789円
教育費	29,987円
その他	66,098円
合計	290,303円

【4人家族】生活費の内訳

生活費	金額
食料・水道	23,247円
家賃・家賃補助	14,395円
娯楽・娯楽用品	12,587円
健康保険	12,431円
通信	17,453円
教育・教育費	27,789円
教育費	29,987円
その他	66,098円
合計	290,303円

【5人家族】生活費の内訳

生活費	金額
食料・水道	23,247円
家賃・家賃補助	14,395円
娯楽・娯楽用品	12,587円
健康保険	12,431円
通信	17,453円
教育・教育費	27,789円
教育費	29,987円
その他	66,098円
合計	290,303円

2020年「家計調査」によると1か月あたりの生活費の平均は、3人家族で205.5万円、4人家族で229万円（家賃・車を除く）、5人家族で31万円（家賃・車を除く）だそうです。ということは、家を借りている人や住宅ローンがある人、車を持っている人はもっとお金が必要になります。そこで、私の住む中学校校区内の賃貸住宅の家賃の平均をだしたところ、14.6万円でした。生活に必要なお金、教育に必要なお金、家賃をまとめた、月にどれくらいのお金が必要なのか計算しました。

下の表からわかることは、子どもが大きくなるにつれて費用が増えます。また、平均世帯年収では、1人目の子どもが生まれた時点で、1か月に300円しか生活費が残りません。これは、公立学校に通わせたとしても赤字続きのため、子ども1人、もしくは産まない選択しかできないことになります。

世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収	世帯年収
世帯年収	523.7	527.1	530.2	533.1	536.0	538.9	541.8	544.7	547.6	550.5	553.4	556.3	559.2	562.1	565.0	567.9	570.8	573.7	576.6	579.5	582.4

2 / 5

講評

日々のニュースの中から少子化対策に関心を持ち、身の回りの話題と関連させて、よい方法を考えてみようというたいへん意欲的な研究です。子育てに必要な費用、子育てに必要な労力や時間、という2つの側面から考察を進めて解決策を検討しました。国民生活基礎調査と家計調査という2種類の基幹統計に着目しデータを調べて上手に活用しています。兄弟の年齢差を3歳と仮定して考えたり、工夫した方法を用いて研究を進めています。両親への感謝や、将来恩返しができるよう頑張りたいというすばらしい気付きにもつながりました。

中央審査委員会



ある平面幾何の定理と Miquel 点の関係

灘高等学校 1 年 中 洋貴

2022 年 8 月 17 日

1 はじめに～動機と概要～

この論文では、私が発見し『数学セミナー』（日本評論社）に掲載された平面幾何の定理を再考し、その初等的な証明を与える。この定理の主張は、任意の三角形に対して定義されるある三角形が、もとの三角形と相似であるというものである（詳しい内容は 3 章で述べる）。定理に登場するのは、もととなる三角形とその頂点から対辺に下ろした垂線、辺の垂直二等分線のみであり簡単に証明ができるように思えたのだが、私はこの定理の発見当時、初等的な証明がわからなかった。直線しか登場しないので、座標計算によって主張が成り立つことを確認することは可能である。しかし、外心や垂心について考えたことがある人なら一度は描いたことがあるシンプルな図の中にこのような関係があるのであれば、それを初等的に証明すると面白い関係を見出せるのではないかと、初等的な証明を試みた。その過程で、定理の構図の中に Miquel 点を見出すことができた。

2 Miquel 点の基礎知識

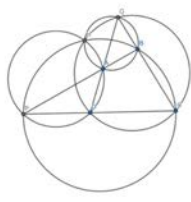


図 1

2.1 Miquel 点の定義

(凸)四角形 $ABCD$ において、直線 AB と直線 CD が点 P で交わり、直線 AD と直線 BC が点 Q で交わるとする。このとき、三角形 ADP, BCP, BAQ, CDQ それぞれの外接円はある点 M で交わる。この点を四角形 $ABCD$ の Miquel 点(ミケル点)と呼ぶ。

2.3 Miquel 点の定義の拡張

Miquel 点は「四角形 $ABCD$ 」が存在するような位置に 4 点 A, B, C, D がなくとも定義される。例えば、図 3 のような配置でも Miquel 点は定義され、存在を証明できる。角度計算による証明でも、脚注で紹介したシムソン線を用いた証明でも証明できる(図 4 は後者の証明を表したもので、 M が「四角形」 $ABCD$ の Miquel 点である)。

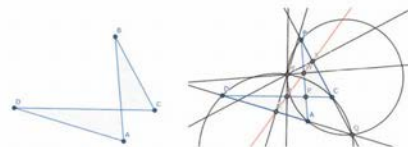


図 3

図 4

2.4 Miquel 点の重要な性質

Miquel 点に関する性質は数多くあり、特に回転相似を多く生むということが知られている。図 1 において、 M は $AB \rightarrow DC, AD \rightarrow BC, DP \rightarrow QB, BP \rightarrow QD, AP \rightarrow QC, CP \rightarrow QA$ の回転相似の中心である。これは簡単な角度計算により確かめられる。

3 発見した定理

ここでは私が発見し『数学セミナー』（日本評論社）に掲載された定理の内容を紹介する。定理の内容は以下の通りである。

定理 $\triangle ABC$ が正三角形ではないとき、 B から AC に下ろした垂線と AB の垂直二等分線の交点を D 、 C から AB に下ろした垂線と BC の垂直二等分線の交点を E 、 A から BC に下ろした垂線と AC の垂直二等分線の交点を F とする。このとき $\triangle ABC$ と $\triangle DEF$ は相似である。($\triangle ABC$ が正三角形のとき、 $\triangle DEF$ は一点に退化する。)²

図にすると次のようになる。

² 中 洋貴、作図アプリで見つけた定理、数学セミナー、2020、59(11)、56 頁

ば明らかである。

4.6 命題 6

三角形 ECF と三角形 EQD は相似である。

(証明)

命題 4 において $\angle ECS = \angle EQS$ が示されているので、

$$EC : EQ = CF : QD$$

を示せばよい。命題 3 より、

$$EC : EQ = BC : BA$$

である。また、命題 5 より、

$$CF : QD = CF : CR = AF : CR$$

である。さらに、

$$AF : CR = 2AF : 2CR = AC / \sin \angle BCA : AC / \sin \angle CAB = \sin \angle CAB : \sin \angle BCA$$

であり、正弦定理より

$$\sin \angle CAB : \sin \angle BCA = BC : BA$$

である。以上より、示された。

4.7 命題 7

三角形 DEF は三角形 ABC と相似である。

(証明)

命題 6 より三角形 DEF と三角形 QEC が相似であることがわかる(回転相似の性質)。また、命題 3 より三角形 QEC と三角形 ABC が相似であるので、示された。これは 3 章で挙げた定理の主張である。

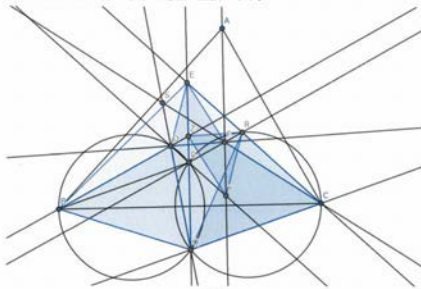


図 7

講 評

作図ソフトを用いて発見した面白い定理をミケル点(相似回転の中心)の性質をうまく使って証明しています。この定理自体は 2 年前の『数学セミナー』の NOTE において発表済み(作者が灘中学 2 年時)ではありますが、証明はつけておらず(数学セミナー編集部が計算による証明をつけてはいますが)、今回素晴らしい初等幾何的証明を提示しました。これは、十分 Rimse 理事長賞に値すると判断しました。

中央審査委員会

将棋で一番強いコマはなに？

兵庫県 神戸大学附属小学校 2年 神谷 幸佑



全5ページ

動かした回数	一局	二局	三局	四局	五局	合計
歩	11	11	6	9	11	44
香	0	3	1	2	6	12
車	0	0	9	3	2	14
馬	7	2	10	4	10	33
銀	7	2	5	2	7	23
金	5	10	6	2	3	26
角	9	6	2	14	9	40
飛	1	0	4	0	2	7
王						

動かした回数	一局	二局	三局	四局	五局	合計
歩	11	11	6	9	11	44
香	0	10	1	8	12	31
車	6	2	13	6	4	31
馬	7	2	10	4	10	33
銀	7	2	5	2	7	23
金	7	21	9	5	9	51
角	18	16	3	31	16	84
飛	1	0	4	0	2	7
王						

3. 研究の結果
動かした回数が多いコマ
一位 歩 二位 飛車 三位 銀

- 2 -

▲2ページ目

講評

「将棋で一番強いコマは何か」という父との会話がきっかけで始めた研究です。強いコマは役に立つコマであると考えて、「コマを動かした回数」と「コマの動く距離」の2つの視点から、自分の実際の対局の記録をもとに分析し結果を得ています。自分の対局とプロの藤井竜王の対局とでは、強いコマが同じではないことにも注目しています。データの活用の研究として興味深く、算数の優れたレポートとなっています。

中央審査委員会

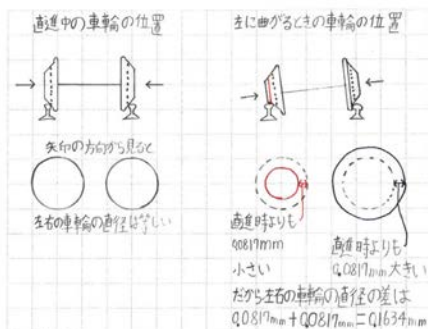
内田洋行賞

山手線が脱線しない秘密 ～円の計算から見た山手線のわずかなかたむき～

東京都 北区立西浮間小学校 6年 今枝 駿斗



全5ページ



4. 感想

今回いろいろ調べてみてどうも山手線の内側の車輪の直径と外側の車輪の直径には、Q0817mmの差があることがわかった。これは山手線の設計者が、列車が曲がる時に、内外の車輪の回転数を揃えるように設計したのだと思う。また、小学校で習った円の計算が、社会の役に立っていることがわかった。大人になっても、勉強は大切だ。これからも、算数の勉強をがんばりたい。

5. 参考にした本

- ①「山手線」電車乗り場見聞録 発行所：山手線沿線会（発行所：山手線沿線会）
- ② 全国主要鉄道全図 2020・2021 (国土交通省 国土院 2020年)
- ③ 首都圏新都市圏鉄道全図 2020・2021 (国土交通省 国土院 2020年)

- 5 -

▲5ページ目

講評

環状線の鉄道では、線路の内側と外側ではレールの長さが異なるので、電車の車輪の回転数も異なるのではないかと疑問から、山手線が脱線しない理由を研究しました。車輪の形状を調べたり、路線図を円と見立てて山手線の線路の内側と外側のレールの長さの違いを計算したりしています。そして、車輪の直径のわずかな差からレールの長さの違いは解消され、うまく車輪の形が機能していることを見つけた力作です。

中央審査委員会

学 研 賞

2/365日消える信号

秋田県 秋田大学教育文化学部附属中学校 2年 平澤 玲那



全 9 ページ



▲ 1 ページ目

講 評

西日による信号機の視界不良による自動車交通事故をきっかけにした研究です。信号機の西日対策は全国で現在進行形で進められていますが、おもに信号機等ハードウェアに対するものです。それに対して本研究は交通事故があった場所において1年のうちでいつ西日が信号機に重なるかをあらかじめ計算によって特定するというアプローチです。理科年表のデータをもとに詳細な計算を行い2日を特定することに成功しました。交通事故をなくしたいという作者の強い意志がレポートから伝わってくる意欲にあふれた研究です。

中央審査委員会

日本数学検定協会賞

Ramanujan Machine による未解決予想の証明と
昨年度の Rimse 理事長賞受賞作品における未解決問題の解決
東京都 東京都立西高等学校 2年 山本 修真



全 10 ページ



▲ 1 ページ目

講 評

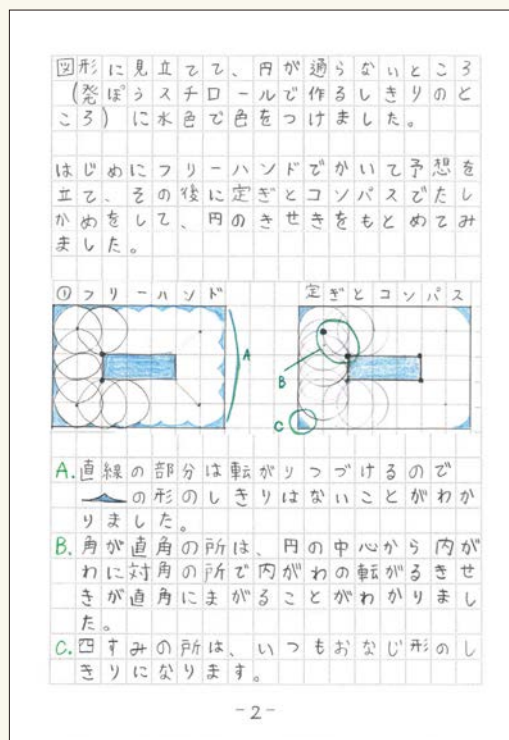
この作品の面白い側面は二つあります。一つは、昨年度の入賞作品にあった数列に関する予想を解決したこと。もう一つはラマヌジャン・マシンと呼ばれる数学の予想を導き出す AI による問題を解決したこと。数学的にきちんと証明されていることも評価に値しますが、さまざまな情報源から数学的に面白い問題を見つけることも数学の研究に必要な能力です。これからも面白い問題を見つけて、もっと数学を楽しんでほしいです。

中央審査委員会

中央審査委員
特別賞

ビー玉がすべらないで転がるには ～クッキーのはこでピタゴラそうちにチャレンジ～
東京都 白百合学園小学校 3年 小林 美怜

全 5 ページ



▲ 2 ページ目

講評

ピタゴラ装置の連想から、いろいろな形の箱の中でビー玉を転がしたときの転がり方(軌跡)を調べたいという発想をもとにした研究です。箱の形を長方形以外のものにして、中に仕切りを入れ、ビー玉の転がり方を予想し、図に表します。実際に具体物で確かめ、その結果をまとめています。図形についての関心や知識・技能が生かされた研究であり、優れた算数のレポート作品となっています。作者が算数の活動を楽しんでいるようすが目に浮かびます。

中央審査委員会

中央審査委員
特別賞

ゴーカートで速く走りたい
兵庫県 神戸大学附属小学校 5年 富士 修睦

全 5 ページ



▲ 1 ページ目

講評

ゴーカートで速く走るための計画を算数を使って考え、実際にデビューステージとアタックステージに挑戦した結果をまとめたレポートです。コースの最短ルートを探したり、コースの形状や距離とゴーカートのスピードからタイムを計算したりして、走行計画を考えました。実際にゴーカートを走らせた後の振り返りもされており、次への計画も立てています。研究の計画、実施、振り返り、まとめとレベルの高いレポートです。

中央審査委員会

中央審査委員 特別賞

楽曲を可視化する ―美しい葉序を参考に

京都府 京都市立西京高等学校附属中学校 3年 友松 美結

全 10 ページ

【楽曲を可視化する ―美しい葉序を参考に―】

京都市立西京高等学校附属中学 3年 友松美結

1 はじめに・研究の目的

一昨年の研究で、和音（コード）と三角形の形について、パターンを探った。円を 12 等分し、12 個の音（1 オクターブ分）の位置を軸に決めた場合、例えばメジャーコードであれば、幅の長さが 4 : 3 : 5 の比の三角形になることがわかった。例えば G メジャーコード（ド・ミ・ソ、右図で表）の三角形と、E メジャーコード（ミ・ソ・シ、右図で表）の三角形は合同三角形になることがわかった（図 1）。この研究では、例えば明るく感じのメジャーコードと、暗く感じのマイナーコードについて、三角形の「形としての違い」を認識し、幾何学的にとらえることはできた（マイナーコードは 3 : 4 : 5 の幅の三角形になる）。例えばメジャーコードの三角形を明るく感じる、または、マイナーコードの三角形を暗く感じるといった、和音の感じ方まで可視化するには至らなかった。

そこで本研究では、和音の感じ方まで可視化するには至らなかった。そのイメージを数式で表し、フィボナッチ数や黄金比に関連して、植物の葉・葉の生える順（葉序）を参考にした。

2 音の周波数に関する考察

2-1 平均律による周波数

音は空気が振動することによって生じる。1 秒間の振動数を周波数と呼び、例えば 1 秒間に 20 回振動する場合、20Hz（ヘルツ）と表す。周波数が高いほうが高音、低いほうが低音と認識される。C4 から C5 の周波数は表 1 のようになる。平均律においては、1 オクターブ上の音の周波数が、1 オクターブ下の音の周波数の 2 倍になるように調整され、途中の 12 段階では、すべて同じ割合で増減する。この「同じ割合」は各段階で計算すると、いずれも小数第 5 位まで同じ数となり、1.05946 となっている（例 233.082 × 233.082 ÷ 1.05946）。

表 1 平均律の音名と周波数（小数第 4 位で四捨五入）

音名	C4 ド	C#4	D4 レ	D#4	E4 ミ	F4 ファ
周波数	261.626	277.183	293.665	311.127	329.628	349.228
F#4	G4 ソ	G#4	A4 ラ	A#4	B4 シ	C5 ド
	369.594	391.995	415.305	440.000	466.164	493.883
						523.251

注 C4 から C5 はピアノのちょうど中ほどにある鍵盤である。

2-2 和音と整数の関係

G メジャーコード（ド・ミ・ソ）なら和音のうち、C と E（ドとミ）について考察する。表 1 にあるドとミの周波数について、できるだけ簡単な整数の比に近づけるように計算していくと、261.626 : 329.628 ≈ 10000 : 12589 ≈ 4 : 5

▲ 1 ページ目

講評

和音に対してそのイメージを捉える数値指標として周波数比を活用し、音のイメージカテゴリーを整理した上で、楽曲の可視化に挑戦しています。音、イメージ、可視化を数学で繋ぎ、楽曲の流れまでを再現可能にする技法を創り上げた点を高く評価します。単に美しく興味深い楽曲の表現ができたという以上に、楽曲とその楽曲から受ける人間のアナログな感情イメージを対応させるデジタル表現の開発は、音符を介さない作曲の可能性も秘めており、研究の価値の高さがうかがえる作品となっています。

中央審査委員会

中央審査委員 特別賞

カタラン数の一般化

長野県 長野県諏訪清陵高等学校 3年 田名網 樹

全 10 ページ

カタラン数の一般化

田名網樹

1 動機

まず、数列の組合せのため、式変形の過程が一部省略されていることをお断りさせていただきます。カタラン数 C_n は

$$C_0 = 1$$
$$C_{n+1} = \sum_{i=0}^n C_i C_{n-i}$$

という再帰的な漸化式を満たし、その母関数 $f(x)$ は

$$(f(x))^2 = \frac{f(x)-1}{x}$$

という方程式を満たす。ここで、以下のような数列 $d_n(n)$ を考えた。

$$d_0(0) = 1$$
$$d_n(n+1) = \sum_{i_0+i_1+\dots+i_n=n} d_0(i_0) \dots d_n(i_n)$$

この数列の母関数 $f_n(x)$ は

$$(f_n(x))^2 = \frac{f_n(x)-1}{x}$$

という方程式を満たすと分かった。

だが、この数列の一般化はカタラン数のように求めることはできず、どうすれば一般化を求められるのか例になり、研究を始めた。

2 研究内容

まずはカタラン数の一般化の求め方を試し、それを応用できないか試した。

2.1 一般化カタラン数

$$\sum_{i_0+i_1+\dots+i_n=n} f(i_0) \dots f(i_n)$$

は $f(i_0) \dots f(i_n)$ が与えられた n 個の非負整数の組 $(i_0, \dots, i_n)$ すべてについて $f(i_0) \dots f(i_n)$ を定すことを表すとする。

定義 2.1 (一般化カタラン数)。正の数 k と非負整数 n について

$$d_k(0) = 1$$
$$d_k(n+1) = \sum_{i_0+i_1+\dots+i_n=n} d_k(i_0) \dots d_k(i_n)$$

ここで、 $d_k(n) = C_n$ である。

以降、 k を正の整数とする。一般化カタラン数の母関数を

$$f_k(x) = \sum_{n=0}^{\infty} d_k(n) x^n$$

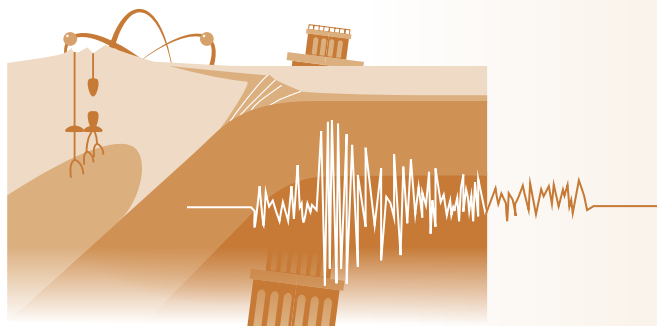
と定める。

▲ 1 ページ目

講評

カタラン数の一般化の研究です。前半部分はあまり知られてはいませんが既存の結果ではありません。母関数プラスラグランジュの反転公式という高校生にとっては高度な手法で別証明を与えました。さらにそれを拡張し、作者の言う有理数カタラン数についての母関数関係式も導出しています。オリジナリティの感じられる面白い作品です。

中央審査委員会

第10回
(最終回)地球は
どんなところか

開成中学校・高等学校 教諭

有山 智雄 / ありやま ともお

1960年生まれ。開成高等学校時代に受けた地学の授業でプレートテクトニクスや地震予知に興味を持つ。東京大学理学部地質学科卒業、同修士課程修了。修士での研究テーマは活断層の活動性の評価。1985年より東京学芸大学附属高等学校で、1989年より開成中学校・高等学校で地学を教える。高校地学の教科書の執筆にも携わる。趣味はトレッキングとロードバイク。常々伝えたいと思っていることは「地球に住むなら地球のことを知っていたほうがいい」

自然災害における「想定外」

本連載もいよいよ最終回となりました。ここまで9回にわたって地震、火山の噴火、台風などの自然現象、地球温暖化などの気候変動を取り上げ、「地球はどんなところか」を見てきました。これらの自然現象は自然災害として、時に大きな被害をもたらします。そしてそのときに「想定外」という言葉が聞かれることがしばしばあります。今回はこの「想定外」にスポットを当ててみようと思います。



図1 東北地方太平洋沖地震に伴う津波の被害 『地学 改訂版』(啓林館)より引用(一部改変)

図1は2011年に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波の被害のようすです。岩手県大槌町^{おおつち}で、瓦礫の中に残された鉄筋の建物の上に船が載っています。少なくともこの建物の屋根の高さを超える津波が押し寄せたことがわかります。岩手県宮古では気象庁の観測で8.5m以上の津波が観測され、遡上高(押し寄せた津波が斜面を駆け上がった高さ)は40.5mにまで達し、多くの方が犠牲になりました。また、福島第一原子力発電所では、非常用の発電機が津波で浸水して使えなくなったことでメルトダウンが発生するという重大事故が発生しました。このときはマグニチュード9.0という地震の規模や、地震に伴う津波の規模が「想定外」であったという言葉がずいぶん使われましたが、本当に想定外だったのでしょうか。それまでに日本で発生した地震の最大マグニチュードは宝永地震(1707)の8.6でしたが、世界に目を向ければチリ地震(1960)は9.5を記録しており、人類が記録を残すようになったここ数百年だけで見ても、過去に例のない規模ではありませんでした。もっと過去にさかのぼれば、46億年に及ぶ地球史の中ではもっと大きな規模の地震も発生したことがあったと考えるべきかもしれません。

自然に記録された大規模災害

人類が記録を残す以前の自然現象も自然界に記録が残され

ている場合があります。その例を見てみましょう。図2はAso-4と呼ばれる火砕流堆積物の分布を示したものです。火砕流は火山火口から噴出した火山砕屑物が高温の気体とともに時速100kmに達する高速で山腹を流下する現象です。火砕流は多少の起伏なら平気で乗り越えて進むため、近くで発生すると逃げることはほぼ不可能です。雲仙普賢岳では1991年に火砕流が発生し、43名の犠牲者が出ました。この火砕流の到達距離は4.3km程度でしたが、9万年前に阿蘇山で発生した大規模な火砕流Aso-4(図2)の先端部は海の表面をも滑り、山口県にまで至りました。火砕流は100km以上遠方まで到達したことになります。私たちはこんな規模の火砕流は直接経験したことがありませんが、実際に身近で起きたことをAso-4が教えてくれています。それも、たった9万年前にあったことを。

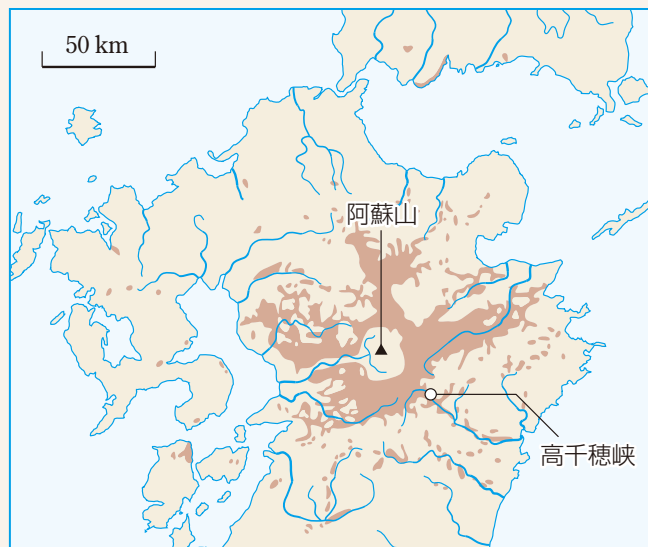


図2 Aso-4 火砕流の分布 『地学 改訂版』(啓林館)より引用

自然災害への対処

現在、阿蘇山から100kmの範囲には多くの人々が生活しています。阿蘇のカルデラの内部には田畑が広がり、鉄道が通る町ができています。大規模な噴火や火砕流の心配は無いのでしょうか。図3は気象庁が発表している阿蘇山のハザードマップです。ハザードマップとは、災害の種類や規模などを予想し、地図に示したもので、避難の指針を示して被害を減らすことが目的です。基本的に過去の事例に基づき作成されます。

この図では阿蘇山の噴火に伴い発生が予測される被害として、噴石、降灰、火砕サージ、溶岩流、降灰後の土石流が挙



図3 阿蘇山火山防災マップ 気象庁 Web サイトより引用

げられています。火砕サージとは火砕流とほぼ同じようなものですが、中でもガス成分の比率が高いものを指します。非常に高温で高速で移動するのは火砕流と同じです。

この図では火砕サージが到達する可能性が「高い」範囲は火口から2km以内、また「中程度」の範囲は到達可能性が火口から4km以内とされています。Aso-4と同等規模の火砕流に関しては「この外側にも火砕サージが到達する可能性はある」という一文で触れられているだけで、具体的な数字は示されていません。

その理由は、ハザードマップ作成にあたり、Aso-4のような規模の火砕流はもう発生しないと考えたからなのでしょう。確認したわけではありませんが、おそらく答はNoだと思います。9万年前に発生したことが今後二度と起こらないと考えるのは合理的ではありません。しかし、最近9万年間は発生していないことからわかるように、火口から4kmの範囲に到達する規模の火砕流と比べると、その発生頻度はかなり低いと考えてよいでしょう。

「Aso-4規模の大火砕流の発生確率はゼロではないが、ゼ

口にかなり近い」と考え、上記のような記載にしたのは、避難の指針を示すというハザードマップの目的を考えれば一つの判断なのだと思います。

■ スノーボールアース

突然話が変わりますが、連載の第8回と第9回で地球温暖化を扱い、地球は過去に10℃以上の幅で気温の変動を繰り返してきていることに触れました。(第8回の図1参照)。10℃の変動でもたいへんですが、地球46億年の歴史の中では、地球全体の平均気温が-40℃ほどになり地球全体が厚さ1000mを超える氷で覆われるような過酷な時期があったことが明らかにされています。このような状態はスノーボールアース(全球凍結)と呼ばれ、22億年前と7億年前に起きたと考えられています。図4(a)に示されるように、それらの時代の氷河堆積物が地球全体から(赤道付近も)発見されたのです。

全球凍結していた地球では、当時の生物はどうしていたのでしょうか。海洋の大部分は氷で覆われていたので、当時の海洋微生物にとって厳しい環境だったと想像されます。しかし、火山島の周辺などに凍結していない部分がわずかにあり、そのようなところで生き延びていたのではないかと考えられています。そして全球凍結が終わったとき、生き延びていた生物はライバルがいない生態系空間で爆発的に進化を遂げました。これが7億年前の全球凍結に引き続いて起こったカンブリア紀の大爆発(生物が爆発的に進化し多様化した)事件に繋がったと考えられています。全球凍結のような極端な環境変化(寒冷化)は生物にとって非常に過酷なものですが、生物の進化にとっては大きなプラスの働きをしたとも言えるわけです。

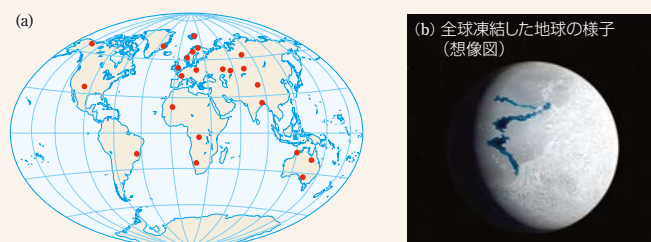


図4 原生代後期(約7億年前)の氷河堆積物の分布(a)と、全球凍結した地球(スノーボールアース)の想像図(b)『地学 改訂版』(啓林館)より引用

■ 地球はどんなところか

タイトル部分の結びに次のようなことを書きました。

「地球に住むなら地球のことを知っていたほうがいい」

10回の連載で「地球はどんなところか」「日本はどんなところか」を伝えてきたつもりです。

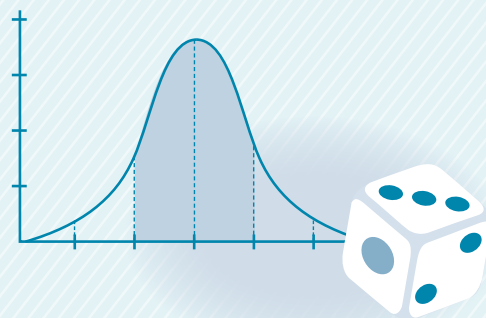
地球では地震が発生し、火山が噴火します。地球全体を見渡しても日本はとりわけ集中して発生しています。地震や火山の噴火はさまざまな規模で発生しますが、規模が小さいものは頻繁に発生し、大規模な例の発生頻度は非常に低くなります。私たちは各自が体験した最大規模のものを「起こり得る最悪」と考えがちですが、決してそんなことはありません。2011年までは日本で発生する地震の最大マグニチュードは8.6だったわけですが、東北地方太平洋沖地震では一気に9.0(エネルギーは8.6の約4倍)と大きくなりました。

私たちは、地震や火山噴火などの自然現象の規模、また気温や海水準などがある程度の振れ幅で変化していることを知っています。そして、その振れ幅を経験的に想定します。しかし、私たちが直接知っているのはごく最近の地球だけです。地球史全体を眺めると、スノーボールアースのように私たちの想像を超えるような状態があったり、100km遠方(これも上限とは限りませんが)に達する規模の火砕流が発生したりしています。残念ですがその振れ幅は、私たちが想定しているよりだいぶ大きいのです。人類にとっては不都合なことかもしれませんが、地球はそういうところなのです。

過去を含めて地球を知るということは、これからの地球でどんなことが起こり得るのかを知るということです。さらに地球で生きていくうえで、どんなリスクを受け、そのリスクと共存していかなければならないかを知ることにはほかならないのです。

これを10回にわたる連載のまとめと結びとしたいと思います。お読みいただき、ありがとうございました。❖

【第1回】 ベイズの定理 —確率入門—



東京大学 名誉教授

松原 望 / まつばらのぞむ

Ph.D. (スタンフォード大学)。1942年生まれ。東京大学教養学部基礎科学数学コース卒。統計数理研究所研究員、スタンフォード大学大学院博士課程、筑波大学社会学系助教授、エール大学フルブライト研究員、東京大学教養学部・大学院総合文化研究科教授、同新領域創成科学研究科教授、上智大学外国語学部教授、聖学院大学大学院政治政策学研究科教授を歴任。著書には東大教養部統計学教室（編・著）『統計学入門』（東京大学出版会）、『わかりやすい統計学：データサイエンス基礎』（丸善）、『社会を読み解く数理トレーニング』（ペレ出版）、『計量社会科学』（東京大学出版会）、『意思決定の基礎』（朝倉書店）、『ゲームとしての社会戦略』（丸善）、『入門確率過程』（東京図書）、『入門ベイズ統計』（創元社）、『はじめよう！統計学超入門』（技術評論社）、『ベイズの誓いーベイズ統計学はAIの夢を見る』（聖学院大学出版会）など多数。

「確率」のはじまり

確率は人間の歴史とともにありました。ものを決めるのにさ
いころを使う場面は新約聖書にも出てきますし、またローマの
武将シーザーが決断することを「さいを投げる」と言ったこと
はよく知られています。この頃はまだ数学との関わりはほとん
どありませんでした。

歴史が進んで、商人たちの間で商売や貿易で儲けや損の予
想をするために、自然に2対1とか3対2などの有利不利
を数字で表す習慣ができてきました。それほど数学的に進ん
ではいませんでしたし、「確率」という言葉ありませんが、実
用には間に合っていました。もっとも、商人たちの間では賭け
の遊びも盛んに行われましたから、近代の初めには数学的に
特別に関心を持ち研究する天才的な人々も出てきました。パ
スカル（1623-1662）、そしてフェルマー（1607-1665）は
最初の研究者として知られています。フェルマーは役人でした
が、役人以上に頭がよく学者として歴史に名が残っています。

正面から「確率」の理論と言っているのは、ド・モアブル
（1667-1754）の「チャンスの理論」とJ.ベルヌーイ（1645-
1705）の「予測術」です。もともと「チャンス」とは確率の意
味です。確率は物理学の「力」や「質量」のように触ることも見
ることもできませんから、これは偉大な働きです。時代的には
ニュートン（1642-1727）が大きな影響を与え始めた時代でした。

今日の数学的確率のはじまり

このように多くの先駆者によって形が着実に整えられてきた
結果は、偉大な天文学者で数学者ラプラス（1749-1827）の
『確率の解析的理論』（1812）でほぼ現在の「確率論」の基と
して知られる形にまとめられました。書名にも初めて「確率」
が現れました。「解析的」とはほぼ「数学的」という意味です。
きちんと整理され「第一原理」から「第六原理」まであります。
今日高等学校で教えられている内容を思い出して下さい。歴
史的にも標準的で正しいという意味で、「古典確率論」と言わ
れ、正規分布や中心極限定理を始めとしてその後の確率論の
発展の出発点となり、現在はAIにも使われています。

条件付き確率とベイズの定理

ラプラスの確率の数学公式はよくできており、今日「確率と
は」と言えばだいたいこれらの基本的な数学公式を指し、高
校生でも数学としてふつうに知っています。それくらい偉大な
と言えますが、他方「原理」だけでは役立てるにはさすがに
距離があります。実はこれらのうち最後の二つが最も確率論ら
しく面白く役に立つ最重要部分で、

第5原理：条件付き確率 $P(A|B) = P(A \cap B) / P(B)$

第6原理：ベイズの定理

- i) すべての A_i は背反, かつ
- ii) $A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_k = X$ (全体事象)

ならば,

$$P(A_i | B) = \frac{P(A_i) P(B | A_i)}{\sum_{j=1}^k P(A_j) P(B | A_j)}$$

というものです。分母を略して単に $P(B)$ としているのをよく見かけますが、それでは役に立ちません（第5原理と同じになってしまいます）。上の表現がラプラスの表し方であり、実際、計算する段階では結局この式のお世話になります。この式で二度手間を省き効率的に計算する習慣をつけましょう。

なお、条件付き確率は $|$ を用いるのが国際標準であり、世界のすべての教科書、参考書でそうなっています。

原因の確率

さて、「ベイズの定理」とは何でしょう。ラプラスは、

A は k 通りの可能な原因, B は結果

と説明しています。したがって、「原因の確率」が計算できる公式ということになります。この「原因の確率」こそ天才ラプラスが若い頃から温めていたオハコで、それこそ現在のAIの原理にも通じるものです。もっとも、「原因」とか「結果」をあまり厳密に考える必要はありません。

例を日常生活から取ることは、本場アメリカではよく教えられていて、ほんの一例として次のようなお話があります。

電気工事業者がお客さんから注文を受けました。業者は依頼されたその家の最大使用量（配電容量）を知りません。当然、「お宅の配線は何 A（アンペア）ですか」と尋ねます。お客さんは詳しくは知らないと言いますが、大体の数字は答えてくれました。10, 20, 30（A）の3段階のどれかとは知っていますがどれとは知らず、10, 12, 15, 20（A）のどれかと尋ねられ、自分の電気の使い方から、想像で答えます。小さい家なら容量も小さく、また使い方も少ないから、少ない使用量を答えるでしょう。下表のような統計（%）があるとします。

		使用量の回答 z (統計的確率)			
		10A	12A	15A	20A
配電容量 s	10A	50	50	0	0
	20A	0	50	50	0
	30A	0	0	30	70

10A の回答なら、配電容量は3段階のどれと判断すべきですか。あるいは、それぞれ 12, 15, 20（A）の各場合はど

うでしょうか。一通りとは限りませんので、確率で答えて下さい。確率は統計的確率を使うこと（これはアンケート調査の問題ではなく、確率の課題です）。

注意：ずいぶん大まかな統計と感じる人がいると思いますが、実は大きな問題ではないことが後でわかります。

家の人は自分でどのくらい使うか（配電容量 s ）をだいたいわかっていて、それから回答 (z) を答えるのですから、ここでは「原因」が s 、「結果」が z で、これがベイズの定理でそれぞれ A, B になるとわかります。したがって、ここでこの回答の確率を $P(z | s)$ で表し、これをベイズの定理の $P(B | A_i)$ と考えて定理を応用します。

計算：事前確率と事後確率

ベイズの定理では、さらに $P(A_i)$ 、ここでは $P(s)$ が必要です。ラプラスはまず、 k 通りの A_i が等確率の場合は場合の数から $P(A_i) = \frac{1}{k}$ と置いています。定理の分子、分母から $P(A_i)$ が消えます。一般に「無差別の原理」といわれる考え方です。ラプラスは、等確率でない場合は「ア・プリオリな確率」を置くとしています。ア・プリオリとは前からもっている確率、つまり予想、確信、信念、（その人の）経験などを指します。この考えには反論もありますが、現在はそれほど大きな対立でないと考えられています。ベイズの定理では、これら $P(A_i)$ を「事前確率」と呼んでいます。では進めましょう。

(i) s が同等で等確率とする場合

各 s (10A, 20A, 30A) は $\frac{1}{3}$ ずつの事前確率を持ちます。これら s の確率を z ごとに考えます。

$z = 10A$ に対しては、 $s = 10A$ からしか出てきませんので、

$$P(s = 10A | z = 10A) = 1$$

$$P(s = 20A | z = 10A) = P(s = 30A | z = 10A) = 0$$

形式的ですが、ベイズの定理からも出せます。

$z = 12A$ に対しては、ベイズの定理から、

$$P(s = 10A | z = 12A)$$

$$= \frac{(1/3) \cdot 0.5}{(1/3) \cdot 0.5 + (1/3) \cdot 0.5 + (1/3) \cdot 0} = 0.5$$

$$P(s = 20A | z = 12A)$$

$$= \frac{(1/3) \cdot 0.5}{(1/3) \cdot 0.5 + (1/3) \cdot 0.5 + (1/3) \cdot 0} = 0.5$$

$$P(s = 30A | z = 12A) = 0$$

$z = 15A$ に対しても,

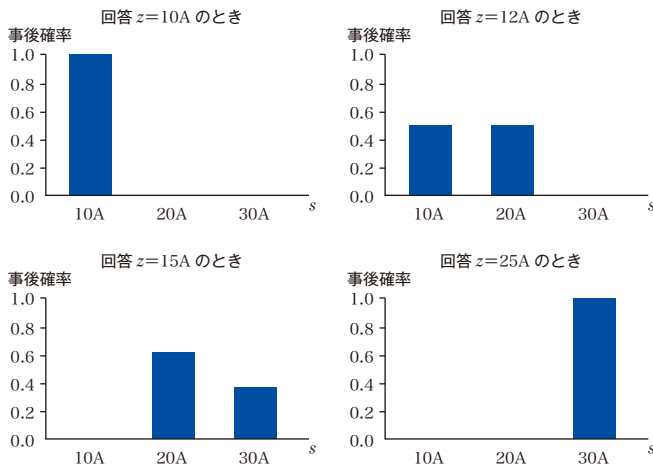
$$\begin{aligned} P(s = 10A \mid z = 15A) &= 0 \\ P(s = 20A \mid z = 15A) &= \frac{(1/3) \cdot 0.5}{(1/3) \cdot 0 + (1/3) \cdot 0.5 + (1/3) \cdot 0.3} = 0.625 \\ P(s = 30A \mid z = 15A) &= \frac{(1/3) \cdot 0.5}{(1/3) \cdot 0 + (1/3) \cdot 0.5 + (1/3) \cdot 0.3} = 0.375 \end{aligned}$$

$z = 20A$ に対しても, $s = 30A$ からしか出てきませんから,

$$\begin{aligned} P(S = 10A \mid Z = 20A) &= P(S = 20A \mid Z = 20A) = 0 \\ P(S = 30A \mid Z = 20A) &= 1 \end{aligned}$$

このように, 情報(データ)が得られた後は, 原因の確率はその情報を取り込んで事前確率から変化します。この変化した確率を「事後確率」と言います。ベイズの定理は事前確率を事後確率に変化させる数学ルールであり, その変化分がデータの情報です。これは AI に使えます。

ここでも事前確率 $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3})$ が, データ(回答 z) に応じて4通りに変化しています。下図で, これら4通りの事後確率をよく見て比較すると, 当然ですが(なぜか?) z が大きくなるにつれて次第に右方向に(s の大きい方向に)移っていて, 回答 z が「正しい」情報であることを意味します。



(ii) s が等確率でない場合

この場合は無限にあります, 以下はその一例です。

s の3通りの A (10A, 20A, 30A) について, 以前より, 20A にピークがあり「大半の家は 20A で, 残りは 10A が多く, 30A は少ない」という事前の知識があればこれを大まかに事前確率は $(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{6})$ と考えていいでしょう。大まかな正確さで事前確率を仮定しても今後に影響は出てきません。

$z = 10A, 20A$ に対しては, 結果は前と変わりません。

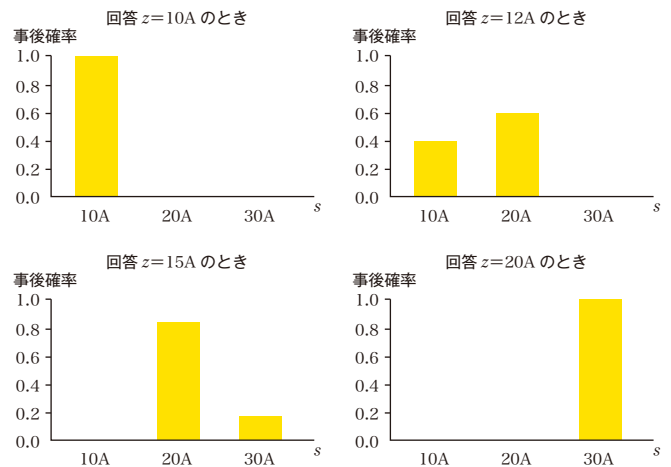
$z = 12A$ に対しては, ベイズの定理から,

$$\begin{aligned} P(s = 10A \mid z = 12A) &= \frac{(1/3) \cdot 0.5}{(1/3) \cdot 0.5 + (1/2) \cdot 0.5 + (1/6) \cdot 0} = 0.4 \\ P(s = 20A \mid z = 12A) &= \frac{(1/2) \cdot 0.5}{(1/3) \cdot 0.5 + (1/2) \cdot 0.5 + (1/6) \cdot 0} = 0.6 \\ P(s = 30A \mid z = 12A) &= 0 \end{aligned}$$

$z = 15A$ に対しても,

$$\begin{aligned} P(s = 10A \mid z = 15A) &= 0 \\ P(s = 10A \mid z = 15A) &= \frac{(1/2) \cdot 0.5}{(1/3) \cdot 0 + (1/2) \cdot 0.5 + (1/6) \cdot 0.3} = \frac{5}{6} = 0.833 \\ P(s = 30A \mid z = 15A) &= \frac{(1/6) \cdot 0.3}{(1/3) \cdot 0 + (1/2) \cdot 0.5 + (1/6) \cdot 0.3} = \frac{1}{6} = 0.167 \end{aligned}$$

等確率のときと傾向は変わりません。20A がより強く出ているのは, 事前確率が高いことも効いています。



まとめ 「確率」には長い歴史がある。

確率を現在の形に数学的にまとめたのはラプラスである。ベイズの定理*で結果(データ)から原因を推量することができる。事前確率と事後確率の2通りの確率が重要である。確率の意味と実際活用が求められる時代になっている。この考えは AI に使われている。

* 英国の牧師ベイズ(1701-1761)が初めて考え出した確率の独特な考え方をラプラスがわかりやすい形に直した。

【第1回】

元素（エレメント element）Ⅰ

ー古代ギリシャにおけるエレメント



元徳島県公立高等学校 教諭

西條 敏美 / さいじょう としみ

1950年徳島県生まれ。関西大学工学部および同大学院修士課程で気体電子工学専攻。卒業後35年間、徳島県の公立高校で理科（物理）教員として勤務し、2011年定年退職。1982年に徳島科学史研究会を創設。理科教育の立場から科学史の活用に関心を持つ。科学史を取り入れた高校教科書『理科基礎』（実教出版）の共同執筆にもかかわった。おもな著書に、『理科教育と科学史』（大学教育出版）、『測り方の科学史(I)(II)』、『単位の成り立ち』（以上恒星社厚生閣）、『物理定数とは何か』（講談社ブルーバックス）など。趣味は毎日1万歩、1時間15分歩くこと。現在地球の全周の4分の3を達成。

プラトンとアリストテレスとの生涯で埋められる時期には論理的な術語が創作されたが、そうでなかったなら、その次の時期の円熟した諸教科書は著作されなかったであろう。

B. ファリントン（1891～1974）
『ギリシャ人の科学』（1953）第2章より

連載を始めるにあたって

科学においては、いろいろな用語があります。新しい事物や現象が発見されるたびに、それに最も相応しい名前が付けられます。用語は概念を集約したものです。当初は混沌としたものが、しだいに明確になるにしたがい、それを表記する一つの言葉が生まれてきます。科学上の言葉は、実験的に検証されて、定義され、公認されて用語として定着します。科学が発展するとは、定着した用語を土台にして、その上に新しい用語を積み重ねていくことといってもよいでしょう。例えば、実体のともなった原子（アトム）という用語なしには、後の電子や原子核の発見にいたらなかったでしょうし、原子核という用語なしには、陽子や中性子の発見もなかったことでしょう。

本連載では、基本的な物理用語、物質の根源にかかわる用語の由来と成り立ち、定着までを探っていきます。

第1回は、元素（エレメント element）という用語をとりあげます。この用語は、物理や化学、広く物質について学ぼうとするときの基本的な用語です。物質を構成する基本要素で、今日では「元素の周期表」の形で、約100種の元素が整然とまとめられています。

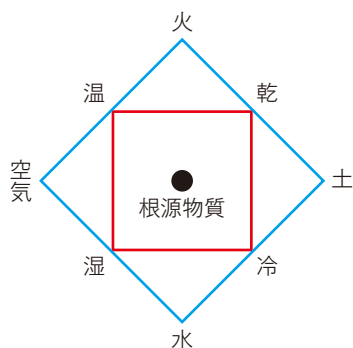
元素を「エレメント」というだけでも、言葉の持つニュア

ンスはかなり違いますが、この語は古代ギリシャの「ストイケイオン」という語に起源に持つようです。「ストイケイオン」となるといっそうわかりにくい感じがします。この語のほか、2, 3の古代ギリシャの物質用語の持つ意味を考えてみます。

古代ギリシャの物質用語

古代ギリシャにおいては、多くの哲人たちが活躍しました。身の回りにはたくさんの物質があります。万物はいったい何からできているのだろうか、何か基本要素があって、それによって統一的に説明できないのだろうか、こんなことを考えた人たちがいました。

最初に名前が出てくる紀元前6世紀のタレスは、水を基本要素と考えました。続いてアナクシメネスは空気を、ヘラクレイトスは火を基本要素としました。彼らはそれぞれ、ただ1つの基本要素を考えましたが、エンペドクレスは水、空気、火に、土を加えてこの4つを基本要素としました。紀元前4世紀のアリストテレスは、この4つの基本要素に相反する性質を付け加えて、こちらをより根源とし、4つの基本要素の変転理論を体系づけました。この基本要素は「元素」の用語で集約されて、「四^{しげん}元素^{そごつ}説」と呼ばれています（次ページ参照）。



アリストテレスの四元素説 アリストテレスは、火、空気、水、土の4つの元素（エレメント）と温、湿、冷、乾の4つの基本的性質を基本に置いた。後者の2つに根源物質（プロテ・ヒュレ。後述）が結び付くことによって前者の元素が生成すると考えた。

4種の性質から2つ選ぶ選び方は6通りあるが、温－冷、乾－湿は矛盾として除き、乾－温、温－湿、湿－冷、冷－乾の4つが残り、これが火、空気、水、土に対応するとした。アリストテレス『生成消滅論』全集第3巻に詳しい記述がある。

以上は普通に述べられていることですが、ここで問題にしたいのは、彼らがどんな言葉を使って説明しているかです。多くの初期哲人たちの著述は散逸してその断片しか残っていませんが、アリストテレスについては、万学の祖にふさわしく、『天体論』『生成消滅論』『宇宙論』『気象論』『自然学』『形而上学』など多数の著作が残っていて、散逸した初期哲人たちの著作の断片があちこちに引用されています。この時期は哲学の基礎が固まる時期で、概念を表すのにどのような言葉を用いるか、日常語として使われている言葉に意味をどう限定するか、アリストテレス自身も苦慮したようです。

彼の著作は日本語訳の全集として刊行されています。古代ギリシャ語を現代日本語に落とし込むはたいへんな作業であつたに違いありません。多くの訳注がついているので、ここでは訳注に注目して本文を読んでみました。

■ ストイケイオン

古代ギリシャの物質用語のうち、まず何といっても注目されるのは、冒頭で述べた「ストイケイオン」です。原語では στοιχείον（複：ストイケイア στοιχεῖα）です。ラテン訳では elementum（複 elementa）と表記します。もとは言葉の音節または語節を構成する字母を意味する語でしたが、転じて一般に事物の構成要素を指す語となりました。

訳注には、自然哲学者たちによって、この言葉が万物の「元

素」、**「構成要素」**との意味合いで使われている場合でも、なお言葉の字母が連想されることが多く、アリストテレスの執筆当時でも学術語としては未熟な、あるいは生硬な感じのする語であつたと書かれています。

アリストテレス自身も『形而上学』の第5巻を「哲学用語辞典」にあて、ここで30の用語について説明しています。ストイケイオンは3番目にあって、「事物のストイケイオンというのは、事物がそれから構成され、この構成された事物に内在しているそれ（事物の第一の内在的構成要素）であつて、種においてはもはや他の種に分割され得ないもの」とあります。使用例として、複数語の「ストイケイア」を用いて、音声のストイケイア、諸物体のストイケイア、幾何学のストイケイアの3つを挙げて説明しています。ここでは「諸物体のストイケイア」に限ると、「物体の分割された最後のもの。もはや種を異にする他のものには分割され得ない終極のもの」で、「これを一種とする論者も、多くあるとする論者も、これらをストイケイアと呼んでいる」とあります。

『天体論』では、「ストイケイオン」の定義をしています。「ストイケイオンとは、物体が分解されると出てくる物体であつて、諸他の物体のうちに可能的に、現実的に含まれている。ストイケイオンそれ自身は類的には他のものに分解されないもの」とあります。わかりにくい説明ですが、ストイケイオンとは、物体の分割された最後のもの、もはや分割され得ない終極のもの、その事物の構成要素ということですから、これは現在の元素（エレメント）に繋がると理解してよいでしょう。

ストイケイオンの訳語としては、アリストテレスの同一著作の中でも使われ方によって違うし、訳者によっても違います。「字母、要素、構成要素、基本要素、成分、元素」などがあり、「元素」と訳されていることも多いです。ちなみに、『天体論』の訳者は「元素」の訳で通していますが、『生成消滅論』の訳者は「要素」と訳しています。『形而上学』の訳者は「要素」のほか「構成要素」、ときに「元素」とするときもあります。

■ アルケーとプロテ・ヒュレ

ほかにも重要な言葉として、「アルケー」があります。原語で ἀρχή（複：アルケイ ἀρχαί）、ラテン訳で principium（複：

principia), 英語の principle の語源に当たる語ですが、「初め」の意味があります。万象の「もとのもの」の意味を持ちます。日本語では「原理」のほかに、「始原」「根源」「本源」「要素」「原質」「原素」などと訳されます。『広辞苑』にも載録されている語です。

アリストテレスの先の「哲学用語辞典」では第1番目にこの語があって、その意味を6つ挙げています。

- ①当の事物が最初に運動を始めるその部分（運動の始まり、出発点）
- ②何事がかなされると、最もよくそのことがなされる始めの部分（最善の出発点）
- ③事物が最初に生成し、その生成した事物に内在しているもの（最初の内在的構成要素）
- ④生成した事物のうちに内在していないで、最初にこの事物や転化が自然に始まる部分（転化の外的始動因）
- ⑤動かされるものが動かされ、転化するものが転化するとき、このように動かす意志を持つもの（同上）
- ⑥対象事物が最初に認識されるに至るところのもの（認識の第一前提）

この後、次のようにまとめています。

「これらすべての意味のアルケーに共通しているのは、それらがいずれも当の事物の「第一のそれから」であること、その事物の存在または生成または認識が「それから始まる第一のそれ」であることである。しかし、これらのうち、そのあるものはその当の事物に内在しており、他のあるものはその外にある。それゆえに、事物の自然も原理であり、ストイ케이オンもそうであり、思考や意志も、実体も、そのためにであるそれ（目的）も同様である。というのは、善や美は多く認識や運動の始まりだからである。」

こちらもわかりにくいですが、一言でいえば始まりの概念を持つ言葉であったことです。英語の principle では、「原理」が頭に思い浮かびますが、言葉の最初の意味では、時間の概念が含まれていて、そこに「原理」が存在するということでありましょう。そこに内在する実体を考えれば、「ストイ케이オン」の意味にも繋がってくるのです。

『形而上学』の訳者は、こう注記しています。

「アルケーをだいたい「原理」と訳した。この原語の含み、その多義を principle にまだ多少は保存されているとしても、日本語の「原理」では狭苦しくなったり、広すぎたりして、

十分には表されない。日本語の「もと」というのに、本、元、素、基、始、原、源、因、根などの語義があるようなものと考え、その含みを知り、その場その場でその意味を理解されたい。」

「哲学用語辞典」には挙げられていませんが、もうひとつ基本的言葉を挙げておきます。「ヒュレ」と「エイドス」で、原語では *ύλη* と *εἶδος* で、日本語では「質料」と「形相」と訳されることが多いです。英語では、matter と form と柔らかいです。要するに、ヒュレとは物の素材、転じて物質を、エイドスはそれによって作られた形を意味します。素材と形だとりあえず理解すればよいかもしれません。

ヒュレに関して、「プロテ・ヒュレ」なる重要な用語があります。原語で *πρώτη ύλη* です。プロテとは、最初のとか、第一に、という意味を持つ接頭語で、ラテン名でプリマ・マテリア (prima materia)、英語では primary matter です。日本語では、第一質料、第一物質、あるいは根源物質、始源物質などと訳されます。

アリストテレスによると、現実存在するヒュレ（素材・物質）は何らかのエイドス（形相）によって限定され、一定の性質、量を持っています。これに対して、そのような一切の限定を取り去った究極に考えられる純粹の素材そのものが「プロテ・ヒュレ」なのです。生成・消滅・変化などの現象は、事物の根底にあるこのプロテ・ヒュレが一つの形相を失って、他の形相を受け入れるものと考えられました。この考えで四元素説が成り立っています。

■ むすび

言葉は生き物で、同じ言葉でも時代とともに意味が変わっていきます。エレメント、プリンシプルという語は、古代ギリシャの物質用語のストイ케이オンとアルケーから生まれ、区別をつけにくいようにも感じます。区別して「元素」「原質（原素）」と訳してみても、わかりにくいのは同じです。これらの用語は中世を経て近代にいたると、どのように変貌していくのでしょうか。



文献案内

- 山本光雄編『初期ギリシャ哲学者断片集』（岩波書店、1958）。
- 『アリストテレス全集』第3・4・5・6、12巻（岩波書店、1968～1969）。各巻の収録著作名、訳者名は略。

時代に応じた教職の魅力づくりの方策を

押尾 賢一 / おしお けんいち

東京学芸大学卒。都内の小学校2校に教諭として15年勤務し、その間学年主任・研究主任・教務主任を務める。その後墨田区教育委員会指導主事、東京都教育庁指導部統括指導主事・主任指導主事として環境教育、初等教育の課題に取り組む。墨田区立堤小学校長、葛飾区教育委員会指導室長、横浜市教育委員会教育長を務めた後、東京学芸大学客員教授、秀明大学学校教師学部教授・教職支援センター長、東京女子体育大学教授として教員養成に努めた。退職後は足立区教育委員会教科指導専門員として5校の若い教員の授業指導に当たった。現在は日本義務教育学会の事務局長を務める。



1) 教員の成り手が減少

昨年10月中旬に発表された東京都の教員採用試験の二次合格者の最終倍率は1.5倍となり、前年度の2.4倍から下回った。通常、3倍を切る採用に有用な人材は少ないと言われるが、果たしてこのままの状況でよいのだろうか。

ニフティ株式会社が昨年4月に公開したアンケートの結果によると、小学生が就きたい職業の第一位は漫画家、アニメーター、イラストレーターで、第二位は医者、第三位は学校の先生となっている。中学生では第二位に学校の先生がくる。子供にとって学校の先生が一番身近な存在でありかつ家族以外の大人であるので、妥当な調査結果であると考えられる。子供も映像などでさまざまな職業を見聞きしているが、学校の先生は魅力的に映る職業であることに間違いはない。しかし、現実として教員志願者の増加に繋がらないのはなぜか。成長とともに職業観も変わると思うが、倍率が下がり、回復しないことのどこに課題があるのか考えたい。

2) 教員免許の簡略化へ

教員免許を取得する際、教科によって単位数が異なる。小学校全科が一番多く、教職の共通単位と教科・教科法を履修する。小学校ではよほどの事情がない限り全教科を指導することはない。音楽や図工等は専科の教員が配置されており、現在も第二種免許として教科を絞った免許もある。そこで、小学校全科を現在の第二種免許程度にし、現在の第一種免許を僻地全科免許として、学生が小学校全科を取得しやすくしてはどうか。履修教科も国語・社会・算数・理科・生活・英語の6教

科として小学校低学年の対応も可能な免許とする。音楽・美術・図工・家庭・体育は現在も小中高共通で試験区分があるから、全科から除外することは不可能ではない。

3) 採用試験の簡略化

採用試験が課題である。区分を小学校、中学校、高校、特別支援、共通と大きく分けている自治体が多い。中には教員の採用後を見据えて、小中を同じ区分にしているところもある。複数の免許を取得することを勧めている大学もある。筆者も大学では小全と中高体育を両方取得することを勧めた。

採用試験の区分も時代によって少しずつ変わってきた。東京都では、小学校に英語コースの区分が誕生した。そこで、区分を「義務教育」「中等教育」「高校」「共通」の4つにして、中等教育から教科の細分区分を置くことを提案したい。小全だけは「義務教育」であるが、教科免許は「義務教育」「中等教育」「高校」が受験できる。複数免許の取得を目指す学生の選択肢に広がりを持たせることが可能となる。

4) 採用試験の時期を早める

現在の採用試験は、地方ごとにほぼ一斉に行っている。この試験を現在より一か月早い6月に実施し、民間の採用面接と同時期に行うことを勧めたい。二次試験は7月に実施して、9月には結果を発表する。合格者が不足する場合には第二回の採用試験を11月に行い、年度内に発表する日程が構築されることを望む。受験の時期を早めて民間に流れていた優秀な人材を確保するのである。その上、合格者を希望地ごとに割り振り、学校の指導補助やアシスタントとして採用すれば、教師として

の意識づけや技能向上も期待できる。

採用試験の早期化は優秀な人材の獲得と合格後の学校での本格的な教師の育成が可能となり、学校にとっても人材が入ることによって層が増すことになる。教師になってからは力量をつけさせることを行えばよいのである。

5 D 教師の仕事の再吟味を

「教師の仕事はブラックだ」という指摘がある。東京都の教員の勤務時間は、通常 8 時 15 分から 16 時 45 分までとなっている（休憩含む）。しかし実態は小学校の例で見ると、児童の登校が 8 時開門なので教員は 7 時半から 8 時には出勤する。出勤から 15 時頃まで空いた時間以外は教室で児童と向き合っている。一週 29 コマ。音楽や図工の専科教員の時間は時間が空くが、家庭との連絡や管理職への報告、子供のノートの見直し、次の授業の用意などに充てるので休憩ではない。小学校全科は満遍なく教科を学ぶので、教員の得意とする教科以外は事前に内容や教材を授業前に見て準備しておくことも多い。また校内の分掌の仕事もした上で、保護者との連絡も必ずしなければならず、身がいくつあっても足りない状況である。連絡帳やメールへの記入も重要視する。

教師の働き方改革で学校も努力している。①出退勤時刻を記録する。勤務の実態を自ら気づくことに繋がる。②打合せを減らす。朝の会のはほぼ無しで夕方会を行う。必要事項は校内メールで連絡する。必要最小限の会議となっている。③出張等も最小限にしてオンラインで済ます。

学校教育の現場には、努力以上にさまざまな要請がある。

例として「主権者教育」「がん教育」「ヤングケアラー問題」など「〇〇教育」が教員の負担となっている。しかし社会の要請を無下にはできない。そこで、それぞれの教育の専門家にゆだね、教員の仕事とは別にしたい。文科省も学校に多様な人材を入れ、教員の負担減を図っている。さらに専門家を招聘したり巡回指導とする制度が構築されることを願う。課題には専門家の力を導入する分担分業が教員の負担減になる。

6 D 学習指導要領の内容の選択を増やす

学習指導要領に示されている配当時間を変更せず、指導内容を精選して、学校や教育委員会が内容を選択する履修の仕組みを構築したい。

①ステージごとの数年にわたる学習を可能とする。小学第1～4学年をファーストステージ、第5・6学年をセカンドステージ（義務教育学校は7年を含む）、中学はサードステージとして、教科の履修に時間をかけ、個別最適な学びの一層の充実を図れるようにする。問題解決的な学習に対しての時間的な制約が薄れることから発表等の表現を充実することが可能となる。

②時間割の柔軟な編成をする。午前に国語等の主要教科の科目を置き、午後は体育、音楽、美術、図工、家庭技術、特活の時間割を組み、専門家の活用を含めた授業の仕組みを創る。欧州や豪州の学校で行われている学校風景である。

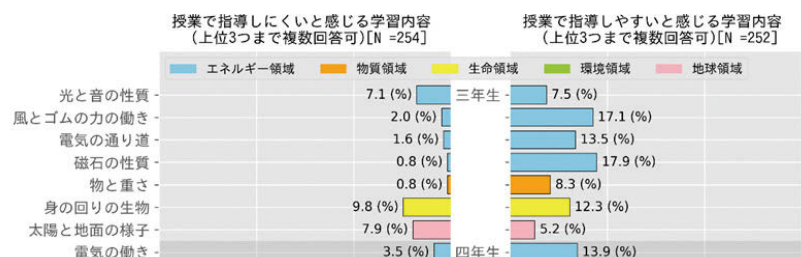
学校や教育委員会が主体となって児童生徒の学びの形を考えれば現行学習指導要領の一部の改訂で学校や教育委員会独自の令和の学校づくりができる。そのことは教員の受験志望者の増加につながり、プラスの循環に変わるのである。❖

D 調査データから見える課題点

茨城大学教育学部 教授 小口祐一

東京懇談会で実施したアンケートについて、「学習内容」の観点から得られた結果を紹介いたします。算数・数学、理科、外国語の3教科を対象にして、授業で指導しやすいと感じる学習内容と授業で指導しにくいと感じる学習内容を調査しました。例えば、小学校理科では、3年「磁石の性質」「風とゴムの力の働き」が指導しやすく、4年「月と星」、6年「土地のつくりと変化」が指導しにくい学習内容にあげられました。

指導しにくい主な理由は、「実験・観察が行いにくい」という結果でした（2019年調査）。この結果を受けて、気象観測の画像などを利用した授業アイデア例を提案しています（Rimse 東京懇談会研究紀要特別号，2021）。



未来を生き抜く子どもたちに 「考える力」をプレゼント ～本巣市『数学のまちづくり』～



岐阜県本巣市 教育長

川治 秀輝 / かわじ ひでき

「生きる主体者」を育てる本巣市の教育

岐阜県本巣市は、日本の近代数学の父・高木貞治博士（1875～1960年）の出身地です。「ふるさとをルーツに 未来を切り拓き たくましく生き抜く子」の育成を目指す本巣市では、郷土の偉人として、高木博士を顕彰してまいりました。「数学のまちづくり」は、そのことが取り組むきっかけではありましたが、社会の変化と今までの教育の課題を捉え、子どもたちの未来を見据えた「人づくり」を目的としています。与え続ける教育、暗記型知識詰め込み教育で、自立できず主体性を失い、受け身の指示待ち人間や、従順なマニュアル人間を育ててしまった日本の教育から、自分の頭で主体的・論理的に考え、答えのない問題に最善解・納得解を導き出し、自己決定・自己選択を繰り返し、自立できる子どもを育てる教育へと変革を起こす「数学のまちづくり」です。自ら課題を発見し、問題解決を繰り返しながら、自分の人生を切り拓き、社会に貢献できる「生きる主体者」を育てることが私たち教育者の使命です。

「数学のまちづくり」のコンセプト

子どもたちに「考える力」をプレゼントするのが「数学のまちづくり」のコンセプトです。考える力を育むためには、「なぜだろう、知りたいな」「数学って面白い」と感じるのが最も大切です。その不思議さや面白さを子どもたちに伝えるために、東京理科大学の秋山仁先生に数学のまちづくり学術アドバイザーに就任していただき、さまざまな企画を進めてきました。従来の学習スタイルではなく、思考力が必要なユニークな問題に挑戦する取り組みや、地元大学の教授、高専生や高校生が小中学生の学びをサポートする事業などを展開し、自分でよく考える力を育てています。

(1) 小中楽校

従来の学習スタイルではなく、考えがいのある問題を授業で扱う本巣市独自のカリキュラムを実践しています。また、

学んだことを応用して子どもが作問し合うなど、思考力を高める学習活動を位置付けています。

(2) 数楽校

自ら求め、主体的に「学びたい」「伸びたい」という子どもをどんどん増やす取り組みです。算数・数学に対する興味関心を高めるとともに、楽しみながら考える力を身に付けられるように、算数・数学の基礎的な講座や発展的な講座、幅広い分野を横断した講座などを開設しています。

① 算数・数学検定楽校

日本数学検定協会の検定合格を目指す楽校です。小中学生を対象に、地元の岐阜第一高校や本巣松陽高校、岐阜工業高等専門学校の生徒がマンツーマンで教師になり学習サポートをします。小中学生は解いた問題を高校生に採点してもらったり、解き方を教えてもらったりしてワクワクしながら学んでいます。高校生も、図を使って説明するなど、教え方を駆使することで表現力やコミュニケーション力を高めています。小学生と高校生が顔を見合わせて微笑む姿が、学びの楽しさを象徴しています。



図1 高校生と小学生の温かいふれあいが生まれるのも醍醐味

② ジャンプアップ楽校

岐阜工業高等専門学校の教授の下、中学生が高校の問題に挑戦します。より高度な知識や数学的な思考を学び、日本数学検定協会の「準2級」の合格も目指します。

③ STEAM 楽校

科学 (Science)、技術 (Technology)、工学 (Engineering)、芸術 (Arts)、数学 (Mathematics) を融合した STEAM

楽校を通して、「錯覚の不思議と数学」「誰でも作れる lot」など、さまざまな探究プログラムを小中学生を対象に、年間6講座を開講しています。創造的で横断的な学びの喜びを感じながら論理的思考力を育成しています。

(3) 算数ウォークラリー

市内小学5年生が、高木博士ゆかりの地を、ユニークな算数の問題をチームで解いて歩きます。土曜日開催ですが、市内全5年生の40%以上が自主的に参加し、高木博士の生涯に思いを巡らしながら問題に挑戦しています。

(4) 算数・数学甲子園

子どもたちがひらめきや発想を生かして、算数・数学の本質に迫るユニークで解き応えのある問題に挑戦する「算数・数学甲子園」は、令和4年度で25回目の開催となります。県内外の学校から約450名が参加しています。思考力を必要とし、解く楽しさのある問題となるよう、小中学校の教諭や岐阜高専教授などによる「数学校研究会」を立ち上げ、岐山高校数学研究部の生徒も交えて問題を作成しています。

(5) 本巣市数学のまちづくり学術アドバイザー



秋山仁先生

中島さち子先生

子どもに本物との出会いを与えるコンセプトから、秋山仁先生と中島さち子先生に「本巣市数学のまちづくり学術アドバイザー」に就任していただき、講演会を開催したり、数学のまちづくりへの助言をいただいたりしています。

秋山先生には、さまざまな教具での実演や子どもの体験を通して、世の中は数学で成立していることや数学の不思議さ・魅力を伝えてもらっています。中島先生は、音楽と数学の結びつきをピアノ演奏やアートを融合して講演されます。本物との出会いは、子どもたちの心を大きく動かし、好奇心に火をつけます。

(6) 数学ワンダーランド～数学おもしろ体験館～

東京理科大学の「秋山仁の数学体験館」と同じ教具を通じ

て数学を楽しみながら学べる施設「数学ワンダーランド～数学おもしろ体験館～」を2019年に開館しました。サイクロイド滑り台や多面体パズルなど、体験を通して数学の不思議さや面白さへの好奇心をかき立て、思考力を高めています。市内の全小学4年生が数学ワンダーランドを訪れ、数学のおもしろさを体験的に味わいます。休日など、いつでも誰でも体験ができるよう、数学のまちづくりコーディネーターや学生ボランティアを配置しています。



図2 二項分布パチンコ



図3 サイクロイド滑り台

(7) さんすう脳を育てる親子知育教室

幼児園年中から小学1年生を対象に、「さんすう脳を育てる親子知育教室」も開催しています。数学ワンダーランドの知育玩具を用いた遊びを親子で体験し、保護者が幼児期に大切な知育について理解するとともに、数学的なアプローチにより幼児の考える力を伸ばしています。

おわりに

これらの取り組みを通して手応えを感じていることは、算数・数学をはじめ、勉強が好きになったという子が増えたこと、さらには自分から求めて数楽校やSTEAM楽校などに参加する子が増え、思考力を高めていることです。数学以外の事業への参加者も増え、主体性が高まったとも感じています。論理的思考力は、表現する力や議論する力も包括しており、相乗効果を感じています。生徒会サミットなどで、根拠を基に自分の考えを伝え、仲間の発言からさらに深く考えるなど、質の高い議論に変わってきました。

「数学のまちづくり」は、未来を見据えた「人材育成」です。今後も、子どもを主役に、子ども自身が思慮深く物事を考え判断し、夢と希望をもって自分の未来を創り上げていく力を培っていきたくと考えています。



・・・編集後記・・・

「算数・数学の自由研究」作品コンクールは、おかげをもちまして、節目となる第10回を迎えることができました。これからも、多くの皆さまからのご応募をお待ちしております。

次回も引き続き、「探究的な学習活動の充実」について特集します。

(財)理数教育研究所 事務局

「否定」その1

数学用語と日常の言葉のズレ

サイエンスナビゲーター® 桜井 進/さくらい すずむ

晴れたら遊園地に行こうね、約束だよ

【土曜日、親子の会話】

坊や：パパ、明日遊園地に行きたい！

パパ：そうだね、晴れたら行こうね。

坊や：約束だよ。

【当日の朝、雨模様】

パパ：雨だね、今日行くのはやめよう。また今度にしよう。

坊や：え～、なんで！ 雨でも行きたい！ 行こうよ、パパ。

パパ：晴れたら行くって約束だっただろ。晴れなかったから行かない。

坊や：そんなのいやだ。行く行く。連れて行って。

数学だけでは日常の問題を解決できません。しかし、解決を探る中で、当事者による数学の思考は大切になります。この親子のコンフリクトに対して、読者の方なら第三者としてどう助言するでしょうか。

筆者ならこうです。パパの言い分は不合理。なぜなら前日の約束は晴れた場合についてだけのもので、雨の場合については何も約束されていない。したがって、雨が降った場合については両方で協議が必要。しかし、パパは相談・協議もせずに勝手な言い分を坊やに押しつけようとした。この罰として坊やの言い分を認め、遊園地に行くという判断が妥当である。

逆必ずしも真ならず/裏必ずしも真ならず

命題：「P ならば Q」が真である場合、逆：「Q ならば P」は必ずしも真ではありません。これは「逆必ずしも真ならず」として知られています。同様に、裏：「P でないならば Q でない」についても必ずしも真ではありません。「裏必ずしも真ならず」です。ところが、対偶：「Q でないならば P でない」は必ず真です。命題とその対偶の真偽は一致することが証明されます。元の命題の証明が難しい場合、その対偶の証明のほうがやさしいことがあります。

どちらかが「裏必ずしも真ならず」を知っていれば

前日にパパが約束した「晴れたら行こう」には、その裏で

ある「晴れなかったら行かない」は含まれないことをどちらかが知っていれば、前日の協議は次のようになったでしょう。

パパ：そうだね、晴れたら行こうね

坊や：やった～。約束ね。

パパ：でも、晴れなかったらどうしよう。

坊や：雨でも行きたい！

パパ：わかった。雨の降り具合では遊園地自体が閉園になる場合もあるだろう。小雨だったら行こう。大雨だったら中止ね。

坊や：そうだね。わかった。そうしよう。

微妙な天候の場合はどうするのか

晴れの定義がコンフリクトの原因になる場合もあります。

パパ：寒いし、曇っているし、雨が降りそうだから今日は止めにしよう。

坊や：え～、大丈夫だよ。雨は降ってない（晴れのうち）ので行けるよ。大丈夫、行こうよ！

微妙な天候に対し、パパは晴れでない、坊やは晴れ（正確には晴れでないとは言えない）と考えています。人は往々にして自分に都合がよいように定義を変えます。前日の協議では、命題の裏と同様に、晴れの定義についても検討しておくべきだったとわかります。

無駄な争いを減らすには

このように日常会話では「裏必ず真」が暗黙の了解になっている現実があります。そのことを前提に私たちの会話が成り立っているということです。したがって、このことを変える——「裏必ずしも真ならず」を前提に交渉を行う——のは難しいことです。

しかし、日常会話による交渉には数学的思考が求められます。それがないと親子の約束でさえコンフリクトが発生します。これが大人同士の社会の中ではさらに深刻になります。「裏必ず真」を承知した上で、「裏必ずしも真ならず」を忘れずに交渉することが肝です。

「晴れたら行こう」で終わりにせずにその裏——晴れなかったら行かない——さらには定義——どこまでを晴れとするか——と交渉・話し合いを深めることができれば無駄な争いを減らすことにつながります。日常会話においては、日常の言葉使いか数学の言葉使いかの選択ではなく、その合わせ技が肝要だと言えるでしょう。