

拡がる数学

日本数学コンクールの紹介

大阪公立大学数学研究所

伊師 英之

1 はじめに

社会全体から数理科学教育の振興がますます求められている昨今ですが，そのための最も重要な鍵は「生徒に面白い問題を出す」ことにあると考えます．解けるまで何日でも考えずにはいられないような魅力的な問題こそが，意欲のある生徒を惹きつけ，より深い学習への動機付けとなるのです．この点において，毎年様々なかたちで開催される数学系のコンクールは重要な役割を果たしていますが，なかでも我々の「日本数学コンクール」はその独特の出題によって一定の貢献をしてきており，これからも貢献していきたいと考えています．

日本数学コンクールおよび日本ジュニア数学コンクールは小中高校生を対象にしたイベントとして約 30 年間にわたり名古屋大学によって開催されてきましたが，2022 年以降は名古屋大学大学院多元数理科学研究科と大阪公立大学数学研究所の共催イベントとして，オンラインの形式で行っています．本稿では，次節で日本数学コンクールの始まりからコロナ禍の影響をうけた 2020 年度コンクールまでを振り返り，第三節で共催イベントとして再出発した現行のコンクールを紹介し，第四節で生成 AI の出現という大きな転機を迎えたコンクールの未来について私見を述べます．

2 過去の日本数学コンクール

1990 年は，京都で国際数学者会議が開催され，森重文氏がフィールズ賞を受賞し，国際数学オリンピックに日本が初参加したことなど，本邦において数学の話題が多く聞かれる年でした．日本数学コンクールの初回は，この年の 11 月に大学と高校の数学教師有志の集まりを母体とした「日本数学コンクール委員会」によって名古屋大学の事業として開催されました．参加者は 566 名で，その大多数は高校生でしたが，小中学生の参加もありました．出題された問題のタイトルは「将棋の駒」「物価指数の予想」「平均的に混ぜる」「イースト菌の繁殖」というもので，応用数理の趣のある問題が多くみられます（コンクールでこれまで出題された問題とその

解説は、日本数学コンクールの Web サイト <https://sites.google.com/view/jmathcon/> で読むことができます)。イースト菌の増殖のモデルを提示し、その数学的な説明を要求するという問題「イースト菌の繁殖」の講評は、『この問題にはいわゆる正解はまだない、今手許にあるのは多分こうに違いなかろうという予想と、この方向でなんとか真理にたどりつきたいとする情熱だけである。正解がない以上は誤まった答えもまたありえない、極論すれば、この問題に真剣に取り組んでくれた人々のすべてが正解であり、表彰に値するはずである。』という文章で始まっています。このような、正解のない問題、数学に落とし込むことそのものを問うような問題も出題することは、(ここまで極端な問題は少ないですが) 本コンクールの伝統となりました。

第2回からは開催日を夏休みに移し、1997 年からは小中学生の参加者を分離させた「日本ジュニア数学コンクール」がつくられます。その後も「自由にゆったり考える」「楽しい数学の発見」「多彩な才能の評価」「優れた人材の育成」という4つのスローガンのもとで色々な変遷を経て2つのコンクールは毎年開催され、幾多の個性ある問題が出題されました。それらから選りすぐりのものを解説した本として大沢健夫「寄り道の多い数学」(岩波書店)があります。

2019 年には第 30 回日本数学コンクールと第 23 回日本ジュニア数学コンクールが開かれましたが、この年を含む 2010 年代後半の開催形態は以下の通りです。

- コンクールは、ジュニア(小中学生)個人戦、シニア(高校生・高専生)個人戦、ジュニア団体戦、シニア団体戦、の4部門に分かれ、それぞれの部門で大賞、優秀賞、優良賞、奨励賞を決める。大賞は0~2の個人・団体が受賞、優秀賞・優良賞・奨励賞は数個ずつ。団体戦に参加する1チームは4名以内で、小中高生混合のチームはシニア扱いとする。
- 名古屋大学のほか、大阪・三重・和歌山・福井の高校や公共施設など5会場で開催。解答時間は10:30~16:00の5時間半で、12:00以降は昼食や休憩のために教室から自由に出ることができる。
- 4~5問を出題。ジュニア専用・シニア専用の問題もあれば、共通の問題もある。全てに解答する必要はなく、1問だけでも答案に優れたものがあれば、それを高く評価する。
- 書籍(電子書籍含む)やノートの持ち込みは自由。インターネットの閲覧も可能。ただし、メールや掲示板で問題について相談するのは禁止。無論、自チーム以外の人と対面で議論することも禁止。

このような1日で完結する「本選」のほかに、「論文賞」という別の形式のコンクールが2000年から始まりました：

- 6月上旬にポスターの形で出題される問題についての論文、または自由に選んだ題材について研究した論文を郵送で提出。締め切りは9月上旬。共著も可（人数制限なし）。
- 本選の出場者に限り、本選の問題についてコンクール終了後に新しいアイデアを考えつければ一週間以内に論文としてまとめて提出できる。本選の出場者同士ならば共著も可。この制度は「感想戦」とよばれた。
- ジュニアとシニアの2部門に分かれ、それぞれ金賞・銀賞・銅賞が決まる。小中高生の混成チームはシニアとして扱う。

コンクール受賞者の表彰式は11月上旬に名古屋大学で開催されました。表彰状授与や記念撮影の後、出題責任者の実行委員が問題解説をするポスターセッションが行われます。生徒とスタッフが顔を合わせて議論できる絶好の機会であり、会場は知的刺激に溢れた活気のある雰囲気になります。

表彰式のほかにも、コンクールのフォローアップセミナー「数理ウェーブ」が年に8回開催されました。そのうちの1回はコンクール受賞者による講演ですが、残りの回では様々な分野の研究者や大学院生による講演が行われました。小中高生に限らず一般市民に公開（無料・登録不要）され、毎回多くの聴衆でにぎわいました。幸いなことに、多元数理科学研究科の大学院生にとって数理ウェーブで講演することがある種のステータスになり、競い合うように素晴らしい講演をしていただきました。

コンクールの運営体制について説明します。2010年度以降の「日本数学コンクール委員会」は名古屋大学副総長を委員長とし、多元数理科学、理学、工学、情報学、経済学の各研究科長、コンクール実行委員長、本部事務局の運営局長、研究協力部長をメンバーとする組織となり、その下部組織である「日本数学コンクール実行委員会」が問題作成を含む運営の実務を担うこととなりました。この実行委員会は、上記研究科から派遣された教員と、他大学および中学・高校の教員などからなる組織で、それぞれの立場から問題のネタを持ち寄り、議論して磨き上げた問題を出題し、当日の試験監督や採点なども行いました。実行委員会に数理経済学や数理工学、情報学など様々な視点と専門性を備えた研究者が加わったことで、コンクールで出題される問題は一層広く深くなったように思います。中高生向けの問題をつくる過程は、その分野の基礎的な考え方に触れるチャンスでもあり、純粋数学者である筆者にとっても視野を広げるきっかけとなりました。長年コンクールの問題作成に携わってきたベテランの高校教員から学ぶことも大変多く、親しくなった先生方

から高校の出前授業や教育研究会の助言者を依頼されるなど、実行委員会を通して高大連携や異分野連携の重層的なネットワークが形成されていく実感がありました。

重要なのは生徒たちに面白い問題と楽しい体験を提供できたかどうかです。これについては、答案を通じて感じる生徒の熱量や、当日の雰囲気、東京や神奈川からの参加者、リピーターの存在が、手ごたえを感じさせてくれました。夏の暑い日に、5時間半も連続して数学を考え続けるということは、生徒にとってなかなか出来ない体験だと思います。団体戦は遠足のような雰囲気で、お菓子を食べながら計算したり議論したりして楽しそうでした。一人では参加しないようなタイプの生徒でも、友達に誘われて数学を考える楽しさを味わえたことは、数学好きな生徒の裾野を拡げるという点で、大きな意義があったといえます。一方、個人戦の会場は空気が全く違い、張り詰めた表情をしている生徒が多く見られました。個人的に強く思い出に残っているのは、結び目理論を題材にした2015年度の問題「イヤホンの絡まり」で、ある参加者は5時間半この問題だけを考え続け、解決には至らなかったけれど誰よりもアイデアに富んだ答案を提出したことです。この参加者はコンクール終了後も夏休み中ずっとその問題を考え続けたと聞きました。このようなエピソードは他にもいくつもあります。このように生徒たちに夢中になって考えてもらえる問題を出題できたということが、コンクールが成功したことの何よりの証だと筆者は強く思います。

2020年度のコロナ禍において、対面でのコンクールの開催は不可能でした。中止という選択肢もあったのですが、コンクールを楽しみに待っている生徒のために何としてでも開催したい、という意志のもと、本選は個人戦のみをオンラインで行うことにしました（論文賞では単著のみ認めることとした）。手探りで準備をすすめ、開催日を10月25日（日）と設定し、その日の試験開始時に参加者に問題をメール配信、終了時までに参加者から解答をメールで受信するという形で本選を実施、オンライン面接で候補者の知識を確認するというプロセスを経て、受賞者を決定しました。何とか無事に終わったのですが、様々な環境の小中高生を相手にITを通じてコミュニケーションをとるのは非常に労力がかかり、事務の方々の負担は限界を超えました。そして、諸事情も重なって、名古屋大学の事業としてこのままコンクールを継続することは困難という判断がなされ、2021年度のコンクールは行わないことになりました。

3 現在の日本数学コンクール

コンクールを再開するために、負担の少ない持続可能な新しい運営形態を模索するなかで、名古屋大学大学院多元数理科学研究科と大阪公立大学数学研究所の共催イベントとして、論文賞に近いたちで開催するというアイデアが浮上しました。数学研究所は、研究と教育は一体であるという理念のもと高等学校・大阪市立大学連携数学協議会（連数協）を

組織するなど高大連携に力を入れており、しかも連数協のメンバーには日本数学コンクールの大阪会場で世話になった先生方がいました。2022 年は大阪市立大学と大阪府立大学が統合して大阪公立大学が開学する年であり、非常に大変な時期ではありましたが、新しいことを始めやすい環境ともいえました。

共催する二つの部局の教員が数人ずつ入った日本数学コンクール運営委員会が新たな運営組織となり、その下に日本数学コンクール実行委員会が置かれ、これまでの実行委員会のメンバーに、大阪公立大学の教員と大阪府の高校教員が加わりました。コンクールの再出発にあたり沢山の方の助力がありましたが、とくに大阪高等学校数学教育会からの協力はありがたいものでした。

2022 年度からの日本数学コンクールおよび日本ジュニア数学コンクールでは、個人戦と団体戦の区別や本選と論文賞の区別がなくなり、よりシンプルな形となりました。

- 6 月 30 日に Web サイト上で問題を公開。個人または 4 人以下のチームで取り組み、8 月 31 日までに Web 上のシステムから解答を提出。提出をもって参加登録とする。自由課題論文も同じシステムで 8 月 31 日までの提出をもって参加登録とする。
- コンピュータの利用は自由。書籍およびインターネットの利用は、参考にしたページを明記したうえで可能とする。しかし自チーム以外の人間と問題について相談することは禁止する。
- ChatGPT などの生成系 AI を使用した場合は、そのツール名と鍵になった質問と回答の要点を提出する（この規定は 2023 年度から）。

残念ながら夏の遠足のようなイベント感はなくなりましたが、競技数学や受験数学のように制限時間に追われることはなくなりました。これまで本選で出題してきた問題には深く掘り下げることができるものが多く（Web サイトにある問題解説参照）、数時間で考えるのをやめるのはもったいないと感じられましたが、新しいコンクールでは、何日でも問題を考え続けてもらえます。そして、どの問題についても、自由に設定を変えたり一般化を考えたりして、それについての自分の研究を書くことを大いに推奨しています。つまり本コンクールは、競技数学から、より研究に近い数学を生徒たちに体験させるイベントになったといえます。したがってイベントとして成功させるには、間口は広く手が付けやすいけれど、何か月も取り組めるほど奥が深いという問題を提供する必要があります。2026 年度の問題「気になる木の葉の枚数」「分数小町算」「タイル張りの数列」「パズルクリエイター」「席を散らしたい」は、そのような問題だと信じて出題していますが、肝心なのは生徒の目にどう映るかで、それは答案提出期限（8 月 31 日）を過ぎるまで分かりません。

提出された答案は一つの論文とみなされ、自由課題論文と同じ基準で評価されます。評価の主なポイントは、

- ・着眼点が数学的にユニークか？
- ・議論の展開と成果に数学的な内容として見るべきものがあるか？

です。ジュニア・シニアのそれぞれで大賞・優秀賞・優良賞・奨励賞が決定され、表彰式は12月に大阪公立大学で対面で開催されます。表彰式の問題解説において参加者と実行委員がポスターやホワイトボードを見ながら数学の話を交わせるのは今までと同じです。フォローアップセミナー「数理ウェーブ」は、受賞者の講演会として1月に名古屋大学で開催します。本選がなくなってオンライン主体となったので、生徒と対面で会えるのは貴重な機会です。コンクールの運営は正直苦勞が多いですが、生徒たちの楽しそうな顔を見ることで報われます。

4 未来の日本数学コンクール

コンクールが対面イベントから投稿型のオンラインイベントになったことで、参加者には自由にゆったりじっくり数学を考えてもらえるようになりました。しかし生成AIの出現によって次のような難問に直面しています。すなわち、生成AIを使って準備した答案と、生成AIに書かせた答案にどれだけ違いがあるのか？前者を評価して後者を却下することに意味がないとしたら、両者を却下するしかないのか？（「答案」を「学位論文」に置き換えてみてください。）対面イベントならば、電子機器の使用を禁止することがシンプルな解決法となります。しかし日本数学コンクールは、書籍やノート、PCの持ち込みを許してきました。使えるものはなんでも使うという研究の現場のように、問題に取り組んでほしいと願ってきました。生成AIの使用を禁止することは、そういった志に逆行するので選択肢になりません。

前節で述べたように、生成AIの使用についての現行のコンクールの規定は「使ったツール名と鍵になった質問と回答の要点を提出する」という自己申告性です。今年度出題の「気になる木の葉の枚数」と「分数小町算」では問題文中でも生成AIの使用についてのスタンスを述べていて、後者では『自らの頭のみで考え記述した答案も、そのことを考慮して、十分な評価を与えます』と書いています。異色の出題なのは「パズルクリエイター」で、これはパズルの解ではなく、パズルの問題を、しかもできるだけ面白い問題を、与えることを要求しています。パズルの面白さ、という感受性を扱うところに生成AIではなく人間の出番があるという期待があります。

本コンクールでは、当分は問題ごとにケースバイケースで生成AIの使い方を評価していくことになりそうですが、あくまで私見では、生成AIをどんどん使って人間だけでは解決

に届かない問題に挑戦する，という方向が（コンクールだけではなく学術全体として）主流となると予想しています．一方で，人間の頭だけで解ける問題も楽しいパズルとして残っていくでしょう．こちらについては，和算の遺題継承のように，参加者同士が問題を出し合って楽しむプラットフォームを提供できれば面白いと思います．知の地平を拓ける興奮と，自分の頭だけを使って問題を解くことの楽しさ，この二つを参加者に体験させるコンクールのあり方を，今後も模索していく所存です．

最後になりますが，日本数学コンクールを紹介するこのような機会を与えていただいた「数学通信」編集部に感謝いたします．