

外から見た数学—物理出身翻訳家の視点から

青木 薫

わたしはポピュラーサイエンス、つまりごく一般向けの科学書の翻訳を手がけています。出身は理論物理学なのですが、ポピュラーサイエンス翻訳を仕事にする以上、自分の専門ばかりを扱っているわけにはいきません。そこで、理学部の構内で行われているような活動については、泥縄でも勉強してやらなければ、という気持ちで仕事をしてきました。しかし四半世紀仕事をしてくるなかで、理系分野だけでなく、科学史とか、科学論や科学哲学も勉強しなければならないことがわかってきました。そんなわけで、物理を中心に据えつつ、その周辺のさまざまな分野を眺めざるをえないという状況になっています。

そんなわたしですが、数学は近くて遠い存在です。物理と数学は分野的にはいちばん近いはずなのに、ほかのどの分野よりも、案外遠いのかも、と感ずることがあるのです。

このたびこのような貴重な機会を与えていただきましたので、常日頃、数学者のみなさん自身はどう感じていらっしゃるのだろうか？と思っているテーマを、三つほどお話しさせていただこうと思います。質疑応答の時間に、みなさんのご意見を、ぜひお聞かせいただければ幸いです。

その三つとは次のものです。

- 一 数学者は天才か
- 二 数学は思想か
- 三 数学は実在か

順にそれぞれの疑問について主旨を説明させていただき、最後に、もう少し具体的な形で言い換えたいと思います。

■数学者は天才か

一番目のテーマは、「数学者は天才か」です。ポピュラーサイエンスの数学書では、「数学はものすごく抽象的で非常に難しく、そういう分野を研究している数学者は並の人間ではない」という雰囲気の様子が描き方をされることが少なくありません。数学が難しいというのは事実でしょうし、世間の人は数学に苦手観をもっていることが多いので、「数学がわからなくても大丈夫、あなたはごく普通です！」と語りかけることで、読者の共感をえやすいという面もあるのでしょうか。

しかし、「数学は難しい」というだけならよいのですが、「数学者というのは、かなり特殊な人たちだ」というのは、どうなのでしょう？もっとはっきり言えば、「数学者というのは、たいがい奇人変人だ」と言わんばかりの書き方をするライターさんもいます。しかし、それは本当なのだろうか？というのがわたしの疑問です。

わたし自身の経験を言えば、わたしが個人的に存じあげている数学者は、実は驚くほどまともです。その人たちは、数学でなくても、どんな分野でもきちんとした仕事をして成功するだろうな、と思うのです。数学会の大きな会議を運営するだけでもとても大変なことです。それに、物理学をはじめ、どの分野にも奇人変人はいます。それでもなお、数学は、奇人変人が多いということと、学問分野としての性質とが結びついているかのように言われることが多いように感じられるのです。

はたして数学者コミュニティは、本当に奇人変人率が高いのでしょうか？この問題に、数学者自身が答えているケースもあります。

たとえば、ロシアのアンドレイ・コルモゴロフは、人間の精神は、数学の才能が芽生えた時点で発達が止まってしまう、と言っています。コルモゴロフ自身の精神年齢は、十二歳だそうです。そしてコルモゴロフの見るところ、イワン・ヴィノグラドフという数学者の精神年齢は、八歳だそうです。八歳というのは、少年が蝶の羽をむしったり、猫の尻尾に空き缶をくくりつけたりする年齢なので、ヴィノグラドフはたぶんそのぐらいで数学の才能が芽生えたのだろう、ということのようです。

さて、みなさんご自身は、何歳ぐらいで数学の才能が芽生えたのでしょうか？

コルモゴロフとは別の考えをもっているのが、イギリスのティモシー・ガウアーズという数学者です。ガウアーズは、アンドリュー・ワイルズを例にあげて、あのような大きな仕事を成し遂げるためには、強い意思、忍耐力、他の数学者たちの重要な仕事をとことん勉強して身に付ける能力、どのタイミングで何を研究していたか、という運の要素が必要だと言っています。そして、それらに加えて、ずば抜けた戦略能力がなければならない、と力説しています。とくに最後の戦略能力が決定的に重要だそうです。ガウアーズが取り上げたような力は、奇人変人の力というよりも、どんな分野でも成功する人間に求められる力、という方が近いように思われます。

このガウアーズの説は、たしかに、ワイルズがフェルマーの最終定理を証明してからしばらくのあいだは、説得力があったように思います。しかしその後、ポアンカレ予想が証明されると、「数学者って、やっぱり奇人変人だよねえ〜…」という印象が世界中にばらまかれてしまったのではないのでしょうか。

さて、この場にいらっしゃる数学者のみなさんは、どのように感じていらっしゃるのでしょうか？数学者コミュニティは、奇人変人率が高いのでしょうか？それとも、ほかのコミュニティとなんら変わるところがないのでしょうか？のちほど、みなさんの率直なご意見をお聞きできれば幸いです。

■ 数学は思想か

二番目のテーマである、「数学は思想か」という話に入っていきたいと思います。哲学者という人たちは、長い歴史のなかで、普遍的に正しいこと、確実なことを明らかにしようとしてきたと言えるでしょう。有名な大物哲学者も、それほどでもない人たちも、みんな、自分はそんな普遍的真理をつかんだ、と思っていたのではないのでしょうか。

そういう「絶対」とか「普遍性」などを疑うことが哲学の重要な仕事のひとつになったのは、二十世紀も後半になってからのことで、知の営みの長い歴史のなかではごく最近と言えます。それまではずっと、確実に普遍的な真理が求められてきたと言ってよいと思います。

たしか知識を求めるとなると、当然、お手本になるのが数学です。数学的証明の確かさには、ほかのどの分野にもない特別なものがあります。とくにユークリッド幾何学は、学問の典範として大きな影響力を振ってきた……ということは、良く聞く話です。

だいぶ前のことですが、わたしはたまたまスピノザの『エチカ』や『知性改造論』をめくって、「ほおお、これがそのユークリッド幾何学の影響か」と思いました。エチカの正式なタイトルは「エチカ 幾何学的秩序によって証明された」ですから、そのものズバリです。じっさいその内容も、最初に定義があって、続いて公理があって、そこから先ひとつひとつの定理が証明されて行くという、ユークリッド原論のスタイルをとっています。

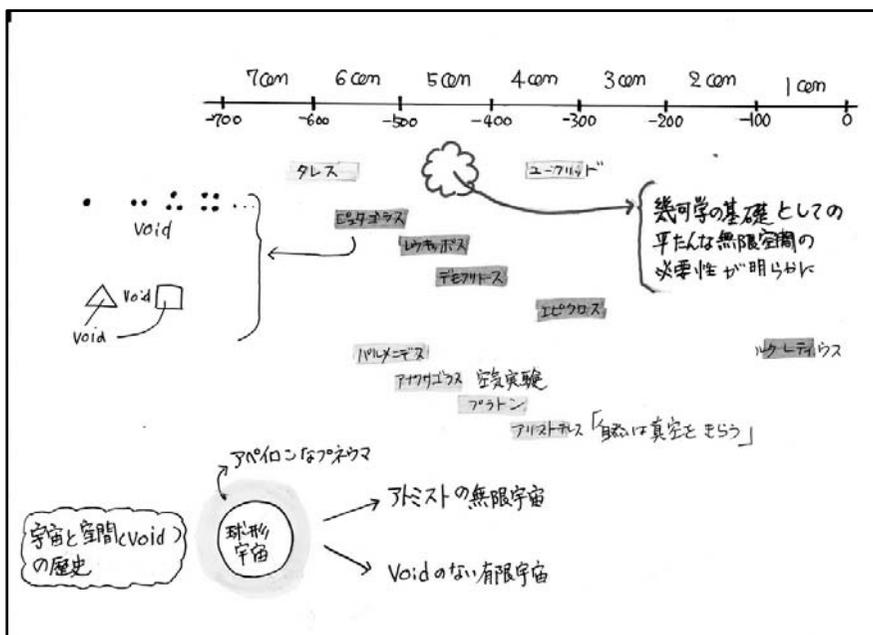
しかしわたしにとって、スピノザの議論は数学の証明の厳密さとは似ても似つかないものに思えました。単に自分の思想を述べているだけで、形式だけユークリッドをまねているだけではないか、と。そして、「数学が思想に及ぼす影響といっても、結局この程度か……」と思ったわけです。ところが最近になって、古代原子論とユークリッド幾何学との深い関係を知り、ハッとしました。そして、数学の思想への影響は、もしかすると途方もなく深く大きいのではないか、と思ったのです。その話をいたします。

古代原子論のことは、みなさんだいたいご存知のことと思います。おおざっぱにまとめると、まず、宇宙空間は無限の広がりをもっている。そしてその無限空間の中で、無限にたくさんの原子が動き回っている。原子が集合して構造を作ることもあるけれども、永続することはなく、やがてバラバラに崩壊して原子に戻る、そのプロセスが永遠に繰り返される。あらゆるものは原子からできており、すべては自然法則に従って起こる、ということになるでしょう。完全な唯物論、完全な無神論です。

だいぶ前にはじめて古代原子論のことを知ったときには、わたしはとくに感動す

るわけでもなく、「原子論というのは昔からあったのだなあ…」ぐらいに思っていました。しかしその後、原子論以外の古代の世界観を知るにつれ、原子論というのは信じられないぐらい過激な思想だ、と思うようになりました。まず、無限の空間というところが、ただごとではありません。無限というのは、素朴な人間の直観で把握できるようなものではないような気がします。じっさい、古代の宇宙は、原子論以外はみんな有限だろうと思います。

そうだとすると、いったい古代原子論を提唱した人たちは、どうして、そのような極端な世界観を抱くようになったのでしょうか？みなさんすでに予想されていると思いますが、その背景には、ユークリッド幾何学の成立が関係しているらしいのです。



ユークリッド幾何学が成立する以前からの、ギリシャ世界の宇宙観を簡単に見てみましょう。紀元前六世紀ぐらいまでの宇宙は、生き物でした。宇宙は丸い形をしていて、まわりは「アペイロンなプネウマ」つまりは周囲をぐるりと取り巻くプネウマ、というもので取り囲まれていました。プネウマというのは、空気とか息とか気息とか呼ばれるもので、宇宙はこれを吸い込んで生きていました。つまり、生き物である球形の宇宙のまわりを、それを空気のようなものがぐるっと取り囲んでいる。宇宙の内部にも、当然、吸い込んだプネウマがあるわけですが、それが、ものともとのを隔てる「すき間」になります。

さて、ちょうど六世紀ごろ、タレスにはじまるギリシャ世界の自然哲学が芽生えます。とくに今の話で重要になるのが、ピュタゴラスです。ピュタゴラス派の数学は、もっとも初期の原子論とみることができます。というのは、ピュタゴラス派の

人たちは、数を小石などで表していたからです。図中、●が、「単位」です。算術の単位も、幾何学の点も、物体の原子も、とくに区別されていたわけではなく、すべてのもとになる「単位」とされていました。たくさんの単位を切り離しておくのも、数列のあいだのギャップも、幾何学的な図形を隔てておくのも、空間でした。また、物体の中の、原子を隔てるすき間も、物体と物体を隔てるのも、すべてボイドでした。（ギリシャ語でコーラ）

その後、五世紀から四世紀ぐらいになると、それまでアペイロンなプネウマとか、ボイドと言われていたものは空っぽではなく、実は空気が存在している、真の虚空は存在しない、という考えが出てきます。その代表は、パルメニデス、アナクサゴラス、プラトン、アリストテレスです。たとえばアナクサゴラスは、革袋の中に空気を詰めて、堅い弾力のあることを示し、空気という実体がちゃんと存在しているのだとを主張しました。アリストテレスは、自然は真空を嫌う、と言いました。そんなこんなで、宇宙は有限で丸く、ボイドの正体は空気だ、ということになっていきました。

ところで、六世紀ぐらいから幾何学の定理がひとつ、またひとつと証明され、徐々に整備されてきます。そしておそらく五世紀半ばに、幾何学の定理が成り立つための条件として、無限の空間が必要であるということが明らかになったのではないかとされているようです。

それと同時期に、レウキッポスとデモクリトスの原子論が登場します。図の濃い色のラインマーカーでしるしをつけた人たちがいわゆる原子論者です。みんな著作がほとんど残っておりません。しかし一世紀になってルクレティウスという人がラテン語で書いた、「物の本性について」という本が残っています。ルクレティウスは、エピクロスの学説を熱烈に信奉していて、自分で新しいことを付け加えることはせずに、できるだけ忠実にエピクロスの思想を伝えたと言われていています。だから、ルクレティウスを読めば、エピクロスの思想はだいたいわかると考えてよいようです。

エピクロスの学説は、迷信から解放してくれる開明的な思想として、紀元前三世紀から紀元後三世紀ぐらいまで、ほぼ六世紀のあいだ知識人のあいだで支持されていました。しかし西ローマ帝国が崩壊し、キリスト教が広まると、エピクロスとルクレティウスの思想は、無神論だとして徹底的に弾圧されます。四世紀から五世紀にかけて活躍した聖ヒエロニムスなどは、「ルクレティウスは媚薬をやりすぎて、発狂して自殺した」などと言いました。『ものの本性について』は恐るべき悪徳の書、悪魔の思想のように言われたのです。

わたし自身の経験を言えば、はじめてルクレティウスをめぐったときには、古代原子論を伝道するぞ、という情熱があまりにも激しくて、このおじさん紙一重かな、と感じました。ヒエロニムスがルクレティウスについて言ったことも、火のないと

ころに煙は立たない，ということなのだろうか，と思っていました．しかし，年をとってから読み直してみると，『ものの本性について』に書かれているのは，実に澄み切った静かな思想じゃないか，と感じるようになったのです．自然の本性を知り，さまざまな恐れから解放されて静かな心で生きよう，という思想だということが伝わってきました．

ともあれ，中世には，おぞましい思想とされたルクレティウスの本も失われてしまったのですが，一四一七年，フィレンツェの修道院の中で『物の本性について』が発見されます．しかし，発見から六〇年から七〇年ぐらいしてその内容が明らかになると，その過激な無神論ゆえに，またしても弾圧されてしまいます．しかしこのたびは写本がひそやかに広がって．たとえば，現代の研究から，若き日のマキャベリがまるまる一冊，自分で書き写してもっていたことがわかっています．またモンテーニュは，「エッセー」のなかで百カ所以上もルクレティウスを字句通りに引用しているそうです．スピノザも，一冊もっていたようです．

冒頭で触れたスピノザに戻りますが，あらためてエチカをパラパラめくり直してみると，表面的な幾何学との類似性はそれほど重要ではなく，むしろ思想面でのルクレティウスの主張と重なるものがあるように思えるのです．形式的には，ルクレティウスの情熱的な韻文と，スピノザの冷静な幾何学形式は全然違うのですが，目指す物は，この宇宙の本性を知り——スピノザの場合は，神の本性を正しく知り，ということになります——神の怒りや地獄がどうかという脅しや迷信から解放されて，自由に生きる，という考え方は，同じなのではないか．

今例にあげた，マキャベリとか，モンテーニュとか，スピノザといった人たちは，普通，古代原子論との関係で名前が挙がる人たちではありません．原子論の文脈ではむしろ，ニュートンあたりの名前を挙げるべきなのかもしてません．しかしいずれにせよ，近代以降，古代原子論の過激な宇宙観や，過激な自由思想は，近代人の精神形成に非常に深くて大きな影響を与えたというのは，間違いないようです．となると，古代原子論という，突拍子もない過激思想の母体となった，ユークリッド幾何学はすごい，ユークリッド幾何学恐るべし！ とリアルに思ったのです．

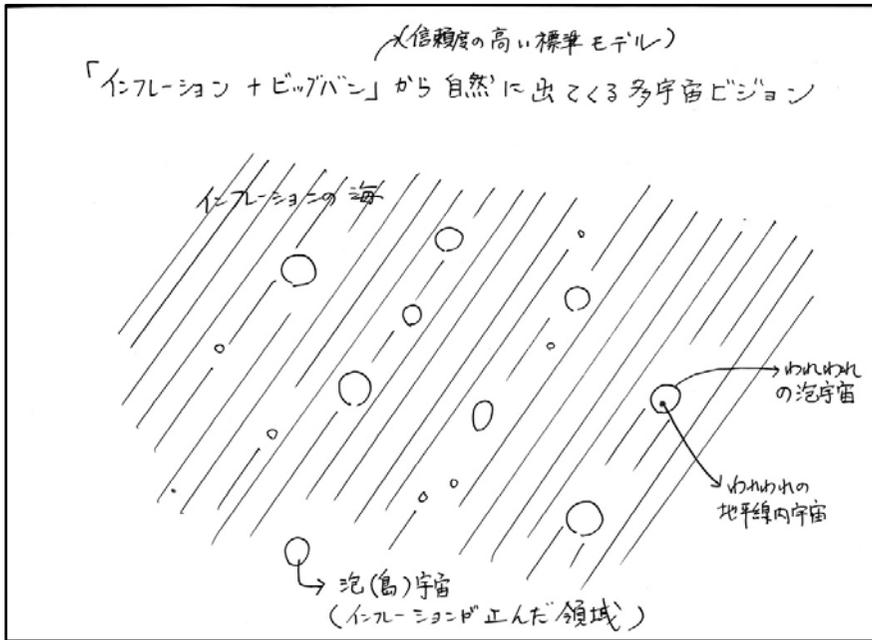
というわけで，わたし個人としては，人類の知的営みに最大の影響力をもった数学は，ユークリッド幾何学ではないか，と思いたくなるわけです．

しかし，二十一世紀の数学者であるみなさんは，「いやいや，昔のことはいざ知らず，現代世界に大きな影響を数学分野と言えればこれですよ」，というご意見をきっとお持ちだと思います．後程ぜひお聞かせください．

■数学は実在か

三つ目のテーマである「数学は実在か」という話題に進みたいと思います．これは宇宙論に関連する話です．

「インフレーション+ビッグバン」モデルは、観測と実験に裏付けられた信頼性の高い宇宙論の標準理論ですが、実はその標準理論から、ごく自然に多宇宙ヴィジョンがでてくるのです。



図に、その多宇宙ヴィジョンの大枠を示します。まず、途方もなく大きな空間が全体としてインフレーションを起こしています。もともとインフレーションは、この宇宙が誕生した直後の、ごく短い一瞬に起こったものとして登場しました。しかし調べてみると、むしろインフレーションが起こっている状態のほうが普通なのだ、となるようなのです。イメージとしては、「インフレーションの海」のなかに、インフレーションが止まってしまった空間（わたしたちの宇宙も、そのひとつです）が、ぽこぽこと泡のように生じます。泡と泡のあいだの空間はあいかわらずインフレーションを起こしているので、ものすごい勢いで広がっていきます。つまり、泡同士はどんどん離れて行くわけです。しかし、その泡と泡のあいだの広がって行く空間にも、つねにぽこぽこと新しい泡が生まれますから、いつの時点でスナップショットを撮っても、ほぼこれと同じ光景が写っているでしょう。

多宇宙ヴィジョンについてこれまでまったく話を聞いたことがない、あるいは、そもそも「インフレーション+ビッグバン」という宇宙論の標準理論のこともあまり聞いたことがない、という方には、突拍子もない話に思われるかもしれません。しかし、これは単なる「お話」として捨ててはおけない宇宙像として、ある程度、真面目に受け止めなければいけないヴィジョンのように思われます。かつて、宇宙はたったひとつであることが大前提だったのですが（宇宙の物理定数が、こうした

値になっているのは必然であり、こうでしかあり得ないからこうなのだ、というヴィジョン)、その大前提に、どんな根拠があったのかが問い直されている、と言ってもよいかもしれません。

「インフレーション+ビッグバン」から出てくる多宇宙ヴィジョンによると、わたしたちの宇宙は、たくさんある泡宇宙のひとつとなり、これまで全宇宙だと思われていた領域は、図のなかの●の部分にすぎない、ということになります。

インフレーション理論からの多宇宙ヴィジョンが生まれたのは一九八〇年代のことですが、二十一世紀になって、まったく別の分野から、多宇宙ヴィジョンを支持する考え方がでてきました。それは、ひも理論からでてきた、「ストリング・ランドスケープ」という考え方です。ひも理論については、数学者の方も研究してらっしゃると思いますので、ごく簡単に述べますと、だいたい次のようになるかと思えます。

ひもは、振動する一次元のエネルギーで、そのサイズは桁はずれに小さい(原子核が 10^{-8} cmだったのに対し、 10^{-33} cm程度)。その、固くて小さいひもの運動状態として、標準理論の表にあるすべての粒子を説明できる可能性がある。また、ひも理論には、重力子とみられるものが初めから含まれており、物理学的には非常に魅力的である——重力と、その他の力との軋轢は、二十世紀の理論物理学に付きまとう根深い困難だったため。かくして、ひも理論は、たくさんの基本粒子や四つの力すべてを「ひも」という一種類のものだけで記述し、しかも実験からのデータのインプットなしにこの宇宙を記述し、この宇宙がなぜこのような宇宙であるのかを説明してくれる、という可能性をもっていました。この宇宙をユニークに説明すること、それがひも理論に課せられた使命だったわけです。

ところが、ひも理論を研究して行くうちに、唯一無二の存在として説明できるはずのこの宇宙のほかに、別の宇宙の可能性が浮かび上がってきました。そのいきさつは次のようなものです。ひも理論がうまく行くための空間次元が、三次元ではなく十次元であることが判明し、この宇宙の現実合わない——つまり、ひも理論には致命的な欠陥がある——ことがわかりました。しかし、十次元のうち七次元が小さく丸まっていて実験にかからないのなら、何も問題はないわけです。そして、一般に、「一部の次元が小さく丸まる」ということに関連して、たくさんの真空が出てきました。物理学において、「真空」とは、宇宙の青写真のようなものです。つまり、次元が増えたことで、真空(宇宙の青写真)の種類が驚異的にたくさん出てきてしまったのです。

ちょうど二〇〇〇年のこと、ひも理論から予想される宇宙の種類は、それまで言われていたよりもはるかに多く、 10^{500} を下らないらしいことが示されました。これは、途方もなく大きな数です。唯一無二の宇宙の青写真を描き出してくれるはずだ

った理論が、宇宙にはほとんど無限とも思えるほどの可能性（青写真）があることを示唆したのです。そのなかのひとつ（具体的にどの真空かは突きとめられていませんが）が、わたしたちの宇宙の真空に対応している、というのがストリング・ランドスケープの考え方です。

わたしたちのこの宇宙に対応する真空がじっさいに突きとめられたわけでもなく、そもそもひも理論が、メタレベルの多宇宙を記述する正しい理論だという確証もありません。しかし物理学者は、基本的な考え方の方向性として、数学的理論と物理的宇宙が対応している、と思っていますし、多宇宙ヴィジョンを支持する人は、メタレベル（多宇宙）でも、やはり数学的理論と物理的宇宙が対応している、と思っています。つまり、この宇宙の青写真に対応するものだけでなく、ほかの数学的理論構造すべてが、実在物としての宇宙を対応物として持っているのかもしれない、という人もいるのです。

もしも、われわれの宇宙に対応する数学的構造だけが、実在物に対応していて、ほかの青写真は対応する宇宙が存在しないのなら、実在宇宙の対応物をもつ数学的構造と、もたない数学的構造の、二つのタイプがあるのか？その二つを、誰が（何が）区別（差別？）しているのか？二つのタイプがあると考えるよりも、すべての数学的構造が実在に結びついている、と考えたほうが自然なのではないか？……つまり、ストリング・ランドスケープに現れるすべての真空に、実在の宇宙が対応している（インフレーション多宇宙ヴィジョンの泡宇宙のようなもの）のではないか？

そこから一気に飛躍して、あらゆる数学的構造は、実在に対応物をもつのではないかと考える人もいます。もちろんそれは突拍子もなく飛躍した考え方ですし、将来的にも決して検証できないので（他の宇宙を直接調べることはできないから）、物理学者の大多数は「そんなことを言ったところで、どんな意味があるの？」と思うでしょう。しかしその一方で、二十世紀を通じて物理学者はずっと、「気味が悪いほどの数学の有効性」を思い知らされてきたので、誰しも心のどこかには「数学と実在にはどんな関係があるの？」という疑問をもっています。つまり、言ってもしょうがないかもしれないけれど、誰しも心の隅に抱いている疑問だ、と思うのです。

さて、数学者のみなさんは、もしかするとあらゆる数学的構造が実在と結びついているかもしれない、と言われて、ワクワクするのでしょうか？とくにワクワクしないのでしょうか？

以上、数学者のみなさんのお考えを聞きたいと思うことを、三つ述べました。あらためて、それらを三つの質問を次のように言い換えます。それぞれについて、率直なご意見を聞かせていただければ幸いです。

1. 数学者コミュニティは奇人変人率が高いのか？ どのコミュニティとも同程度なのか？
2. 二十一世紀の社会や文化にもっとも大きな影響を及ぼした数学分野は？
3. あらゆる数学的構造は実在に対応物をもつ？

■数学者のみなさんからのレスポンス（質疑応答の時間）

質問1については、「数学者コミュニティの奇人変人率は高い」というものから、「数学は基本的にひとりでやる研究なので、コミュニケーション・スキルが弱くなりがちかもしれない」、「社会的に、「数学者＝変人」というイメージがあるので、変人ぶりを発揮しても許容されるため、ついつい発揮しがち」、「ほかの分野とくらべて、むしろ奇人変人率が低い——とまでは言わないまでも、同程度だと思う」、などのご意見がありました。ご意見に幅はあるものの、全体としては、「社会的・文化的要因があって奇人変人率が高く見えることもあるかもしれないが、本質的には、他のいかなるコミュニティとも同程度であろう」というのが、着地点かな、と思いました。

質問2については、「社会への影響」の大きな数学分野ということでは、「代数幾何」、「解析（微積分）」、「フーリエ変換」などが挙がりました。「思想への影響」の大きさということでは、「ゲーデルの不完全性定理」が挙がりました。いずれの分野も、ちょっと考えただけで、「なるほど影響は大きそうだ」と思いますが、多面的に詳しく調べてみると、おそらくは素朴に思う以上に、深くて広い範囲に影響が及んでいるという状況が浮かび上がってきそうです。わたし自身について言えば、「三角関数は宇宙のアルファベットだ」と思うことがあるので、「フーリエ変換」には、案外、技術的なものにとどまらない思想的な影響もあるかもしれない、などと思いました。

質問3に対する数学者のみなさんの反応は、「ハトに豆鉄砲」、「ポカン」、「いったい何が問題なんですか?」という感じで、とりつく島もありませんでした。司会を担当してくださった宮岡先生が、質問3をいろいろ言い換えてくださったりして、少しのあいだ、やりとりが続きました。そのうち、若い数学者の方が手を上げて、「質問への答えではなく、数学者がなぜこの問いに対して、こんなにまで冷淡なのかについて理由を述べてみたい」と前置きしておっしゃるには、数学者は自分の研究している数学的対象に、強烈な実在性を感じているので（「そうでなければ数学者はやってられない」とは、宮岡先生のコメント）、そのうえさらに「実在性」と言われても困るのではないか、ということでした。

講演後、生協の喫茶部で、数人の数学者の方たちと話が続きましたが、そこでも、（質問3は）「三次方程式に根三つあるとして、どれが真の答えか、と言われているようなもの。そう言われても困るでしょう」という意見が出ました。数学者が自分の扱う数学的対象に対し、ドはずれたリアリティーを感じているという点に関しては、ハーディが『ある数学者の弁明』で述べているが、まさにそれ、ということでした。つまり、数学者は、「え?すでに（数学的に）実在していますけど?」と思うのに対し、物理学者は、「でも、それは、（単なる）数学ですよ?」と思う、ということなのかもしれません。

多宇宙ビジョンは、数学と物理学のこの断絶——近くて遠い二つの分野の性格の違い——に、橋をかけることになるのでしょうか?それとも、性格の違いをさらに強烈に照らしだすことになるのでしょうか?

ともあれ、数学者の皆様から直にお話をうかがえたことは、わたしにとっては鮮烈な体験となりました。この機会を与えてくださった数学会の皆様、会場にいらしてくださった方、質疑応答で発言してくださった方、生協で議論してくださった方に、心よりお礼を申し上げます。