

## じっきょう

## 数学資料

No. 93

## Contents

|      |                                       |    |
|------|---------------------------------------|----|
| 巻 頭  | 産業と数学, 社会や科学と数学, 未来の数学研究 .....        | 1  |
| 特 集  | 2026 年度 新課程での<br>2 回目の共通テストを終えて ..... | 5  |
| 学校紹介 | 福井県立勝山高等学校 .....                      | 11 |
| 実践記録 | 山口県立徳山高等学校<br>科学部数学班の主體的な活動 .....     | 14 |

## 巻 頭 産業と数学, 社会や科学と数学, 未来の数学研究

NTT 基礎数学研究センタ 統括・数学研究プリンシパル／ZEN 大学学長／九州大学名誉教授 若山正人

## 1. プロローグ 1

数学はプログラミング言語などの機械言語ではなく、また日本語や英語のような自然言語でもありません。音楽が歌や太鼓から始まったように、ものを数える、空間を測るなどという素朴なところから始まったのが数学です。さらには作曲が楽譜となるに似て研究論文があります。もっとも数学も、天（宇宙）が与えた人類の言葉の一つと考えられるかもしれません。じっさい、数学は数学言語の開発科学という面もあります。もちろん数学と論理は異なります。数学においても論証の必要性から論理が欠かせません。しかし数学は、数や空間といったものに対して、どうなっているのかという理を扱うものです。論理とは本来に異なります。科学においては論証が肝ですが、数学では「厳密性」に象徴される論理が前に出るために誤解されることもあります。一方で、論理といえば、数理論理学（数学基礎論）におけるゲーデルの不完全性定理があります。これが示す如く、数学はある意味で不完全です！ただこれは残念なことではなく、数学が永遠に豊かに発展することを示唆しているともいえます。しかもまた、数学がなぜこんなに科学に役立つのかは、おそらく永遠の謎です。宇宙が人類に与えた言葉なので、科学の真理や技術の記述に自ずと整合的なものかもしれません。アインシュタインに「純粋数学と相対性物理学の間には、確かにあらかじめ定められた調和が

存在する」と言わせしめ、その以前、ガリレオ・ガリレイは「宇宙は数学の言葉で書かれている」と記しました。じっさい、「原子核と素粒子の理論における対称性の発見」により1963年ノーベル物理学賞を受賞したユージン・ウィグナーの1960年に公開された「自然科学における数学の理不尽な有効性」はあまりにも有名です。



ユージン・ウィグナー

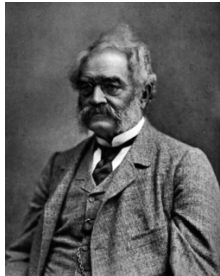
## 2. プロローグ 2

20 年近く前のことです。九州大学において数学教室の同僚とともに「マス・フォア・インダストリ」を提唱しました。文部科学省の GCOE プログラムへの申請の少し前です。「産業数学」でも良かったわけですが、すこし油臭い印象のあるその響きに、固定観念を持って受け止められたくありませんでした。数学とその応用との相互作用、あるいは刺激や新しい問題意識の発生への期待を強調したかったからです。数学コミュニティのなかでさえ、数学側からの応用を意図する活動には賛否両論がありました。現在、数学の産業や科学・医療などへの応用場面においては、高度に発達した情報科学・情報工学、特に機械学習や AI などと切り離して考えることは困難です。そこには数学へのフィードバックもあります。また、数学研究そのものにおいてさえ、AI

による、たとえば関連文献の探索・紹介などの研究支援を超え、AIによる定理証明なども現実味を帯びてきています。

### 3. 産業と数学

産業といえば、かつてその多くに、工学の中の物理学を通して隠れた貢献が数学にはあったといえます。たとえば、ドイツの実業家であり電機・通信の大手企業シーメンスの創業者であるヴェルナー・



フォン・ジーメンスの言葉 ヴェルナー・フォン・ジーメンス

「数学は暗い夜を照らす光である」は、産業における数学の役割の一面をよく表していて印象的です。

鉄鋼の神様といわれ東北帝大総長であった本多光太郎の「産業は学問の道場なり」は、大変頷ける言葉です。数学に即していえば「産業や科学は数学研究の道場なり」といえるかもしれません。数学者個人の意図に関わらず、長期的には純粋数学をも含めての話です。直流電流を流した電気伝導体の周囲の磁場を観察して電磁誘導を発見したファラデーが、「先生の発見は何の役に立つのでしょうか」という質問に対して「生まれたばかりの赤ん坊が何かの役に立ちますか」と反問したとのことです。ファラデーは物理学における電磁場の基礎理論を確立して、その後の電動機技術の基礎を築きました。電気を使ったテクノロジーのその後の発展は彼に帰するわけです。ファラデーは数学にはほぼ無縁だったようですが、彼の精神からは、数学研究もずっと先には大きく役立つという期待が見出せます。

現在 JST が運営する CREST/ さきがけ、といったプログラムでは、高い目標を掲げ、数学者と諸科学分野の研究者がグループで多様な研究に従事しています。具体的には、現在走っている上田修功氏（研究総括）の[数理工学情報活用基盤]と小谷元子氏（同）の[予測数学基盤]において、社会が渴望するさまざまな分野への応用が数学を刺激し新しい挑戦がなされています。またプログラム自体はすでに終了しましたが、坪井俊氏（同）の[数理モデリング]や、平成 25 年に始まった数学分野では初の西浦廉政氏（同）の CREST/ さきがけでは、数学

者と諸分野との本格的な連携とそれに資する人材の育成が進みました。

内閣府のムーンショットプログラムでも、「目標 6：誤り耐性型汎用量子コンピュータ」をはじめ、数理を核の一つに据える研究がアカデミアの研究者のみならず産業界の研究者も交えてなされていますが、特に「目標 2：疾患の超早期予測・予防」や「目標 8：気象制御による極端風水害の軽減」ではそれが顕著です。困難な数理的課題に挑む、それぞれが医学者、気象学者との協働が目を見張ります。

### 4. 数学の印象

数学というと、まずは「主要受験科目」、「天才たちが展開する甚だ抽象的な研究」という印象があります。今も、必ずしもこの誤解は拭えていないように思われます。また、数学研究に関して、知識人でさえも理解が不十分であると感じた出来事がありました。印象的なので二つご紹介しておきましょう。

およそ 30 年近く前、九州大学の伊都キャンパス移転に必要なプラン策定のための視察に行った折のことです。バスで 2 日間、いくつかの大学を巡りました。たまたまですがバスの隣席は文学部の教授で「マラルメ」の研究をされている先生でした。その先生から「先生は数学がご専門とのことですが、やはりニュートンとかライプニッツをやられているのですか？」と問われたのです。面食らいましたが、要は、文学部では特定の作家をテーマに研究をされている先生も多くいらっしゃるの、そうした質問になるのかと合点がきました。

また、マス・フォア・インダストリ研究所の設立が大学で承認された直後の頃でした。JR 九大学研都市駅から伊都キャンパスに向かう通勤バスの中のことです。当時私は、数理学研究院・学府長という立場で教育研究評議会のメンバーでした。そこで知り合った別の研究院の長の先生に、「ところで、以前から尋ねたいことがあった。産業と数学って何か関係があるのですか？」と尋ねられました。比較文化の高名な研究者の方でした。

### 5. 数学を社会に還元

ベンチャー企業としても、数学で社会課題を解決することをミッションとする Arithmer 株式会社

などが設立され、多くの企業との連携がみられます。一方、公的機関では、近年の理化学研究所（理研）の営みなどがあります。明治時代に遡る理研の初代所長は、数学者の菊池大麓です。しかし 2019 年の iTHEMS（現在の数理創造研究センター）設立まで、研究領域の名称に数理を関したラボやセンターは、そこに存在しませんでした。なんとも不思議かつ残念に感じていたものです。理化学というのはおそらく、物「理」と「化」学のジョイントです。明治時代に mathematics の日本語訳が議論された際に、結局は数の学ということで数学となり、理化学外となったのも理研に数学が不在となった一因かと推測されます。もっとも、明治初期科学技術史などには、菊池は「物の理を論ずる学を物理学と言うように、数の理を論ずる学だから数理学とすべきだ」と主張したが、多数決で「数学」に決まったという史料もあります。数理学となっていれば、後の理研の活動構造も違ったものになっていた可能性があります。さて、その理研の活動の一つとして、株式会社理研数理の存在があります。数理モデルの研究開発受託 / コンサルティングやソフトウェアプラットフォームサービスの販売と付随業務を行う企業で iTHEMS の数理研究の社会展開を目して設立されたものです。ところで、このような歴史の理研でしたが、脳科学には力を入れていました。事実、確率論・統計学と幾何学を結びつけた「情報幾何学」を提唱・推進した甘利俊一氏が在籍され、先のノーベル賞（2024 年物理学賞：人工知能研究者であるジェフリー・ヒントン博士とジョン・ホップフィールド博士）の先をいく脳の数理研究（人工知能）に関する氏の論文が 1960 年代に生まれていたことは忘れられません。現在理研には、革新知能統合研究センターがあり、数学者グループが本格的に AI 研究に携わっています。

筆者が所属している NTT 株式会社（昨年 6 月に日本電信電話株式会社から改名）には 13 の研究所があり、多くは通信や情報に関連する開発研究を推進しています。この中で、基礎研究を行う 2 つの研究所があります。コミュニケーション科学基礎研究所と物性科学基礎研究所です。基礎研究を大変重視していることは、NTT の起源である通信省電気通信研究所の初代所長である吉田五郎の、今も研究所

に設置された石碑に刻まれている言葉「知の泉を汲んで研究し実用化により世に恵を具体的に提供しよう」がよく表しています。この精神は NTT 研究所の DNA として現在も生き続け、さらに NTT 前会長の篠原弘道氏の提案により基礎数学研究センタが生まれました。このセンタのメンバーのミッションは、自らの思う基礎数学（純粋）研究に邁進することです。また、NTT の研究所の研究者たちと広くコミュニケーションの機会を持つことも期待されています。たとえばその一環として、多くは工学博士号をもつ全研究所の研究者に対して「（数学問題）未解決ワークショップ」を若手メンバーが主催したところ、思いがけない共著論文も生まれました。日本では、基礎研究を業務として進めている企業は稀有ですが、それでも R&D 部門においては、アカデミアとの共同研究は若手人材を発掘する機会にもなり不可欠なものです。

## 6. 言葉が違う研究領域の研究者と数学者との連携

使う言葉が異なる、あるいは同じ用語が違った意味で使われることなどが、共同研究の進展に齟齬をきたす原因になっていることは多く見られることです。そのようななか、マス・フォア・インダストリ研究所において企業との共同研究の成否を見てきた経験や公的資金による多様なプログラムの中での研究開発、またわずかながらも NTT 基礎数学研究センタの若手メンバーとエンジニアとの連携や筆者の量子光学の理論家との共同研究を顧みて重要に思うことは以下です。

- ・相手の問題を問題たらしめている動機を理解すること。その上で技術的議論に入る。
- ・数学的だと感じられる課題を実際に数学の問題に落とし込むこと。“解けるように”問題を定式化できるかどうかが肝。
- ・互いに敬意を持つ、付き合っていて楽しくなる間柄になる。

## 7. 数論の古典的結果の現代応用例

ガウスは数論を数学の女王と評しました。それは、問題解決のためにはどんな分野の数学をも召使の如く使うからでしょう。現代の公開鍵暗号のメインである RSA 暗号も 2500 年前頃に発見された自然数

の素因数分解とその一意性及びフェルマの小定理に基づく技術です。それが、真の量子コンピュータが生まれると危殆化するという Shor のアルゴリズムも初等数論と有限体上のフーリエ解析による命題ですが、その存在を踏まえ、米国 NIST では、次世代暗号の標準化を目指しています。ここでは古典的な数論にアイデアを得た、筆者の身近な人たちの研究を二つ挙げることにします。

一つ目は、マツダ技術研究所における「車の技術研究においてオイラーの小定理を用いた、生産工程管理を飛躍的に短時間に収めるソフトウェア開発」です。これは大規模なパラメータスタディの効率化ですが、とくに素数  $p$  を法とする既約剰余類群  $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})^\times$  が位数  $p-1$  の巡回群をなすことが解決のキーとなり、ツール実装したものです：<<https://www.imi.kyushu-u.ac.jp/post-8039/>>。

もう一つは、量子情報理論における 10 年来の予想をディオファントス幾何学の基本定理であるシュミットの部分空間定理を用いて解決したという NTT での研究です。

## 8. 数学研究の姿

数学の重要な研究姿勢には、大別して次のようなタイプがあります。

〔抽象化〕解決したい困難な問題に対峙したとき、高所に登り見晴らしをよくする。そのために既存の理論を、ときには根底から一般化して大理論を構築、あるいは新しい言葉作りを行う：たとえば、スキームの考案による代数幾何学の大幅な書き直し、ヴェイユ予想への貢献、モチーフ理論および遠アーベル幾何学の提唱などを行い、20 世紀数学を大改革したグロタンディークに見られるような数学です。

〔数学的自然の探究〕発見されるまで予想さえしがたかった不思議で特殊なものを見つける：森林探索に加えて高所から、どの道を通れば良いかを探ることです。つまり使う理論を選び、計算・観察を行う。数論や表現論における保型形式や特殊関数、また組合せ論の興味深い研究に多く見られます。

こうした違いは数学者自身も、普段はあまり気にせず活動していますが、産業界や諸科学分野との連携の際には、意識しておくと案外役立つかも知れません。

## 9. AI の進化

アミノ酸から生命が誕生し、細胞間の相互作用があり生物が生まれ、思考力や感情をもつ脊椎動物に進化しました。したがって、AI、深層学習においても、特徴量同士の重みを通じた相関が互いに影響を及ぼすなど、物質の相互作用の進化がどこまでも続く可能性があります。しかも、昨今の AI の高度化ぶりからは、アメーバのような初期生物からヒトの誕生までの時間よりもずっと早いかもしれません。ただし、データセンターが如何程の規模になれば、そうなるのかは不明です。他方、ヒトが何かを一つ考える際に消費するエネルギーは、豆電球一つ程度だともいわれています。つまり、今の所、〔思考量 / エネルギー消費量〕なる比はヒトが圧倒的に優っています。このことが、生物の進化と AI の進化が本質的に異なるように映る一因かもしれません。

AI のための数学、数学のための AI という議論が国際的にも大いになされています。本稿ではこれらについての議論はしませんでした。しかしまずは、段階的に AI が数学の共同研究者となっていくます。その際、成果は高まりますが、これまでとは異なる「数学者力」も必要となることでしょう。最後に、AI や自動証明等に関連するホットな話題を二つ紹介します。

エルデシュの問題のうちの 1 問を GPT-5.2 Pro が解決し、著名な数学者であるテレンス・タオ氏が「私たちの知る限り、既存の文献では再現されないほぼ自律的な解決であり、AI の能力が本当に向上したことを示すもの」と述べています。

筆者が勤務する大学の ZEN 数学センターにおいても、数論幾何の一分野である遠アーベル幾何学の主要命題を Lean 形式化しそのライブラリ構築を行い、それを通じて ABC 予想で有名な宇宙際タイヒミュラー理論の検証も目指しています。

数学を含めて多くの理論科学は、主に演繹的手法により発展してきました。これは芭蕉俳諧の不易流行だといえます。一方で、データ駆動の科学研究は「数」を駆使した温故知新です。演繹も究極的には帰納に帰することと似て、不易流行も温故知新もほぼ同義ですが、今や科学研究はピタゴラスの「万物は数」を彷彿させる時代です。