

若き研究者が切り拓く モデルとデータが織りなす未来社会

多様な分野に潜む数理構造や数学的概念を、数学の力により従来にはない質の異なる情報として抽出し、それらを情報科学の力で有効利用することで、現実と仮想がしなやかにつながる未来社会の創出が期待できる。さきがけ「数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用（以下、「数理構造活用」）」研究領域では、数学と情報科学の個人研究者が自身の強みを生かしながら、互いの分野の発想を取り入れた新理論や新技術を研究している。研究総括を務める京都大学の坂上貴之教授は、革新的な構想を持つ若き数学者と情報科学者の出会いが、次世代社会の科学技術や産業への扉を開くと確信している。

さかじょう たかし
坂上 貴之
京都大学 大学院理学研究科
教授
2019年よりさきがけ研究総括

数学化・情報化する世界 求められる高度な「データ」活用

現実社会と仮想社会の境界は曖昧になっている。海外に住む友人と会えなくても、SNSでいつでもコミュニケーションできる。位置情報を利用したゲームアプリを起動すれば、対戦相手のアバター（分身）が地図上に現れる。時間も場所も超えて、人と人がつながることが現実になっていく。「抽象的な概念や論理構造、曖昧な知覚や経験が、広い意味での情報となって、科学的、社会的、経済的な価値を持つ未来は、すぐそこまで来ています。次世代に向かって、世界は数学化・情報化していくのです」と、さきがけ「数理構造活用」研究領域の研究総括である京都大学の坂上貴之教授は語る。坂上さんの専門分野は数理流体力学で、大規模数値計算から数学解析まで、さまざまなアプローチで複雑流体現象の数理的側面を解明してきた。

「紙と鉛筆さえあれば没頭できる研究」という数学のイメージはすでに過去

のもので、現代の数学はコンピューターの力を借りて科学技術の諸分野や産業界の諸課題に果敢に飛び込み、新たな概念や解決手法をもたらしている。しかし、それでも生命や医療、環境、材料のように、複数の分野にまたがる社会的課題の解決は容易ではない。「現象が複雑過ぎれば単純な数理モデル化はできませんし、観測データ数やその品質が不十分であったり、個人情報が含まれていたりすれば、より高度な情報処理技術が求められます」。潜んでいる数理構造をうまく見いだせないがゆえに、あまたのデータがまだ活用されぬまま眠っているに違いないのだ。暗中模索ではなく、確かな羅針盤を持って探るために、数学と情報科学の連携は欠かせない。

新分野を切り拓く気概 やりたい研究に挑戦を

今や社会と深く結び付いている数学だが、他分野との連携が検討されてこなかった数学の諸分野も少なからず存在

する。「純粋数学の研究者は、情報科学の研究者と組む発想や知識が少なかつたかもしれません。しかし連携することで新しい構想が生まれ、ソフトウェアになって社会に還元されることもあるでしょう。これからの日本を牽引する30～40代の研究者に、このような研究を盛んにして欲しいのです」と、坂上さんがさきがけに寄せる期待は大きい。

「一般的なボトムアップ型の研究費では、例えば数学の研究を医学に生かしたくても、数学の分野からは『数学ではない』、医学の分野からは『医学ではない』と、ピアレビューではじかれることがよくあります」。面接選考では「さきがけでしかできないことは何か」と提案者全員に聞いたという。「自分の専門分野を深めることよりも、新たな分野を切り拓こうという気概と可能性を重視しています。情報科学との連携が明確でなくても、自身の数学研究が領域内の情報科学研究者とつながることで、どのような価値を創出し、活用できるのか。数学との連携が明確でなくても、自身の情報科学研

究が領域内の数学者とつながることで、どのようなブレイクスルーが起こるのか。多方面に広がり得る研究であることが重要です」と語る。

「『できる研究』だけでなく『やりたい研究』に取り組んでほしい」と坂上さんは強調する。「挑戦的な構想を抱いていても、人脈もなければアプローチもわからずに実現できていないのであれば、ぜひ踏み出すきっかけにしてほしい。意識が新しい人をスモールスタートさせるのが、さきがけの役割です。数学者に相談するのは敷居が高いというイメージがあるようですが、初歩的な質問でも、さきがけに集う同世代になら気軽に聞けるのではないのでしょうか。研究領域内に留まらず、CRESTやさきがけ、ACT-Xの関連研究領域とワークショップやセミナーを共催するなど、それぞれの研究領域の特性を生かした相乗効果や国内外の研究者のマッチングのきっかけ作り

に注力している。第1期生には11人が採択された。「どれも面白く、研究領域の趣旨を理解した提案で、研究者同士の相互作用により領域全体として高いレベルの数理構造や情報の活用基盤を構築できる」と確信している。例えば、昆虫の羽の折りたたみ構造の数学的概念を抽出してソフトマテリアルなどの開発へ応用を試みる研究では、コンピューター上でさまざまな折りたたみのパターンを解析する必要があり、幾何学や解析学の数学者との共同研究が不可欠だ。また、気象モデルを数学の方程式として記述して予測し、統計学を使ってデータからその誤差を小さくしていくデータ同化の研究では、気温や気圧、湿度など多様な観測データのうち、どれが気象予報の精度向上に効果的であるかを定量化するなど、従来の枠で収まらない数学の知識が求められる。

「数学と情報科学、両方の分野に精通している必要はありません。本来であれば出会わないような両分野の若手研究者同士がさきがけを通して交流を深め、自然発生的に分野融合が起こり、思いもかけない応用につながるように、全力で支援していきます」と意気込みを語る。

領域のイメージは温故知新 フーリエ変換のような革新を

物理学を勉強しようと入学した理学部で、流体力学の面白さに目覚めた坂上さん。「大学4年生の時、千変万化する複雑な流体現象を理解するため、物理ではなく数学の勉強に本腰を入れるようになりました。自分にとって『腑に落ちる』理解とは、数学によってそれを記述することだと気がきました」と振り返る。液体や気体の流れである流体は、身近に数多く存在する物理現象なので、幅広い分野に関わることができ、思いがけず数学が役に立つ喜びや驚きを何度も体験してきた。

そんな坂上さんが描く研究領域のイメージは「温故知新」。その好例として「フーリエ変換」を挙げる。フランスの数学者であり物理学者でもあるジョゼフ・フーリエが、1811年に熱現象を説明するために提唱した解析手法だ。例えば、虹やプリズムからもわかるように、太陽光は周波数の異なる複数の光の波の重ね合わせで表現できるが、フーリエは熱現象を理解するために、この波数分解（フーリエ変換）を行うことで、1つ1つの

波の成分に分解して理解きるとした。これが、スペクトル（波数空間）概念として、熱や波という具体的対象を離れて数学的に抽象化され、今では科学の諸分野で認識されるまでに至った。

さらに1965年には、情報科学分野の進歩によりコンピューター上でこのフーリエ変換を高速に行うためのアルゴリズムが考案され、多くの現象に簡単に応用できるようになった。そして高速フーリエ変換を使ったさまざまなソフトウェアが製品化されたことで、広く一般に普及した。今や物理学や電気電子工学、情報科学などあらゆる分野において欠かせない極めて重要な「数理構造」だ。

「まさに数学と情報科学の融合の代表例です。フーリエ変換のように、革新を興すような研究を生みだすことを目指しています」。数学と情報科学の若き研究者に、坂上さんはこう語り掛ける。「さきがけに採択されると、間違いなく日本で目立つ存在になります。それに甘んじることなく、世界に目を向けてほしい。誰かがいつか応用してくれるだろうと待つのではなく、自分自身の手で世界に貢献できる応用研究を切り拓くことを期待しています」。

Q.坂上さんの好きな定理・数式は？

A.ナビエーストークス方程式

$$\begin{cases} \partial_t u + (u \cdot \nabla) u = -\nabla p + \nu \Delta u \\ \operatorname{div} u = 0 \\ u(x, 0) = u_0(x) \\ u|_{\partial \Omega} = 0 \end{cases}$$

流体の運動を記述する「ナビエーストークス方程式」は、さまざまな流体現象を理解する上での基礎で、非常に奥の深い方程式だといつも感じています。その解の存在は数学における未解決の難問で、今なお多くの数学者の挑戦をかたく退けています。また、流体のうつりゆく姿だけでなく、流れが乱れて生成される渦の美しさにも魅せられました。方程式の横に描いたのはカルマン渦列と呼ばれる規則的な渦巻の列です。私は流線トポロジー解析という位相幾何学（トポロジー）に基づく流れの分類理論を構築しました。この解析を用いると、渦の成長に隠れている美しい幾何学的構造が見えてきます。

諸分野のための数学よろず相談室(Math Clinic)

京都大学大学院理学研究科内に「諸分野のための数学よろず相談室」を開室した。さまざまな「ケース(事例)」に潜む数学的なニーズを「診断」し、ニーズに合った文献や数学者を紹介するなど数学的な解決法を「処方」する。当面は京都大学大学院理学研究科内の相談に限定するが、流線トポロジー解析の応用可能性については外部からの照会も受け付けている。