

科学の
峰々

80

取材日：2014年7月16日
日本科学機器協会会議室

東京大学 生産技術研究所 教授

あい はら かず ゆき
合原 一幸 先生 に聞く数学と“脳・複雑系・
カオス理論”の研究 下

聞き手：柴田 眞利 日本科学機器協会 広報副委員長
 山口美奈子 同 広報委員
 藏満 邦弘 同 専務理事
 岡田 康弘 同 事務局長
 (取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)



合原 一幸先生のプロフィール

1977年 東京大学工学部電気工学科卒業
 1982年 東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻 博士課程修了
 1982年 日本学術振興会奨励研究員(東京大学工学部計数工学科)
 1983年 東京電機大学工学部 助手
 1986年 東京電機大学工学部 専任講師
 1988年 東京電機大学工学部 助教授
 1993年 東京大学工学部計数工学科 助教授
 1998年 東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻 教授
 1999年 東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻 教授
 2003年 東京大学生産技術研究所 教授
 現在 東京大学生産技術研究所 最先端数理モデル連携研究センター長(兼任)
 東京大学大学院情報理工学系研究科数理工学専攻 教授(兼任)
 東京大学大学院工学系研究科電気系工学専攻 教授(兼任)

〈研究テーマ〉

「複雑現象の数理解析」

複雑系数理モデル学、カオス工学、複雑系ビッグデータ解析(経済データ、地震データ、感染症伝播データ、風況・日射量データなど)、カオス計算論

「脳情報システム理論」

神経回路網の数理、脳・神経時空間データの非線形解析、
 脳の学習・自己組織化理論、量子ニューラルネットワーク論

「疾病の数理モデルと治療への応用」

ガンや HIV などの難病の数理モデル構築とその数理モデル
 に基づくテララーメードな最適化治療手法や分岐理論解析に
 基づく動的ネットワークバイオマーカー(DNB)を用いた
 複雑疾病の未病(疾病前)状態の超早期診断手法

「複雑ネットワークの工学・産業応用」

社会インフラシステム、スマートグリッド、コミュニケーション
 ネットワーク、交通流などの工学分野の複雑ネットワークの
 数理モデル化とその工学・産業応用



テーラーメイド医療と再生可能エネルギー

— これまで合原先生が提唱された「カオスニューラルネットワーク」などについて話をお聞きしてきましたが、現在は主にもどのような研究に取り組まれているのでしょうか。

合原 今、僕がメインで研究しているのは、脳、医療、再生可能エネルギーの3つです。

— カナダのプリティッシュコロンビア大学医学部の先生方と取り組んでおられるテーラーメイド医療の共同研究について詳しくお聞かせください。

合原 この前立腺ガンに関する研究は、ほぼ完成しています。前立腺ガンには非常に敏感なバイオマーカー（病状を測定する指標）があり、そのバイオマーカーの変化を測ることで患者さんひとり一人のガン細胞の増減を推定することができます。その結果をもとに、テーラーメイドの数理モデルを作り、ホルモン治療を最適化します。

基本的に前立腺ガンは男性ホルモンの影響を受けているので、そのホルモンを除去してしまえばガンを押さえ込むことができます。

しかし、男性ホルモンを長期間除去し続けると、しばしばそ

れに適応したガン細胞に変異してしまいます。そこで、治療と中断を繰り返して行う「間欠ホルモン療法」という治療法が注目されるようになりました。

— その治療は日本でも受けることができるのでしょうか。

合原 日本でも間欠ホルモン療法を行っておられる泌尿科医の先生方もいらっしゃいますが、現時点ではアメリカやカナダなどの方がより広く行われています。私たちの数理手法によって、治療が最適化できるようになりました。

— 脳、医療に次ぐ3つ目の研究テーマ、再生可能エネルギーについての研究は、どのようなものでしょうか。

合原 太陽光や風力といった再生可能エネルギーは、気象の影響を受けて変動するため、そのままでは大量に電力システムの中に取り入れることはできません。気象の変化によって出力が上がったり下がったりしては、電力システムの安定性が保てないからです。

そこで変動をきちんと予測し、制御する仕組みが必要となります。次のプロジェクトでは、再生可能エネルギーに関わる、大規模な変動を予測する理論の構築に取り組もうと考えています。

カオス理論によって新たな数学の世界が広がる

— 数学は本当に幅広い分野に応用が可能ですね。

合原 そこが数学の強力なところだと思います。私たちを取り巻くあらゆるものを対象にすることができ、数学的な思考には限界がありません。

— 数学というと、私たちはつい、式を使って答えを出すものと考えてしまいますが…。

合原 もちろん式は使いますが、我々の数学、数理工学は、簡単に言うと、社会のための数学です。

数学の論理の中で、深い構造やパターン、普遍性を探するような数学を純粋数学とすれば、我々の数学は不純数学ということになるかもしれません。しかし、世の中の現象を調べ、理解し、表現するために数学を言語として用いる、いわば外に開かれた数学です。

ガリレオ・ガリレイは「自然という書物は数学の言語で書かれている」という意味のことを言っています。彼の時代、数学の対象は物理現象や天体でしたが、学問が進んだ、現代の数学の対象は、生命や社会現象、経済現象など、複雑系と呼んでいる幅広い対象に広がりました。

——カオスという考え方が広まったのは、いつ頃からでしょうか。

合原 多くの人がカオス理論について知ようになったのは1975年頃からです。それ以前は、不規則な動きは、確率的な原因で振る舞っている、あるいは、きわめて複雑なからくりで振る舞っている、と考えられていました。

ところが、単純な決定論的システムでも複雑に振る舞うことがあり得るということが、カオスによって明らかになりました。それ以降、世の中にたくさんある複雑な振る舞いの背後には、単純な法則があるのかもしれないと、多くの人がカオスについて調べ始めたのです。こうして、カオスによって科学技術の世界は大きく広がっていきました。



FIRST最先端数理モデルプロジェクトのワークショップの様子

最先端の研究を支援するFIRSTプログラム

——世界のトップを目指す30の研究を支援するため、内閣府が創設した「最先端研究開発支援プログラム (FIRST)」において、合原先生はその30人の研究者のお一人に選ばれました。このFIRSTプログラムではどのような研究に取り組まれたのか、お聞かせいただけますか。

合原 複雑系として捉えられる多くの現象、たとえば脳、ガン、免疫、感染症、地震などは、第一原理の方程式が分からなかったために21世紀まで持ち越されてきた、難しい問題です。

私たちのFIRSTプログラムではそのような問題を取り上げ、数理モデルで表現して解析するための枠組みを作り、様々な複雑系に応用しました。

——合原先生の研究はFIRSTプログラムの中で唯一、数学のプロジェクトだそうですね。

合原 あらゆる研究分野を対象にしたプログラムの中から数学を選んでいただいたことは、とてもありがたいことです。

数学には実験がないので、巨額な実験装置を購入する必要がない分、研究費を人件費に充てられ、50人ほどのスタッフや研究員を雇用して研究を大きく進めることができました。

今、博士号の学位を取った学



FIRST最先端数理モデルプロジェクトの概要

生たちの就職難が大きな問題になっています。彼らをきちんと雇用し、プロジェクトで鍛え上げることによって、彼らのキャリアアップにつなげました。

これからの日本のためにも、研究費の一部をきちんと人に投資し、人を育てる仕組みが必要です。特に、数学は分野横断的な学問なので、あらゆる分野に応用できます。

日本を取り巻く経済状況から、モノづくりの現場は日本から海外へ移っています。しかし、モノづくりの知的な部分は日本に残さなければならない。その知的な部分を担うのが数学です。数理のレベルが高ければ、中枢の部分は日本でもやれるはず。そのためにも、もっと人に投資してほしいと思います。

数学は自然科学の中で最も美にこだわる学問

—— 数学は物理や化学だけでなく、哲学、芸術、音楽など様々な分野に関わりを持つと言われることがあるようですが、数学と芸術の関係について、お考えになることはございますか。

合原 数学は自然科学の中で、いちばん美にこだわる学問です。美しい数式とか、美しい証明とか、美しさに価値を置いているのです。

実は、人間の脳の中で、アート作品を美しいと感じる部位と

数式を美しいと感じる部位は同じだということが、実験的に明らかになっています。

そのせいかもしれません、以前、ファッション業界の人たちと仕事をした時、彼女らと同じ価値観を共有することができました。

—— ファッション関係の仕事とは、どのようなものだったのでしょうか。

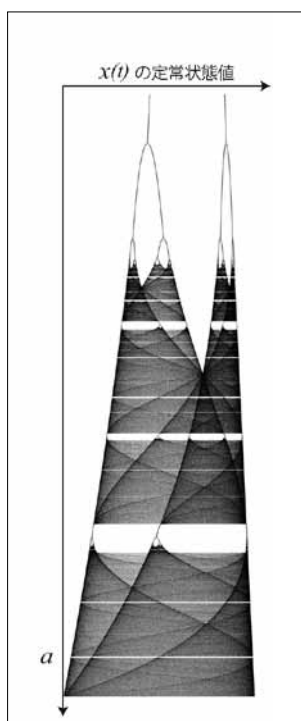
合原 僕の数学の研究成果から出てくる分岐図という図形を使ってドレスを作り、東京コレクションという大きなファッションショーに出展するというものでした。松居エリさんという有名なファッションデザイナーが

ら依頼があり、共同でドレスを製作しました。

印象に残っているのは、ファッションショーの舞台上上がって、「カオスと分岐」というテーマでモデルさんたちが着替えている3分半の間、話をしなければならなかったことです。

たぶん誰も僕の説明を理解していなかったと思いますが、ファッション業界の人たちは、分からないことを喜ぶ大らかな所があって、「全然、分からない!」と言いながらも、楽しんでいました。

なお、東京コレクションには登場しませんでした。分岐図のドレスのほかに、二次関数で編み出されたドレスも作りました。



二次関数の写像（ロジスティック写像）の分岐図（左）とそれをもとに松居エリさんと作ったドレス（右）

**問題をとことん考えていると
答えは意外なときに現れる**

——数学者の思考方法についてもお聞きしたいのですが、数学者には、ひらめきはすごいが、証明は苦手なタイプ。あるいは、その逆のタイプもあるものでしょうか。

合原 数学にとって直感やひらめきはすごく大切なものです。直感やひらめきによって、最初に、こうあるべきだという答えが浮かぶ。しかし、それだけでは不十分で、その後に理詰めで一步一步、詰めていかなければなりません。

優秀な数学者には、ひらめく力と証明する力の両方が必要です。

——数学者の中には、算数は苦手でも、数学は得意という人もいるのでしょうか。

合原 けっこう多くの数学者が具体的な足し算やかけ算を苦手にしてしています。算数と数学はあまり関係ないようです。

——数学者は数学の問題を考えると、数式を使って考えるものなのでしょうか。

合原 それは人によります。考えるとき、記号、数式を使う人と、記号、数式を使わずにイメージで考える人がいます。

——数学者たちが新しいアイデアを思い付くとき、そこに共通する要素はあるものでしょうか。

合原 アンリ・ポアンカレやジャック・アダマールといった数学者が書き残しているように、難しい問題をとことん考え抜いて行き詰まった後に、それをいったん忘れて、別のことをしていると、ふと答えが浮かぶという話はよくあります。

脳の観点から言うと、理詰めで深く考えたことが意識の下に入り込み、いったん忘れたとしても意識の下では働いていて、あるとき、その答えが意識の上にのぼってくるということでしょう。

ただし、これには必要条件があります。それは、皆、行き詰まるまで、その問題についてとことん考えています。論理を深めていく過程は時間がかかります。いかに忍耐強く、その作業を続けることができるか、その能力が必要なのです。

フックス関数を思い付いたポアンカレのエピソードがいい例です。彼は数週間、問題を考え続けていたのですが、答えが出ないので、気晴らしに旅行に出かけることにしました。そこで乗り合い馬車に乗ろうとステッブに足をかけた瞬間、ほぼ完全な形で答えが頭に浮かんできたといいます。

——夢が答えを導いてくれたといった話はあるのでしょうか。

合原 夢はわかりませんが、朝、突然、大きな物音で起こされた瞬間、答えを思い付いたというアダマールの話は有名です。面白いのは、思い付いた答えは前の晩まで考えていたものとは全く別の方向だったそうです。

——どんなに優秀な数学者でも、努力の上に成果があるのであって、答えが突然、降りてくるといことはないのですね。

合原 そうですね。数学はそんなに甘い世界ではありません。

フェルマーの定理を証明したアンドリュウ・ワイルズという数学者には、こんなエピソードがあります。

ワイルズはフェルマーの定理を証明しようと、閉じこもるようにして研究を続けていました。7年後、証明ができたという成果を発表したのですが、やがてその証明が間違っていることが分かりました。長年取り組んで出した超難問の答えが間違っていたとしたら、ふつう、そこでがっかりしてしまいます。ところが、彼はそれから1年半かけて、新しい証明を見つけたのです。

長年考え続けたというのもすごいのですが、間違っていたことが判明してから1年半で取り戻すというのも、実に感動的です。

——ところで、カオスの研究ではコンピュータを使用することはあるのでしょうか。



東京大学生産技術研究所 合原研究室のメンバー

「爆笑問題のニッポンの教養 脳を創る男 カオス工学」
著：太田光 田中裕二 合原一幸 講談社

合原 コンピュータの貢献は大きいです。直線は一次関数で表せますが、世の中の現象は直線に見えてもだいたい曲がっていて、多くの現象は非線形なのです。

一次関数では表せない非線形について考えるとき、コンピュータが重要になります。紙と鉛筆だけで複雑系の非線形問題が解けることは、ほとんどないと言っていいでしょう。

——スーパーコンピュータを使うことはあるのでしょうか。

合原 多くの場合、通常のコンピュータで十分です。天気予報のようにすでに基礎となる式が導かれていて、それを精度よく高速で計算すれば、よい結果が得られるという場合にはスーパーコンピュータが有効です。しかし第一次原理が分かっている複雑系の問題に関しては、必ずしも必要はありません。

公式の暗記ではなく その先にあるものを教える

——日本の教育現場では理系離れと言われて久しいですが、日本における数学や理科教育についてお感じになっていることがあれば、お聞かせください。

合原 先ほど、触れた非線形の中で、一番単純なものが二次関数です。つまり、二次関数は非線形の世界の入口なのです。日本では二次関数は中学校や高校で習いますが、そこでは非線形の世界の入口という教え方はしません。

「二次方程式の公式を覚えさせられたけれども、それを使ったことは一度もない」とよく言われますが、二次関数を理解していれば、非線形の世界が分かるのです。学校では本来そういう教え方をしてほしいのです。

重要なのは、その先に何があ

るのか、たとえば二次関数の先にあるドレスを教えてあげることです。それによって、子どもたちの関心の持ち方も変わってくるのではないのでしょうか。

——最後に、科学機器業界に対し、ご意見やご要望があれば、お願いいたします。

合原 ニュートンの天体力学の研究や前回お話ししたホジキン博士とハクスレイ博士のニューロンの研究も、膨大な計測データがあって初めて可能になりました。これからの科学技術にとっても、質のよい計測データの蓄積の重要性はたいへん高いです。

科学機器の進歩と数学が協働することで、今後の科学技術がさらに大きく発展することを願っています。

次号「科学の峰々」では
東京工業大学大学院情報工学科
亀井宏行教授に
お話しいただきます。