

# ブノワ・コリンズ

確率論, 作用素環論, 数理物理学  
(京都大学理学研究科 数学教室)

●写真=河野裕昭  
●文=富永 星



ランダム行列からワインガルテン解析へと向かったその先には、高校で出会った物理学の先生の「数学をするのなら、せめて役立つことを意識して」という言葉に込める広い沃野が待っていた。

## 数学をしたい！

コリンズは、化学の博士号を持つ父と過ごす日々のなかで、幼い頃からごく自然に数学——たとえば、コイン・トスを繰り返すと表裏の出る回数が半々に近づいていく「大数の法則」など——に親しんでいった。やがて実家のあるリモージュ近辺で開かれる数学オリンピックに出るようになり、そこで賞を取ったことから、父の知り合いの大学人などが「数学好きの少年の将来像」に関するさまざまな情報をくれるようになる。

高校の物理学の先生はまるで叔父さんのように親しい存在だったが、その先生からは「役に立たない数学などやめて、物理をやりなさい」といわれた。「役に立つことに価値を置く」という姿勢に感銘を受けはしたものの、自分はやはり数学をしたい！そのためにはぜひ高等教育で数学を、と考えたコリンズは、パリのリセ・ルイ＝ル＝グランの予備クラスから、エコール・ノルマル・スーペリウール (ENS) に進学する。

日本とフランスでは高等教育のシステムがかなり異なっており、フランスではざっくりと、18世紀に起源を持ちエリート養成機関と認識されているグランゼコールと通常の大学の2本立てになっている。予備クラスとは試験を受けてグランゼコールに進むためのコースで、通常の大学の1,2年に該当する。ちなみにグランゼコールの一つであるENSは、フランス革命のときに高等教育機関の教員や研究者の養成機関として設立され、数学だけでも、ガロア、カルタン、ヴェイユ、セール、グロタンディーク、コンヌ、ラフォルクなどを輩出している。

ENSでは以前から、グロタンディークに憧れるあまり代数幾何学に人気偏る状況が続

いており、コリンズの入学当時は、ちょうど学校側がその是正に乗り出したところだった。おかげでコリンズは、1年次でジェラルド・ベナルースのすばらしい講義を通じて確率論の魅力に目覚めることとなり、その一方でヴァンサン・ラフォルクによる輪読講座を通じて表現論に強く惹きつけられる。ENSでは年に一度、教科主任との面接でその後の進路を相談するが、その場で「今後は確率論と表現論をやりたい」という希望を出すと、「あまりにかけ離れた分野だから、どちらかに絞った方がよ



い」といわれる。それでもやはり絞りきれずに粘ると、「だったら変わった確率論の先生がいるから、その人を訪ねてみたら？」という言葉と共に、フィリップ・ビアンを紹介された。当時ビアンは行列を用いて確率論に取り組むなかで次第に非可換確率論、自由確率論にシフトしており、コリンズはそこで希望通り、行列と確率の接点というべきランダム行列に出会うことになった。

## 確率と行列の交差点で

ランダム行列とは要するに「乱数が要素になっていて基本的な対称性を満足する行列」のことなのだが、その起源は数理統計学にあり、1950年代にウィグナーが原子核物理学に転用、ウランなどの大きな原子の状態を表す複雑すぎる行列を理解するためにとりあえずこ

のランダム行列で置き換えてみたところ、かなりよい結果が得られた。当初はこのきわめて大胆な置き換えに強い抵抗もあったが、フリーマン・ダイソンの多角的な研究を経て、やがて理論物理学の主要課題の一つとなっていく。そのような研究の流れの中で、「局所コンパクト位相群上で唯一定義される正則不変測度」である Haar 測度の存在が間接的に証明され、さらにこの測度を具体的に構成する試みが始まっ



て、1978年にはドナルド・ワインガルテンと

いう若手物理学者がそれなりに細かい積分計算の結果を論文にまとめていた。

ピアンはコリンズに、その頃発表されたばかりだった（ワインガルテンの論文に基づく）自由確率論の論文に示されているある証明の別証明を考えるよう求めた。その課題に取り組むには、遡ってワインガルテンの計算を理解する必要がある、その結果コリンズは、ワインガルテンが行った計算の厳密な数学化を達成、修士論文にしたのだった。

さて、ここで少し時間を巻き戻すと、元来言語が好きだったコリンズは、ENS 入学後の面談における「今後数学だけをやっていくと、メンタルの負荷が強くなりすぎるので、他にも知的な活動をしたほうがよい」との助言を受けて、日本語を学び始めていた。そして修士となった1999年には、せっかくなので学んだ日本語を役立てたいと考え、「作用素環の勉強もした方がよい」というピアンからの助言に従って、ENS と東大の交換留学制度で半年間東大に滞在する。本来の受け入れ先だった泉正己がすぐ

に京大に移ったので、以後は河東泰之の課題研究ゼミに参加。現在コリンズが有する作用素環の知識の基礎はすべてそこで仕入れたという。

その直後から始まった博士課程での研究では、泉正己の論文に基づくテーマに取り組む一方で、自身の関心に基づいて引き続きワインガルテンの計算に取り組み、結局2003年にその二つで博士号を取得する。

### ワインガルテンの計算の数学化

コリンズがワインガルテンの計算を数学化したことで、従来さまざまな次元ごとに個別に当たるしかなく、結果が得られたとしてもその繋がりが見えにくかった対象を一気に包括的に扱えるようになり、また、



次元ごとの代数的な形や振る舞いの見通しも立てられるようになった。そこから具体的なランダム行列の計算が可能となり、やがて作用素環への間接的な応用も始まるのだが、それには少し時間が必要だった。

博士論文自体は評価されたものの、その後しばらくは—あまりに難解だったからか—ワインガルテン解析を用いた成果が発表されるでもなく、コリンズは「自分の数学は役に立たないのかなあ」と少し淋しかった。その頃ピアンのもとに滞在していたポーランドのピオトル・シュニアディは、コリンズがセミナーで2003年の博士号取得論文に含まれていたワインガルテンの計算に関する結果を紹介したのを受けて、その証明を3分の1に圧縮してみせ

た。そこからいろいろな展開の可能性がありそうだという話になり、2人は共同研究を開始する。そして2006年にその結果を発表したところ、2007年に開かれた非可換確率論の研究集会で量子情報理論のパトリック・ヘイデンが2人のもとを訪れ、君たちの2006年の結果を使った量子情報の成果を発表するからぜひ聴きに来て欲しい、という。喜んで聴きに行くと、ある大きな未解決予想の9割以上が自分たちの結果を用いて解かれていた。すっかり感銘を受けたコリンズは、ぜひワインガルテン解析の量子情報理論への応用を理解したいと考え、まずは若手を巻き込んでまったく専門外の量子情報理論の理解へと邁進、そこで得られた成果を論文にまとめた。ランダム行列を用いた量子情報理論の初の論文を発表すると、すぐに物理界から大きな反響が寄せられ、数学者でありながら物理学の大きな研究集会にメイン・スピーカーとして招待されることになった。これは「自分の数学を役に立てる」という点でじつに喜ばしいことであり、さらに、だったらこんな問題はどうかという形で次々に物理の側から問いが集まってきたので、その後十年ほどは、それらの問いを次々に解くこととなった。

### さまざまな共同研究、そして……

コリンズによると、ワインガルテン解析はごく自然な問いかけへの答えだという。数学ではさまざまな場面に対称性が登場するが、その対称性のもとで何らかの計算が必要になったときに、ワインガルテン解析が有効である可能

性が高くなる。その意味で、この概念はきわめて強力なのだ。

実際2011年には、量子群の専門家であるテオ・バナカとともに従来のコンパクト群に対するワインガルテン解析からその量子群版を作り出したことで—コリンズが博士論文をまとめた時点では二つのテーマに繋がりがあると思



えなかったのだが—じつは量子群とワインガルテン解析が繋がっていることが明らかになった。

このように、コリンズはじつに多くの研究者と共同研究を進めてきたが、ここでは直近7~8年の2人の共同研究者を紹介しておく。

1人は少し年下のマイケル・ブランンで、コリンズはオタワ大学ではブランンの非公式の指導教官の立場にあったとい

う。コリンズがランダム行列を通して学ぶことになった量子情報理論の現象のなかに、エンタングルメントがあった。確かにランダム行列を用いてエンタングルメントを扱うことは可能なのだが、一般にはランダム行列を忌避する人がいるのも事実で、コリンズは、量子群を使ってエンタングルメントを扱えないかと考えた。そしてブランンと量子群を通じた量子情報の取り扱いに関する共同プロジェクトを開始、量子群と量子情報を結ぶ結果を得た。その結果自体は革命的でなかったとしても、そこからさまざまな活動が生まれたという点で、あれは豊かな共同作業だった、とコリンズは振り返る。実際二人の協働は、共同開催した研究集会に参加した若手研究者がコリンズらのアイデアに基づいて「コンマの埋め込み予想」に取り組む、といった研究の活性化に繋がった。またコリンズ自身

も、ひょんなことからフィールズ賞受賞者のジョーンズ自身に教わった未解決問題を、ブランアンと開発した量子情報版ワインガルテン解析を用いて解くといった成果を挙げている。

もう1人は年齢も国籍も近いシャルル・ボルドナーヴ。2011年に自身が主催した日仏交流の科学イベントでこの応用数学系のランダム・グラフの研究者に初めて出会ったコリンズは、すでにその分野で大きな仕事をしているボルドナーヴに好印象を持ち、2014年にオーベルヴォルフアッハ数学研究所で再会すると、自身が出した結果をランダム・グラフでもできないだろうかと聞いてみた。こうして年に一度の共同研究が始まり、数年後には得られた結果を論文にまとめることになるのだが、その

作業の最中にふと閃いてさらに手を加えてみると、その分野で長年未解決だった「一般化されたAlon-Boppana予想」という大きな問いが解けてしまった。そしてその論文は、掲載基準がきわめて厳しい雑誌Annals of Mathematicsに掲載され、この業績により、2025年の数学部門のThe 2025 Frontiers of Science Awardを受賞したのだった。

コリンズの関心の大本はランダム行列とワインガルテン解析にあり、それはみじんも揺らいでいない。だが同時に、自分が得た成果に拘りすぎず、本質を踏まえた拡張の可能性などの広がり絶えず目を配り続けた結果、ワインガルテン解析は作用素環や量子群にも使われるようになった。そのうえ2010年前後からランダム行列自体が物理学以外に広がって

いったこともあり、「コリンズの数学が役に立つ領域」は飛躍的に広がってきた。

コリンズにすれば、そのような自分自身の業績もさることながら、フランスの文化を背景に日本で活動する一数学者として、次世代

を担う若き数学者を育てたい、自分にできることをしたいという思いが強い。だからこそ、研究以外の雑務も厭わず、所属する京都大学数学教室の専攻主任を務め、数学者同士の専門を超えて国籍や性別・文化的背景の多様性も尊重する自主的な学術交流と数学コミュニティ形成の場である「おいでMath談話会: Catch-all Math Colloquium」などにも積極的に関わってきた。そして今後も、さまざまな活動、交流を続けていきたいと思っている。



(この ひろあき/フリー・カメラマン)  
(とみなが ほし/翻訳家)  
[誌面基本レイアウト: 海保 透]



### Benoit COLLINS

(ブノワ・コリンズ)

1994年 アカデミー・ド・リモージュにてバカロレア取得。1996年 リセ・ルイ＝ル＝グラン予備クラス、終了。1996~2003年、エコール・ノルマル・スーペリウール在籍。1998年 パリ大学にて修士取得。2003年同、博士号取得。2003~2005年 京都大学の博士研究員。2006年 リヨン第1大学のCNRS研究員。2007年 オタワ大学のテニュアトラック助教。2014年 京都大学大学院理学研究科の准教授。2021年 同教授。2013年日本数学会建部賢弘賞特別賞。2022年 ICM 招待講演。2022年 第19回日本学術振興会賞受賞。2023年 日本数学会秋季賞受賞。2024年 Chaire Jean Morlet 受賞。2025年 科学技術分野の文部科学大臣表彰, Frontier of Science Award (Mathematics) 受賞。