

授賞報告

2021 年度日本数学会解析学賞授賞報告

2021 年度（第 20 回）日本数学会解析学賞の受賞者が決まりましたのでご報告いたします。授賞式は例年であれば 2021 年度秋季総合分科会において行われる予定でしたが、今年度はコロナ禍のために秋季総合分科会がオンライン開催となったため、次年度以降に延期となりました。

2021 年度の日本数学会解析学賞委員会の構成員は、長田博文（委員長）、織田寛、隠居良行、田中和永、濱田英隆、増田弘毅、森藤紳哉、森脇淳（担当理事）の 8 名です。受賞者とその授賞題目、授賞理由は以下の通りです。各受賞者による受賞記念講演は、来年春の年会において関連分科会の特別講演として行われる予定です。

受賞者：加藤賢悟（コーネル大学統計学データサイエンス学科教授）

授賞題目：高次元統計学におけるガウスおよびブートストラップ近似理論

英文題目：Gaussian and bootstrap approximations in high-dimensional statistics

授賞理由：数理統計学において中心極限定理とその拡張版が大きな役割を果たしてきた。とくに、20 世紀後半から確率論研究者と数理統計学者のコミュニティの相互交流で、確率近似方法に対するふたつの強力な理論が発展してきた。ひとつは、経験過程理論である。これは関数型の一様中心極限定理等に関わる研究結果であり、複雑なデータに対して、柔軟性と汎用性の高い統計手法の開発とその理論的な正当化におおいに貢献をした。もうひとつは、スタインの方法（Stein's method）によるガウス型近似理論である。これは 1972 年に Charles Stein が提唱したもので、正規分布等に関する部分積分法を利用し、正規分布とターゲットの統計量（確率変数）の分布間の距離に対して、収束の速さも含めたガウス型近似の誤差評価を導くものである。スタインの方法は、ランダム行列理論やマリアバン解析とも大変相性の良いものである。一方、計算機の普及を踏まえ、ブートストラップ法に代表される計算機集約的な統計手法の開発やその理論的正当化が数理統計学においてなされてきた。



加藤賢悟氏は、Victor Chernozhukov および Denis Chetverikov と共同で、データの次元数がデータ数とともに増大する高次元統計学の設定のもと、高次元統計量に対するガウス型近似理論とブートストラップ法に対する確率近似に関する理論（以下 CCK 理論）を展開した。これら一連の研究は、経験過程理論とスタインの方法を有機的かつ独創的に用いて、ターゲットの統計量およびブートストラップバージョンの分布に対するガウス型近似の誤差評価を、収束の速さも含めて非漸近的に展開する斬新な枠組みを提供するものであり、一部では壮大な急進展 (a grand breakthrough) とまで評されるほど重要な結果である。CCK 理論の近似誤差評価法は非漸近的なものなので、ビッグデータ時代の数理統計学やデータサイエンスの理論・応用研究に幅広く適用される潜在的な可能性を持ち、時代の要請に根ざすアクチュアルな研究成果である。この意味で、CCK 理論はビッグデータ時代の情報基盤社会に数学が貢献できるひとつの形を提供したとも言える。以上のように、加藤氏は、斬新な発想と厳密な理論展開により、理論的にも応用的にも汎用性の高い興味深い結果を得た。これは解析学賞にふさわしい大変優れた研究業績である。

受賞者：香取眞理（中央大学理工学部教授）

授賞題目：統計力学と関連する無限粒子系の研究

英文題目：Interacting particle systems related to statistical mechanics

授賞理由：確率論は長い歴史を持ち、90年代には数理ファイナンスへの応用で脚光を浴びた。しかし、確率論がフィールズ賞の対象となったのは最近のことで、2006年のWernerのSchramm-Loewner Evolution(SLE)を契機とする。以来、確率論および関連分野で4件の受賞があったが、それらはすべて統計物理モデルと関係する。香取眞理氏は、ランダム行列、Schramm-Loewner evolution(SLE)、Gauss自由場、行列式点過程など、統計力学の華やかなモデルを、Dysonブラウン運動を核として研究している。

研究の源流は2000年代にみられる。当時、種村氏と共同で非衝突過程の構成とランダム行列理論との関連を明らかにした。その時代は、粒子数有限の系を取り扱った後に粒子数が無限となる極限を考えるのが通常であったが、彼らは最初から無限粒子系を扱うことの重要性を認識し、実際に無限粒子の非平衡Dyson Brown運動を構成した。この仕事の影響は大きく、香取氏は2011年には、Les Houchesにおいて



“Symmetries and Structures of Matrix-Valued Stochastic Processes and Noncolliding Diffusion Processes” と題する 10 時間の連続講義を行なった。

2010 年代には、楕円型行列式過程の導入、Dunkel 過程の性質の解明、Dyson モデルに対する流体力学極限の議論等を行い、2016 年に Springer から “Bessel processes, Schramm-Loewner evolution, and the Dyson model” と題する書籍を出版した。この書籍は、題名に含まれる 3 つのテーマを結ぶユニークな観点を提供するもので、彼の現研究に繋がっている。

一本の SLE を駆動する確率過程として、通常、ブラウン運動が採用される。一方、多重 SLE においてどのような確率過程を駆動関数として選択すべきかは自明ではない。これまで既に共形場理論との対応や統計力学モデルからの考察など、いくつかの観点から議論が行われていたが、あまり満足のいくものではなかった。香取氏は越田氏と、近年 Sheffield や Miller らが 1 本の SLE 曲線とガウス自由場との結合系を研究していることに注目し、多重 SLE をガウス自由場と結合させて定常な確率場を構成すると、多重 SLE を駆動する多粒子確率過程が Dyson ブラウン運動として一意に定まることを示した。また香取氏は堀田氏との共同研究においては多重 SLE の流体力学極限に関する結果も得た。

ランダム行列、その発展として行列式点過程に関しても、行列式点過程の楕円関数拡張、円環上の Gauss 型解析関数の零点分布、更に、行列式点過程間の双対性に関する研究など多くの成果をあげている。これらは、解析学賞にふさわしい大変優れた研究業績である。

受賞者：高橋太（大阪市立大学大学院理学研究科教授）

授賞題目：Hardy 型不等式の精密化および非線形楕円型方程式の漸近解析

英文題目：Sharp Hardy type inequalities and asymptotic analysis of nonlinear elliptic equations

授賞理由：高橋太氏は、Liouville 方程式や 4 階の非線形楕円型偏微分方程式に対し、漸近解析を駆使した数々の重要な業績で既にこの分野で世界的に著名な研究者である。近年、そうした研究を継続しつつ、解析学の多くの分野に現れる Hardy の不等式をはじめ、Hardy-Leray 不等式などさまざまな臨界的不等式の最適性を詳細に分析し、その精密化を定量的に表現する剰余項の発見と分析手法を推進した業績により、この



分野の更なる発展と応用に大きな扉を開いた。

高橋氏の種々の不等式の精密化に関する研究は多岐に渡るが、最近の佐野めぐみ氏、J. Byeon 氏、濱本直樹氏との共同研究等においてとりわけ目覚ましい成果を上げている。特に、自然なスケール普遍性をもった剰余項を含む形での全空間における劣臨界 Hardy 不等式の精密化および次元の異なる劣臨界 Hardy 不等式と臨界 Hardy 不等式とを結びつける絶妙な変換の発見や、また、有界領域上での臨界 Hardy 不等式の最良定数が一般領域と球領域とで異なる状況を明らかにした結果は大変興味深く、特筆すべきものである。さらに、ごく最近の研究では、発散なし、もしくは回転なしのベクトル場に対する Hardy-Leray 不等式や Rellich-Leray 不等式の最良定数および剰余項の研究に関し、精密な結果を得ている。いずれの研究も、多くの関連研究の解析手法を熟知した高橋氏の幅広い知識と不等式に応じた鋭い洞察をうまく組み合わせ始めて成し遂げられたものばかりで、完成度の高いものである。

一方で、高橋氏は Liouville 方程式に関連した非線形楕円型方程式の漸近解析に関する研究においても、鈴木貴氏、大塚浩史氏や高橋氏自身を含む国内外の多くの研究者による豊富な研究の蓄積を踏まえ、重要な成果をあげインパクトを与え続けている。とりわけ空間非一様な係数をもつ Liouville 方程式の多重凝縮解凝縮点の近くでの精密な漸近的評価と漸近挙動を積み上げることで線形化作用素のスペクトル構造を明らかにした研究や、Liouville-Gelfand type の非線形問題の臨界的解の有界性と空間次元との関係を解明した結果などは重要な成果である。

以上のように、高橋太氏の研究の水準は極めて高いと評価でき、関連分野の今後の研究の推進の礎を与え、さらに大きな波及効果が期待されるものである。これらの業績は、解析学賞を授与されるに誠に相応しい。

(2021 年度日本数学会解析学賞委員会)