

緒方芳子氏の井上リサーチアワード受賞に寄せて

東京大学大学院数理科学研究科
河東泰之

緒方芳子さんが、井上科学振興財団の第2回井上リサーチアワードを、「量子系の非平衡、熱平衡状態における大偏差原理の研究」の題目で受賞された。この賞は、自然科学全分野の基礎的研究を対象に、毎年、博士の学位取得後9年未満の若手研究者3名に授与されるもので、研究助成金1,000万円がついている。主に実験系統の研究を想定して多額の研究助成金がついているところに日本数学会会員の受賞は初めてであって、大変おめでたいことである。

緒方さんの研究テーマは、量子統計力学であり、その数学的道具として作用素環論を用いていることが特徴である。学部から博士課程まで東大の物理学科に在籍して2004年に博士号を取得した後、東大数理のCOEポスドク研究員、マルセイユのCentre de Physique Théoriqueでのポスドク研究員、学振特別研究員(PD)、九大数理の助教を経て、2009年度から東大数理で准教授を務めている。また日本数学会の建部賢弘賞奨励賞も2007年度に受賞している。

言うまでもなく、統計力学は物理の理論であり、大規模系のマクロな性質を、ミクロな世界の法則から導くものである。特に平衡状態の基礎的な理解については、ほぼ完成した理論があり、世界中の大学で教えられている。しかし非平衡系を扱う統計力学はまったく完成からはほど遠く、多くの人が現在研究している重要なテーマである。また平衡系についても、量子系では未解明の問題が多く残されている。これら自体は物理の理論・問題であるわけだが、数学的にも興味深い多くのテーマに関連しており、偏微分方程式、確率論などの立場からもさまざまな数学的研究が、さまざまな角度から行われている。ここでの話題は、作用素環論を用いる手法だが、量子統計力学の研究に作用素環論を用いることには長い歴史があり、まさしくそのままの題名の、Bratteli–Robinsonの有名な教科書“Operator Algebras and Quantum Statistical Mechanics”がある。日本でも、荒木不二洋氏の長期にわたる重要な研究があり、その影響も大きい。このような流儀の研究は、研究者の数としては多くないが、無限系を数学的に厳密な形で扱える利点があり、そこではフォン・ノイマン環についての富田–竹崎理論が強力な道具となる。

緒方さんの初期の主要な研究対象は、非平衡定常状態と呼ばれるものである。物理的には、異なる温度を持った物理系をつなげて相互作用させ、無限に時間がたった状態を考える、というのが設定であり、その性質を数学的に研究するわけである。このように作られた非平衡定常状態における物理量が、初期状態での温度にどのように依存するかを考える。この1次近似を与えるのが、Green–Kubo公式である。Kuboとは有名な久保亮五氏であり、物理

では線形応答理論として何十年も前から知られている一般的な式であるが、数学的にどのような条件下で証明できることであるかは全く明らかな問題ではない。(数学的にまったく一般的な状況にしてしまうと、そもそも成り立たない場合があることは容易にわかる。) 緒方さんは、この Green-Kubo 公式を物理的に期待される一般的な自然な条件下で、量子系の非平衡定常状態に対して証明し、一連の論文でその様々な応用を示した。たとえば、スピン・フェルミオン・モデルと呼ばれるよく知られた例についてもうまく適用できることが初めて示された。また、Onsager 関係式と呼ばれる有名な、輸送係数の対称性を表す式が成り立っていることもこれからしたがう。この一連の結果が、これまでのところ緒方さんの最もよく知られた業績である。

このほかに、系の巨視的な安定性の問題や、量子情報についても論文があるが、最近では量子系の大偏差原理について研究している。これが今回の受賞題目にあるテーマである。大偏差原理とは確率論でよく研究されているもので、系が大きくなる極限で、統計量が平均値からずれる確率が指数的に減少する現象を表す。どのような仮定の下でこれが成り立つか、また成り立つときに指数減少の程度が定量的にどうなるか、を調べることは数学的に興味深い問題である。古典的なスピン系についてはこのようなことはよくわかっているが、量子スピン系と呼ばれる重要なクラスについては、最近いくつか研究があるものの、基本的な問題についてもよくわかっていないことが多かった。緒方さんはこれについて研究し、1次元系について、先行する論文に足りなかった基本的な結果を得た。さらに、その拡張、応用について現在研究中である。熱平衡での大偏差原理は非平衡系の理解にも役立つ可能性があるとして期待されている。

緒方さんは最初にした通り、物理の出身で、かなり物理的なジャーナルにもいくつも論文があるが、最近の研究では数学的側面の研究の比重が高まっており、博士号取得の後にはほぼ数学系の組織に属している。物理出身で、数学系学科で研究・教育に従事している人は世界中にたくさんいるわけだが、そこにもう一人、このように若く有能な研究者が加わったことは、数学界としてたいへん喜ばしいことである。また、上記のマルセイユのほかにも学振 PD の時期にアメリカの UC Davis に長期滞在していた上、これまでの共著者の大半が外国の研究者であり、その国際性は大変高いものである。これからもさらに一段と大きく、国際的に高いレベルの活躍を続けてもらうことを期待して、この簡単な紹介記事の筆を置かせていただく。