

緒方氏の平成 26 年度文部科学大臣表彰 若手科学者賞受賞に寄せて

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、平成 26 年度文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞された。日本数学会の建部賢弘賞奨励賞 (2007 年度)、井上財団の井上リサーチアワード (2010 年度)、日本数学会の建部賢弘賞特別賞 (2012 年度) に続くもので、たいへんおめでたいことである。このうち井上リサーチアワードは、自然科学全分野からこれまでの全期間 6 年間に 19 人の受賞者が出ているが、所属が数学系なのは緒方さん一人だけである。また日本数学会の建部賢弘賞奨励賞と建部賢弘賞特別賞の両方を受賞しているのも、これまで緒方さん一人だけである。なお井上リサーチアワードの時も私が「数学通信」に紹介記事を書いたので、その記事との重複はできるだけ避けることにする。

緒方さんは学生時代は全期間を通じて物理学科に所属していたが、博士号取得後はほぼ数学系の組織に所属しており、現在は東京大学大学院数理科学研究科での私の同僚である。

緒方さんの研究内容は、数理物理学、特に作用素環論を用いた非平衡量子統計力学である。最近の主要な業績は、量子スピン系の大偏差原理の研究、エントロピー生成の研究、漸近的に可換な観測可能量の数学的挙動の研究、さらにこれらの量子情報理論への応用である。いずれも物理的直感、動機に基づいた問題について数学的に興味深い結果を厳密な形で導いており、数学の業績として大変高く評価できる。たとえば、量子非平衡系物理系の研究において物理的に自然な条件のもとで多くの興味深い結果を厳密に証明し、またその条件を満たす重要な例がたくさんあることを具体的に構成して示している。理論物理学では古くから信じられていたが、数学的には初めて厳密に示された結果も少なくない。またそのための技術的な道具としての、作用素環論における数学的不等式もそれ自体として重要な成果である。

量子力学の最も基本的な数学上のポイントはもちろん、観測可能量を表す作用素の積が可換ではないことである。統計力学は言うまでもなく物理学における根本理論の一つであるが、古典系の場合は、数学の立場からは、考える可測関数環が可換なので古くから知られている重要な結果がたくさんあり、よく発展した理論ができている。特に平衡統計力学はほぼ完成した理論と言ってよい。しかし古典系でも非平衡統計力学は、完成とは程遠い発展中の重要な分野である。これに対し、量子系

の場合は非可換な作用素のなす環を扱わなくてはならないため、ごく初歩の段階から多くの技術的困難が現れる。理論物理学の立場から平衡・非平衡量子統計力学を研究している研究者は世界中に数多いが、多くの場合数学的には厳密でない議論に依存している。これを数学の立場から見ると、重要で興味深い問題の宝庫である。物理学で当然成り立つに違いないと信じられていたものを厳密に数学的に証明するだけでも意義はあるが、その過程でこれまでに多くの予想外の数学理論の発展、新たな関係の発見などがあり、それが数学としてさらに重要な成果に結び付いてきた。歴史上もっとも有名な例は、久保–Martin–Schwinger が量子統計力学で導入した正則関数の条件 (KMS 条件と呼ばれる) が、数学の富田–竹崎理論に現れるモジュラー自己同型群の特徴づけと同じ条件であったというものである。これに基づき、作用素環論を用いた平衡系の量子統計力学の研究が過去 40 年ほどにわたって続けられてきており、日本では荒木不二洋氏が長い間この方面の中心的研究者として多くの成果を挙げてきた。緒方さんはまだ若いですが、すでにこの方面の国際的に主要な研究者の一人である。このような物理的背景に基づき、数学として重要な作用素環論の成果を得ることが研究目的であり、純粋数学の研究だけが続けてきた作用素環論の研究者には思いつかないような視点からの新しい成果を得ていることが特徴である。

緒方さんの研究の一つの対象は格子 \mathbf{Z}^d の上での量子スピン系であるが、その $d = 1$ の場合でさえ様々な困難があり、 $d > 1$ の場合はさらに困難である。緒方さんは、まず $d = 1$ の場合に大偏差原理の基本的な結果を得た。この問題はこれまでも多くの人が研究していたが、ずっと弱い結果しか得られていなかったものである。これには作用素環論の高度な技術が新しい形で駆使されている。また、緒方さんの研究の初期から続けている、量子統計力学の線形応答理論における Green–久保公式や Onsager 関係式の厳密な証明とその応用も重要な別の流れである。これは物理学では古くから研究されていて多くの結果が知られているが、数学的に厳密な形で知られている量子系の結果は数少ない。緒方さんは数学的にきちんとしたフォーミュレーションと厳密な証明を与え、それが多くの具体例に実際に適用できることを示している。

これらの結果を導くための数学的道具を単独の論文にまとめたものもあり、それ自体としても大変興味深いものであり、作用素環論においても数理物理学においても今後有用な結果として広く応用されることが期待される。

さらに最近では、巨視的物理量の漸近的可換性が作用素環論における Lin の有名な漸近的可換性の結果と関係することを見抜き、Lin の方向をさらに推し進めて大幅な一般化を成し遂げている。これは物理的な言葉を使って表現されている

が、純粋に数学的な作用素環論の結果としてたいへん素晴らしいものである。また von Neumann はこういう近似ができることを仮定して統計力学の議論を行っていたが、それが正当であることを示したことになる。

これらの業績については、量子統計力学の理論物理学としての深い理解と、作用素環論の数学としての高度の技術の双方が必要なため、きちんとした成果を挙げている研究者はごく少なく、特に荒木氏を初めとする著名研究者の高齢化に伴い、若手で影響力のある研究者はさらに少ない。その中で緒方さんの貢献は傑出していると言える。物理的背景から数学的本質を抽出する独創性は他の若手研究者に例を見ないものであり、国際的なインパクトも大きい。

もともと緒方さんは数理物理学研究の世界での評価が高かったが、近年ではその数学的側面の重要性も広く認識されて来ており、純粋数学の研究集会での講演も増え、数学者の間での評価も高まってきている。

また、緒方さんらの研究成果は本来無限量子系を対象に行われてきたものだが、理論的にはこれらを有限量子系に制限することもできる。そうすると、問題設定としては量子情報理論で考えられているものと同じになるので、こちらの結果にも貢献している。量子情報理論の研究はコンピュータ科学関係者を含め世界的に流行しており、論文の数や研究者の数も爆発的に増えているが、その中でさらに大きく発展していくことが期待できる。

私は直接的な研究上の関係は、純粋に数学的な作用素環論の共著論文を一本書いたというだけであるが、その際も研究初期のアイデアから仕上げのテクニクまですべて、緒方さんがリードしていたものである。私は緒方さんが大学院生の時から知っているが、一方では明らかに物理的な感覚、動機があるのに対し、数学的な側面でも、セミナー、論文執筆、学会講演、授業などにおいてすべて数学科出身者と同じ感覚も備えており、物理と数学の完全な「バイリンガル」であるのは大変素晴らしいことである。今も、昔自分が学生時代に習ったことのない Lebesgue 積分や関数解析の講義を担当しているが、すらすらと優れた講義を行っている。

さらに海外経験が豊富であり、共同研究者の大半が外国人であることも特徴と言える。海外出張を多く繰り返して世界各地で活躍している。

緒方さんの知識、関心は幅広く、研究会も統計力学、場の理論、数理物理学一般、作用素環論、確率論など様々な研究会で招待講演を行っている。これからも大きくその研究が進展、進化していくことが強く期待できる。物理出身者としての深い洞察力を武器に、長年にわたりこの方面で世界をリードしてきた荒木不二洋氏の立場を継ぐ研究者として大いに期待している。