

会員ニュース

緒方芳子さんの猿橋賞および令和6年度科学技術分野の 文部科学大臣表彰科学技術賞受賞に寄せて

一人の物理学者が見た緒方さん

学習院大学理学部

田崎 清明

2021年 ジュネーブ + 東京

2021年8月2日、スイスのジュネーブで、第20回国際数理物理学会議 International Congress on Mathematical Physics (ICMP) が幕を開けた。数理物理学の分野では最大の会議である。ICMPの初日の式典では、アンリ・ポアンカレ賞の受賞者が発表され、続いて授賞式が行われるのが近年の慣例になっている。受賞者は式典での発表まで関係者以外には知らされない約束で、実際に秘密はかなり守られているようだ。

この日の式典で、バクスター、クリストドルー、ソロベ、そして、緒方芳子さんへの授賞が発表された。日本人としては、2003年の荒木不二洋先生に次ぐ二人目である。風光明媚なジュネーブでの、めでたく華やかな授賞式だったが、実は、受賞者の緒方さんも、授賞理由を説明する役を仰せつかった私も、会場にはいなかった。この時、日本はまさにコロナ禍の真っ只中であつたのだ。ワクチン接種も欧米には遅れを取っており、医療関係者でない一般人に接種の機会はなかった。国際賞の受賞者であっても、渡欧するのはきわめて困難な状況だったのである。

緒方さんも、私も、それぞれ東京の自宅から Zoom による遠隔参加で式典に臨んだ。夜も遅い時間に不慣れなネクタイに背広姿でパソコンの前に座り、受賞スピーチをする緒方さんの姿が大ステージのスクリーンに映し出されるのを（パソコンの画面越しに）見ていた。授賞理由の説明は事前に録画したものを流したので、自分の話す様子がスクリーンに映るのを不思議な気持ちで眺めていたのを思い出す。授賞式に臨席する華やいだ高揚感とパンデミック下の重苦しい閉塞感の入り混じった、忘れられない時間だった。

2015年 ラトガース

遡ること数年、私は定期的に行われている統計物理学の会議のため米国ラトガース大学を訪れていた。会議が終わり、人々が次々と別れを告げながら去っていく時間に、プリンストン大学のエリオット・リーブ先生と二人で立ち話をした。リーブ先生は現代の数理物理学を代表する巨人だが、私にとってはポストドク時代にお世話になった恩師でもある。

リーブ先生とは主に会議での私の講演のテーマに関連してあれこれと議論したのだが、何かのきっかけがあったのか、先生から緒方さんの名前が出て、彼女と議論しているかと尋ねられた。もちろん、緒方さんとはセミナーなどの機会にしばしば顔を合わせて時には質問や議論もしていたが、深い交流はなかったので、その通りを伝えたとする。「芳子は本当に優秀だ。是非とも積極的に交流するといい。」それがリーブ先生のアドバイスだった。

2018年 東京

その日、緒方さんが目白の学習院大学を訪れ、高麗徹さんと私と三人で研究室の黒板の前に議論していた。予定していた話題が一段落したところで、ちょうど気になっていた量子スピン鎖における Lieb-Schultz-Mattis (LSM) 定理と類似した新しいタイプの主張について緒方さんに伝えることにした。リーブ先生のアドバイスが頭にあったのかもしれない。

ここで研究の内容に踏み込むつもりはないが、ごく表層的に説明しておこう。量子スピン(あるいは、単にスピン)とは、磁性体を構成する各々の原子が担っている「極微の磁石」のことで、数学的にはリー環 $\mathfrak{su}(2)$ の $2S+1$ 次元表現である。ここで、 $S \in \{\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, \dots\}$ は「スピンの大きさ」と呼ばれる定数で、原子の種類に応じて定まる。ちなみに、われわれが三次元空間に住んでいる以上、回転群 $SO(3)$ が物理で重要な役割を果たすのは当然だが、興味深いことに、量子物理では $SU(2)$ も不可欠なのである。単独のスピンは単なる $(2S+1) \times (2S+1)$ 行列だが、量子スピン鎖では、無限の 1 次元格子 \mathbb{Z} (それを「鎖」と呼ぶ) の各点にスピンが一つずつ「住んで」いる。これらスピンどうしがどのように相互作用するかを定めることで、量子スピン鎖の状態、特に絶対零度で実現される基底状態やそこからエネルギーが上がった励起状態などを定義できる。これは、ある種の磁性体のかなり忠実なモデルになっていることが知られている。

Lieb, Schultz, Mattis によるオリジナルの LSM 定理は、「 $U(1)$ 対称性を持つ量子スピン鎖は、一意的でエネルギーギャップを伴う基底状態を持ち得ない」ことを示す有名な no go 定理である(もちろん、Lieb はリーブ先生である)。その当時、いわゆる「トポロジカル物性」を研究する理論物理学者が、離散的な対称性を持った量子スピン鎖でも LSM 定理と同様の定理が成り立つと主張していた。オリジナルの定理では連続的な $U(1)$ 対称性が本質的だったが、新しい LSM 型の定理では単独のスピンが対称性を表わす群の非自明な射影表現を与えることが重要だった。私は、この結果を教えてくれた理論物理学者の渡辺悠樹さんらの論文に興味を持って学んだ。

多くの読者はご存知のことと思うが、理論物理の論文での「定理」の「証明」は、多くの場合は物理のスタイルで書かれており、数学の証明とは様相が違ふ。そして、その「証明」は、もっともらしいが非自明な命題を証明抜きで用いたり、論理に微妙なギャップがあったり、実際には証明になっていないケースも多い。ただ、丁寧にロジックを追って細部を適切に補えば数学としても通用する証明になっているケースもある。私は、渡辺さ

んらの論文を（かなり苦労した末に）解読し、彼らの論文が幸いにも後者の範疇に入っていることを理解した。量子スピン鎖の injective な行列積状態と呼ばれる特別なクラスの状態については、離散的な対称性を持つ系の LSM 型の定理が確かに証明されているのだ。

私は、渡辺さんらの証明を（数学好きな物理学者である）自分に理解しやすい（よって、望むらくは、数学者にも理解しやすい）形に再構成していたので、それを黒板で説明した。そして、行列積状態という制限を外して、一般的な量子スピン鎖の基底状態について同様の命題が証明できないだろうかと問うた。緒方さんは作用素環を用いた量子スピン鎖の研究の世界的な第一人者であり（ちなみに、量子スピン鎖を始めとする無限量子多体系への作用素環によるアプローチを開拓した一人が荒木不二洋先生である）、行列積状態についての重要な業績もあった。彼女ならばこういう問題に向けて何かを考えてくれるだろうと期待していたのだ。ただ、行列積状態に比べると一般的な量子スピン鎖の基底状態は圧倒的に難しい対象であり、このような一般化がすぐにできるとは思っていなかった。私の問題提起は、いわば「将来に向けた夢」の表明のつもりだったのだ。

しかし、私の見通しは完全に誤っていた。議論をした日からほどなくして緒方さんからメールが届いた。行列積状態という制約なしに、まさに望んでいた通りの LSM 型の定理が証明できたという。証明には「基底状態の半無限鎖への制限から自然に構成されるフォン・ノイマン環上のクンツ環の表現」という、物理学者の私にはほとんど馴染みのなかった数学的な概念が登場する。そして、この舞台設定のもとで、渡辺さんらの証明の核にある「物理」が厳密な数学として見事に具現化されるのだった。

この進展は私にとっては大きな衝撃だった。それまでの私は、作用素環による定式化が無限量子多体系を記述する自然で便利な言語であることは納得していたが、それが具体的な物理の命題の証明に役立つとは考えていなかったのだ。しかし、緒方さんの証明では、作用素環が、物理学者が予想した非自明な命題を証明するための完璧で力強い道具として使われているのではないか！ また、半無限鎖に伴うフォン・ノイマン環に着目するという本質的な視点を（物理学者が行列積状態と射影表現の関係に注目するずっと前から）開拓していたのが私の学生時代からの知己である松井卓さんだったことも、うれしい驚きだった。そして、何よりも衝撃だったのが、これだけのことをごく短期間で達成してしまう緒方さんの能力、知識、そして集中力だった。私が黒板で説明した行列積状態についての定理の証明を即座に理解するのは当たり前として、それを作用素環の定式化に適切に取り入れ必要な数学的道具立てを揃えて美しい定理にするまで、すべてが驚くほどスムーズに、信じられないスピードで進んでいるようにしか見えなかった。

しかし、この時に受けたショックなど、この先に私が受けることになる圧倒的な知的衝撃に比べれば小さなものだった。LSM 型の定理の証明は、緒方芳子さんが「トポロジカル物理」の世界を力強く開拓する第一歩に過ぎなかったのだ。詳細に踏み込む余裕はないが、

これに続いて、緒方さんは、量子スピン鎖における「対称性に保護されたトポロジカル相 (SPT 相)」の問題に取り組み、物理学者が特殊な状況で議論していた描像を完全に一般化することに成功した。彼女が定義した (Ogata index として広く知られている) 指数は作用素環による量子多体系の定式化の最も美しい成果の一つだと私は考えている。

ところで、量子スピン鎖における SPT 相の概念を物理学者が提唱したのは 2009 年であり、緒方さんが一連の大部の論文を発表し厳密な一般論を完成させたのは 2019 年である。物理から生まれた非自明な概念がこれほどの短期間で厳密な数学にまで高められた例は、数理物理学の歴史の中でも稀有なのではないだろうか？

その後も緒方さんはとどまるところを知らず、1 次元と 2 次元のより広いクラスの量子多体系の SPT 相、さらにはトポロジカル秩序などのテーマについて重要な業績を次々と発表し、数学と物理学のコミュニティに大きな影響を与えている。

2024 年 東京

今年になって、緒方さんは、猿橋賞と文部科学大臣表彰科学技術賞を受賞した。すべての科学分野から一名だけを顕彰する猿橋賞は一般的な知名度も高く、緒方さんの受賞は数理物理学という小さな分野に光があたるという意味でも喜ばしいことである。

5 月の猿橋賞の授賞式と記念パーティーには私も (今回は、生身で) 出席した。お祝いのスピーチでは、上に書いたようなことを述べた後、緒方さんの「信じられないスピード」について、「私がこういうことを言うと、緒方さんはいつも『それは田崎さんの思い込みで、私は本当は仕事がとても遅いのです』と反論されます。しかし、このパーティーに出席しているみなさんは、私に賛成してくれるのではないのでしょうか？」と話した。少なからぬ人が頷きながら笑ってくれたので、きっと同じ思いだったのだろう。主役の緒方さんも、控えめに笑ってくれていたと思う。

2024 年 ストラスブール

第 21 回国際数理物理学会議 (ICMP) は、2024 年 7 月 1 日から六日間、フランスのストラスブールで開催された。街の中を流れる川に沿ってフランス文化とドイツ文化が入り混じった街並みが広がる美しく穏やかな都市である。

今回の ICMP もアンリ・ポアンカレ賞の発表から始まる。「しかし、その前に」と会長のカーシャ・レイズナーが言うと、ステージの巨大スクリーンに“Prof. Yoshiko Ogata, 2021 HP Prize Laureate” というタイトルとともに緒方さんの受賞理由が映し出される。

「パンデミックのため前回の授賞式に出席できなかった緒方教授を、ここで讃えましょう！」とカーシャ。満場の拍手の中、緒方さんは控えめにステージに上がり、カーシャと握手を交わす。私も会場の最前列に座って拍手しながら緒方さんの写真を撮ろうと焦っている。緒方さんは、一言だけ感謝の言葉を述べて会釈すると、大きな拍手に包まれながら、すぐにステージを降りた。緒方さんらしい、素敵な「やり直しの授賞式」だった。