

科学技術分野の文部科学大臣表彰（若手科学者賞） を受賞して

物性理論研究部門 川畑 幸平

受賞にあたって、共同研究者および支えてくださった多くのみなさまに感謝します。また、本賞に推薦していただいた物性研究所のみなさまにも感謝します。ここでは、受賞に至った研究を進める過程で、これまでの私に物性理論の世界がどのように見えてきたか、まだ「若手科学者」と呼ばれるあいだに書き残しておきます。

*

2000年代中頃以降、世界の物性理論の主要な課題はトポロジカル相の理解であった。私の大学院入試直後の2016年秋にノーベル物理学賞が物質のトポロジカル相の理論に与えられ、その後の2017年秋の日本物理学会(岩手大)ではHaldane現象のシンポジウムで田崎晴明先生(学習院大理)や押川正毅先生(東大物性研)らが魅力的な講演をされた。そのころは、もともと考えられていた内部対称性に守られたトポロジカル絶縁体・超伝導体の理解は基本的には確立したものとされ、結晶対称性に守られたトポロジカル相をどのように理解して分類するかという問題に研究の焦点が移っており、高次トポロジカル絶縁体のような新しい物質相が提案されていた。この分野では、塩崎謙先生(京大基研)と渡辺悠樹先生(東大物工)の二人を筆頭に、国内でも優れた若手研究者が目の前で活躍しており、鋭い理論を自分も作ってみたいと、大きな刺激を受けた。これらの進展は興味をもって勉強したが、すでに高い数理技術が要求されており、研究を始めたばかりの大学院生が寄与できるのか疑問だった。

同時期に、非平衡下にあるトポロジカル相の理解にも大きな進展があった。それまで平衡下にあるトポロジカル相の静的な性質が研究されてきたが、外場などによって周期駆動された非平衡状態に特有のトポロジカル現象の可能性が指摘され、理解が進んでいた。非平衡物理の重要性は統計物理の枠内で学部生のころからよく認識して勉強していたが、固体電子系の物性現象においても重要になりうるという考え方は新鮮だった。ただし、周期駆動系のトポロジカル相の研究は当時でもある程度成熟しており、基本的な理解はすでに構築されているように思われた。むしろ、非

平衡とは平衡でないことを意味するだけなので、周期駆動系以外の意味での新しい非平衡トポロジカル相が論理的には存在するのではないかと考えた。

そうしたなかで関心をもったのは、粒子やエネルギーの散逸をとまなう非平衡開放系におけるトポロジカル相であった。トポロジカル相の特徴としてしばしば挙げられるのは、デコヒーレンスに対する安定性である。しかし、文献を読んでも乱れを加えたときにトポロジカル相が安定であることを示しているだけであり、実際に外部環境への散逸過程を取り入れてデコヒーレンスが起きたときの安定性を調べた研究はほとんどなかった。量子開放系の理論をもとにすると、デコヒーレンスが起きると古典化した混合状態に遷移し、トポロジカル相の性質は損なわれるのではないかと素朴には考えられた。これは、量子開放系の理論と物性理論というふたつの理論体系のあいだに隔たりがあることを意味しているように思われ、理論的に非自明な何かの存在を直観した。

開放系を考えたときに生じる最も基本的な変化は、系を記述する演算子がエルミート性(あるいはユニタリー性)を失うことである。通常は系が孤立していることに由来してエルミート性が満たされるが、環境と結合して系が開放するとエルミート性が失われる。当時でも、トポロジカル絶縁体を記述する個別の模型に非エルミートな摂動を加えたときにどのような変化が生じるか調べた研究は、おもに原子分子光物理の領域でいくつかあった。しかし、私にとって重要だったのは、開放系を構成する本質的な要素である非エルミート性のもとで対称性をどのように定式化するか、またそれを踏まえてトポロジカル相をどのように定義して分類するか、といった理論体系の基本的な問題であり、それを正面から考えた研究はなかった。この問題に共同研究者と数年間かけて取り組み、ひとまとまりの理論を作ったのが、今回の受賞に至った成果であった。なお、物性物理のなかで非平衡現象を考える面白さと重要性は、現在では常識となり、とくに若い世代にはひろく受け入れられているが、20年以上前には物性物理と非平衡物理はもっと隔絶していたはずである。そのような状況で、平衡状態では生じえない物性現象を非平衡下で探究するという新しい考

え方の重要性を認識し、国内外で浸透させたひとは岡隆史先生(東大物性研)であり、その貢献は計り知れないと思う。

私が上記の研究に取り組んでいたのと同時期に、2層のグラフェンを特定のひねり角で重ねたときに多体相互作用に起因する絶縁相と超伝導相が生じるという実験結果が報告され、理論・実験の両面で爆発的に研究が進んだ。理論的には、多体相互作用が本質となる強相関電子系の問題であるが、同時にトポロジカル相の理解が前提として要求されるものであった。トポロジカル相の研究は、一過性の流行にすぎないと敬遠した研究者も当初は多くいたと聞くが、分野の基本的な技術へと昇華されていく過程を見たような気がした。

*

世界を見渡すと、これまで物性物理の問題とみなされてこなかった対象が新たな研究領域としてつぎつぎと立ち現れ、同時にこれまで物性研究者が使ってこなかった技術(数学)が不可欠となっている。そのなかで、各理論家が自身の独創性をどのように世界に示すかが問われているように思う。とくに、物質の相の特徴づけや分類といった物性物理の根幹をなす問題に、高エネルギー物理や量子情報科学で培われてきた概念が本質的となりうることも広く理解され、それにともなって従来以上に高い数理技術が要求されている。何を物質とみなすか、という基準すらゆらいでいる。もちろん世界の流行に安直に追随するべきではないが、世界の進展をよく理解したうえで参入しないのと、世界の進展についていけないだけなのは違う。私個人としては、現代の物性理論分野は、高い技術を身につけ、どこまで自由に理論を構築できるか、理論家としての力を見せる格好の舞台であるように感じる。がんばりたい。