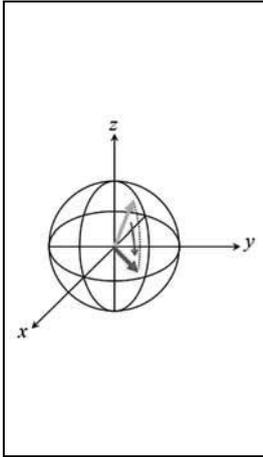


# 光格子量子シミュレーション

京都大学 大学院理学研究科  
高橋義朗



## 1. 背景

レーザー冷却による量子縮退気体の研究の勢いはとどまることを知らぬほど進展が著しい。その中でも、特に注目を集めている重要な研究テーマとして本分野における世界的な一大アジェンダとなっているものに、光格子と呼ばれる周期的なポテンシャルにナノケルビン台の極低温原子気体を導入した系(図 1)を用いた量子多体系の量子シミュレーションの研究を挙げることができる<sup>1)</sup>。ここで、制御性のよい量子系を用いて別の量子系をシミュレートすることを、ファインマンに倣い、量子シミュレーションと呼んでいる。光格子中の冷却原子は、格子点間のトンネリング項と格子点内での原子間相互作用項の 2 つの項からなるハバードモデルで記述されることが知られている。このハバードモデルは、遍歴磁性や異方性超伝導などの強相関電子系を記述する大変重要なモデルであり、光格子中の冷却原子系は、ハバードモデルの極めて制御性の良い新たな実験系として注目を浴びている。これまでに、アルカリ原子を用いて、ボース原子の超流動・モット絶縁体転移の観測 (2002 年)、フェルミ原子の金属・モット絶縁体転移の観測 (2008 年)、反強磁性秩序の観測 (2016 年) などが報告されている。

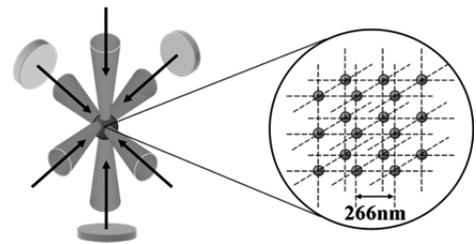


図 1 光格子 (光の定在波による原子の周期的ポテンシャル)

一方、高温超伝導に代表される多くの機能性物質は、ハバードモデルで記述される強相関量子多体系であり、物性物理の興味深い対象となってきた。これまで、様々なアプローチでその振る舞いの理解が試みられてきたが、しばしばその定性的な理解を得ることすら困難である。この状況において、高い制御性を有し格子欠陥や不純物のないスーパークリーンな環境を用意できる「光格子中冷却原子」という理想的な量子多体系を用いて、強相関量子多体系の描像解明を行う“量子シミュレーション”技術を発展させることにより、新機能物質設計の貴重な設計方針を与える戦略は極めて重要で有効であると期待されている。

## 2. 光格子量子シミュレーションの研究例

こうした背景のもと、我々は、固体系では困難ではあるが、高い制御性を有する光格子系と、ユニークな系を提供できる原子気体の特徴を組み合わせることで、この量子シミュレーションによるアプローチの可能性を発揮できるような研究を目指してきた。特に、これまで主に研究の対象とされてきたアルカリ原子系ではなく、特に 2 電子系であるイッテルビウム (Yb) 原子を対象として、これまでにボース・アインシュタイン凝縮、フェルミ縮退、およびその混合量子気体の生成に成功し<sup>2)</sup>、これを光格子に導入することでユニークな光格子量子シミュレーション研究を行ってきた。最近では、この特徴を活かし、「非標準型格子」と「高対称性スピン」の二つの自由度に特に着目することで、これまでの量子凝縮物性の根本的な重要問題への解決・解明に役立てることが可能であると考え、研究を行っている。まず本章では、その中から、最近の研究例を幾つか紹介する。