

マヨラナ粒子の実証を起点に、 トポロジカル量子コンピューティングの 基盤技術の確立を目指す

最先端の「量子スピン液体」研究を加速させる
高性能HPEサーバープラットフォーム

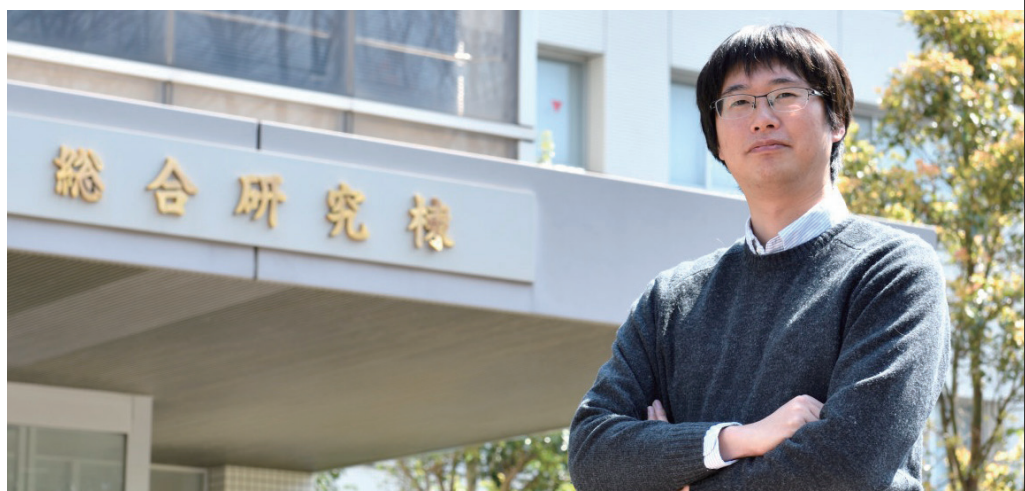
業界
大学・研究機関

目的
「量子スピン液体」に着目した新しい準粒子の実証とトポロジカル量子計算の基盤技術の研究。

アプローチ
「キタエフ模型」に基づく数値計算により、理論的側面からトポロジカル物性を予言・実証する。

- ITの効果**
- HP ProLiant DL580/DL380サーバーを採用し、トータル400コア以上のコストパフォーマンスの高いクラスターシステムを構築
 - モンテカルロ法による大規模かつ複雑な量子系の解析・数値計算を実行可能に
 - 中規模のクラスターシステムを研究室で占有し、学外のスパコンと適材適所で利用可能に

- ビジネスの効果**
- 熱伝導や磁性などの物理量の計算を高速化
 - 現実の物質におけるキタエフ模型の実現に向けた研究に理論的な側面から貢献
 - マヨラナ準粒子の制御法の研究など新しいチャレンジを支える環境を整備



量子コンピューターの開発競争が世界中で過熱する中、日本においても最先端の取り組みが着実に進行している。日本の強みである物理学の分野では、幻の粒子と呼ばれてきた「マヨラナ粒子」の存在を世界に先駆けて実証し、「トポロジカル量子コンピューティング」の実現に向けた大きな一歩を記した。共同研究チームに参画した横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授の那須讓治氏は、「量子スピン液体」と呼ばれる現象に着目しトポロジカル量子計算への応用可能性を探求している。

チャレンジ

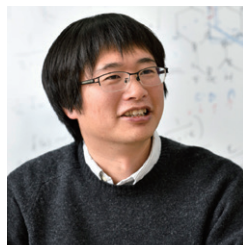
「マヨラナ粒子」の存在証明が トポロジカル量子計算への応用に

2019年末、量子コンピューターが現行のスーパーコンピューターを上回る計算能力を持つとする「量子超越性」のニュースが世界を驚かせた。「量子コンピューターがスパコンより高性能である」と証明するものでは必ずしもないが、量子コンピューターの実現が近づいていることを誰にも予感させた。

世界中で量子コンピューターの開発競争が過熱する中、日本の取り組みはどこまで進んでいるのだろうか。量子コンピューターの本命と目される「トポロジカル量子計算技術」——その実現の鍵を握る「マヨラナ粒子」「量子スピン液体」の最先端研究に取り組む、横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授の那須讓治氏に聞いた。

“スピン状態の変化に対して、熱伝導や磁性といった物理量の計算を行います。 すぐにでも計算結果が欲しい、というとき研究室に高性能のマシンがあることが大事です”

— 国立大学法人横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授 那須 譲治 氏 博士(理学)



国立大学法人横浜国立大学
大学院工学研究院
准教授
那須 譲治 氏 博士(理学)

「物性物理学の世界では、新しい性質を持つ素粒子をデザインする試みが数多く行われています。たとえば、理論的には粒子と反粒子の性格を併せ持つ『マヨラナ粒子』を物質中で実現することは可能であり、それを使うことで、周りの環境からの擾乱に対して安定的に動作する『トポロジカル量子計算』を実現できると考えられています」

量子コンピューターは、組み合わせ最適化問題に特化した「量子アニーリング方式」、より汎用的な用途に使える「量子ゲート方式」の大きく2つに分類される。トポロジカル量子ビットを利用した量子ゲート方式のコンピューターは、環境ノイズへの耐性に優れ、量子状態を安定的に扱うことができると期待されている。

「近年の研究で、物質を構成する電子の相互作用が強いと、マヨラナ粒子や非可換エニオンといった準粒子が発現する可能性があることがわかってきました。そして、『量子スピン液体』と呼ばれる磁性体の性質に関する研究が、新しい準粒子の実証を大きく前進させています」(那須氏)

「量子スピン液体に対する解析・数値計算により、実験結果のモデルに対する確かさを理論的に明らかにする」というのが、那須氏の重要な研究テーマのひとつだ。だが、量子系の解析・数値計算には一般の常識では想像し難いほどの膨大な計算リソースが必要となる。たとえ世界屈指の性能を持つスーパーコンピューターを用いても、扱えるデータ量は量子スピン換算で数10個にとどまるという。

「そこで私たちが着目したのが『Kitaevモデル』です。2006年にAlexei Kitaevによって提案されたこの理論モデルを使うことで、現実的な計算時間でモンテカルロ法による解析・数値計算が可能になりました」(那須氏)

那須氏の研究室では、HPE ProLiant DL580 サーバー(3台/計264コア)/HPE ProLiant DL360サーバー(7台/計168コア)によるクラスターシステムを独自に導入。学外のスーパーコンピューターと適材適所で併用しながら様々な解析・数値計算に活用している。

ソリューション

マヨラナ粒子が2つ創発されたことを示す温度変化を計測

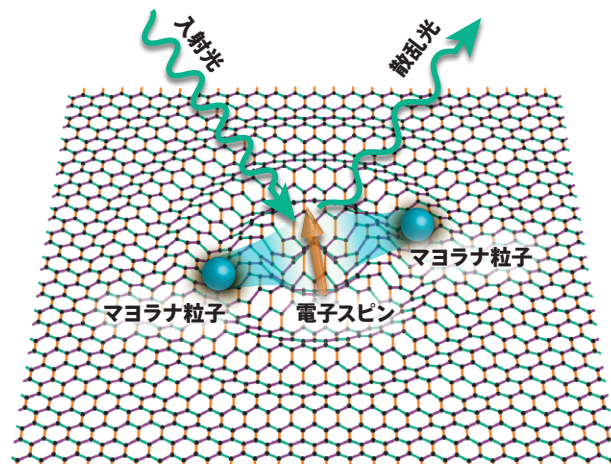
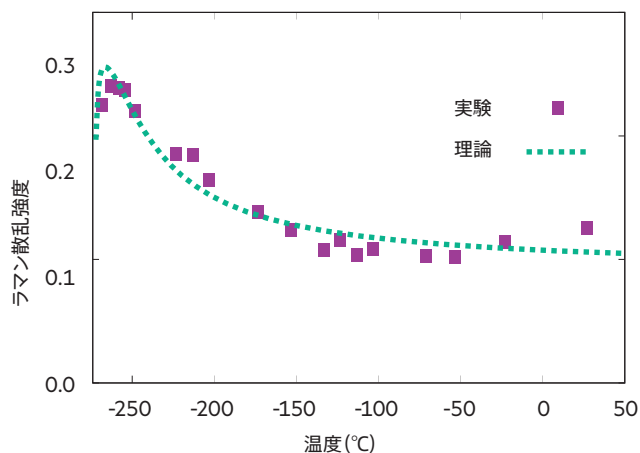
那須氏が参画した研究チーム(東京工業大学・東京大学・独マックスプランク研究所)は、2016年に「マヨラナ粒子」が常温の磁性絶縁体で創発することを大規模な数値計算によって確認。また、2018年の共同研究(京都大学・東京大学・東京工業大学)では、磁性絶縁体の一種「塩化ルテニウム」における「マヨラナ粒子」の実証実験を、理論的な側面からサポートした。論文は英科学誌ネイチャーおよび姉妹紙ネイチャーフィジクスに掲載され、その成果は世界中から大きな注目を集めた。

「2016年の発表では『ラマン散乱』という現象を利用して、電子スピンに対して入射光を当てたときに発生する反射光の散乱過程を計算しました。物性実験チームが、ある物質を使いマヨラナ粒子が2つ創発されることを示す温度変化を計測したのですが、これを数値計算によって裏づけた形です」(那須氏)

理想のモデルであるKitaevモデルでラマン散乱を発生させた場合の理論計算と、今回の実験結果が近ければ、その物質はKitaevモデルに近いと言える。現実存在する“物質”としてKitaevモデルを実現できれば、トポロジカル量子計算を実現するための基盤技術の構築は大きく前進する。



「ラマン散乱」を利用した実験を数値計算で実証



「2018年の共同研究では、マヨラナ粒子が創発する決定的な証拠と考えられる熱伝導度に関する実験を、数値計算によりサポートすることができました。量子スピン液体のトポロジカルな性質を明らかにした点においても極めて大きな意義があります」(那須氏)

能力を高めたい、量子系を扱うには大容量メモリが必須——那須氏の要求に最適な選択となったのが、HPE ProLiant DL580サーバー(4ソケット機)/HPE ProLiant DL360サーバー(ソケット機)計432コアによるクラスターシステムだった。

モンテカルロ法による
量子数値計算の実行環境

那須氏は、モンテカルロ法を用いて大規模かつ複雑な量子系の解析・数値計算を行っている。中心となる計算環境である研究室のクラスターシステムは、2018-2019年にかけて導入された。量子スピン液体研究における計算手順を、那須氏は次のように説明する。

「最初に、乱数を用いてスピン状態の変化を時系列で計算する工程があります。これには巨大な計算リソースが必要なので、3,500CPUコア程度までを一度に使える学外のスパコンを利用することが多いですね。次のステップでは、いくつかの系列をピックアップして熱伝導や磁性といった物理量の計算を行います。これを研究室のクラスターシステムで実行する、というのが典型的な利用イメージです」

「すぐにも計算結果が欲しい、というとき研究室に高性能のマシンがあることが大事」と那須氏は言う。可能な限りCPUコアを増やして並列処理

ベネフィット

トポロジカル量子計算の「舞台」を
理論的な側面からサポート

那須氏は、自らの研究テーマに取り組みながら複数のプロジェクトに参画している。文部科学省が掲げる戦略目標「トポロジカル材料科学の構築による革新的材料・デバイスの創出」の実現に向けたJST(科学技術振興機構)の「さきがけ」はそのひとつだ。「さきがけ」は、研究者個人の活動を尊重しながら、科学技術イノベーションの源泉となる成果を世界に先駆けて創出することを目指すネットワーク型研究である。

「長年にわたり、強相関電子系の研究に取り組んできて、最近ではトポロジカル物性を取り入れた研究も行ってきましたが、トポロジカル量子計算への期待がこの領域の研究を加速させていることを強く感じています。トポロジー(位相幾何学)という数学の手法が、物性物理学の大きな進化に結びついた事実は非常に興味深いことです」と那須氏は話す。

最先端の「量子スピン液体」
研究を加速させる
高性能HPEサーバープラットフォーム



“量子トポロジカル磁性体となりうる物質群のデザイン——すなわち『現実物質でのKitaef模型の実現』は、トポロジカル量子計算を実行する“舞台”を整えることそのものです。これからも、物性物理学の立場からこのテーマを追求していく考えです”

— 国立大学法人横浜国立大学 大学院工学研究院 准教授 那須 譲治 氏 博士(理学)

導入製品/サービス

導入ハードウェア

- HPE ProLiant DL580 サーバー
- HPE ProLiant DL360 サーバー

「量子スピン液体」は、物理学から材料科学の研究者まで巻き込んで、今や超伝導体と並ぶ最先端の研究領域となっている。構成要素からは想像できない機能が現れる「創発性」が、世界中の研究者の興味を惹きつけてやまない。量子コンピューティングはもとより、革新的な機能を備えた新材料の実現への期待がさらに競争を加速させていくことだろう。那須氏は次のように語って締めくくった。

「量子トポロジカル磁性体となりうる物質群のデザイン——すなわち『現実物質でのKitaef模型の実現』は、トポロジカル量子計算を実行する“舞台”を整えることそのものです。これからも、物性物理学の立場からこのテーマを追求していく考えです。その先には、マヨラナ準粒子の制御法の確立という大きなチャレンジが待ち受けています。HPEには、私たちの研究を支えるより良い計算環境を提供し続けてくれることを期待します」



ソリューションパートナー



詳しくはこちら

hpe.com/jp/servers

 [本カタログを共有する](#)

 [その他のカタログを探す](#)

お問い合わせはこちら



Chat



Email



Call

カスタマー・インフォメーションセンター

0120-268-186

(または03-5749-8279)

月曜日～金曜日 9:00～19:00

(土曜日、日曜日、祝日、年末年始、および5月1日お休み)

日本ヒューレット・パカード株式会社
〒136-8711 東京都江東区大島 2-2-1


**Hewlett Packard
Enterprise**

© Copyright 2020 Hewlett Packard Enterprise Development LP

本書の内容は、将来予告なく変更されることがあります。日本ヒューレット・パカード製品およびサービスに対する保証については、当該製品およびサービスの保証規定書に記載されています。本書のいかなる内容も、新たな保証を追加するものではありません。日本ヒューレット・パカードは、本書中の技術的あるいは校正上の誤り、脱字に対して、責任を負いかねますのでご了承ください。記載されている会社名および商品名は、各社の商標または登録商標です。

XXX00000-01 記載事項は個別に明記された場合を除き2020年4月現在のものです。