

マグノン-フォノン間のコヒーレント振動

日置友智 (東京大学大学院工学系研究科 tomosato.hioki@ap.t.u-tokyo.ac.jp)

糸電話に向かって話せば、反対側でその声が聞こえるように、ある場所から出た波は、その性質を保ったまま伝搬するのが普通である。一方で、伝搬する途中に波の性質が変わってしまう現象があり、これは**コヒーレント振動**と呼ばれる。興味深い例には、真空中を伝搬するニュートリノが時間とともにその種類を変えてしまうニュートリノ振動があり、コヒーレント振動は基礎物理学の発展に重要な役割を果たしてきた。

物質の中には、その性質を担う様々な種類の波があり、1つの物質の中に異なる性質を持つ波が共存することも珍しくない。例えば、磁性体の中を伝搬する波には、格子振動が伝わる音波(**フォノン**)と、磁化の歳差運動が波として伝わるスピン波(**マグノン**)の両方があり、それぞれ磁性体の弾性的性質や磁氣的性質を担っている。フォノンとマグノンの相互作用は古くから調べられてきた磁性の主要な研究テーマの1つであり、その成果として、両者はスピン軌道結合を起源とする、多様な交差相関現象を示すことが知られている。これらの現象はマイクロ波用の周波数フィルターや、アイソレータなどに数多く応用されており、基礎と応用の両面で重要な役割を担ってきた。一方、磁性体の中、マグノンとフォノンが伝搬しながら入れ替わるコヒーレント振動は、その存在が期待されながら、これまで観測されたことがなかった。

我々は、パルスレーザーを用いたイメージング法により強磁性体中を伝搬するマグノンを撮像し、マグノンとフォノンが時間とともに入れ替わるコヒーレント振動を観測した。具体的には、パルスレーザーを強磁性体に照射することで瞬時にマグノンを

励起し、その後もう1つのパルスレーザーを入射して、透過してきたレーザーの偏光を測定することで、励起されたマグノンの伝搬過程を撮影した。すると、ある波長のマグノンは励起されてから一定時間が経過した後一度消え、その後同じ時間だけ待つとまた現れることを発見した。

この結果は、一度励起されたマグノンがコヒーレント振動によりフォノンに変換され、その後またコヒーレント振動を通じてマグノンに還元されたことを意味している。この一見不思議なダイナミクスは、マグノンとフォノンの間の相互作用により、それぞれの線形和で書ける状態が新たな固有状態となったためであり、マグノンもしくはフォノン単体を固有状態とした場合には説明できない現象である。

コヒーレント振動が生じることは、マグノンとフォノンがそれぞれ減衰して振幅を失うよりも早く、互いに入れ替わることを意味している。このためコヒーレント振動を活用すると、例えばマグノンの位相や振幅に埋め込んだ情報を保ったまま、その情報をフォノンへと移行でき、またその逆も可能になると期待される。これは強結合と呼ばれ、異なる物理系の間で量子情報をやり取りするなどの応用の可能性も期待される。

従来の測定手法では困難だった、磁性体中を伝搬するマグノン-フォノンダイナミクスの可視化が実現したことにより、光を用いた磁性研究に新たな展開が期待される。また、磁性体の多様な性質を担うマグノンとフォノンが、相互に変換されることによる新たな物性機能の創出も期待できる。

用語解説

コヒーレント振動：

種類の異なる振動子が線形な相互作用により結合された時に、片方の振動子を駆動すると、一定時間が経ったのちにはじめに駆動された振動子が静止し、もう一方の振動子が振動し始める現象。

フォノン：

格子振動が波として伝搬する音波を量子化した素励起。縦波と横波の2つのモードがある。寿命がマグノンよりも長く、物質中の長距離輸送が可能である。

マグノン：

磁化の歳差運動が波として伝搬するスピン波を量子化した素励起。スピン流のキャリアとなるほか、強い非線形性により機械学習機能の一部を担うリザーバーコンピューティングにも応用が期待されている。

