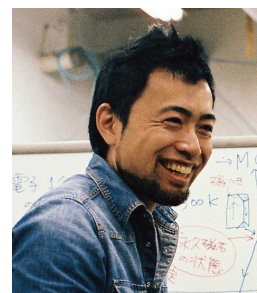


超音波で観る固体中の電子

大学院理学研究院・大学院理学院
(理学部物理学科)

やなぎさわ たつや
准教授 柳澤 達也



出身高校:新潟県立高田北城高校
最終学歴:新潟大学大学院自然科学研究科

専門分野: 物性物理学

研究のキーワード: 超音波, 極低温, 強磁場, 磁性, 超伝導, ラットリング

HP アドレス: <http://sonicbangs.sci.hokudai.ac.jp/yanagisawa>

超音波とはなんですか？

超音波はヒトが耳で感じることのできる音よりも高い周波数（一般的に 20 kHz 以上）を持つ音の波の総称です。音は粗密波や弾性波として、空気中だけでなく、液体中や固体中などあらゆる物質中を伝わります。そして基本的に人体にとっては無害です。「どんな物質中でも伝搬する」・「安全」というこの特質を活かして、超音波は私たちの生活の様々な場面に応用されています。例えば潜水艦で使われるソナーや金属・半導体製品の非破壊検査、身近なところでは母体内の胎児の診察、自動車の衝突センサー、携帯電話の中に入っている高周波フィルタ（表面弾性波素子）にも超音波が応用されています（図1）。



図1: 超音波の応用例

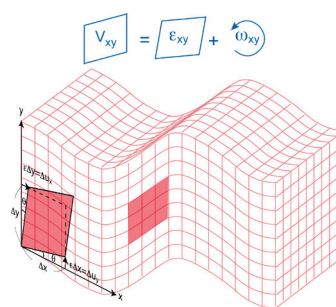


図2: 横波弾性波が伝わる様子

どうやって超音波で電子を観るのですか？

私たちは物質中に束縛されている電子を観測しています。固体をミクロな視点で見ると、原子どうしが手をつないで、ジャングルジムのような格子状に連なっているものと考えることができます。図2は音の波が固体の中を伝わる瞬間をえがいた図です。真ん中の「ぐにゃ」と曲がっている赤い部分では、正方形がひし形に歪み、反時計回りに回転しています。この部分にいる電子は、自分の周囲にいる原子と相互作用しているので、そこに誘起された格子の歪みや回転を「場（ば）」として感じます。これを逆にとらえると、もし電子自体の状態が変化した場合は、伝わる音の波が影響を受けることになります。一方、物質中の音の速さは物質の「硬さ」に相当します。一般的に物質は低温にすると「硬く」なりますが、世の中には電子のいたずらで、低温で「柔らかく」なる不思議な物質も存在します。そういった物質の音速を超精密に測定することで、硬さ・柔らかさの性質（弾性）の観点から、間接的に電子系の研究を行うことができるという仕組みです。

どんな装置を使ってどんな実験をしているのですか？

超音波は強誘電体で作られた素子に電気信号を入出力することで簡単に発生・検出することができます。我々が用いている超音波の周波数は 10 MHz～1 GHz です。一方、電子の量子力学的な現象を研究するには低温環境が必要です。そのため、液体ヘリウム 4（沸点が 1 気圧で-269 °C）を使った特殊な冷凍機を使います。さらに、原子炉で生成されるヘリウム 4 の同位体であるヘリウム 3 を混合して減圧すると、-273 °C までの**極低温**を実験室で実現することもできます。高い圧力や強い磁場によって電子状態を変えることも重要であるため、我々は 1 万気圧以上の高圧下や、海外の研究機関と協力して 60 テスラ（病院にある MRI 装置が発生する磁場は 1.5 テスラ程度）以上の**強磁場**下での超音波測定も行っています。こうした極限環境下で超音波を利用して、モノの性質をより深く理解することを目指し、研究室内で様々な物質を創り、ひいては今までにない機能を示す新物質を日々探し求めています。

どんな物質を研究しているのですか？

私たちの研究は様々な**磁性体**や**超伝導**物質を対象にしています。特に、電子の軌道の自由度が物性に影響を与える例が多く発見されている「希土類元素」や「アクチノイド元素」を含む化合物を研究しています。これらの元素は、*f* 軌道と呼ばれる電子軌道を持ちますが、絶対零度近くまで温度を下げると、固体中で電子同士が強く相関し、量子力学的な性質によってこれまでに知られていないような風変わりな現象を示すことがあります。そういった物質が、温度・磁場・圧力などの変化に対して性質を変える現象「相転移」について研究しています。

何を目指しているのですか？

私たちが特に力を入れて取り組んでいるのは、カゴの形をした結晶構造を持つ物質が示す特異な電子状態の問題です。炭素原子がサッカーボール状に結合した「フラーレン」という物質に代表されるように、原子

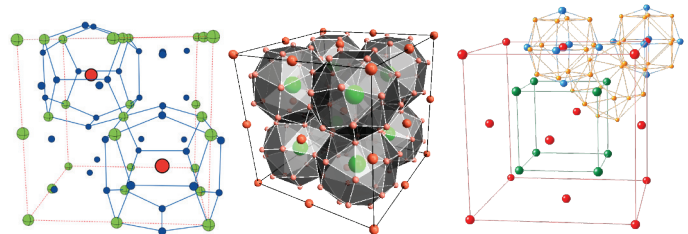


図3: ラットリングを示すカゴ状化合物

のミクロな「カゴ（籠）」を持つ金属化合物は他にも沢山存在します。さらにそのカゴの中に、別の種類の原子を内包した物質を作ることができます（図3）。そうすると、カゴに内包された原子が周りのカゴとゆるく結合している場合、熱活性でカゴの中でガラガラと振動（**ラットリング**）します。そういった物質を低温に冷やすと、量子力学の不確定性原理により、原子のガラガラ振動が重ね合わせ状態になったり、原子の局所振動が、超伝導に影響を与えるのではないかと考えられています。そういった新型の超伝導の発現機構の解明を目指す地道な基礎研究はもとより、未来の量子コンピュータに搭載するミクロな演算素子やメモリ素子として、この新しい自由度であるラットリングが応用できるのではないかと期待しつつ、毎日ワクワクしながら研究を行っています。