



三本 啓輔（物性物理）

超音波とモノとの結合

人は低音の 20 Hz から高音の 20 kHz までの音を聞くことができると言われています。人には聞こえないような高い周波数の音は超音波と呼ばれ、検査装置として利用されています。例えば、超音波エコー検査で胎児や内臓のような体内の様子を見たり、魚群探知機で水中の魚群や海底の様子を見たり、また、コンクリート内のひび割れなどの様子を見たりすることができます。超音波は非破壊検査であるという利点があるので広く利用されていると言えるでしょう。

皆さんには音波よりも電磁波の方が聞き馴染みがあると思います。3 THz ($=3 \times 10^{12}$ Hz) までの電磁波は電波としてスマートフォンなどの情報通信に利用されています。ここで、波の性質ですが、波長 λ と速さ v 、周波数 f の間に $\lambda=v/f$ の関係があり、電磁波の速さは光速 3×10^8 m/s と同程度で、波長は短いもので $\lambda=3 \times 10^8$ m/s/ 3×10^{12} 1/s \sim 0.1 mm になり、送受信機の大きさは波長よりも大きいものでないといけませんので、電波を用いたデバイスの大きさも 0.1 mm 程度の微細化までしかできないこととなります。他方、音波は固体中を伝わる速さ v は 1×10^3 - 1×10^5 m/s 程度、振動数 f は 0.5 - 5 GHz 程度を発振できるものだと送受信機の大きさは程度の微細化が可能となり、微細化が進むデバイスには音波を用いた送受信機も搭載されています。

私が専門とする物性物理の基礎研究でも超音波が使われていますのでその一例を紹介したいと思います。モノの固さを表す物理量に弾性定数が挙げられ、その弾性定数は密度 ρ と音速 v の 2 乗の積で表されます。密度 ρ は X 線回折でモノの構造を調べることで分かり、音速 v はモノの中を超音波が伝搬する速さを測定することで分かります。超音波が早く伝われば(v が大きいと)それは固く、逆に、遅く伝われば(v が小さいと)それは柔らかいということを示します。

そして、通常、モノは冷やすと固くなります。しかし、中には低温で柔らかくなるモノがたまにあります。なぜ冷えると柔らかくなるのか、その起源を明らかにする研究をしています。大雑把にその起源を説明すると、複数の電子状態が同じエネルギーをもつ(物理屋さんは縮退していると言います)と、ある特徴的な性質である電気四極子をもつことがあり、そうすると弾性定数が低温で減少する、つまり、柔らかくなります。ここでは電気四極子が何であるかについては触れませんが、LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) が重力波を観測する原理と同じで、物質にも、宇宙にも現れる普遍的な性質です。

周期表の下の方にある希土類元素 (57 番の La から 71 番の Lu) を含んだ化合物は低温で柔らかくなる教科書的なふるまいを示すことが多く、歴史的に見ても長年、研究されてきました。特に、六面体や八面体の構造をもつ化合物の柔らかくなる起源は考えやすく(それでも難しいですが、、、)、多くの希土類化合物が研究対象となってきました。最近では、らせんやジグザグ、四面体などの少し複雑な構造をもつ特徴的な化合物も対象となることが多くなってきました。例えば、遷移金属元素(鉄など)を含む化合物でも特徴的な性質を示す化合物、デバイスの基板となるシリコン結晶中の超希薄な原子空孔 (10^{12} 個に 1 個のシリコン原子が抜けた空孔) などです。一見すると柔らかくなる起源である四極子をもたなさそうな化合物に、よくよく考えると今まで考えられてこなかった四極子となるものがあることが分かり、実験的にも理論的にも明らかに

されつつあるものが増えてきました。音波と電気四極子の関係を明らかにすることで、過去には圧力センサや歪みセンサなどの開発に繋がりましたが、現在は磁性との関係を明らかにすることで新しいデバイスの開発に繋がることに期待されています。

これらの柔らかくなることを解き明かす鍵となるものに対称性というものが挙げられます。対称性については柳先生のマンスリーコラムで絵と一緒に簡単に触れられているので、そちらを参照していただきたいと思いますが、対称性は物性の起源を考える上で重要な役割をするだけでなく様々なところで現れます。例えば、私はその対称性をゼミなどで教えるとき、家紋や自治体の紋章、着物の柄を例に用いることがよくあります。パスポートの旅券面の右上、日本政府の紋章、豊臣秀吉の家紋の元である五七桐紋は桐の葉 3 枚の上に、中央に 7 つ、左右に 5 つの花を配したものになっています。この五七桐紋は左右対称の絵柄になっています。また、富山県立大学射水キャンパスのある射水（いみず）市の市章は頭文字の「い」をベースに 2 つの水滴が循環する様子を表したものです。この紋章は 180 度回転しても元の紋章と重なる特徴的な絵柄になっています。また、着物の柄で青海波やカゴメなどがありますが、これらは繰り返し模様になっておりこれも対称性が現れている一例です。対称性を知ると、様々な世界が繋がってきます。私は物理学を授業やゼミで教えていますが、物理学を勉強するだけでなく、物理学を知ることによって様々な世界が繋がっていくことを体感できたら良いなと考えています。