

電気が流れる液体－液体金属の物性科学

広島大学 総合科学部 総合科学科

教授 乾雅祝

金属には電気が通じるという性質がありますが、金属も水と同じように高温にすると膨張して気体になります。金属が気体になると絶縁体になります。こうなると非金属です。では、金属から非金属になる（転移する）境目はどのような状態なのでしょうか。

図1は温度、圧力を変化させたとき、物質が固体から液体、気体へと相変化する様子を示したものです。液体が気体になる温度（沸点）は、圧力が大きくなると高温側へ移動します。沸点を結んでできる曲線を飽和蒸気圧曲線と言います。飽和

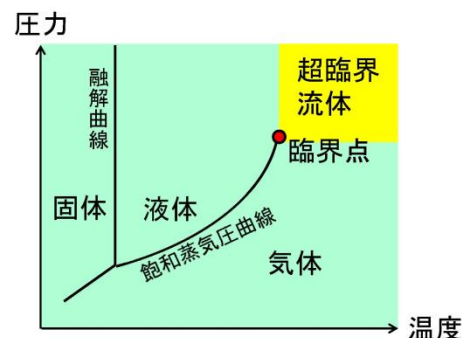


図1 物質の相図

蒸気圧曲線には終点（赤丸）があり、終点の温度・圧力では、液体と気体の密度が同じになり沸騰がおきなくなります。この終点のことを「臨界点」といい、その時の温度を「臨界温度」、圧力を「臨界圧力」と言います。金属の中で最も臨界温度が低い水銀の場合、臨界圧力が約1650気圧、臨界温度が1478℃です。臨界点より高温・高圧側では、液体と気体がせめぎ合って大きく揺らいでおり、そのような流体を超臨界流体と言います。図1には超臨界流体が現れる温度・圧力領域を黄色の背景で示しました。

物質が金属から非金属に転移する境目は臨界点の近くにあると考えることができます。これまで最も多くの研究がなされた水銀の場合、それは臨界温度付近、図1で説明すると、黄色と緑色の縦方向の境目に、ほぼ沿うようなところにあります。ここで興味ある問題は、水銀が金属から非金属に転移するときの原子構造です。金属では、原子が電子を放出してイオンと電子に分かれています。この電子が自由に動き回ることによって電気が通じます。一方、気体になると、イオンと電子が結合して原子にもどるため絶縁体になります。気体は絶縁体なので、液体側の金属から非金属に転移するところに金属と絶縁体が混じり合った中間の状態があることが予測されます。そこに現れる原子構造の不均一性を明らかにするには、イオンと電子からなる領域と原子からなる領域の関係だけでなく、液体金属中のイオンや原子の動きを調べることも必要です。SPring-8の放射光を利用した原子構造の研究によって、図2に模式的に示したようなナノメートル*のサイズをもつ不均質構造が流体水銀の金属－非金属転移領域に現れることが明らかになってきました。このとき以下に述べるように、イオンや原子も特異な動きをしていることを示唆する実験結果も得られています。

ここで、ふつうの液体での原子やイオンの運動について説明します。実は、液体中の原子はお互い無関係に動いているわけではなく、周りの原子が動いてできた隙間を使いながら移動します。このような原子の集団運動により、原子が密に集まった部分と疎になった部分が交互に現れるため、原子間距離程度の波長をも

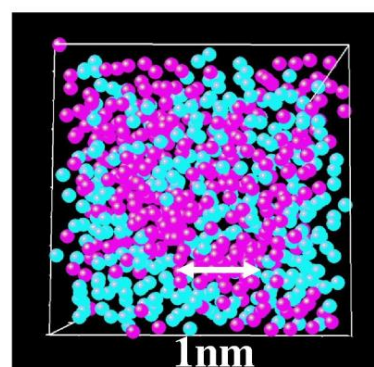


図2 金属－非金属転移領域の流体水銀の原子構造のイメージ図. 赤紫は金属領域にあるイオン, 水色は非金属領域にある原子を表す.

つ音波が現れます。この音波を研究することにより、原子間にはたらく力を調べることができます。液体金属の場合は、イオン間にはたらく力に電子がどのような影響を及ぼすかということが分かるかもしれませんが、そこで放射光を利用して、このような音波がどう伝わるか計測してみると、流体水銀が金属的である時は固体に近い速い音速を示しますが、非金属になると音速は一気に減速することが明らかにされました。ただ、なぜそうなるかは今の段階ではよくわかっていません。謎のままです。

講義紹介では、固体ではダイヤモンド構造になる半導体シリコンが溶けると液体金属になると書きました。水銀のように高温高压にしなくても、1気圧の圧力下で非金属－金属の変化をする液体はいくつも存在します。最後に、液体金属の構造研究がどのようなことに役立つかについて紹介します。それはナノテクノロジーに関係したことです。ナノテクノロジーでは、物質の機能をデザインする必要があります。このためには原子やイオンにはたらく力をもっと深く理解すると有益です。また液体中のイオンの動きが分かれば、液体から機能的な結晶を成長させるときに、とても役に立ちます。多くの結晶やガラスが液体状態から作られるので、液体を無重量状態にしたときにはイオンや原子の動きが変化して、地上ではできない全く新しい物質が生まれるかもしれません。国際宇宙ステーションでは、図3に示すような多目的ラックに装置を組み込んで、無重量状態で液体を固めて物質探索を行うプロジェクトが実施されることになっています。

*1 ナノメートル (nm) は1メートル (m) の10億 (10^9) 分の1の長さ

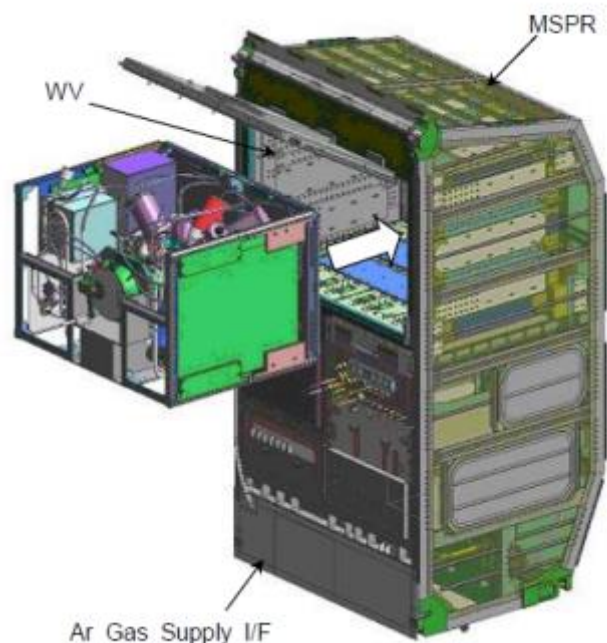


図3 多目的ラック