



## 「超臨界金属流体 - その不思議な性質 - 」

(平成 11~15 年度特別推進研究「放射光を用いた超臨界金属流体の静的・動的構造の解明」)

所属 (当時)・氏名：京都大学工学研究科・教授・田村 剛三郎  
(現所属：京都大学・名誉教授)

### 1. 研究期間中の研究成果

#### ・ 背景 (事象の簡単な説明)

金属を膨張させてゆくと、電気は流れにくくなり、いずれは絶縁体になると予想される。超臨界金属流体ではこのことが実際に起きる。図1は、物質の三態 (気相、液相、固相) の相図である。液相と気相の境界線の先に臨界点があり、それを超えると超臨界流体と呼ばれる特異な中間相が現れる。矢印に沿って温度と圧力を変化させてゆくと液体から気体まで体積を連続的にしかも大きく膨張させることができる。水銀やアルカリ金属などの金属流体は、この膨張過程で金属から絶縁体へとその性質を大きく変える。このとき原子レベルで何が起きているか、原子の並び方やその動きを調べることは大変興味深い。しかし、金属流体の臨界点が非常に高いため、構造実験はほとんど不可能な状況にあった。

#### ・ 研究内容及び成果の概要

我々は 1500°C、1500 気圧を超える高温高压下でX線実験が可能な高压容器と試料容器を開発し、これと SPring-8 の放射光を組み合わせることにより世界で初めて超臨界金属流体の構造研究を可能にした。X線回折やX線非弾性散乱等の実験手法を駆使し、水銀やアルカリ金属流体について液体から気体に至る広い範囲で基礎データを収集することに成功し、数々の新しい現象を見つけることができた。

### 2. 研究期間終了後の効果・効用

#### ・ 研究期間終了後の取組及び現状

金属中では正イオンのまわりを電子が気体 (電子ガス) のように飛び回っているが、アルカリ金属であるルビジウムを膨張させてゆくとある密度のところでは正イオン同士がむしろ接近し始めるという不思議な挙動が観測された。このことは大きな謎であったが、その後の研究により電子の側に原因があることが分かってきた。ウイグナー以来発展してきた多体電子論によると、電子ガスが低密度化すると誘電率が負になり、その中に置かれた同種電荷++あるいは--が引き合うという通常とは違った状況が生じる。しかしその実在性については長く疑問視されてきた。我々の結果は、電子の側に異常が起きたために正イオン同士が引き合うようになったと考えることができ、そのように奇妙な性質をもつ電子ガスの実在性を裏付けたことになる。現在は、電子の振る舞いをより直接的に調べるため、放射光によるコンプトン散乱の実験を進めている。

#### ・ 波及効果

負の誘電率をもつ電子ガス中では電子自身の間にも引力が働くため、フォノンを介さない超伝導の可能性がある。超伝導分野ではすでにそのような物質探索が始まっており、我々としても電子ガスの低密度状態を固体中に実現したいと考えている。

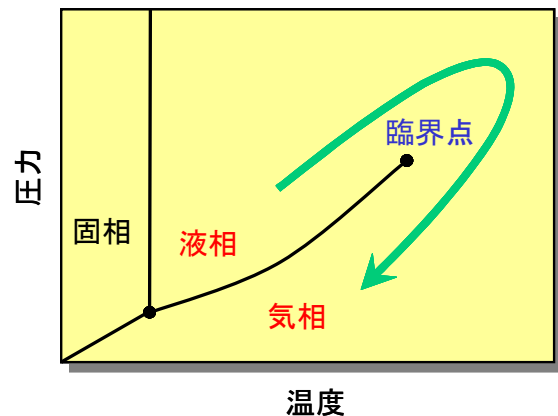


図1 温度圧力相図

**【科学研究費補助金審査部会における所見】**

本特別推進研究は、水銀、セレン及びアルカリ金属などの金属流体を対象としてその静的・動的構造を解明するために、第3世代大型放射光施設 Spring-8 を利用して X 線回折、X 線小角散乱及び X 線非弾性散乱測定を行ったものである。金属流体が膨張・解離していく時に原子レベルでどのような構造変化を起こすかについて明らかにしようとするもので、難しい実験技術開発を伴うものである。金属流体の臨界温度・圧力は通常分子性流体に比べて一桁以上高いために、これまで構造研究は手つかずであったが、このグループが開発したガス圧式高圧容器とサファイア試料容器を用いて世界で初めてこれが可能となるという快挙を成し遂げた。発表された5報の論文の引用数も多く、若手研究者も着実に育っている。さらに、本特別推進研究終了後も基盤研究（A）を2回取得して順調に研究を発展させている。一部の成果の信頼性の獲得はこれからであり、また、学界からの評価の定着が待たれる状態ではあるものの、これらの研究活動は金属物性の基本的な考え方を変える重要な知見につながっており、ねばり強く研究を続けてきたことは高く評価される。比較的地味なテーマを、決して大きくない研究グループで推進したにもかかわらず、相当の成果をあげたと評価できる。