

2C21

強磁場下の微小重力環境における液体球の状態変化

(広大院理) ○藤原昌夫, 安久弘起, 谷本能文

1. はじめに

水や有機物は、一般に磁場に反発される。すなわち、反磁性である。反磁性体が磁場から受ける磁気力（斥力）は極めて弱いため、電磁石を用いてはほとんど観測できない。そのため、反磁性体の磁場下における振る舞いは、これまで、あまり研究されてこなかった。

最近、超伝導技術の進展によって、強力な磁場を発生する超伝導磁石が利用できるようになり、反磁性体の磁場下での挙動を調べるのが容易になった。たとえば、強磁場を用いると、反磁性体に作用する磁気力を地上の重力と拮抗させることが可能になる。こうして生じた微小重力環境では、反磁性の液体の挙動は密度の影響を受けない。言い換えると、地上では見られない表面張力に依存した現象が観察できる。

今回、微小重力環境において液体が浮上した際に、液体の表面の形状が球形になること、および、液体の蒸発、凝固が同時に進行することを観察した。さらに、2相の液体間の界面の形状が半球形になることを見いだした。これらの表面現象のいくつかは、液体全体の安定構造が表面エネルギーに支配されるために起こるとして理解できる。

2. 実験

鉛直型超伝導磁石（150 kOe）の強磁気力ボア空間（ $1500 \text{ kOe}^2 \text{ cm}^{-1}$ ）に、水、シクロヘキサン等の液体を滴下して、液滴を形成、浮上させた。液滴の状態変化は、CCDカメラをボア空間に挿入して、その場で観察した。

3. 球形液滴

液滴は、強磁場の作る重力ポテンシャル曲面上で、安定位置の近傍に振動する。安定位置では液滴に働く外力（磁気力と重力）が釣り合っているため、液滴は表面エネルギーを最小化する、すなわち、表面積を最小化するように形状を変化させる（図1）。



図1. 微小重力空間における水滴.

4. 液体球の蒸発と凝固

液滴の蒸発は、その表面から起こる。空気が常磁性の酸素を含むのに対し、液滴から蒸発した気体は反磁性である。蒸発した気体が磁場に反発されて液滴から遠ざかるので、液滴は蒸発が促進される。液滴表面は気化熱を奪われ、温度低下によって、液滴液体の凝固と空気中水蒸気の凝縮が起こる。その結果、水と混ざり合わない有機液体の場合、液滴の体積減少に伴って、(1) 液滴の過冷却と下部水滴の生成 (図 2)、(2) 有機液体と水のエマルジョン様の状態の形成 (図 3)、(3) 液滴の表面凝固と表面水滴の生成 (図 4) の、大別して3個の状態変化が見られる。これらは全く異なる現象ではなく、ほぼ同時に進行する。



図 2 (左). シクロヘキサン滴の過冷却. 空気中の水蒸気が下部に凝縮.

図 3 (中). シクロヘキサンと水のエマルジョン様の状態.

図 4 (右). シクロヘキサン滴の表面凝固. 空気中の水蒸気が表面に凝縮.

5. 2相の液体間の半球形界面

有機液体の蒸発とともに水蒸気が凝縮して、液滴は2相に分離する。質量磁化率が、有機液体 < 水 < 0 のときは、磁気力と重力の釣り合いの位置によって、水が下相になる。また、2相の液体間の界面は、有機液体と水の表面エネルギーの差に従って変形する。表面張力が有機液体 < 水 のときは、水相が凸の半球形に変化する (図 5)。



図 5. 微小重力空間におけるシクロヘキサン (上相) と水 (下相) の半球形界面.