



Title	超流動ヘリウムの単一微粒子の光トラップ
Author(s)	蓑輪, 陽介
Citation	大阪大学低温センターだより. 2023, 173, p. 14-15
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/91013">https://hdl.handle.net/11094/91013</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 超流動ヘリウムの単一微粒子の光トラップ

基礎工学研究科 未来物質領域 芦田研究室

蓑輪 陽介

E-mail : minowa.yosuke.es@osaka-u.ac.jp

### 1. はじめに

我々のグループは2.1 K以下のみで現れるヘリウムの液相である超流動ヘリウムを利用した研究を行っている。超流動ヘリウムは非常に高い熱伝導性、非常に小さい粘性をもつ量子流体であることはよく知られている。これらの特徴に加えて、屈折率が1に非常に近く、可視光領域での光吸収もないことから、光学実験との相性が良い。光学実験の一例として、世界で初めて超流動ヘリウム中の固体微粒子の光トラップに成功した我々の最近の成果について報告する[1]。

### 2. 光トラップ

光トラップとは、光の持つ運動量を利用して、単一微粒子を集光点まわりに捕捉する技術であり、光ピンセットとも呼ばれる。生物学から化学、物理学に至るまで幅広い分野で研究が進んできた。しかし、これまでの光トラップの実験は、常温の液体中で行われることがほとんどであった。この要因の一つが、光トラップの実験では急峻に収束した光が必要であるという点である。光トラップにおいて、光から微粒子に加わる力は2種類に分けられる。光の進行方向に微粒子を押してしまう散乱力と、光強度の強い点に向かって働く勾配力である。光トラップで安定的に微粒子を捕捉するためには勾配力を利用するため、如何に散乱力の影響を抑制するかが重要となる。そのために、通常は顕微鏡用対物レンズのように開口数の高いレンズを用いて、光を急峻に収束することで光の進行方向の光軸方向の成分を減らして散乱力の影響を軽減させる。しかし、この顕微鏡用対物レンズのような複数の素子を精密に組み合わせたデバイスを液体ヘリウム中に持ち込んで使用することは困難である。また、顕微鏡用対物レンズのうち特に光トラップに利用されるような高い開口数をもつものは、一般に作動距離も1mm以下と短いために、クライオスタット外部に設置してヘリウム内部に集光することも不可能である。

### 3. 超流動ヘリウム中での光トラップ

我々は一体成型非球面レンズを超流動ヘリウム中に導入することで上記の技術的な課題を解決した。この一体成型非球面レンズは、対物レンズには劣るものの比較的高い開口数を持つ。さらにモノリシックな構造であるため、極低温環境中でも動作可能である。対物レンズに比べて相対的に開口数に劣る点は、極低温によって微粒子の熱運動が抑制できる点で相殺可能と期待できる。

まず、超流動ヘリウム中で固体ターゲットにナノ秒レーザーパルス照射することで、レーザーブレーションによって微粒子を直接作製・散布した[2]。散布される微粒子はナノメートルスケール

からマイクロメートルスケールまで様々である。同時に、一体成型非球面レンズを超流動ヘリウム内に設置しておき、光トラップ用の連続波レーザー光を入射させることで、急峻に集束する光ビームを用意した。この系を用いて、実際にレーザーアブレーションによって生成した微粒子のうち一つを、光トラップすることに成功した[1] (図1)。光の焦点に捕捉された微粒子は、トラップのために用いているレーザー光を強く散乱するため、クライオスタット外部に設置したカメラで直接観察が可能である。レンズの焦点位置に、安定に微粒子が存在することが確認できた。さらに、光散乱の強度から捕捉された微粒子のサイズを推定したところ、おおよそ数十nmであることがわかった。

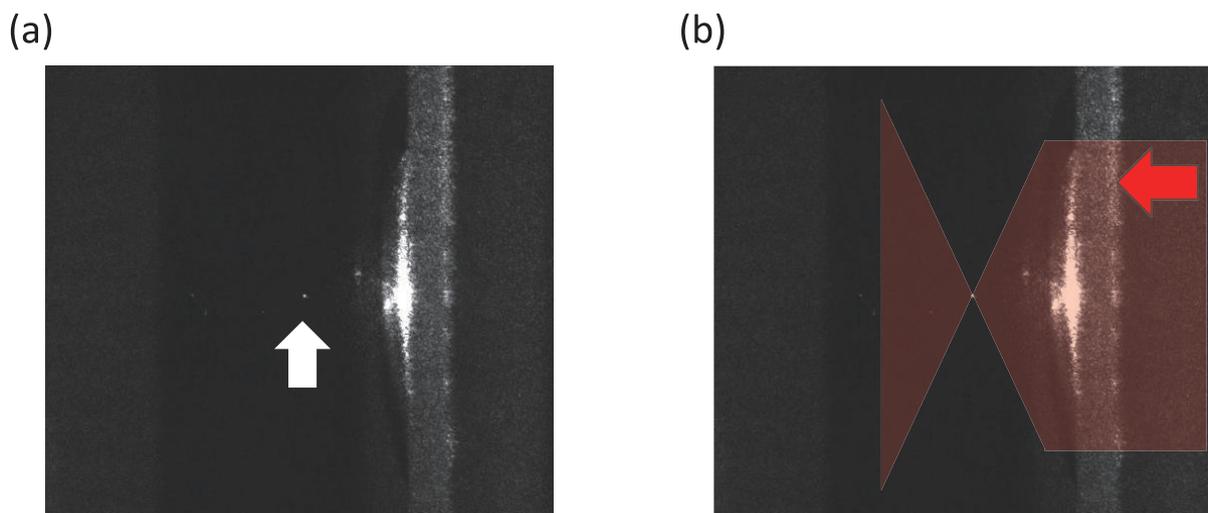


図1. 超流動ヘリウム中の光トラップの典型的な様子。(a) 図中の輝点がトラップされた微粒子を表す (白矢印で指し示している)。(b) 図の明瞭化のためにレーザー光の光路を模式的に表した。

#### 4. おわりに

我々のグループは世界に先駆けて、超流動ヘリウム中での微粒子の光トラップに成功した。超流動ヘリウム中で微粒子を遠隔かつ精密に三次元的に捕捉できる手法は現在のところ、他に存在しない。さらに光トラップの拡張として、単なる捕捉ではなく光による運動操作や、微粒子の運動状態を通じた超流動ヘリウムの物性研究も可能になると期待できる。現在では、この光トラップ技術を含む、様々な光技術を用いて超流動ヘリウムの物理の解明に取り組んでいる。

#### 参考文献

- [1] Yosuke Minowa, *et al.*, *Optica* **9**, 139 (2022).  
 [2] Yosuke Minowa, *et al.*, *Optics Express*, **25** 10449 (2017).

#### 用語説明

開口数

光学系の空間分解能を決める指標の一つ。十分大きな平行ビームをレンズ1つに入射した場合、レンズを出た光の最大角度  $\theta$  と、レンズと集光点の間の媒質の屈折率  $n$  を用いて  $n \sin \theta$  で定義される。