

## 空間捕捉した単一微小液滴のレーザー顕微分光

<sup>1</sup>九大院理, <sup>2</sup>阪市大院理安富翔太<sup>1,2</sup>, 佐野元哉<sup>2</sup>, 山本駿介<sup>2</sup>, 大谷拓也<sup>2</sup>, 関谷博<sup>1</sup>, 八ツ橋知幸<sup>2</sup>, ○迫田憲治<sup>2</sup>

## Laser macroscopy on a single levitated microdroplet

Shota Yasutomi<sup>1,2</sup>, Motoya Sano<sup>2</sup>, Shunsuke Yamamoto<sup>2</sup>, Takuya Otani<sup>2</sup>, Hiroshi Sekiya<sup>1</sup>,  
Tomoyuki Yatsunami<sup>2</sup>, ○Kenji Sakota<sup>2</sup><sup>1</sup> Department of Chemistry, Kyushu University, Japan<sup>2</sup> Division of Molecular Material Science, Osaka City University, Japan

**【Abstract】** A single levitated microdroplet can be regarded as a microcavity because total internal reflection of light at the interface between the microdroplet and the surrounding air confines the light inside the microdroplet. The microdroplet containing dye molecules shows lasing action with an ultralow threshold since the microdroplet forms an almost perfect sphere due to its surface tension, leading to a large quality factor (Q-factor). Accordingly, the single levitated microdroplet may give us an opportunity of ultimate sensitive probe of molecules dissolved in the microdroplet by utilizing the ultralow threshold for lasing. Recently, we have developed a single microdroplet levitation apparatus combined with a laser microscope. In this presentation, we show our recent experimental results of laser microscopy on a single levitated microdroplet, especially emission properties of dye-containing surfactant molecules adsorbed on the surface of the microdroplet.

**【序】** 直径が数～数十マイクロメートルの微小液滴内部で発生した発光は、液滴界面において生じる光の全反射によって液滴内部に閉じ込められる。このとき、液滴の外周の長さや光の波長の整数倍が一致すると、液滴の気液界面近傍に光の定在波が形成される。つまり、微小液滴は微小な光共振器としての機能を持っている。また、空間に捕捉された微小液滴は、自身の表面張力によってほぼ真球となるため、光の閉じ込め能力を表す Quality factor が非常に大きくなる。そのため、微小液滴中の分子（レーザー媒質）を光励起すると、非常に低いしきい値でレーザー発振に至ることが知られている。

我々の研究室では、イオントラップを用いて空間捕捉した単一微小液滴からのレーザー発振を利用することで、液滴中における生体分子の振る舞いを詳細に調査することを目指している。上述の通り、微小液滴は光共振器としての機能をもっているが、微小液滴中に溶存した分子のうち、レーザー発振に関与できるのは、気液界面近傍に存在するものに限られる。なぜなら、微小液滴の内部（中心付近）に存在する分子からの発光は、気液界面における光の全反射条件を満たすことができないからである。微小液滴からのレーザー発振に関するこの特徴を生かすために我々が興味をもっているのが、液滴の界面に形成される膜構造である。単一微小液滴の表面に色素ラベルされたリン脂質などから構成される膜構造を形成し、ここからのレーザー発振を観測することができれば、生体膜のダイナミクスや生体膜とタンパク質の相互作用を詳細に調査できる可能性がある。

そこで本研究では、単一微小液滴における生体膜研究の第一歩として、親水部に色

素分子を含む両親媒性物質が溶存した単一微小液滴を空間捕捉し、その発光スペクトルを測定した。

**【方法】** エレクトロスプレー法を用いて生成した微小液滴を平行平板型イオントラップによって空間捕捉した。このとき、微小液滴同士の静電反発によって単一の微小液滴のみがトラップ内に安定に捕捉される。トラップされた単一微小液滴に 532 nm の連続発振レーザー、もしくはナノ秒パルス Nd:YAG レーザーの 2 倍波 (532 nm) を照射した。液滴からの発光を長作動距離の無限遠補正対物レンズによって捕集したのち、冷却 CCD 検出器付きポリクロメータに集光することで微小液滴からの発光スペクトルを得た。溶質分子として、ローダミン B (RhB)、および親水基がローダミン B、疎水基がオクタデシル基で構成された両親媒性物質であるオクタデシルローダミン B (ODRB) を使用した。溶媒にはメタノールとグリセリンの混合溶媒 (50/50 vol%) を使用した。

**【結果・考察】** ODRB を含む単一微小液滴 (ODRB の濃度は  $10^{-5}$  M) をパルスレーザーで励起したときの発光スペクトルを図 1 に示す。励起光強度が 42 nJ/pulse のときには ODRB からの発光は観測されていない。一方、励起光強度が 56 nJ/pulse および 68 nJ/pulse のときには、630 nm から 690 nm にかけて非常にシャープな発光が観測されている。

図 2 は、シャープな発光の積分強度を励起光強度に対してプロットした図である。図 2 から、励起光強度が 54 nJ/pulse 付近を境として、シャープな発光の積分強度が急激に立ち上がっていることが分かる。これは、微小液滴に溶存した ODRB が、54 nJ/pulse 付近でレーザー発振に至ったことを示している。同じ濃度の RhB を含む単一微小液滴からもレーザー発振が観測されるが、RhB の場合は、580 nm 付近を中心としたブロードな発光も同時に観測される[1]。この場合、シャープな発光は、微小液滴の気液界面近傍に存在する RhB からのレーザー発振に帰属できる。一方、ブロードな発光は、微小液滴の内部に溶存した RhB からの蛍光に帰属できる。図 1 において、ODRB からのブロードな蛍光が観測されていないことは、微小液滴に溶存している ODRB の多くが、液滴の気液界面近傍に局在化していることを示している。ODRB が両親媒性分子であることを考えると、この結果は ODRB が微小液滴表面に単分子膜を形成していることを強く示唆する。なお、ODRB の場合でも、溶存濃度を高くするとブロードな蛍光が観測されるが、その強度は RhB と比べて極めて小さい。

発表当日は、微小液滴の直径を 3  $\mu$ m から 12  $\mu$ m 程度まで変化させたときの ODRB の発光スペクトルの変化についても報告する。

#### 【参考文献】

[1] 安富, 迫田, 第10回分子科学討論会, 3P102 (2016).

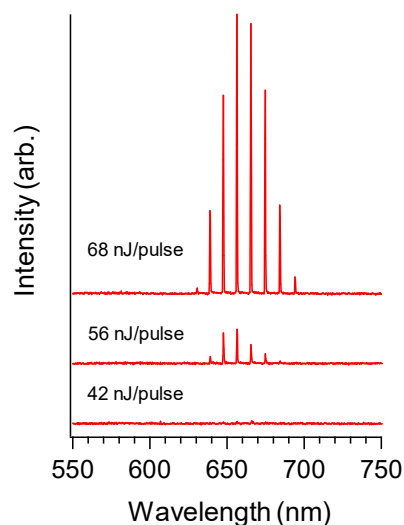


Fig. 1. Emission spectra of a single microdroplet.

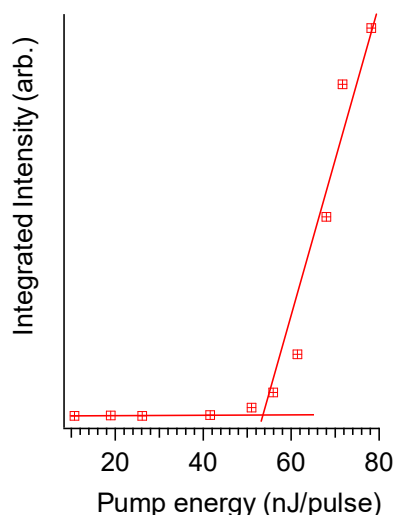


Fig. 2. Integrated sharp emission intensities as a function of pump energy.