

## 生体分子イメージングにおける量子増強に向けて Toward Quantum Enhancement in Biological Molecular Imaging

東大院工 小関 泰之

Univ. Tokyo, Yasuyuki Ozeki

E-mail: ozeki@ee.t.u-tokyo.ac.jp

光学顕微鏡による生体観察技術、特に蛍光イメージング技術は、たんぱく質をはじめとする生体分子の可視化を実現し、生物学・医学に多大な知見をもたらしてきた。一方、たんぱく質よりも小さな生体分子、例えば脂肪酸、アミノ酸、糖類、核酸、神経伝達物質等は、蛍光標識すると生理学的な性質や活性が失われるため、蛍光イメージングによる動態可視化がまだ困難である。蛍光分子を用いずに生体を可視化する一手法として誘導ラマン散乱(stimulated Raman scattering, SRS)顕微法[1-4]が提案され、様々な応用が進められている。SRS 顕微法の応用を広げる上で感度・速度のさらなる向上が望まれるが、その感度は標準量子限界により制限される。

我々は、標準量子限界感度を上回る超高感度を有する量子増強 SRS 顕微法の実現を目指している。その原理を図 1 に示す。これは、スクイズド真空場のバランスドホモダイン検出系に SRS 計測系を組み合わせたものである。量子増強 SRS 顕微鏡では、ポンプパルスとスクイズド真空場をビームスプリッタに入力する。一方の出力光は直接フォトダイオード(PD)で検出する。もう一方の出力光は、強度変調されたストークスパルスと合波したのち、対物レンズ(OB)で試料に集光する。SRS が生じると、ストークスパルスの強度変調がポンプパルスに転写される。試料透過光のうち、ポンプパルスのみを光フィルタ(F)で抽出し、PD で検出する。2つの PD の光電流の差分を取ることで、スクイズド真空場をバランスドホモダイン検出する。スクイズド真空場の位相を適切に設定することで、量子雑音が抑圧される。この光電流をロックイン検出することで、標準量子限界を超える低雑音性をもって SRS 信号を得る。現在、本手法の実現を目指し、ピコ秒スクイズド真空場発生系、超低損失顕微光学系[5]、超高量子効率光検出器などを検討している。

### 参考文献

- [1] J. -X. Cheng and X. S. Xie, *Science* **350**, aaa8870 (2015). [2] Y. Ozeki *et al.*, *Nat. Photon.* **6**, 845 (2012). [3] Y. Wakisaka *et al.*, *Nat. Microbiol.* **1**, 16124 (2016). [4] Y. Ozeki *et al.*, *J. Sel. Top. Quantum Electron.* **25**, 7100211 (2019). [5] N. Ochiai *et al.*, *J. Opt. Soc. Am. B* **36**, 1342 (2019).

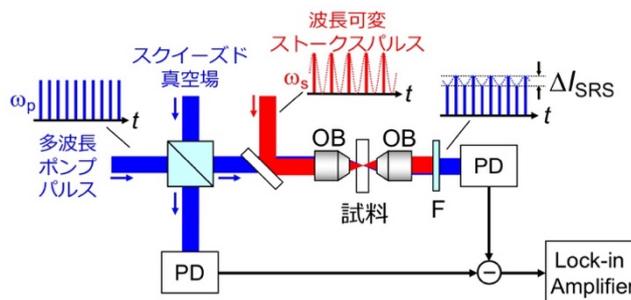


図 1. 量子増強誘導ラマン散乱顕微法の概念図。