

## 業績紹介：飽和過渡蛍光検出赤外分光法を用いた可視超解像赤外顕微鏡

井上圭一 (東工大資源研・計画研究連携者)  
藤井正明 (東工大資源研・計画研究代表者)  
酒井 誠 (東工大資源研・計画研究分担者)

論文題目："Visible-super-resolution infrared microscopy using saturated transient fluorescence detected infrared spectroscopy"

著者：Nandor Bokor, Keiichi Inoue, Satoshi Kogure, Masaaki Fujii, Makoto Sakai

雑誌：OPTICS COMMUNICATIONS, **283** (2010) 509

生体分子の構造解析において、ラマン分光と相補的な情報が得られ、特に官能基の振動モードに敏感な赤外分光は有用であり、微小試料観察に赤外顕微鏡が用いられている。しかし、通常の赤外顕微鏡では、回折限界の制限により空間分解能を数  $\mu\text{m}$  より小さくすることが出来ない。筆者らは、赤外吸収を可視蛍光に変換するという特性を持つ過渡蛍光検出赤外分光法 (TFD-IR) を顕微鏡に適用することで、可視光を利用する顕微鏡と同等の空間分解能を有する赤外顕微鏡 (赤外に対して超解像) の開発を行い、既に報告した。<sup>1,2)</sup>

本論文では、過渡蛍光信号の飽和を利用することで、さらに可視光に対しても超解像を達成できる可視超解像赤外顕微鏡を提案する。

本顕微鏡では、Fig.1 に示す(a) IR 光、(b) ドーナツ状の可視光:Vis1、(c) 同じ波長の通常の可視光:Vis2、の3つのレーザー光を顕微鏡に入射する。

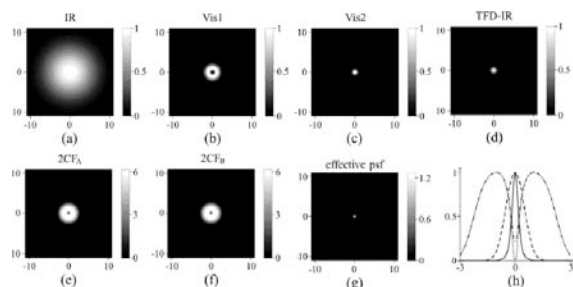


Fig.1 焦点での強度分布

既報の赤外超解像顕微鏡は、(d)の IR+Vis2 を入射する方法を採用しており、可視光の回折限界を突破することは出来ない。本提案では、それに Vis1 を加えた(f)から IR+Vis1 の(e)を引くことで可視に対しても超解像を達成する。その時の空間分解能は(g)と(h)に示す。

実際に過渡蛍光信号において飽和状態が達成可能か

否かを実験で検証した。結果を Fig.2 に示す。光損傷を引き起こすことなく容易に飽和状態を作り出すことができ、さらに IR を 6.69(上), 3.35(下)  $\mu\text{J/pulse}$  それぞれ入れた時で初期傾斜が IR 強度とほぼ同じ比率であった。よって、蛍光信号の IR 依存性は線形領域にあることが示された。

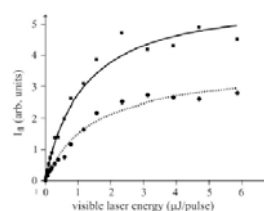


Fig.2 過渡蛍光信号のレーザー強度依存性  
IR : 6.69(上), 3.35(下)  
(単位:  $\mu\text{J/pulse}$ )

次に、本顕微鏡を含めた種々の顕微鏡法による空間分解のシミュレーション結果を Fig.3 に示す。

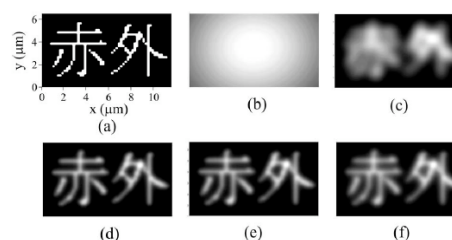


Fig.3 赤外の文字を用いた空間分解能シミュレーション

(a)の赤外の文字が、(b)の IR のみ(Fig.1(a)を利用)では赤外光の回折限界により文字を認識することが出来ない。(c)は既報の赤外超解像(Fig.1(d)を利用)による結果である。赤外超解像は達成されているが、可視光の回折限界による制約があり文字が明瞭に見られない。

(d)-(f)はそれぞれ可視の飽和強度に対して(d)0.2、(e)1、(f)5 倍の Vis2 を用いてシミュレーションした本提案である飽和 TFD-IR 顕微鏡による結果である。一見してわかる通り、既報の赤外超解像顕微鏡を遥かに超える空間分解能の向上がはっきりと示されている。また、(d)-(f)の比較から Vis2 の強度を飽和レベルまで上げても、空間分解能は殆ど劣化しないことも示された。Vis2 の強度を増加させると、信号強度も増加するため、感度向上を考えると非常に良い結果である。実際には飽和を利用するため試料の 2 光子吸収等による光損傷の閾値による制約があるが、理論上は赤外顕微鏡の空間分解能を無限に向上させることが可能である。

### 【引用文献】

- 1) M.Sakai *et al*, *Chem. Phys. Lett.* **439** (2007) 171
- 2) K.Inoue *et al*, *Opt Express* **17** (2009) 12013