



小関泰之氏の論文紹介

大阪大学大学院工学研究科 伊東 一良

小関泰之氏は三重県で生まれ、東京大学工学系研究科電子工学専攻博士後期課程において学位を取り、古河電工(株) フォトニクス研究所において高坂繁弘氏の JST さきがけプロジェクトでポスドクの経験を経た後、われわれの研究室の助教として、平成 18 年 4 月に着任した。現在、名古屋大学におられる西澤典彦先生のご紹介であった。当時、われわれの研究室では、超短光パルスの光加工や通信、非線形光学顕微鏡への応用の研究を行っていた。特に顕微鏡関係では、数年前から始めた二光子吸収蛍光顕微鏡や、四光波混合顕微鏡の研究が立ち上がりかけていた時期であった。

当時は、無染色生体試料中の特定周波数の分子振動を三次元で可視化することができるコヒーレント反ストークスラマン散乱 (coherent anti-stokes Raman scattering, CARS) 顕微鏡が、自発ラマン散乱を利用する従来の顕微鏡と比較して数桁高感度であることもあって、さかんに研究されていた。しかし多くの場合、非共鳴信号の混入によりコントラストが低下するとともに、分子振動スペクトルに歪みが生じる。この欠点は、われわれの研究室で進めていた誘導パラメトリック発光 (stimulated parametric emission, SPE) 顕微鏡とも共通するものであった。小関氏は、上記課題を解決するため、誘導ラマン散乱 (stimulated Raman scattering, SRS) に着目した。SRS も CARS も分子振動による励起光の位相変調現象として理解できるが、CARS 顕微鏡は SPE 顕微鏡と同様に変調側波帯のひとつの強度を検出する。一方、SRS 信号は側波帯と励起光の干渉によって生じる強度の変化として現れる。したがって SRS 信号は、干渉の位相感応性によって、位相が 90° ずれた非共鳴信号に感度をもたず、また、CARS と同等のショット雑音限界感度をもつ²⁾。これらの知見に基づき、小関氏は、ハーバード大学、シュツットガルト大学のグループと独立かつほぼ同時期に SRS 顕微鏡を開発し、生物試料の観察に成功した²⁾。さらに、量子力学的描像を用いて、SRS の自発ラマ

ン散乱に対する感度メリットを定式化し、3 桁以上の感度向上が可能であることを示した³⁾。しかし、SRS 顕微鏡では SRS 過程による光パルス列のわずかな強度変化を検出するため、レーザー強度雑音を非常に小さくする必要がある。受賞論文¹⁾では、高調波同期法という独自手法を用いて SRS 顕微鏡の高感度化を図った。繰り返し周波数が 2 倍異なる 2 つのレーザーを高精度に同期させ、ロックイン周波数を繰り返し周波数の半分まで高めることに成功し、レーザー強度の $1/f$ 雑音を極限まで低減し、ショット雑音限界に 1.6 dB まで迫る高感度性を実証した。この理論限界感度の達成により、SRS の優位性は確固たるものになった。受賞論文が世界のバイオイメージング分野へのよい刺激のひとつとなって、今後さまざまなタイプの非線形光学顕微鏡の開発につながることを期待している。

小関氏は、研究の対象などいろいろなものに対して、独自のイメージやモデルをいつももっており、学生やわれわれと長時間の議論をするのが好きである。いつまでも子供のような新鮮な感性を保ちながら、世界の研究者と競い合って、豊穡なフォトニクスの世界を切り開いていってくれることを願っている。

文 献

受賞論文:

- 1) Y. Ozeki, Y. Kitagawa, K. Sumimura, N. Nishizawa, W. Umemura, S. Kajiyama, K. Fukui and K. Itoh: "Stimulated Raman scattering microscopy with shot noise limited sensitivity using subharmonically synchronized laser pulses," *Opt. Express*, **18** (2010) 13708-13719.

関連論文

- 2) Y. Ozeki, F. Dake, S. Kajiyama, K. Fukui and K. Itoh: "Analysis and experimental assessment of the sensitivity of stimulated Raman scattering microscopy," *Opt. Express*, **17** (2009) 3651-3658,
- 3) Y. Ozeki and K. Itoh: "Stimulated Raman scattering microscopy for live cell imaging with high contrast and high sensitivity," *Laser Phys.*, **20** (2010) 1114-1118.



豎 直也氏の論文紹介

山梨大学大学院医学工学総合研究部 堀 裕 和

豎直也氏は、「並列性」や「画像応用」という独自の考えでナノとマクロのオプティクスを総合し、オリジナル溢れる研究を展開している、伸び盛りの研究者である。

ナノオプティクスが基盤に据える近接場光相互作用は、マクロな伝搬光の世界とは全く異なる、光と物質の振る舞いが融合した広大な科学技術領域を蔵している。関与する物質系の形状やサイズの制御によって、マクロな計測では見えない近接場光の世界に多様な情報や機能を「埋め込み」、これを「隠す」ことも、特別な道具を用いて「顕す」ことも、自由自在に操ることができる。豎氏は、一貫して近接場光とマクロな伝搬光の世界の「階層性」に着目し、その接続状態を一括して変化させる「並列性」を念頭に置いて、アイデアに富む手法を大胆に提案・実現し、これを高度な実験で評価して問題点を発掘し、完成させる研究を推進している。

受賞論文の研究では、従来のエンボスホログラムを構成する物質構造に、見かけの立体像はそのままに、最小寸法が 80 nm の近接場光発生構造を埋め込むことで、マクロな世界からコードを「隠す」、階層型ホログラムを実現した。さらに、近接場プローブによって階層的コードを「顕す」実験に基づいて、ホログラム全体の周期的な構造が近接場領域にもたらす環境効果という重要な側面に着目し、偏光光励起に対する特徴的な表面電荷の局在と集中に基づいて、近接場コードが「顕在化」するという物理を解明した。

斬新なアイデアに基づいた「階層型ホログラム」は、偽造防止技術の極限的高度化が期待されている光セキュリティ分野などに大きな影響を与えるのはもちろんのこと、ナノオプティクスの最も特徴的な性質である近接場光の階層的性質を本質的に生かし、さらにホログラムという画像応用領域と近接場光の機能を補完・調和させた点において、高く評価される。

関連論文で、豎氏は、多重極場の性格を特色とする光近接場の微小変化を、ナノとマクロを接続する近接場光誘起の構造変化によって一括して読みだす、ナノからマクロ構造へのスケール変換という独自の着想を光相転移材料で具体化し、また、四重極場を双極子場に変換して一括してマクロな情報に転換する金属ナノ構造の形状制御を研究し、これを鍵と鍵穴と見なして認証システムとして実証する成果を挙げ、研究コンセプトを多様に展開している。

いずれの研究も、その斬新なアイデアが論文になると、きわめて自然かつ明快であり、近接場光学のもつ光と物質系の相互作用の複雑な様相に明解な切り口を与えるという、豎氏のすぐれた研究手腕が現れている。豎氏の研究スタイルは、困難な領域に自然体で踏み込み、高度な実験技術に基づいて問題の本質を引き出し、創意工夫によって解決し、完成度を高めていくものである。受賞の後押しを得て、豎氏の能力がさらに磨かれ、複雑な様相をもつ近接場光相互作用の問題に明解な切り口を見いだす手法で、ナノオプティクスの深淵に切り込んでくださることを期待する。

文 献

受賞論文

- 1) N. Tate, M. Naruse, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Hoga, Y. Ohyagi, T. Fukuyama, M. Kitamura and M. Ohtsu: "Nanophotonic code embedded in embossed hologram for hierarchical information retrieval," *Opt. Express*, **18** (2010) 7497-7505.

関連論文

- 2) N. Tate, H. Sugiyama, M. Naruse, W. Nomura, T. Yatsui, T. Kawazoe and M. Ohtsu: "Quadrupole-dipole transform based on optical near-field interactions in engineered nanostructures," *Opt. Express*, **17** (2009) 11113-11121.
- 3) N. Tate, H. Tokoro, K. Takeda, W. Nomura, T. Yatsui, T. Kawazoe, M. Naruse, S. Ohkoshi and M. Ohtsu: "Transcription of optical near-fields by photoinduced structural change in single crystals for parallel nanophotonic processing," *Appl. Phys. B: Lasers Opt.*, **98** (2010) 685-689.