

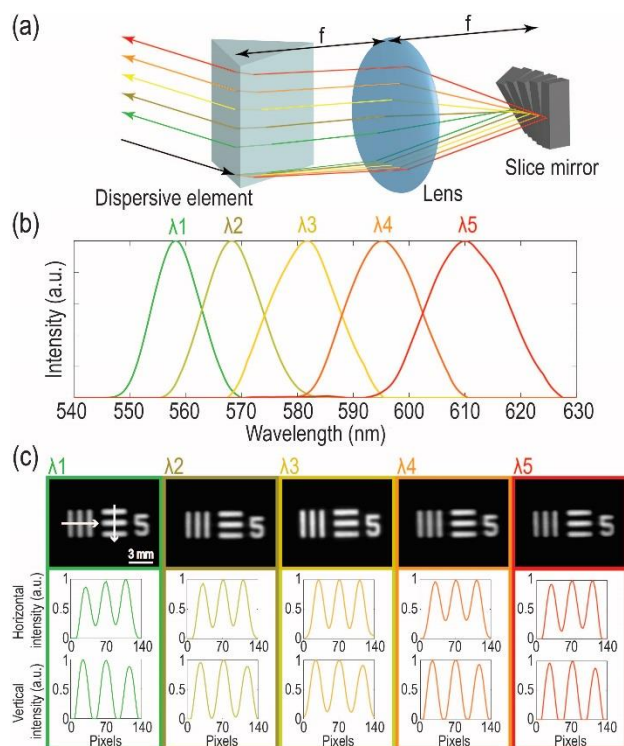
## Annual Research Highlights

### (1) “A spectrum slicer for snapshot spectral imaging”

Spectral imaging is a powerful tool in both scientific research and practical settings as it helps us to identify physical properties of samples by imaging through their unique spectral features.

Here we developed a new snapshot spectral imaging system which achieves higher imaging performance than the traditional spectral imaging methods in terms of its spectral and spatial resolutions and potential number of frames. A unique optical element called slicing mirror (SM) combined with a spectral shaper (Fig. 1 (a)) enables the advanced imaging performance. 5-color single-shot spectral imaging using visible light was performed as a proof-of-principle demonstration. Fig. 1(b) and (c) are the results of the fundamental evaluations, in which its spectral and spatial resolutions were measured, respectively. The results of these analyses indicate that the system yields well-resolved spectral bands with the image quality comparable to typical microscopes or cameras.

This work was performed in collaboration with the teams of institute of astronomy at University of Tokyo and Center for Advanced Photonics at RIKEN.

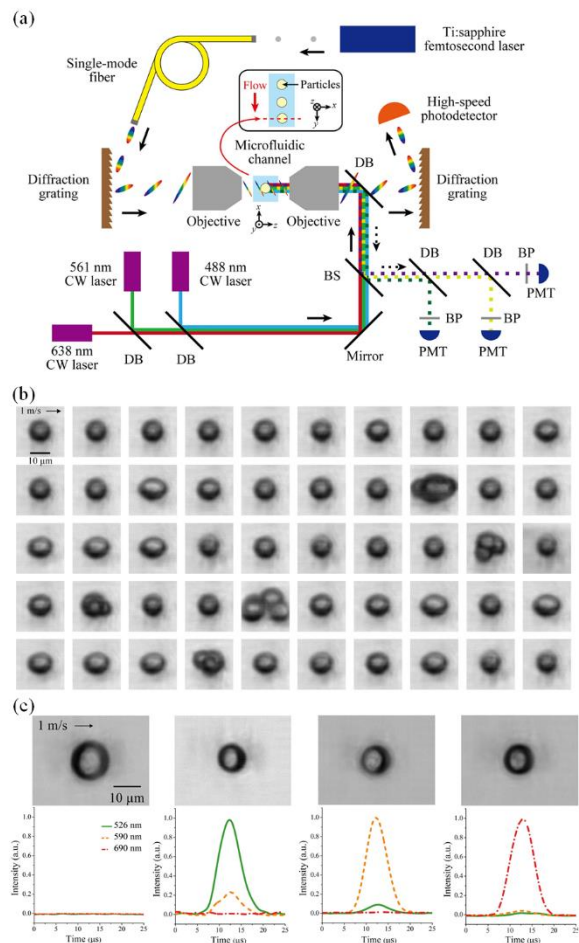


**Fig. 1** Snapshot multi-spectral imaging with a spectrum slicer. (a) Principle of spectral imaging with a spectrum slicer. (b) The spectral bands and resolution of five SM-channels. (c) Acquired images of the resolution-chart and the intensity distributions of the scale-bars in both horizontal and vertical directions notified with the arrows in  $\lambda_1$  panel.

1.(1)-1) *Opt. Eng.*, **54**, 123115 (2015)

### (2) “High-throughput optofluidic particle profiling with morphological and chemical specificity”

Particle analysis is an effective method in analytical chemistry for sizing and counting micrometer-sized particles. Here we present a high-throughput optofluidic particle profiler that provides both the morphological and chemical information of individual particles. The schematic of the profiler is shown in Fig. 2(a), which consists of a time-stretch optical microscope on top of an inertial-focusing microfluidic device, and three CW lasers for fluorescence excitation and three PMTs for fluorescent signal receiving. Fig. 2(b) shows the image library of microparticles flowing at a speed of 1 m/s. As shown in Fig. 2(c), when the particles have nearly the same morphological features (all spherical), our profiler enables the recognition and chemical differentiation of them under the excitation of the fluorophores inside the particles with the CW lasers.



**Fig. 2** Time-stretch particle profiler with morphological and chemical specificity. (a) Schematic of the particle profiler. (b) Library of particle images acquired by the particle profiler. (c) Images and fluorescence signals of particles.

1.(1)-2) *Opt. Lett.*, **40**, 4803 (2015)

研究ハイライト

(1) スペクトラルスライサーによるスナップショットスペクトラルイメージング

スペクトラルイメージングは基礎から応用まで、様々な物理現象の波長情報を知るために非常に有用なツールである。

我々は、既存手法と比較しより高い波長分解能と空間分解能を実現する、新しいスナップショット（一発撮り）のスペクトラルイメージング法を開発した。システムはスライスミラーと呼ぶ光学素子を用いたスペクトラムスライサー（図 1a）から構成されており、より高いイメージングを可能とする。原理実証実験では、5つのチャンネルを持ったシステムを構築し、可視光領域にてスペクトラルイメージングを行った。図 1b は開発したシステムの波長分解能を、図 1c は空間分解能を示している。検証実験の結果から、画質を保ちつつ、高い波長分解能にてスペクトラルイメージングが実現できていることがわかる。

本内容は、東京大学大学院理学系研究科天文学専攻、理化学研究所先端光学素子開発チームらとの共同研究の成果である。

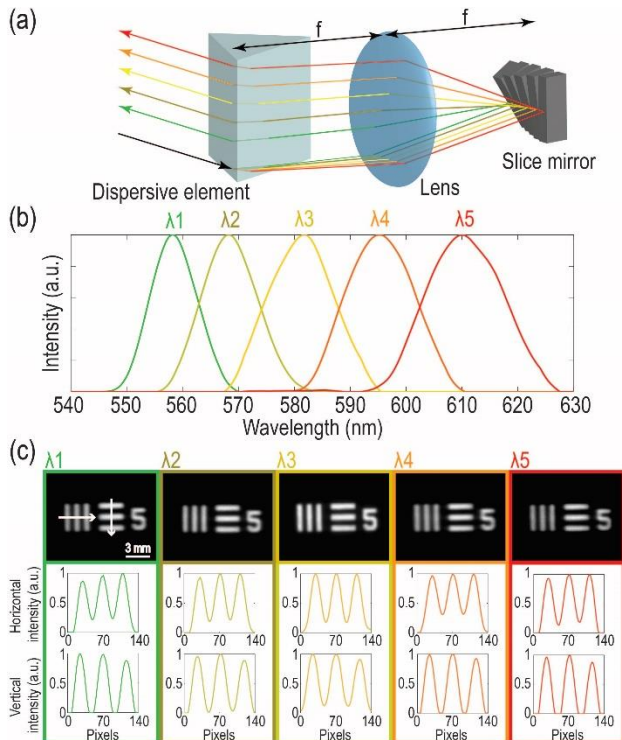


図 1 スペクトラムスライサーによるマルチスペクトラルイメージング。(a) イメージングの原理。(b) 開発したシステムの波長分解能。(c) 解像度チャートのスペクトラルイメージング像と、水平・鉛直方向それぞれの強度プロファイル。

1.(1)-1) *Opt. Eng.*, **54**, 123115 (2015)

(2) 形態及び化学的特徴に関するハイスループット・オプトフルイディック粒子プロファイリング

粒子解析は粒子の大きさや粒子数を計測する効果的な分析化学手法である。我々は各粒子の形態と化学的情報の両方を取得できるハイスループット・オプトフルイディック粒子プロファイラーを開発した。プロファイラーの概略図を図 2(a)に示す。タイムストレッチオプティカル顕微鏡上に慣性収束マイクロ流路があり、また 3 つの連続波レーザー蛍光を励起し、3 つの電子増倍管でそれぞれの蛍光を検出する。図 2(b)に 1m/s の速さで流れる粒子の画像集を示す。図 2(c)に示すように、粒子の形態がほぼ同じであっても、我々の開発したプロファイラーは粒子の持つ異なる化学的情報を連続波レーザーにより励起された蛍光から判断することが可能である。

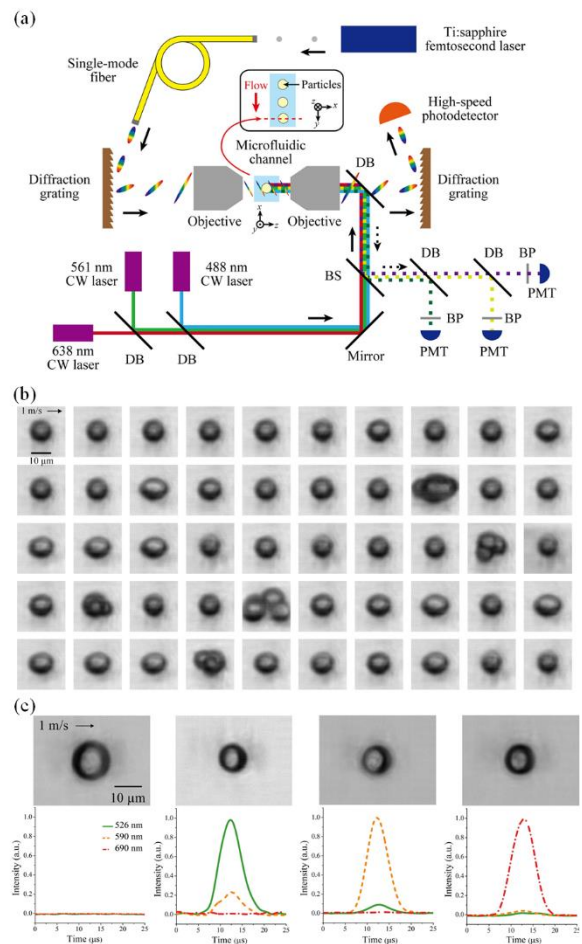


図 2 タイムストレッチ粒子プロファイラーと化学的特徴。(a) 粒子プロファイラーの概略図。(b) 粒子の画像集。(c) 粒子の画像と蛍光信号。

1.(1)-2) *Opt. Lett.*, **40**, 4803 (2015)

## 1. 原著論文

### (1) Refereed Journals

- 1) M. Tamamitsu, Y. Kitagawa, K. Nakagawa, R. Horisaki, Y. Oishi, S. Morita, Y. Yamagata, K. Motohara, and K. Goda, "Spectrum slicer for snapshot spectral imaging," *Optical Engineering*, **54**, 123115 (2015)
- 2) M. Ugawa, C. Lei, T. Nozawa, T. Ideguchi, D. Di Carlo, S. Ota, Y. Ozeki and K. Goda, "High-throughput optofluidic particle profiling with morphological and chemical specificity," *Optics Letters*, **40**, 4803-4806 (2015).
- 3) T. Ishida, T. Sato, T. Ishikawa, M. Oguma, N. Itamura, K. Goda, N. Sasaki, and H. Fujita, "Time-lapse nanoscopy of friction in the non-Amontons and non-Coulomb regime," *Nano Letters*, **15**, 1476 (2015)
- 4) M. Tamamitsu, K. Nakagawa, R. Horisaki, A. Iwasaki, Y. Oishi, A. Tsukamoto, F. Kannari, I. Sakuma, and K. Goda, "Design for sequentially timed all-optical mapping photography with optimum temporal performance," *Optics Letters*, **40**, 633 (2015)
- 5) T. Suzuki, F. Isa, L. Fujii, K. Hirose, K. Nakagawa, K. Goda, I. Sakuma, and F. Kannari, "Sequentially timed all-optical mapping photography (STAMP) utilizing spectral filtering," *Optics Express*, **23**, 30512 (2015)
- 6) M. Ugawa, T. Ideguchi, and K. Goda, "Ultrafast spectroscopy and its applications enabled by time-domain Fourier optics," *Review of Laser Engineering*, **43**, 193 (2015)

### (2) その他

- 1) K. Goda, "Ultrafast optical imaging based on spatiotemporal dispersion," Proceedings of 56th Meeting on Lightwave Sensing Technology, Tokyo (2015)

## 2. 総説・解説

- 1) K. Nakagawa, F. Kannari, I. Sakuma, and K. Goda, "Photography on the femtosecond scale," *Imaging & Microscopy*, **4**, 44 (2015)
- 2) K. Nakagawa and K. Goda, "Sequentially timed all-optical mapping photography for capturing picosecond-to-femtosecond dynamics," *Journal of Japan Laser Processing Society*, **22**, 225 (2015)
- 3) K. Nakagawa, "STAMP (Sequentially timed all-optical mapping photography) for observation of ultrafast non-repetitive phenomena," *Review of Laser Engineering*, **43**, 198 (2015)
- 4) K. Nakagawa and K. Goda, 「超高速光学撮像法が拓くフロンティア」, 応用物理, **84**, 409 (2015)
- 5) K. Nakagawa, H. Kobayashi, G. Yu, Y. Wakisaka, T. Nozawa, and K. Goda, 「高速・高分解能ブレインイメージングに向けた技術革新」, *Brain Science Review*, クバプロ (2015)
- 6) Yazaki, K. Goda, and B. Jalali, 「超高速表面検査を実現する分散融合型暗視野レーザスキャナー」, 映像情報メディア学会誌, **69**, 574 (2015)
- 7) K. Nakagawa and K. Goda, 「1兆分の1秒以下の世界を捉える連写撮影法」, 画像ラボ, **26**, 13 (2015)

## 3. 著書

### 4. その他

- 1) H. He, K. Nakagawa, Y. Wang, Y. Hosokawa, and K. Goda, "Mechanism for microtsunami-induced intercellular mechanosignalling," *Nature Photonics*, **9**, 623 (2015)