



テラヘルツ点光源技術が拓く テラヘルツバイオフィotonicsの新展開

大阪大学 レーザー科学研究所
芹田和則, 斗内政吉

1. はじめに

近年のバイオフィotonicsは、光学顕微鏡をはじめとする最先端の光技術を駆使したイメージングとともに、ナノテクノロジーやデータサイエンスを融合させた画期的な分析手法やバイオセンサーの開発によって目覚ましい発展を遂げている。一方、光と電波の中間の周波数に位置するテラヘルツ波 (THz 波, 波長 $30\mu\text{m}\sim 3\text{mm}$, 周波数 $0.1\text{THz}\sim 10\text{THz}$) を利用したイメージング・センシング技術も着実に進化を遂げており, THz バイオフィotonics としての新しい展開が注目されている¹⁻⁵⁾。しかし, その技術は現在までになかなか世の中に普及していないのが事実である。その原因として, THz 波の低い空間分解能 ($1\text{THz}\simeq 300\mu\text{m}$), 水に対する THz 信号の強い減衰 ($200\text{cm}^{-1}@1\text{THz}$), およびこれら感度低下に伴う長いイメージング時間がある。これまでに DNA⁶⁾, 癌⁷⁾, 細胞⁸⁾, ウイルス⁹⁾ など様々な生体試料において興味深い報告が多数あるが, これらを議論する上で, 上述の課題解決は重要である。また, 光学顕微鏡が普及したように, 高価な光源設備や高精度なアライメントを必要とせず, 比較的安価で導入しやすいシステム設計で上述の課題を解決し, 研究者らが THz バイオ計測により取り組みやすい環境を整えることも重要である。

このような背景のもと, 我々は, 光-THz 波変換で生成する微小かつ高密度な THz 点光源に着目し, これと試料とを近接相互作用させることで分光・イメージングを可能とする「走査型 THz 波点光源顕微鏡 (SPoTS 顕微鏡)」を提案・開発した¹⁰⁻¹²⁾。本顕微鏡により, 上述の問題点が同時に解決され, 様々な生体関連試料の興味深い振る舞いの観測に成功してきた。本稿では, THz バイオフィotonics のこれまでと今後の展望について触れるとともに, 我々が展開する SPoTS 顕微鏡を利用した最近のトピックを紹介する。

2. ノーベル賞の受賞技術に見られる発展の中の「THz バイオフィotonics」

生物系研究は, イメージングにより細胞や分子を直接観察することで, 様々な世紀の大発見を生み出し, 新しい学問の創成や医学の進歩に貢献してきた。それには光学顕微鏡の発展と普及が大きく寄与しており, 17 世紀に微生物や精子を発見した簡易な顕微鏡を端緒として, 今や分子 1 個やシナプス等をライブ観察できるまでの超高解像度の顕微鏡へと進化を遂げている。その過程では, ノーベル賞技術による革新的なイノベーションがあった。例えば, 空間分解能を劇的に改善させた電子顕微鏡や走査型トンネル顕微鏡 (ともに 1986 年ノーベル物理学賞) はこれまで見えなかった細胞内構造を可視化しそれらの細胞機能に資する重要な情報を示した他, クライオ電子顕微鏡 (2017 年ノーベル化学賞) は溶液中の生体分子の高分解能構造測定を実現した。緑色蛍光タンパク質 (GFP) の発見 (2008 年ノーベル化学賞) と超解像蛍光顕微鏡 (2014 年ノーベル物理学賞) はそれまで不可能であった生きた細胞内の分子の動態観察を実現した。これら段階的なイノベーションは, さらなるアイデアと発見を生み出し, その後の生物学の新時代を切り拓いていった。