

光周波数コムの進化

洪 鋒 雷

(産業技術総合研究所)

ノーベル物理学賞を受賞したヘンシュ (T. W. Hänsch) 教授が講演でよく用いるスライドがある。そこには、15 桁の周波数および任意のパワーレベルが設定できる光シンセサイザーのイラストが描かれている。ラジオ波やマイクロ波領域で使われているファンクションジェネレーターやシンセサイザーの光バージョンであり、レーザーの究極な姿でもある。光シンセサイザーのキーデバイスは光周波数コムである。光周波数コム発明の直接の動機はレーザーの周波数を測ることだったが、その応用は今、大きな広がりをもせている。

光周波数コムは、周波数軸上に等間隔に並んだ成分からなる櫛 (コム) 形のスペクトルをもつ光信号であるが、時間軸上では超短光パルス列である。それゆえ、非線形変換効率がよく、真空紫外領域からテラヘルツ領域のコムの発生が可能となる。紫外領域への光コムの拡張は、紫外線ホログラフィー、顕微鏡検査法、ナノリソグラフィおよび X 線原子時計などの研究にとって非常に重要な技術課題である。一方、テラヘルツ領域では、発生技術とともに精密分光への応用も期待されている。

光周波数コムの周波数軸特性の利用法も大きく進化した。従来はコムの成分を 1 本ずつ利用する場面が多かったが、最近ではコムの成分を束ごと利用するデュアルコム分光法が開発され、学会などでの発表件数も急速に増えている。従来技術では達成できない高速・高分解能・高感度を実現するという点で、物理だけではなく、化学など他の研究分野からも注目されている。

光周波数コムの発明は、多くの研究分野に飛躍的な発展をもたらした。光周波数標準の研究においては、光コムが光時計の研究を促進し、秒の再定義や物理定数恒常性の検証へ向けて大きく前進した。一方、長さ標準への応用では、「光周波数コム装置」がヨウ素安定化 He-Ne レーザーに取って代わって長さの国家標準となった。光周波数コムは周波数計測だけではなく、レーザー周波数制御のツールでもあり、冷却原子や量子情報などの実験でも欠かせない存在となりつつある。さらに光周波数コムは、光通信、呼気の分析、惑星探査、加速器などの研究にも応用されている。同じくノーベル物理学賞を受賞したホール (J. L. Hall) 博士が受賞講演で「計測標準は科学の生みの親 (Metrology, the Mother of Science)」と言った。その言葉の通りである。