

光の時計

盛永篤郎

(東京理科大学理工学部)

周波数標準の話題が「光学」で取り扱われるのを訝しく思う人がいるかもしれない。次世代の周波数標準をめざして、原子の光周波数遷移を基準にしたレーザー光による「光の時計」の研究が行われているからである。

人類の正確な時計の開発の歴史は安定な周波数の追求であった。ガリレイの等時性に基づく振り子時計(約1 Hz)は1日に200 μ sしかずれない 10^{-8} の精度のショート時計を生み出した。水晶発振器の形状によるクォーツ時計の約 3×10^4 Hzの周波数は、温度を安定化することで 10^{-11} の精度まで安定になった。そして、原子の超微細準位間の約 9×10^9 Hzのマイクロ波遷移を基準にする 10^{-13} の正確さと安定度をもつセシウム原子時計が作られ、1967年にこの遷移が秒の定義となった。この原子時計の正確さは、現在レーザー冷却原子を用いることで 10^{-15} にまで達した。このように、発振器の周波数が高くなるにつれ、正確さが向上し、短い時間間隔でより高い精度が得られるようになった。

光領域の原子の遷移が普遍的で、時計になりうることを最初に指摘したのは、19世紀後半のKelvin卿といわれる。往時の夢物語は単色性のすぐれたレーザーの誕生で実現可能となり、1982年には実際レーザー光は波長標準として使われるようになった。そして21世紀を迎えた今日、レーザーの発振線幅を1 Hzより狭くする技術が実現した。一方、フェムト秒レーザーと非線形ファイバーの開発が、光領域全体に一定間隔の周波数コムを発生することを可能とし、光周波数とマイクロ波周波数を繋ぐことで光周波数の測定が容易に精度よくできるようになった。こうして、レーザー冷却した超低温原子の可視遷移を周波数基準にすることで、「光時計」を実現するお膳立ては揃った。実に 10^{-18} の正確さ、安定度をもつ時計の実現が期待されている。これまで時間標準の高精度化が科学・文明に果たした役割は多大であることはいうまでもない。この精度が実現すると、航行・計測の精密化のみならず、物理定数の時間変化の検証など、科学の基本に及ぼす影響は大きい。

「光の時計」に用いられるアイデアはいずれも数十年前に考え出されたが、科学・技術の発展が実現を可能にしたのである。日本にも本特集にみられるようにこれに挑む研究者がいる。特に若い研究者には数十年先の時計のアイデアや実現に貢献してもらいたい。このようなアイデアは競争の中で生まれるというよりも、研究者が時間を超越して没頭してこそ創造されるものと思う。彼らを支援する体制のいっそうの充実が望まれる。