

どこまで正確な時計をつくれる？

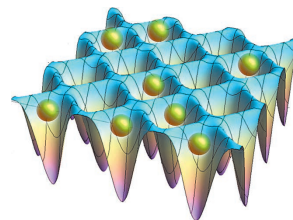
現在、物理量の単位として国際単位系 (SI) の使用が標準となっており、長さ (m)、質量 (kg)、時間 (s)、電流 (A)、温度 (K)、光度 (cd)、物質質量 (mol) の7つが基本単位となっている。これらのうち、基準となる大きさが最も高精度に決定されているのが時間である。1秒の決定には、1956年までは地球の自転速度を用いていたが、その後10年間ほど地球の公転速度を用い、1967年からはCs原子時計が採用されている。Cs原子時計では1秒を、Cs原子と相互作用するマイクロ波の周波数 (約9.2 GHz) で定義する。最高精度のCs原子時計は、レーザー冷却した原子集団を上方に打ち上げる「原子泉方式」を用いたものであり、1秒を15~16桁の精度で決定できる。これは3千万~3億年に1秒程度しか狂わない時計に相当する。

Cs原子時計の開発後も、さらなる精度向上をめざして研究が進められてきた。現在最も有望な次世代の方式は、日本発の技術である光格子時計である。光格子時計は、レーザー冷却したSrやYb原子を、レーザービームを交差させ形成した光格子のサイトに単独で捕獲する (図参照)。そして原子とプローブレーザー光を相互作用させ、原子の特定の光学遷移にレーザー周波数を固定し、これをもとに

1秒を決定する。光格子時計は原子間衝突が抑制され、またマイクロ波より周波数の高いレーザー光を用いているため、Cs原子時計に比べ3桁以上の精度向上が可能であり、現在18桁の精度が確認されている。

光格子電場の4次の寄与による超分極効果や、原子の多重極相互作用の効果を制御して、19桁の精度をめざす研究が進行している。また、光格子時計の技術を多種の原子に適用して比較し、精度を向上させることも重要である。

18桁の精度の時間標準 (周波数標準) が利用できるようになると、地表での数センチメートルの高低差による一般相対論的効果 (時間が進む速さの違い) を検知できる。これは光格子時計が、曲がった時空間を探索するプローブになりうることを意味する。原子時計の高性能化は、時間標準の高精度化への貢献のみならず、新しい物理の探索にも寄与する可能性がある。



(提供) 東京大学香取研究室