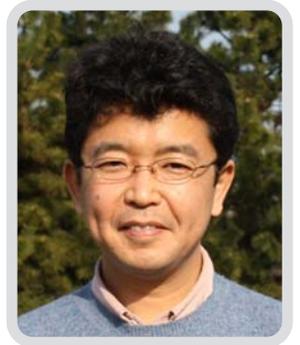


理工系

光格子時計による 超高精度・時間計測の実現

東京大学大学院工学系研究科 准教授 **香取秀俊**



研究の背景

1967年に国際単位系の1秒(SI秒)はセシウム原子のマイクロ波の遷移周波数により定義され、現在では15桁の精度が国際原子時として全世界で共有されています。この一方、原子の光学遷移を用いて、さらに精度の高い「光原子時計」を目指す研究が1980年頃より始められました。この有力候補と目されていた、「単一イオン光時計」は原子間相互作用やトラップ自体による周波数変化を回避できる理想的な原子時計ですが、90年後半になると単一イオンの観測に起因する量子力学的な時計の安定度の限界が現実的な困難として議論されるようになりました。

研究の成果

我々は、光による原子トラップで生じる周波数シフトを回避可能な「魔法波長・光格子」を用いる新しい原子時計手法を2001年に提案しました(図2)。この「光格子時計」では、光の定在波により原子をミクロン間隔の3次元的な「格子」状に並べることで、原子間の相互作用を低減し、およそ100万個の原子の同時観測を実現します。この結果、「単一イオン光時計」の弱点である安定度の劇的な向上が期待されます。我々はこの手法を世界に先駆け実証し、2008年には、2台の光格子時計を開発・同時運転を行い、SI秒の実現精度を超える精度で光格子時計の相互比較を実現しました。現在、光格子時計は、日・米・仏をはじめとする複数の研究機関で開発・実現が進み、SI秒の定義の精度で光格子時計の国際比較が実現しています。この結果、ストロンチウム原子を用いた光格子時計は、「秒の再定義」を視野に入れた次世代原子時計の有力候補である「秒の二次

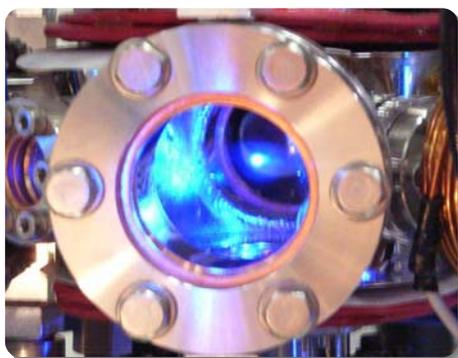


図1 光格子時計の心臓部であるレーザー冷却された数百万個のストロンチウム原子。

表現」の一つとして2006年に国際度量衡委員会で採択されています。

今後の展望

高精度な原子時計は、全地球測位システム(GPS)精度の向上など工学的に重大なインパクトをもつ一方、物理定数の測定精度向上やそれら基礎定数の恒常性の検出等、量子力学や相対論の精密な検証に威力を発揮します。近い将来、光原子時計が到達しうるであろう18桁の不確かさでは、一般相対性理論から導かれる1cmの高低差に対応する重力シフトによって最後の桁の時間の進みが変わります。従来、時計は時間の共有のための道具でしたが、このような高精度原子時計の遠隔比較では、時計は重力によって曲がった時空を照らし出すプローブです。地底に眠る資源の探索や地殻変動の検出など、従来にない新たな時計の応用が開けると期待されます。

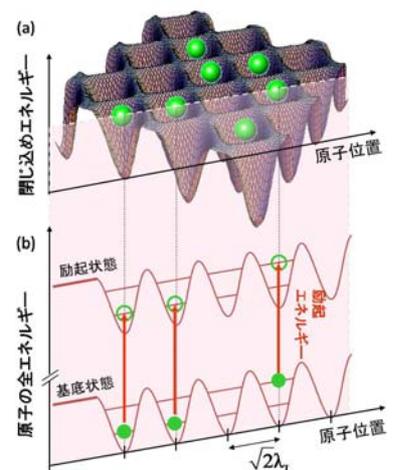


図2 光格子時計の概念図。光格子の障壁によって空間的に原子を隔離(a)する一方、その障壁によって生じるエネルギーシフトを時計遷移の観測で相殺する工夫をしている(b)。

関連する
科研費

平成14-15年度 若手研究(A)「光格子時計を用いる超高精度ストロンチウム原子光周波数標準の研究」