

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 超高精度光格子時計による新たな工学・基礎物理学的応用の開拓

東京大学・大学院工学研究科・教授 **かとり ひでとし**
香取 秀俊

研究課題番号： 16H06284 研究者番号：30233836

研究分野： 数物系科学

キーワード： 量子エレクトロニクス

【研究の背景・目的】

精密な時間標準は、相対性理論の検証や物理定数の恒常性の研究など基礎科学として重要である一方、GNSS による測位や大容量高速通信ネットワークの同期など、その応用においても大きなインパクトをもつ現代社会の基幹技術です。

2001 年に提案された光格子時計は、本邦発の時計技術です。国際単位系の秒を定義するセシウム原子時計を 2 桁凌駕する精度を実現し、今後 10 年程度で期待される「秒の再定義」の有力候補の一つになっています。本研究では、さらに 1 桁の精度向上を達成し、前人未到の 10^{-19} の相対不確かさをもつ原子時計の実現を目指し、超精密計測による基礎物理学と工学応用に関する先駆的研究を展開します。

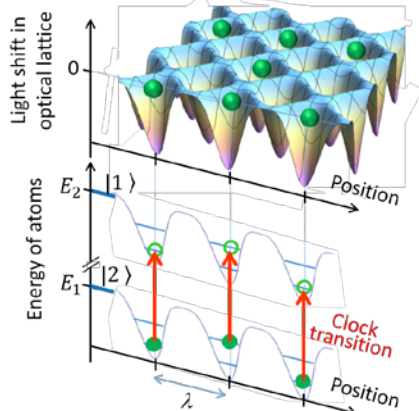


図 1：光格子時計の概念図。光格子が作る光シフトで原子を閉じ込める。魔法周波数のプロトコルは、時計遷移の 2 状態で光シフトの摂動を一致させ、相殺する。

【研究の方法】

「魔法周波数」のプロトコルによる「光格子」の摂動の除去（図 1）は、 10^{-18} の相対不確かさの光格子時計の実現を可能にしました。ところが、これ以上の精度の達成には、光格子の高次効果—トラップ光と原子の多重極相互作用と、原子の超分極効果—の詳細な検討が必要です。本研究では、これらの高次効果を取り入れ、光シフトの不確かさを 10^{-19} に抑える動作点が存在することを実証します。

光格子時計の手法を適用可能な複数の原子種（Sr、Yb、Hg、Cd）で、このような高次の分極効果を含む詳細な物理パラメータを決定します。これによって、光格子時計の最適原子種を実験的に決定し、その周波数比の高精度計測によって、物理定数の恒常性を議論します。

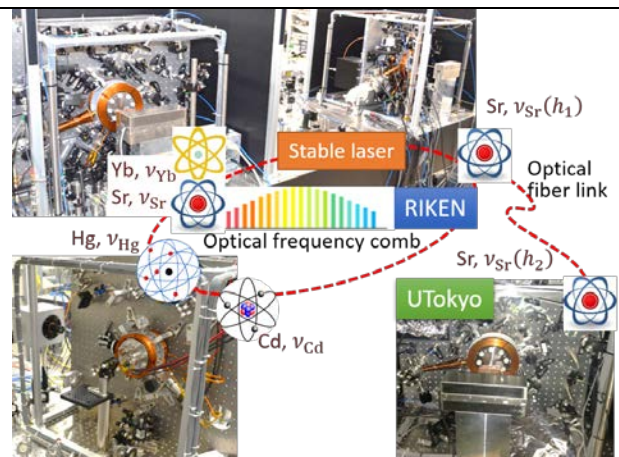


図 2：Sr、Yb、Hg、Cd 原子からなる、異種原子・光格子時計群を構築する。これらの周波数比較は、物理定数の安定性の検証や、相対論的測地のプローブとして機能する。

【期待される成果と意義】

光格子時計は、今後、国際度量衡総会で議論される「秒の再定義」の有力候補の一つです。本邦発の時計技術で科学技術の根幹を支える「秒」が再定義されれば、本邦の基礎科学への大きな国際貢献となります。

これらの超高精度・光格子時計の比較は、物理定数の恒常性や空間の異方性を検証し、標準理論を超える新しい物理学の構築に向けた重要なプローブとして期待されています。一方で、 10^{-19} の相対精度での時計の比較は、重力による時間遅れの効果から、地上の 2 台の時計の標高差を mm の精度で決定することを可能にします。これにより「相対論的測地」と呼ばれる、学術領域の創出が期待されます。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ H. Katori, Optical lattice clocks and quantum metrology, Nature Photon. 5, 203 (2011).
- ・ H. Katori, et al., Strategies for reducing the light shift in atomic clocks, Phys. Rev. A 91, 052503 (2015).

【研究期間と研究経費】

平成 28 年度—32 年度 452,600 千円

【ホームページ等】

<http://www.amo.t.u-tokyo.ac.jp/index.html>
katori@amo.t.u-tokyo.ac.jp