

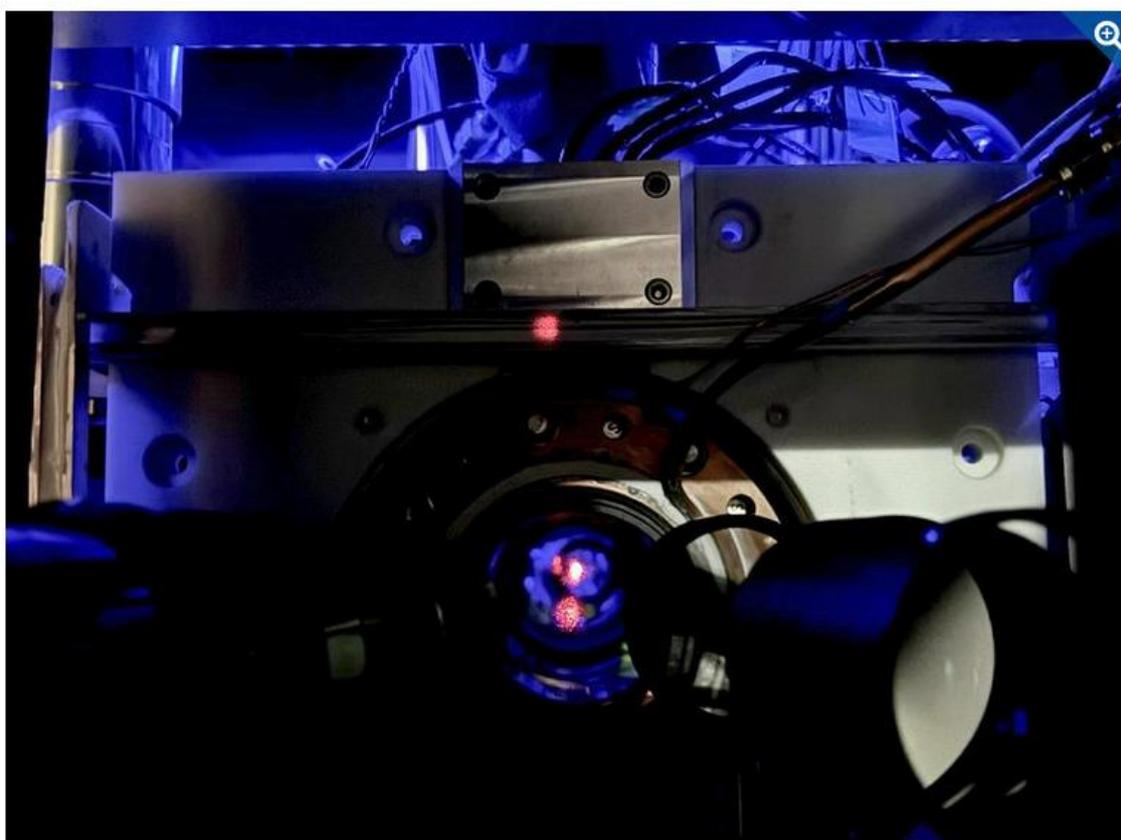
【電子・情報通信分野】

仮訳

## 物理学の新境地を開拓する世界一精確な原子時計（米国）

2024年7月1日

- ・ NIST の研究者らが従来の原子時計に比べてより精密で正確な原子時計を開発。
- ・ 「一般相対性理論」の予測する重力の影響を微視的なスケールで初めて検出した。
- ・ 公式の秒の長さのより正確な定義と新たなアプリケーションの可能性を実証した。



ストロンチウム原子の極低温の気体が光学格子として知られる光の網の中に閉じ込められている。同原子は空気や他のガスのほとんど存在しない超高真空環境に保持され、この真空環境が原子の繊細な量子状態の保持を助けている。この画像中の赤色の点は、原子トラップ創出で使用されたレーザー光の反射。

写真提供：K. Palubicki/NIST

人類が完璧さの探究を刻々と進める中、どの時計よりも精密で正確な原子時計が開発された。この新しい時計を開発したのは、米国立標準技術研究所 (NIST) とコロラド大学ボルダー校の共同機関である JILA の研究者らである。

広大な宇宙空間でのピンポイントのナビゲーションや、新しい粒子の探究を可能にするこの原子時計は、単なる計時の能力を超える最新技術である。精度の向上した次世代原子時計は地下に埋蔵されている鉱物堆積物の存在を明らかにし、前例のない精密さで一般相対性理論等の基礎理論の検証を可能にする。原子時計開発者の目指すところは優れた時計を作ることにとどまらない。宇宙の秘密を解き明かし、今後の世界を形作る技術への道を切り開くことである。

世界の科学コミュニティーは、このような次世代の光原子時計に基づき、国際単位系の定める時間の単位である[秒の再定義](#)を検討している。現行の原子時計では、原子にマイクロ波を照射して 1 秒を測定する。はるかに高い周波数をもつ可視光を原子に照射し、1 秒をより精密に測定している。現行のマイクロ波時計に比べ、次世代の光原子時計では国際的な計時で 300 億年に 1 秒の誤差という精度の実現が期待されている。

しかし、原子時計がこのような高精度で動作するためには、1 秒のうちの極わずかな部分をも測定できる極めて高い精密さが必要となる。高い精度と高い正確さの両方の達成は、非常に大きな影響を及ぼす可能性がある。

## 時間に捕らわれる

JILA による新しい原子時計は、「光格子」と呼ばれる光の網を使用し、数万個の原子を同時に個別に捕獲して測定する。このような大規模な原子の集合体を持つことは、精度の向上に大きく貢献する。測定される原子が多いほど、原子時計は 1 秒を正確に測定するためのデータをより多く持つことになる。

JILA の研究者らは、以前の光格子時計よりも浅く穏やかなレーザー光の「網」を使用することで新記録を達成した。このような光の網の使用により、原子を捕獲するレーザー光の影響と、原子が過密した場合の原子同士の衝突という、2 つの主要なエラーの原因が大幅に低減した。

本研究の成果は、[Physical Review Letters](#)に掲載されている。

## 最小スケールでの相対性の測定

「この原子時計は極めて精密なため、一般相対性理論等で予測されている極微小な効果を微視的なレベルでも検出できます」と、NIST と JILA の物理学者である Jun Ye 氏は言う。「この原子時計は、計時による可能性の限界を押し広げているのです」。

一般相対性理論は、空間と時間の歪みによって重力がどのように引き起こされるかを説明するアインシュタインの理論である。同理論の重要な予測の 1 つは時間自体が重力の影響を受けるというもので、重力場が強いほど時間の経過は遅くなる。

新原子時計の設計は、計時における相対論的効果のサブミリメートルスケール(人間の髪の毛 1 本分の太さに相当)での検出を可能にしている。このような極微小な距離で原子時計を持ち上げたり下げたりすることで、研究者らは重力の影響で引き起こされる時間の流れの微小な変化を識別することができる。

一般相対性理論の効果を微視的なスケールで観察できるこの能力は、微視的な量子の領域と一般相対性理論で説明される大規模な現象との間のギャップを大きく埋めることができるのだ。

## 宇宙航行と量子技術の進展

より高精度の原子時計は、宇宙でのより正確な航行や探査も可能にする。太陽系のさらに奥へと進んで行くためには、原子時計は広大な距離をより正確に計時できなくてはならない。計時におけるわずかな誤差は航法誤差につながり、遠くに進むほどその誤差は指数関数的に大きくなる可能性があるのだ。

「宇宙船をピンポイントで火星に着陸させるには、現行の GPS に搭載されているものよりも桁違いに正確な原子時計が必要になります」と Ye 氏は言う。「新しい原子時計は、それを可能にするための大きな一歩となります」。

本研究の原子を捕捉して制御する技術は、量子コンピューティングにも革新をもたらす可能性がある。量子コンピューターで計算を実行するには、個々の原子や分子の内部特性を正確に操作する必要がある。微視的な量子システムの制御・測定の進展は、この試みを大きく前進させている。

量子力学と一般相対性理論が交差する微視的な領域に踏み込むことで、研究者らは現実そのものの基本的な性質に関する新たなレベルの理解への扉を切り開こうとしている。重力によって時間の流れが歪められる極微なスケールから、ダークマターとダークエネルギーが支配する広大な宇宙のフロンティアまで、新しい原子時計の優れた精度は宇宙の最も深遠な謎に光明を投じることだろう。

「私たちは計測科学の最前線を探究しています」と Ye 氏は言う。「このようなレベルの精度で物事を測定できるようになると、これまでは理論化にとどまっていた多くの現象が目に見えてくるのです」。

本研究の論文: Alexander Aeppli, Kyungtae Kim, William Warfield, Marianna S. Safronova and Jun Ye.  
A clock with  $8 \times 10^{19}$  systematic uncertainty. Physical Review Letters. Published online July 10, 2024. DOI: [10.1103/PhysRevLett.133.023401](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.133.023401)

訳：NEDO（担当 イノベーション戦略センター）

出典：本資料は、米国立標準技術研究所(NIST)の記事“World’s Most Accurate and Precise Atomic Clock Pushes New Frontiers in Physics”  
(<https://www.nist.gov/news-events/news/2024/07/worlds-most-accurate-and-precise-atomic-clock-pushes-new-frontiers-physics>) を翻訳したものである。