



研究成果

未来社会創造事業
大規模プロジェクト型
研究課題「クラウド光格子時計による時空間情報基盤の構築」

超高精度な光格子時計でアインシュタインに挑戦 東京スカイツリー展望台では地上より時間が速く進む

重力の違いで時間の進み方は変わるのか。物理学者アインシュタインが唱えた一般相対性理論の検証実験に、日本が世界に誇る超高精度な光格子時計が挑みました。舞台は東京の新たなシンボル、東京スカイツリー（東京都墨田区）です（図1）。

一般相対性理論では、地球の中心に近く重力が強い場所ほど時計はゆっくり時を刻み、標高が高く重力が弱い場所ほど時間が速く進みます。東京大学大学院工学系研究科の香取秀俊教授が開発した光格子時計（表紙写真）は、100億年で1秒しかずれない精密な原子時計で、極めてわずかな時間の遅れも捉えます。

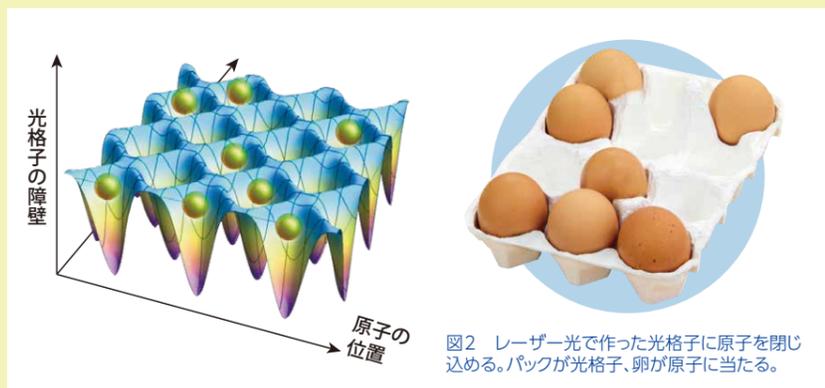


図2 レーザー光で作った光格子に原子を閉じ込める。パックが光格子、卵が原子に当たる。

2001年、香取教授は特別な波長のレーザー光で作った卵パックのような格子状の入れ物に、100万個ものストロンチウム原子を一つずつ収め、原子の振りの振動数を一度に観測することを考案しました（図2）。当時の原子時計研究では奇想天外な発想でしたが、14年には現在の秒を定義するセシウム原子時計を100倍以上も上回る驚異的な精度を世界に先駆けて達成しました。

16年には、15キロメートル離れた理化学研究所（埼玉県和光市）と東京大学（東京都文京区）の実験室に設置した光格子時計の時間を比較し、標高差の測定にも成功しました。香取教授の次の目標は、何十台もの装置を組み合わせる構成する光格子時計のシステムを小型化、軽量化して、実社会で役立つ道具にすることでした。レーザー装置の自動化や遠隔操作を図り、実験室の外でも安定に動作する時計を開発しました（図3）。

この持ち運びできる光格子時計を東京スカイツリーの地上階と高さ450メートルの展望台に設置し、19年3月28日から4月5日にかけて計測した

ところ、展望台の時計は1日当たり約10億分の4秒速く進んでいて、一般相対性理論の予測通りの結果が得られました。2台の時計の時間のずれを標高差に換算すると約452.6メートルとなり、国土院が測量した展望台の高さともほぼ一致しました。

原子時計は今や日常生活を支える身近な存在です。セシウム原子時計はGPS（全地球測位システム）衛星に搭載され、スマートフォンやカーナビに正確な位置情報を提供しています。光格子時計を全国各地に設置して光ファイバーでつないだ時空間情報インフラを構築し、地震や火山活動に伴う地殻変動の把握や地下資源の探査に活用する——。そんな未来社会を香取教授は描いています。

持ち運びできる世界最高精度の光格子時計の開発、その時計を用いた実験室以外の公共の場での測定は、いずれも世界で初めての試みで、光格子時計の実用化へ大きな一歩となりました。「予想もしなかった光格子時計の新たな使い道を探して、日常生活をより便利に豊かにするのに役立てたい」と香取教授は

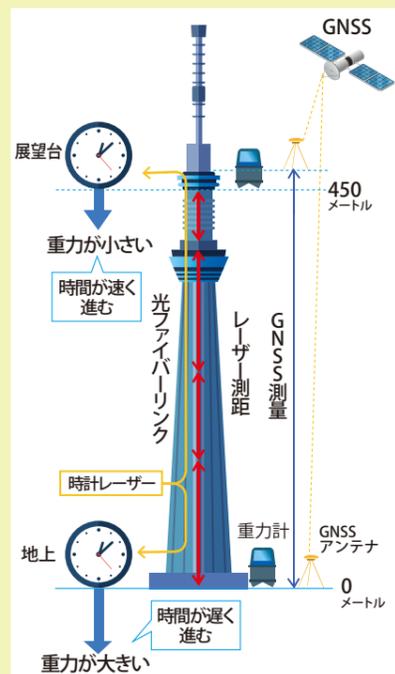


図1 地上階と展望台に設置した2台の時計を光ファイバーで結んで周波数を比較した。同時にGNSS（全球測位衛星システム）やレーザーを用いた従来の測量手法でも標高差を計測した。

期待しています。
人類は有史以来、正確な時間を追い

求めてきました。21世紀に誕生した光格子時計はいかに新たな科学の礎を

築き、時計の常識を超えた応用を拓いていくのか、目が離せません。

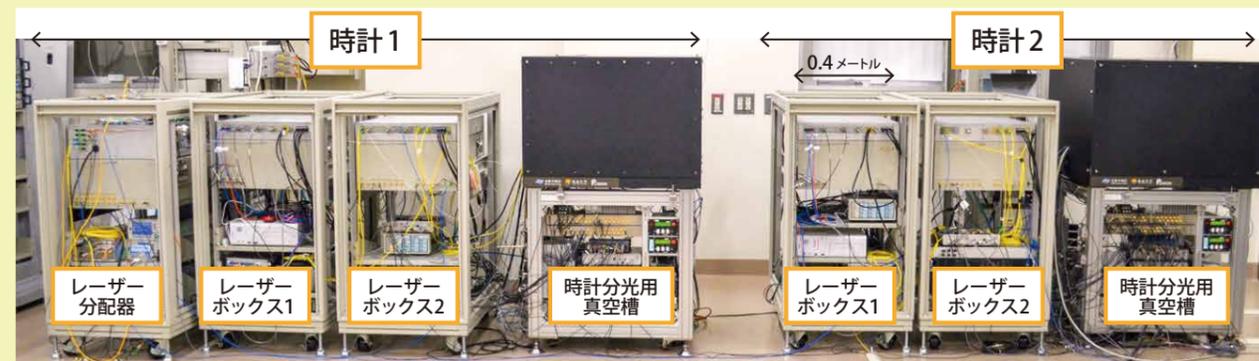


図3 持ち運びできる光格子時計。実験室では2台の光格子時計の運転に17台のレーザー装置を使っていた。

研究成果

産学共同実用化開発事業（NexTEP）
開発課題「植物由来機能性新素材の製造技術」

トチュウ由来の天然ポリマーを量産化 持続可能な素材として新産業への展開に期待



図1 中国山西省で栽培されているトチュウ

中国原産の落葉高木であるトチュウ（図1）は、樹皮が古くから生薬として使われていましたが、葉も健康茶として昭和の末に商品化され、平成の頃には杜仲茶がブームになりました。

一方、トチュウの種子からは油脂が採れますが、果皮は残さなくなっていました。果皮には、トランス型ポリイソブレン（TPI）という天然ポリマーが含まれています（図2）。一般にポリイソブレンはゴム製品など高弾性樹脂の化学工業原料として重要です。中でもTPIは、スポーツや医療用部材として使用されますが、大部分が石油由来のナフサから製造されていました。

かつて杜仲茶を製造・販売していた日立造船と、大阪大学の馬場健史准教授（現九州大学教授）らは、最適な溶媒の

選定などを経て、高純度のTPIを効率良く得られる量産化技術を開発しました。改良を重ねた結果、トチュウ由来のTPIの製造コストを開発初期の約8分の1にまで抑え、抽出純度99.8パーセント、年産10トン規模の精製システムの開発に成功しました。



図2 トチュウの実の長さは約4センチメートルで、果皮（外皮と渋皮）と種子から成る。破断させると糸を引く白い粘性物質がTPI。実の乾燥重量に対して10パーセント程度のTPIが含まれる。

トチュウ由来のTPIは、バイオ素材では珍しく軟質素材として利用できる、熱を加えるとゴム素材に変化するなどの特徴があります。また、他の硬質バイオ樹脂に数パーセント混ぜ合わせることで、耐衝撃性の硬質樹脂に加工することもできます。

これまで3Dプリンター用フィラメントやゴルフボールなどの素材として使われ、最近では化粧品の成分としても採用されました（図3）。植物性素材という特徴を生かし、さらに新たな用途に展開する可能性があります。地球環境を守る持続可能な素材として、新産業への貢献が期待されます。



図3 TPIは、3Dプリンター用フィラメント（上）、ゴルフボール（中）、化粧品（下）の成分などに使われている。