

1秒の精度を極める

日本の光格子時計 世界標準狙う

竜宮城に行ったら、地上とはまったく違う時が流れていた——。浦島太郎が経験したほどではないが、時間は、重力の違いなどで、場所によって流れ方が異なる。とても小さくて普通は分からないその差を、だれも見えるようにする日本の時計がある。1秒を定義する世界標準の有力候補でもある光格子時計だ。

私たちの腕時計や置き時計は、時間がたてばだんだん狂ってくる。しかし、宇宙誕生から現在まで同じ137億年の時を刻んでも1秒と狂わないのが光格子時計だ。「日本発のスーパークロック。スパクロと呼んでいます」。この時計を世界で初めて開発した東京大の香取秀俊教授は話す。

時を正確に計るには、物差しとして正確で安定した周期を持つ現象を利用する。かつては天体の運動だった。1秒の国際的な定義は1956年まで、地球が自転する時間（1日）の8万6400分の1、56年からは地球が太陽の周りを回る時間（1年）の約3155万分の1とされてきた。

物差しが大きく変わったのは67年。セシウム原子の振動現象、いわば原子の振動子を利用した新しい定義が決まった。人間が栄養を吸収することで疲労を回復するように、原子も、電磁波を吸収することでエネルギーが低い状態から高い状態へ移る。その電磁波の振動数は原子の種類によって厳密に決まっておろ、セシウムだと1秒間に91億9263万1770回。これが原子振動子の振動数（周波数）に相当し、現在の1秒の定義になっている。約92億分の1秒単位で計れるこの方法は全地球測位システム(GPS)などの基礎となり、私たちの生活を支えている。

ただ、それでも約3千万年に1秒の誤差が出る。さらに正確に時を計るには、周波数が高くと高い電磁波を利用するとともに、周波数を狂わせる原因を取り除く必要がある。狂う原因の一つに、原子振動子同士が起こす相互作用がある。

80年代、原子一個だけを空間の一点にとどめる「単一イオン光時計」の原理が開発された。だが、相互作用を取り除く工夫が逆に災いになった。原子一個で正確に1秒を計るには、量子力学的なゆらぎの影響を打ち消すために、長時間測定してデータの時間平均を取らなければならぬ。1秒を精密に計るのに10日間もかかる。たぐさんの原子を並べ、周波数を一度に測定して平均を取るなら、測定は短時間で済む。だが、原子が増えると、相互作用の影響で精度が落ちる。

光で原子を閉じてめる

この矛盾を解決したのが光格子時計だ。光格子とは「魔法波長」という特別な波長の光で作った光の入れ物のこと。卵パツクに卵を並べるように、各格子点に1つずつ、計100万個の原子を閉じ込めると、相互作用せず、独立して100万個の振動子を動かしたのと同じ結果が得られる。早ければ数年で決まる、次世代の1秒

の国際的な定義として現在、光格子時計を含め、有力候補が八つある。光格子時計では、周波数が高セシウムの4万6000倍のストロンチウムと5万6000倍のイッパルビウムという原子を使うタイプが候補。前者は東大、後者は産業技術総合研究所のチームが開発した。どちらも、1秒を小数点以下18桁まで測れる。

光格子時計は発案も開発も、日本がイバルの米英仏独に先んじた。産総研計測標準研究部門時間周波数科の洪鋒雷研究科長は「国際的な標準技術の分野で日本が重要な貢献を果たし、存在感が増しているのはうれしい。研究の優位性を今後も維持したい」と喜ぶ。

国内では2011年、東大と情報通信研究機構(NICT)が別々に作った光格子時計による実験で、1秒の長さが極めて高い精度で一一致した。品質は時計の「命」。精度のばらつきがないことが確認されて初めて、時計として信頼される。世界初の成果に、NICTの井戸哲也主任研究員は「意義は大きい」と自信を見せる。

「ウラシマ効果」も見える

光格子時計が実現した超高精度の時計によって新たに見えてくる世界がある。

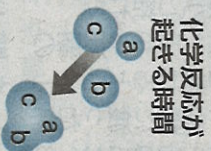
時間は柔らかに伸び縮みする。アインシュタインの相対性理論によると、時間の進み方は地球上の標高が高い場所ほど早く、高速で移動する物体ほど遅い。後者は「ウラシマ効果」として知られる。1秒の「小数点以下18桁目」には、わずか1分の高低差や、歩くととじつとしている人の時間のずれさえも現れる。世界の時空のゆがみが見える「窓」だ。

発想から約10年。日本発の技術は世界の1秒だけではなく、私たちの世界観すら変えてしまう可能性と魅力を秘めている。香取さんは言う。「18桁という精度を使って何ができるのか。今試されているのは、それを考える我々の想像力です」

1956 地球の自転(1日)
 年以前
1秒 = 1日の8万6400分の1の時間
 約100日で1秒狂う。100のマイクロ秒まで計れる精度



こんなことを表せる



PCの書き込み速度

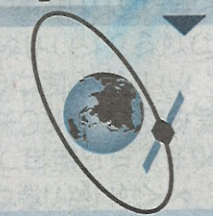
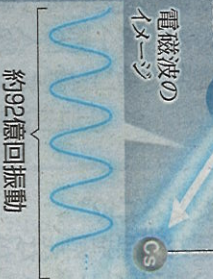
56~67 地球の公転(1年)
1秒 = 1年の約3155万分の1の時間
 数十年で1秒狂う。100のマイクロ秒まで計れる精度



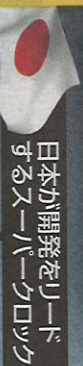
67年~現在 センサム原子が吸収する電磁波
1秒 = 吸収する電磁波が約92億回振動した時間
 3千万年に1秒以下の誤差。100のマイクロ秒まで計れる精度



現在位置の正確な把握



80年代 単一イオン光時計



1秒程度の高低差で生じる時間のずれ
 同じ時間に見えても...



2000年代~ 光格子時計
1秒 = ストロンチウム(Sr)が吸収する光が約429兆回振動した時間
 宇宙誕生から現在まで約137億年動かししても1秒以下の誤差。100のマイクロ秒18乗秒まで計れる精度



01年 東京大の香取秀俊教授が提案
 06年 SI型が1秒の国際定義の有力候補に
 09年 産業技術総合研究所がイッテルビウム型を作製



XXX年 新しい1秒!?

1秒	A	B
10時5分	10時5分	
1.12345	1.12345	
6.78912	6.78912	
3456789	3456788	

1秒の定義の変遷

天文時計 (天体の動きから1秒を計算する)

原子時計 (原子が吸収する電磁波から1秒を計算する)