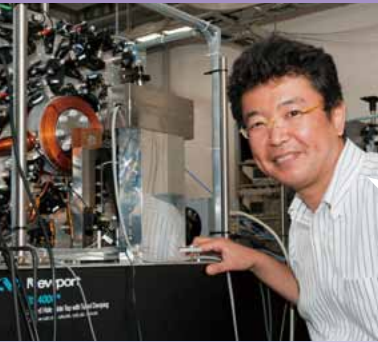




理研の博士に聞いてみよう！

**300億年で1秒も狂わない
世界最高精度の時計をつくっています。**



左の装置が光格子時計

そんなに精度が高い時計で
何がわかるの？



あなたと私の時間の進み方の違いを
知ることができます

かとりひでとし
香取秀俊 博士 香取量子計測研究室 主任研究員

● 時間を計るには

みなさんは朝、どのようにして決まった時刻じこくに起きていますか。家の人に起こしてもらいますか。それとも目覚まし時計で起きていますか。みなさんが使っている目覚まし時計も、たとえば1ヶ月に30秒くらい狂うことがありますよね。わたしたちは、できるだけ狂わない、世界最高精度の時計をつくる研究をしています。

そもそも時間はどのようにして計ることができるのでしょうか。みなさんは振り子時計びんごを知っていますか？ 振り子の実験は、学校の理科の時間にやりますよね。振り子時計は、振り子が振動しんどうして1往復する時間（周期）が一定であることを利用して、時間を計ります。たとえば1秒間に1回振動する振り子ならば、5回振動したら5秒というように時間を計ることができます。振り子が1秒間に往復する回数を「振動数しんどうすう」といいます。時間を計る基本は、振り子の振動数を数えることです。

● 高い精度の時計をつくるには

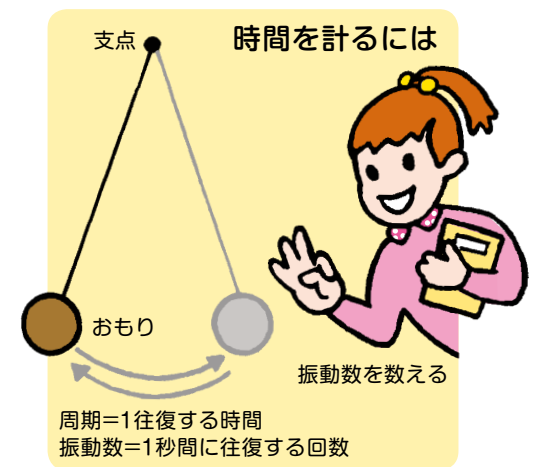
人がつくる振り子では、たとえば支点からおもりまでの長さが変わると、1往復する時間である周期が変わってしまいます。振り子の周期が変われば、振り子時計が示す時刻が、1時間すると1秒狂うといったことが起きます。人がつくる振り子の長さを常に一定に保つことはとても難しいむずかしいのです。そこで、原子時計げんじが発明されました。

原子時計って、なんだか難しそうですね。でも、原理は振り子時計と同じです。原子にも振り子の性質があります。人がつくる振り子と違って、原子の振り子の周期は変わらない、と考えられています。その“原子の振り子”の振動数を数えるのが、原子時計です。

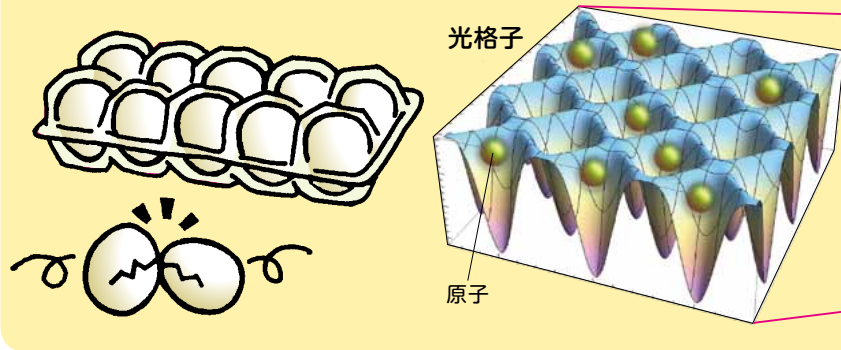
ただし、周期が一定の原子の振り子を使っても、その振動数を測定するときに、どうしても誤差ごさが生まれ、時計が狂う原因になります。たとえば、光や熱など、原子がほかからの影響えいきょうを受けると、原子の振り子の周期がずれてしまうことがあります。また、原子の振り子の振動数をどこまで正確に数えることができるのか、という測定の精度にも限界があります。

高い精度の時計をつくるには、測定の誤差をできるだけ小さくする必要があります。そのために、振動数が多い振り子を用います。数える回数が多いほど、たとえ1回分數えまちがえをしても、時計の精度に与える影響は小さくなるからです。セシウムという原子の振り子は、1秒間になんと、91億9263万1700回も振動します。

1秒の長さは、このセシウム原子の振り子が91億9263万1700回振動する時間である、と1967年に定められました。それより前は、地球の自転から、1秒の長さを定めていました。地球は1日で1回、自転しています。1日は24時間。24時間は秒にすると8万6400秒です。1秒の長さは、地球が自転する周期の8万6400分の1と定めていたのです。



原子を卵パックのような“原子に気づかれない光格子”に閉じこめる

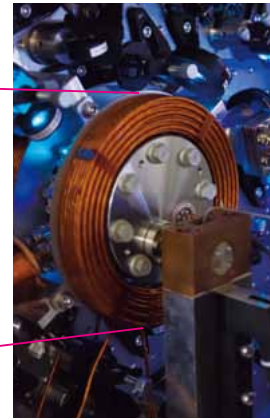


ところが、地球の自転はだんだん遅くなっていることがわかってきました。地球の自転で1秒の長さを定めると、昔は地球の自転が速かったため、1秒の長さは今よりも短かったと考えられます。このように地球の自転周期が一定ではなく、1秒の長さが変わってしまうことがわかったので、一定であるセシウム原子の振り子の周期で1秒の長さを定めるようになったのです。

●「光格子時計」で300億年に1秒も狂わない精度をめざす

話を時計に戻しましょう。最新のセシウム原子時計は、3000万年に1秒も狂わない精度です。今から3000万年前というと、人類が誕生するはるかに前です。私たちは、3000万年のさらに1000倍の、300億年に1秒も狂わない時計をめざしています。地球ができたのが46億年前、宇宙が誕生したのが138億年前だと考えられています。私たちは、宇宙が誕生してから現在までに、0.4秒も狂わない精度の時計をつくっているのです。そのために、セシウム原子の振り子よりも振動数が多い、1秒間に429兆2280億422万9873.4回も振動するストロンチウムという原子の振り子を用います。

振動数を正確に数えるためには、原子が動かないようにしなければいけません。それはなぜでしょう。サイレンを鳴らしながら走る救急車を思い出してください。救急車が近づいてくるときには、サイレンの音は高く聞こえ、遠ざかるときには低く聞こえますよね。実際のサイレンの音はまったく変えていないのに、救急車が動くことで、音の高さが違って聞こえてしまうので



光格子時計

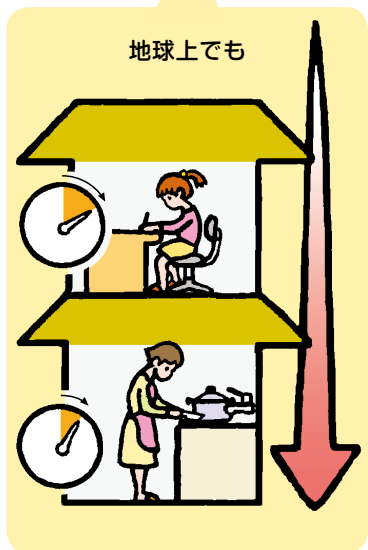
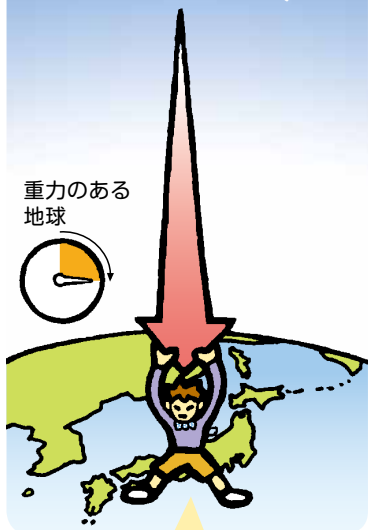
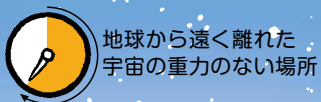
そのために私が発明したのが、レーザー光でつくる“原子に気づかれない光格子”です。それは、卵パックのようにたくさんの原子を閉じこめられる容器で、原子どうしがぶつかることもなく、原子がレーザー光の影響を受けることもほとんどないように工夫してあります。光格子を用いた時計なので、私たちの時計を「光格子時計」と名づけました。今は、1000個くらいのストロンチウム原子を光格子に入れて、2時間かけて振動数を数える実験をしています。300億年で1秒も狂わない精度を、もうすぐ達成できそうです。将来は、100万個のストロンチウム原子を光格子に入れて、振動数を1秒間で数えて、300億年で1秒も狂わない精度をめざします。

●私とあなたの時間の進み方の違いを区別できる！

「300億年で1秒も狂わない時計ってすごいけど、いったい、何ができるの？」と疑問に思うことでしょうか。どんなことができるようになるのか、紹介しましょう。

実は、時間の進み方は、どこでも同じではありません。「時間の進み方ってどこでも同じはずでは？」と、とても不思議に思うことでしょうか。それもそのはず。20世紀が始まるまで、時間の進み方はどこでも同じ、というのが常識でした。その常識を覆したのが、「相対性理論」をつくった天才科学者、アインシュタインです。アインシュタインは、重力によって時間の進み方は異なることを明らかにしたのです。

光格子時計で1cmの 高低差の時間の 進み方の違いを区別する



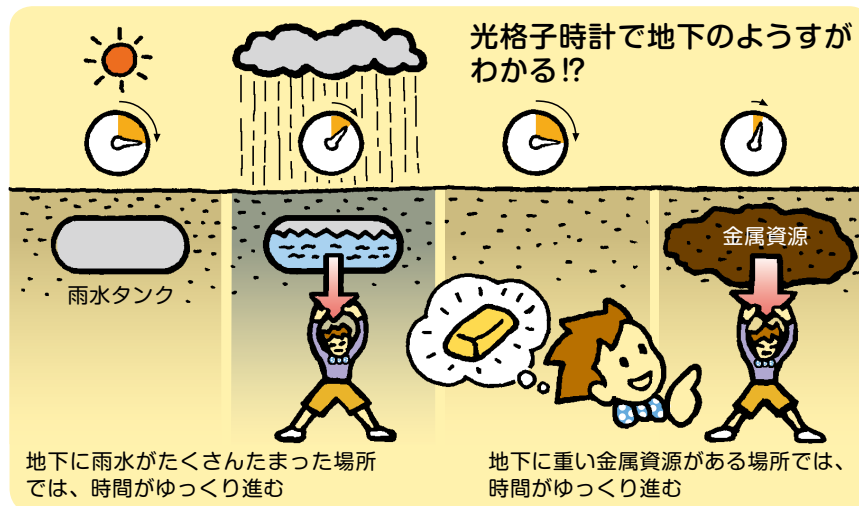
たとえば、地球から遠く離れた宇宙の、重力がない場所に比べて、重力がある地球の時間はゆっくり進みます。重力がない場所の時計が1秒進んでも、地球の時計は1秒に達していないのです。それは、どちらかの時計が狂っているからではなく、時間の進み方そのものが違うからです。

地球上でも、場所によって時間の進み方は異なります。山の頂上など標高の高い場所と比べて、標高の低い山のふもとでは、時間がゆっくり進みます。家の中でも、2階で宿題をしているあなたに比べて1階で夕飯のしたくをしているお母さんの時間のほうが、とてもわずかですが、ゆっくり進みます。

精度の高い時計ならば、そのようなわずかな時間の進み方の違いを区別することができます。3000万年に1秒も狂わないセシウム原子時計は、10mの高さの違いによる時間の進み方の違いを区別できます。そして、300億年に1秒も狂わない光格子時計ならば、なんと1cmの高さの違いによる時間の進み方の違いまで区別できるようになります！

● 時計で地下のようすも知ることができる!?

私は今、埼玉県和光市の理化学研究所と東京都文京区にある東京大学で



実験しています。その二つの実験室で光格子時計をつくり、それらを光ファイバーでつないで時間の進み方の違いを比べる実験を始めています。東京大学の実験室は理化学研究所よりも標高が約15m低いので、その分、時間がゆっくり進むのがはっきり見えています。

最近、日本のあちこちで集中豪雨が降り、テレビのニュースになっていますよね。地下に雨水をためるタンクがある場所では、集中豪雨などで大量の雨水がたまるととても重くなり、時間の進み方が遅くなることを、光格子時計で見ることができのかもしれないかもしれません。地下に重い金属資源がある場所では、その重みの分だけ時間の進み方が遅くなるでしょう。私たちは、光格子時計を小型化する研究も進めています。光格子時計をいろいろな場所に運んで、時間の進み方を調べてみたいからです。そうすれば、時間の進み方の違いで金属資源を探ることができるかもしれません。

時計で地下のようすを調べるといのは、時計のまったく新しい使い方です。それ以外にも、光格子時計を発明した私自身も想像がつかないような、新しい使い方があるはず。光格子時計は、新しい科学を築く重要な道具になるはず。

みなさんが将来、光格子時計を使って新しい技術や科学を生み出してくれることを楽しみにしています。

