

KEK 高エネルギー加速器研究機構  
素粒子原子核研究所

理学博士 郡和範 准教授に聞く

ズバリ!

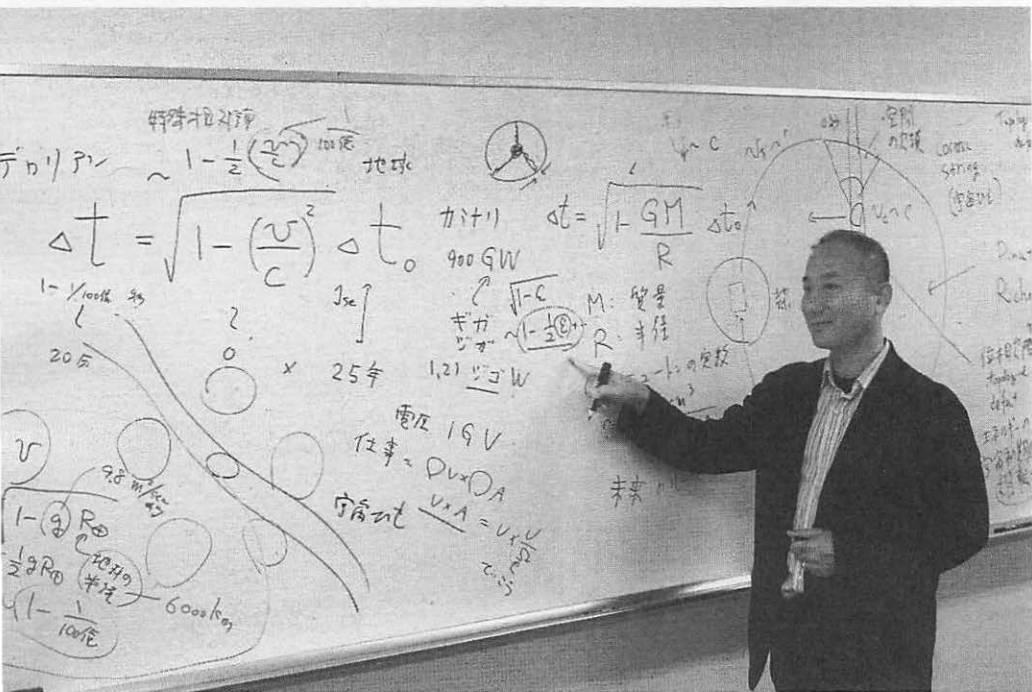
# タイムトラベルって可能ですか？

自由に未来と過去を行き来するデロリアンは、実現可能なのだろうか？

最新の物理学から見たタイムトラベルの可能性を、

ご自身も「BTTF」のファンだという高エネルギー加速器研究機構・郡和範先生にお話をお聞きした。

取材・文：村沢 譲 イラスト：えのころ工房



郡和範 (こおり・かずのり)

高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所 准教授。理学博士。兵庫県出身。宇宙物理の理論グループに所属し、素粒子的宇宙論、高エネルギー宇宙物理学などを幅広く研究。2013年、第7回湯川記念財団・木村利栄理論物理学賞受賞。



こんなタイムパラドックスは起きないかもしれないのか……。

## ■高速移動で「未来旅行」は可能!

非常に高速で動く乗り物があれば、未来に行くのは比較的簡単です。

アインシュタインの特殊相対性理論<sup>※1</sup>では、運動する物体は、時間の進み方が遅くなります。それも光速(秒速30万km)

に近づけば近づくほど、時間の進み方はゆっくりになっていく<sup>※2</sup>のです。実際に旅客機に精密な原子時計を乗せて移動させると、ごくわずかな時間の遅れが確認されています。

GPS衛星は、高度約2万kmの軌道を、秒速4kmという高速で飛行しています。GPS衛星は地上へ正確な時間を伝えることで地球上の正確な位置を測定しているため、特殊相対性理論による時間の遅れを考慮して自動的に時計を修正する機能もっています。また一般相対性理論では重力が強いところほど時間が遅くなります。GPS衛星では、この一般相対性理論による地球重力によって引き起こされた地上と上空の間のズレも同時に補正しています。

デロリアンがタイムトラベルをするときは、まずロケットのように空気抵抗のない宇宙空間に飛び出して、地球外のどこか遠くを高速で回ってくると考えてみましょう。そしてどんどん加速していくと、デロリアンの中の時間は、高速の移動の影響で、どんどん遅くなっていきます。

飛行する速度と光速とのズレが10兆分の1パーセント以下になると、時間の進

み方は約24万分の1になります。この速度で約25秒宇宙旅行をして帰ってくると、地球では25年の時間が過ぎていくこととなります。もちろんデロリアンに乗っているマーティやドクにとっては、地球にいるときと同じように時間が流れているだけです。未来に行くために必要な時間だけ宇宙を飛行して地上に戻ってくると、未来へのタイムトラベルは完了です。ただしこの場合、デロリアンに対して地球の時間が速く進んでいるだけなので、映画のように未来にいる自分に会うことはできないかもしれません。

## ■過去への扉を開く「宇宙ひも」

過去へのタイムトラベルは、未来に行くのにくらべてかなりむずかしくなりま

す。可能になるのは、地球の近くに「宇宙ひも(cosmic string)」などがある場合です。

宇宙ひもは、宇宙の初期に「真空の相転移<sup>※3</sup>」という現象の過程でできた可能性がある、巨大な質量をもつ天体です。宇宙は138億年前<sup>※4</sup>、超高温・超高密度の火の玉として生まれました。これがビッグバンです。超高温の宇宙ではヒ

※1 相対性理論…アインシュタインによって提唱された、量子論と並んで現代物理学の基礎となる理論。時間は不変ではなく相対的なもので、質量はエネルギーと同等であることなどを表した「特殊相対性理論」と、重力は時空の歪みであり、光の進み方や時間の経過が重力場によって影響を受けるとした「一般相対性理論」がある。

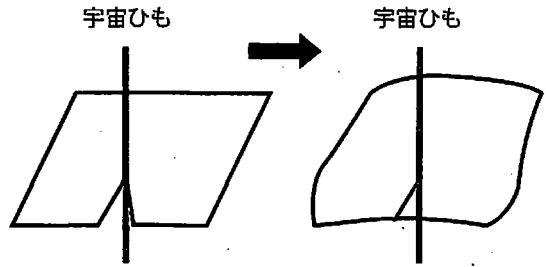
※2 光速に近づけば近づくほど時間の進みはゆっくりになる…運動する物体の時間が遅れる割合は、物体の速さ(v)の光速(c)に対する比の2乗を1から引いて、その平方根をとったものになる。

(数式)  $\Delta t'$  (静止している観測者の時間)  $\Delta t$  (運動する物体の時間)  $v$  (相対速度)  $c$  (光速)  $\Delta t' = \sqrt{1 - (v/c)^2} \Delta t$   
しかし、光速に近づくとつれて運動する物体の質量が大きくなるため光速を超えることはできない。

ヒッグス粒子の元となるヒッグス場という「スカラー場」のポテンシャルエネルギーは対称<sup>3)</sup>でしたが、誕生から100億分の1秒後、膨張によって宇宙の温度が下がると、真空の相転移が起こって、対称性を破ったヒッグス場が空間を埋め尽くしました。それまではすべての素粒子が光速で飛び回っていましたが、これ以後は、光子(光の粒子)以外は、ヒッグス粒子に邪魔されて、光速で飛び回ることができなくなりました。これは、光子以外の素粒子が質量をもったということの意味しています。

この真空の相転移は、宇宙の温度が低くなるにつれて何度か起こり、その結果、宇宙は現在のような姿になったと考えられています。真空の相転移とは、温度が下がると水の相から氷の相へと転移するような現象が宇宙全体で起こったとイメージするとわかりやすいと思います。

真空の相転移が起こったとき、ヒッグス場とは限りませんが、あるスカラー場の相転移がとも激しい時、相転移が完了していないところと、完了しているところの間にギャップが生じることがあります。例えば水の中に空気の水が閉じ込められているような状態です。その領域



宇宙ひもによりゆがめられた空間

(図1)

が残されていると、その領域はまわりよりも高いエネルギーをもちます。その領域がひも状のものを「宇宙ひも」と呼びます。

宇宙ひもの幅は原子核よりもずっと小さいくらいですが、質量は約1立方センチメートルあたり1億トンの1億倍以上もあります。そのため非常に重力が強くなり、まわりの空間をゆがませます。宇宙ひものまわりでは、空間の一部がくさび形に

切り取られ、切り口と切り口がつなぎ合わされたような状態になっています(図1の左の図)。これを宇宙ひものまわりに「角度欠損」があるといいます。

宇宙ひもに対して垂直な面を運動する物体は、角度欠損の片方の切り口に到着した瞬間、もう片方の切り口に移動します。平坦な空間では1点を回る角度は360度ですが、宇宙ひもの近くでは、空間の一部が欠けているため、宇宙ひものまわりを360度以下で1周することができず、(図1の右の図)

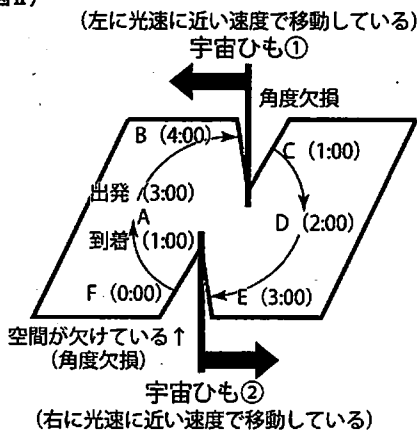
### ■デロリアンは出発するより前の時刻に帰還する

では、どのように宇宙ひもを使えば、過去へのタイムトラベルが可能になるのでしょうか? まず、地球の近くに2本の宇宙ひもが存在しているとします。

宇宙ひも①は左に、宇宙ひも②は右に、それぞれ光速に近い速度で移動しています。高速で移動する物体の時間は遅れるので、宇宙ひも①と宇宙ひも②のまわりでは時間が遅くなっています。それぞれ時間の遅れは3時間です。AとF地点まで、それぞれ到着するのに1時間かかります。

※3 相転移…同じ物質でも、温度や圧力などその物質のおかれた環境に応じて物質の性質が変わる現象。たとえば水は0℃で氷になり、100℃で水蒸気になるが、どれもH<sub>2</sub>Oで物質自体は変わっていない。  
 ※4 138億年前…NASAのWMAP、ESA(ヨーロッパ宇宙機関)のプランクといった探査機の「宇宙マイクロ波背景放射(CMB)」の詳細な観測によって、宇宙の年齢は138億年とされている。  
 ※5 スカラー場…大きさと向きを持つベクトルに対して、大きさのみを持つ量をスカラーという。温度や気圧のように空間の任意の各点にスカラー量が与えられた場をスカラー場という。

(図Ⅱ)



地球(A地点)を3時に出発したデロリアンは、1時間後の4時にB地点に到着します。B地点とC地点は空間的にくっついているため、デロリアンはB地点に到着すると同時にC地点から出てきます。C地点はB地点よりも3時間、時間が遅れているため、デロリアンがC地点に現れた時刻は1時です。

デロリアンがD地点を通過し、E起点に到着したとき時刻は3時になっています。E地点とF地点はくっついているため、デロリアンはE地点に到達したと同

(右に光速に近い速度で移動している)

ドクは地球の近くに2本の宇宙ひもがあるのを知っていて、デロリアンを開発したのではないのでしょうか。

■過去に行くのは不可能？

「因果律」の壁

しかしその一方で、さまざまな理由から「過去へのタイムトラベルは不可能」という考えもあります。

そのひとつは、有名な「親殺しのタイムパラドックス」です。もしもタイムトラベラーが過去に戻って自分の親を殺し

時にF地点に現れます。F地点はE地点よりも時間が3時間遅れているため、デロリアンが出現した時刻は0時です。そして出発点である地球(A地点)に戻ってきたときの時刻は、出発したときより2時間前の1時になります(図Ⅱ)。

そこでマーティやドクは、出発前の自分たちに出会うことになりません。

これをくり返すか、もっと速い速度で移動すれば、どんな過去へさかのぼるタイムトラベルが可能になるのです。

てしまったら？ そのタイムトラベラーは生まれることがないので消えてしまうのでしょうか？ しかし生まれなければ、そもそも親を殺しに行くことはできません。「BTTF」でも、若き日の母親が、過去に戻ったマーティに恋してしまい、このままでは父と母が結婚せずに、マーティが生まれなくなってしまう、というシーンが描かれています。

そのため「原因があつてそのあとに結果がある」という「因果律」が破綻すると、宇宙が混乱に陥るので、何らかの抑止力が働くのではないかと思います。

その一方で、タイムトラベルで行った先は、それまでいた世界とよく似た別の世界(パラレルワールド)で、どの時間軸で歴史を変えてしまっても、自分がいた元の世界には影響しないという考えもあります。ドクの発明により、デロリアンはパラレルワールドに行く機能があつたのかも知れません。その場合、マーティたちが未来に行った時も別のパラレルワールドに入りこんだど解釈すれば、未来の自分にも会えるのかもしれないですね。

いずれにせよ、「BTTF」は、当時としては非常によく考えられた作品だといえることができるでしょう。

※6 スカラ一場のポテンシャルエネルギーは対称…初期の宇宙は、ワインのビン底の中央にある盛り上がった部分の頂上にビー玉が載っているような状態だった。この状態を「スカラ一場のポテンシャルエネルギーは対称」という。しかし急激に膨張した初期の宇宙は頂上から転げ落ち(対称性の破れ)、持っていた真空のエネルギーがほぼゼロになった。