

連載

シネマ天文案【11】

タイムマシン

福江 純（大阪教育大学）

1. なぜいまタイムマシン？

タイムトラベル（時間旅行）やタイムマシン（航時機）というのは、SF好きの人間だけでなく一般の人にとっても、非常に強いインパクトのある概念のようだ。“あのときこうしていたら（or ああしていなかったら）”…人はいつも過去を悔いながら生きているのだろうか。それとも何とかして未来を垣間見たいと考えているのだろうか。過去は変えられるのか、未来を変えるべきなのか。

このタイムマシンやタイムトラベルは、常に一定の関心の的であり続けると同時に、ときおり小ブームになることもある。たとえば、1989年がそうである。これは1988年に相対性理論の大御所キップ・S・ソーンらがワームホールタイムマシンのアイデアを公表したためだ。それを受けて1989年はタイムトラベルへの興味が高まり、その前後にはまったくないのに、この年だけぼくにもタイムトラベルに関する解説記事の依頼が数件あった。

最近で言えば、2003年から2004年にふたたびタイムマシンへの関心が高まったようだ。タイムマシンに関する本が何冊も立て続けに出版されたし、ぼくも十数年ぶりにタイムトラベルに関する原稿を何件も依頼された[1][2][3][4]。…もう書くことないよ、ちゅうより、ぼく自身はタイムマシンやタイムトラベルの研究はしていないのだが、この種のネタが好きな色もの研究者と思われるのだろう。

ところで1989年の小ブームはわかるのだが、2004年にタイムマシンの小ブームが起こった理由はよくわからない。1999年に世界が滅びずに無事21世紀を数年過ごした安堵感

かもしれないし、映画がそこそこヒットしたのも一因かもしれない。理由はともあれ、ぼくもタイムマシン／タイムトラベルのような境界領域の科学は大好きなので、関心が高まるのは嬉しいが、ただ、“タイムマシンを作っている人を知りませんか？”という質問は勘弁して欲しいなあ（2004年の実話）。

2. 『タイムマシン』『タイムライン』

タイムマシン／タイムトラベルの出てるSF映画はかなり多い、と思ったが、調べてみるとそんなにないようだ（タイムマシンの出てるSF小説やマンガは多い）。未来世界を舞台にした映画は多いが、タイムトラベル自体がキーになっている映画となると案外と少ない。H・G・ウェルズの処女長編『タイム・マシン』を映画化した『タイムマシン』（1960年）を皮切りに、『猿の惑星』（1968年）、『戦国自衛隊』（1979年）、『ファイナル・カウントダウン』（1980年）、比較的最近だと、『ターミネーター』（1984年）、『フィラデルフィア・エクスペリメント』（1984年）、『バック・トゥ・ザ・フューチャー』（1985年）、そしてごく最近の『タイムマシン』（2002年）と『タイムライン』（2003年）ぐらいだろう。

さて、まず『タイムマシン』の旧作から。H・G・ウェルズが『タイム・マシン』を発表したのは1895年だが、1960年にジョージ・パール監督が原作のアイデアを生かしながら映画化した。それが旧作『タイムマシン』である（図1）。ウェルズの原作は世紀末当時を反映してか、かなりペシミスティックな終わり方だが、パールの映画は、もう少し未来に希望がもてるような終わり方である。

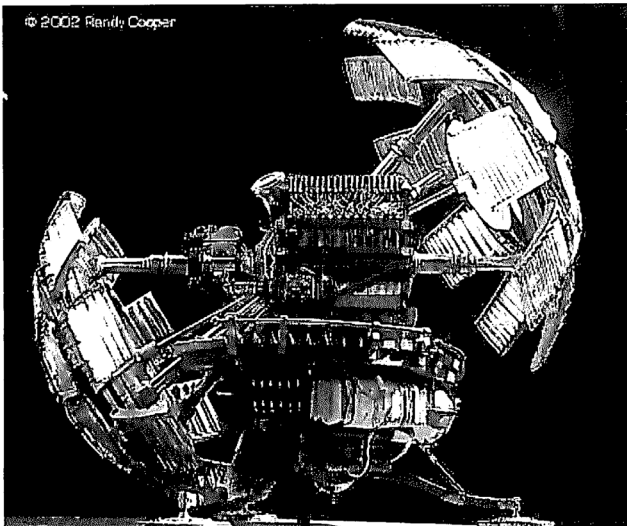
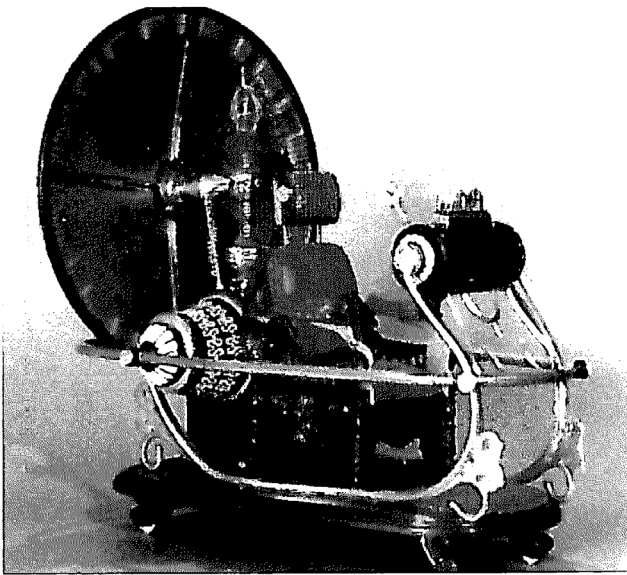


図1 新旧のタイムマシン

(www.prophecyinthenews.com/images/News/Time%20Machine.jp と starshipmodeler.org/gallery5/rc_time_08.jpg) 上が旧作、下が新作のもの。

一方、リメイク版『タイムマシン』は、H・G・ウェルズの曾孫サイモン・ウェルズが監督をしている(図1、図2)。半世紀近くの技術革新を経て、マシンも旧作のレトロ調から格段にレベルアップした(でもやっぱり蒸気機関かなあ)。

『タイムマシン』の粗筋を知らない人はいないと思うが、念のために、リメイク版のス

トーリーをダイジェストしておこう。恋人を失った科学者アレクサンダーは、タイムマシンを建造して過去を変えようとするが、変えられなかった。そこで過去を変えるためのヒントを求めて未来へ旅立つ(1899年)。近未来(2030年)でヒントが得られなかったのも、さらに未来へ進むが、予想外の事故に遭遇し(2037年)、気がついたら80万年後の世界だった。そしてそこは、人類が、従順なエロイ族とエロイ族を狩るモーロック族に分かれた世界だった。モーロックにさらわれたエロイ族の少女モーラを救うため、モーロックの本拠地へ乗り込んだアレクサンダーは、そこで驚愕の事実を知ることとなる。そして彼は未来を変えるため重大な決意をする。



図2 リメイク版『タイムマシン』公式サイト?

(timemachine.countingdown.com/library/homepage/images/dvdfont_upd.jpg)

公開時にTVでも宣伝していたが、未来へタイムトラベルする際に、ニューヨークの町並みや自然の風景が急速に変化していく。もちろんCGだが、この描写はなかなか見物である。またモーロックが、なんとというか、怖いと言えば怖いのだが、顔の造形がお茶目な感じを受けたのは、ぼくだけじゃないだろう。ストーリー的には、原作の本筋を生かしながら、

映画化にあたっては随所でストーリーに手が加えられている。たとえば、タイムマシンを作る動機付けを与えたり（原作では弱い）、未来世界が変貌する原因を入れたり（原作にはなかったと思う）、さらにラストのオチも付けている（原作では不明）。これらの改変は、全体としていい方向に働いており、ストーリー的にも佳作に仕上がっていると思った。後半はメモを取る余裕もなかったぐらいだ。

もう一つ最近公開されたタイムトラベルものが、マイクル・クライトン原作の『タイムライン』（2003年、リチャード・ドナー監督）。こっちの映画までは手が回らなかったのも、原作についてHPに書いた感想を挙げておく。

・・・

あのマイクル・クライトン、『アンドロメダ病原体』や『ジュラシック・パーク』のクライトンが、最新量子理論をもとに満を持して書いた“タイムトラベル”もの！一言でいえば、そうなるかな。

クライトンの作品はサスペンスタッチが濃くて、息をもつかせぬ展開が続き、ノンストップで読ませてくれる。また、量子テレポーテーションと多世界解釈を組み合わせた“タイムトラベル”方法は、啓蒙書などでは議論されているが、SFで本格的に利用されたのはあまりない。多世界解釈によってタイムパラドックスを最初に回避したのは、ベンフォードの『タイムスケープ』が最初だと思うが、本作品では量子テレポーテーションとの組み合わせがおそらくはじめてで、その点もかなり新鮮っぽかった。

そういう点で、まあ、面白かったのだけど、苦言がないわけでもない。一つは、ストーリーの展開というか結末が、見通しがイイというか、予定調和だところなるだろうなあ、という結末がかなり早い段階で割れてしまう。具体的には、主人公グループのリーダー格のマレクの運命が、上巻でだいたいわかってし

まい、実際、予想通りになったことは、安心すると同時に、少し意外性がかけてしまった。もう一つは、明らかに映画化を意識してのことと思うが、場面転換が頻繁に起こるために、小説としては、少し読みにくくなっている点だ。実際、一気に観る映画の場合は、場面転換が多くても何とかついていけるが、小説の場合、とくにぼくのように通勤の途中で読む場合は、場面転換が多いと状況が混乱してしまう。通勤の1~2往復で1冊、上下を読むのに一週間ぐらいかかるので、話の流れを忘れてしまうのだ（たんに健忘症が進んだだけ？）。

いずれにせよ、久しぶりの“タイムトラベル”もので、お勧めの一冊だ。

・・・

さて、本稿の最初の構想では、タイムマシンで到達する遙かな未来の地球と太陽の姿から敷衍して、太陽系の未来を解説しようと思っていた。ところがどっこい、原作ではそういう記述があったはずだけど、映画版では、未来の太陽の姿なんて出てこないんだなあ。また、会誌でも、星の進化については何度か触れたし、太陽系の未来についてもすでに紹介があった。そこで、空間と同時に時間も天文学の対象であるとの観点から、正面からタイムトラベルを扱うことにした[1]。とくにタイムパラドックスの問題は、論理的な考えを養うには最適の問題の一つだろう。

3. 相対論的時差：未来への片道時間旅行

まず、現代“科学”で可能とされているタイムトラベル方法について、簡単に紹介しておこう。最初は、未来への片道旅行しかできないが、原理的にははっきりしている相対論的時差を用いる方法だ。

特殊相対論の枠組みでは、時間と空間は相対的なものとなり、亜光速で運動する物体では時間の進み方が遅くなるというような現象が起こる。

亜光速宇宙船での具体的な宇宙旅行の数値をあためよう。たとえば、4.3 光年先の α ケンタウリまで 1G で往復してきた場合、地球では 11.8 年経っているが、宇宙船内では 7.1 年しか経過していない。このときの経過時間の差は 4.7 年ほどだ。もし往復飛行でなく、1G で加速しっぱなしのフライバイ飛行なら、経過時間の差はもっと広がる（表 1 参照）。さらに、25 光年先のヴェガへの往復では、船内時間で 12.9 年しかかからないのに、地球ではなんと 53.7 年も経ってしまう。その差は約 41 年になる。もっと遠い天体へ行って来たときには、船内時間と地球時間の差はどんどん大きくなるだろう。このウラシマ効果を利用すると、未来への一方通行の旅ではあるが、亜光速宇宙船をタイムマシンにすることができる。

表 1 船内時間と地球時間の違い（加速は 1G で、フライバイ飛行の場合）

船内時間	地球時間	到達距離
1 年	1.2 年	0.6 光年
2 年	3.7 年	2.9 光年
3 年	10.6 年	9.7 光年
5 年	84.5 年	82.7 光年
10 年	約 1 万 5 千年	約 1 万 5 千光年
20 年	約 4 億 5 千万年	約 4 億 5 千万光年

一方、一般相対論の枠組みでは、重力場の中では自由空間に比べて時間の進み方が遅くなることが知られている。重力場が強ければ強いほど、時間はゆっくりとしか進まない。たとえば、ブラックホールの半径の 100 倍の場所で 1 年間過ごす、遠方の宇宙では 1 年と 20 日ぐらい経過する。ブラックホール半径の 2 倍の場所での 1 年は、遠方での 1 年 151

日に相当する。さらにブラックホール半径の 1.01 倍では、遠方では 10 年が経ってしまうのだ（表 2）。ブラックホールの近くと遠くで時間の進み方が異なるという効果は、亜光速旅行と同様に、ある種のタイムマシンとして使える。すなわち、いったんブラックホールの近くまで行ってもその世界に戻ったときには、固有時間のずれのために、未来の世界へ戻ることになるだろう（図 3）。

表 2 ブラックホールからの距離と時差

距離	固有時間	地球時間
∞	1 秒	1 秒
100	1	1.005
10	1	1.054
5	1	1.118
4	1	1.155
3	1	1.225
2	1	1.414
1.5	1	1.732
1.1	1	3.317
1.01	1	10.05
1.001	1	31.64
1.0001	1	100.01
1.00001	1	316.23
1.000001	1	1000.00

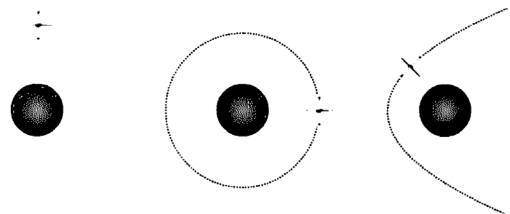


図 3 重力場タイムマシン。ブラックホールの近くで浮遊する（左）、ブラックホールの周回軌道に入る（中）、ブラックホール側をフライバイする（右）などで、未来行きのタイムトラベルが可能になる。

4. ティプラーの円筒

ソーンらのワームホールタイムマシンほどには人口に膾炙しなかったが、“ティプラーの円筒”と呼ばれるモノを使ったタイムトラベル方法がある(図4)。これは、フランク・ティプラーが、1974年、物理学の権威ある学術誌フィジカル・レビュー誌に掲載した論文で議論したものだ。

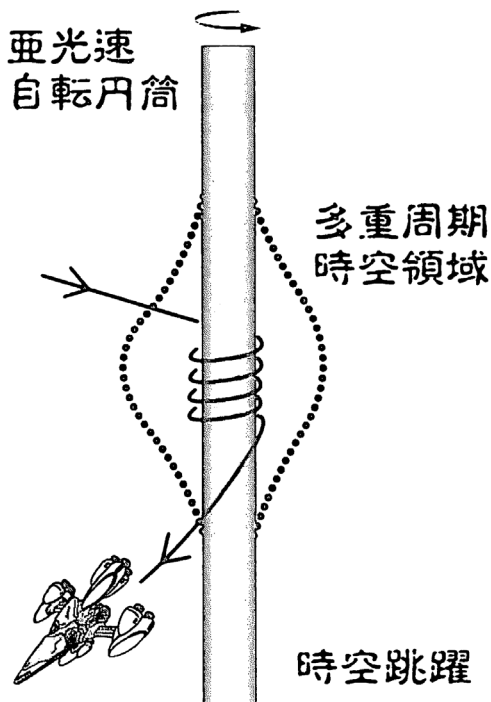


図4 ティプラーの円筒のイメージ

中性子物質のような極度に密度の高い物質で、細長い円筒状物体を作ったとする(たとえば、全長約1千km、直径2km)。さらにその円筒を、中心軸のまわりに、円筒表面での回転速度が光速の半分を超えるように高速回転させたとする。ティプラーは、このような高速回転する高密度円筒周辺の空間は、多重周期時空になっていて、因果律が破れている可能性があり、超高速回転する円筒がタイムマシンとして作用するだろうと議論した。この多重周期時空とは、時空が折り畳まれて過去と未来が重なり合っているような時空であ

る。そのため、そのような円筒のまわりを周回することによって、過去や未来の時空に滑り込めるといふのだ(図4)。

5. ワームホールタイムマシン

近年のタイムマシンブーム(笑)を引き起こしたのが、ソーンたちが、フィジカル・レビュー・レター誌(1988年)で提案した、ワームホールタイムマシンである。

ワームホールというのは、しばしば“時空の虫食い穴”とも呼ばれるが、ドラえものの“どこでもドア”のように、空間の2つの場所を直接つなぐ時空トンネルだ(図5)。何でも吸い込むブラックホールと似ているが、ブラックホールの入り口は常に一つで、いったんブラックホールの内部に入ったら出てこれない。一方、ワームホールは必ずペアで存在し、片方のワームホールに入れば相方のワームホールから出ることになる。すなわちブラックホールの地平面は一方通行の面だが、ワームホールの“地平面”は双方向に通過できる。

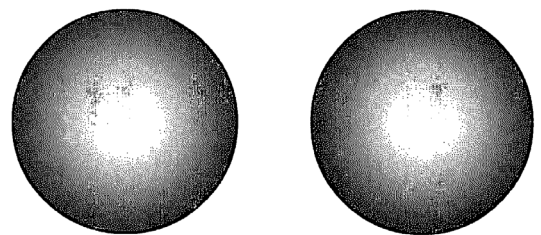


図5 3次元空間におけるワームホールの外観。見かけ上は球状ブラックホールペアのように見えるが、ワームホールは超次元でつながっていて、左側(右側)から入れば、瞬時にして、右側(左側)から出てくる。“どこでもドア”ではドアの裏側が気になるが、球状のワームホールはいわば表面全体がドアなので、“裏側”問題はない。

さらにワームホールが生成消滅するときには、まずワームホールは、最初は、時空の特異性として、すなわちブラックホールのようにみえる。時間が経つにつれて、ワームホールのサイズは広がり、別の時空と連結して、ペアとしてつながったワームホールになる。ワームホールが成長した最大時には、同じ質量のブラックホールのサイズになる。そしてその後、また縮んでいき、ついには消滅するのである。

このようなワームホールは、とくに巨視的なサイズのワームホールは、もしできたとしても、自分の重力によって瞬時に崩壊してしまう。逆にいえば、その重力崩壊を食い止めることができれば、人や宇宙船が通り抜けられるほど大きなサイズのワームホールを維持できるかもしれない。ただし、そのためには「エキゾチック物質」が必要だとされている。エキゾチック物質とは、重力的には反発しあう負のエネルギーをもった仮想的な物質であり、そのエキゾチック物質でワームホールの喉を建造すれば、重力崩壊を支えられるというのである。これらの性質は、1980年代の後半に、カリフォルニア工科大学のモリスとソーンや、ワシントン大学のヴィザーらをはじめ、何人かの研究者が指摘した。

さらにソーンたちは、1988年で、エキゾチック物質があれば、ワームホールをタイムマシンに使えると提案したのである。

ワームホールを利用してタイムマシンを作るのは、技術やエネルギーの問題はさておき、原理的には以下のようにする。すなわち、まず、量子時空の揺らぎで頻繁に生じているプランクサイズのワームホールの口を人や宇宙船が通れるぐらいまで広げ、ワームホールが崩壊しないようにエキゾチック物質と呼ばれる負エネルギー物質で安定化させる。そしてワームホールの片方の口を、重力的ないしは電氣的な力で引っ張り、光速近くまで加速し

て亜光速で宇宙旅行させて、もとの場所まで戻すのである（図6）。もう一つの口は動かさない。

こうやって片方の口を運動させると、相対論的な時間の遅れによって、動かさなかった口Aに比べ、加速してやった口Bの方が“歳”をとらないのだ。その結果、運動させた口Bがもとの場所まで戻ったとき、その口Bはその時代の口Aとつながっているのではなく、過去のまだ若い時分の口Aとつながっていることになる。そこで、運動させた口Bに入ると、もう一方の口Aも若かったとき、すなわち入った時代からすれば過去の世界へ抜け出ることができるというわけだ。

ワームホールマシンでは、ワームホールが作られたときより過去へは行けないし（だから現在にタイムトラベラーが来ていなくても矛盾はない）、べらぼうにエネルギーがいるが（ソーンたちは未来の技術にまかせている）、きわめて面白いアイデアである。

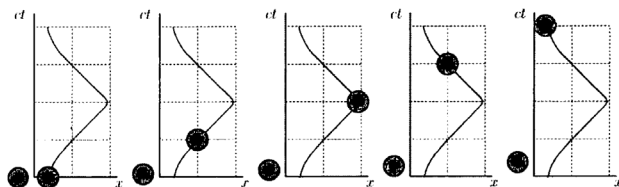


図6 ワームホールタイムマシン建造時のミンコフスキーダイアグラム（4次元時空図）。5枚の図の横軸は空間軸、縦軸は時間軸（過去が下、未来が上）。ワームホールの2つの口A（左側）と口B（右側）は最初原点（左下隅）にあるが、口B（右側）を亜光速で遠方まで往復運動をさせた様子を5枚の図で示している。静止した口A（左側）に対し、口B（右側）を亜光速で遠方まで往復させると、口Bは歳を取らないので、口Bとつながっている口Aは（帰還した口Bからみて）過去に置き去りにされる。その結果、加速して戻ってきた“若いまま”の口Bに入ると、もう一方の口Aも若かったとき、すなわち入った時代からすれば過去の世界へ抜け出ることができる。

6. タイムパラドックス

映画『タイムマシン』では、未来世界でボスキャラが言う：エマ（主人公の恋人）の死がなければタイムマシンは生まれなかった。ないはずのタイムマシンで、どうしてエマが救える！？

タイムマシンに乗って過去の世界へ行き、そこで若き日の祖父を殺したら、自分という存在はどうなるのか。祖父がいたから今日の自分が存在しているわけだが、祖父を殺してしまえば、その途端に、自分も存在しなくなるのだろうか。でも自分が存在しなくなれば、そもそも祖父を殺すこともできないのではなかろうか。と、堂々巡りになってしまう話が、典型的なタイムパラドックスの問題だ。別名、祖父殺し（親殺し）のパラドックスとも呼ばれている。タイムパラドックスは、原因があって結果が存在するという、いわゆる因果律の原則が、原因と結果がつながって破綻してしまったことにより生じる（図7）。

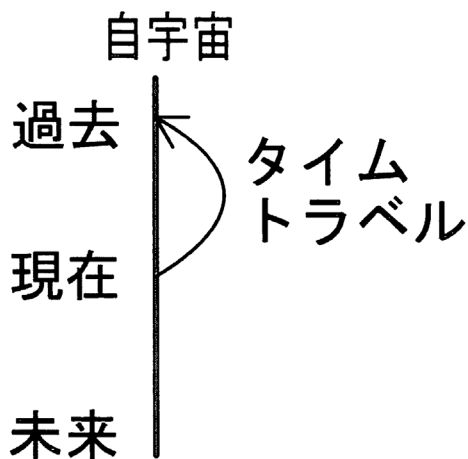


図7 自分の宇宙（自宇宙）の過去へタイムトラベルすると、自分の宇宙の時間線と交差して閉じたループができ、その結果、原因と結果がつながって因果律が破綻する。これがタイムパラドックスの原因。

この過去の改変によるタイムパラドックスを解決する方法はいろいろ提案されている。

標準的な方法は、タイムトラベルによる過去の改変自体が過去の一部に組み込まれており、歴史の一部に他ならないというものである。たとえば、祖父を殺したつもりだったが、実は別人で、その別人を殺したことによって、本来の自分が存在できたというようなシナリオである。より詳しい厳密な考察は、ソーンの本[5]などを参考にしたい。ただこのシナリオは、過去から未来への歴史が完全に確定しているという考え方で、そこに自由意志がなくなる点で、不満が残る。

タイムパラドックスを解決する方法としては、1957年、ヒュー・エヴェレットが唱えた「多世界解釈」も有名だ。

量子力学的な世界像の一つに、自由意志も含めてミクロな世界での量子力学的な確率分布に基づく選択が行われるたびに、マクロな世界も影響を受けて、確率分布を反映した複数の宇宙に分岐していくという考え方がある。朝起きたときにも昨日までと同じように会社に行くというような、確率の大きな起こりやすい宇宙はたくさん分岐し、朝起きたら急に世界一周の旅に出ることにしたというような、確率の小さな起こりにくい宇宙はすこしだけ、分岐する。

この多世界解釈の考え方だと、宇宙（というか超宇宙）には、無数の分岐宇宙が存在しており、したがって、自分のいる宇宙によく似た宇宙も無数にあるということになるのだ。古き良きSFで出てきたパラレルワールド（並行宇宙）そのままである。

このような多世界解釈のもとでタイムパラドックスを回避するためには、タイムマシンで過去に遡るということは、自分の存在する宇宙の過去に遡るのではなく、自分の宇宙によく似た宇宙の過去へ到着することだと考えるのである（図8）。自分の宇宙とよく似た宇

宙の過去で、若き日の祖父とよく似た人間を殺したとしても、自分の宇宙とよく似た宇宙にいる自分とよく似た人間は消滅するかも知れないが、自分自体には関係ない。因果律の破綻は起こらないわけだ。

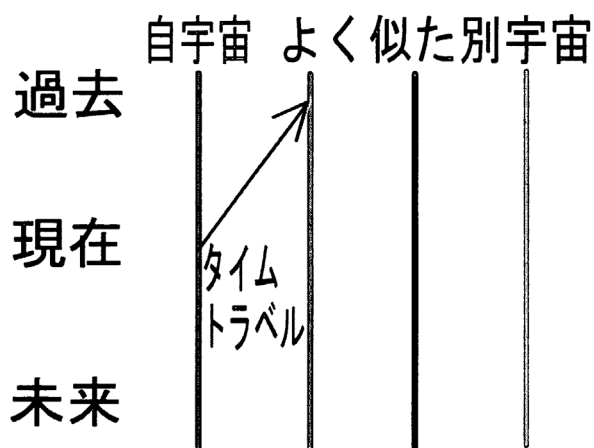


図8 多世界解釈では、自分の宇宙とよく似た宇宙（並行宇宙）が無数に存在する。自分の宇宙から、自分の宇宙とよく似た別の宇宙の過去に遡っても、時間線は閉じたループにならないので、因果律は破綻しない。したがってタイムパラドックスも生じない。

これならタイムパラドックスは解消し、メデタシメデタシである。もっとも、逆もまたあって、自分の宇宙とよく似た宇宙から自分とよく似た人間が自分の宇宙の過去へやってきて、自分の祖父を殺してしまう可能性もある。その場合は、自分は消滅してしまうわけだが、そもそも自分が存在したという事実さえなくなるので、消滅を認識することさえできないかもしれない。

やっぱりタイムパラドックスはややこしい。

以上のように、タイムマシンは、時空の性質や物理学の根元にかかわる問題だけに、最前線の科学者の興味をもちき立てる。タイムマシンを建造すること自体は難しいかも知れないが、タイムマシンを研究することによって、われわれの暮らしている4次元時空や宇宙について、より深く理解できるのだ。しかし、今回の小ブームでつくづく思ったのは、“まっとうな”科学者がタイムマシンを真剣に議論する、そんな時代がやってきたんだ、ということである。それだけ科学の地平が広がったのだろう。ぼくと同じ年代層の科学者には、『鉄腕アトム』の洗礼を受けて、ロボット学者や天文学者になった人間が少なからずいる。同じように、『ドラえもん』の洗礼を受けて科学者になる人間もいることだろう。科学（科楽）することがますます楽しくなりそうである。

参考文献

- [1] 福江 純監修『タイムマシン』ナツメ社（2003年）
- [2] リチャード・ゴット『時間旅行者のための基礎知識』（林一訳）草思社（2003年）
- [3] ポール・デイヴィス『タイムマシンをつくらう』（林一訳）草思社（2004年）
- [4] スティーヴン・W・ホーキング他（ソーン還暦記念論集）『時空の歩き方』（林一訳）早川書房（2004年）
- [5] キップ・S・ソーン『ブラックホールと時空の歪み』（林一・塚原周信訳）白揚社（1997年）

福江 純（大阪教育大学）

fukue@cc.osaka-kyoiku.ac.jp