



隣のブラックホール【8】

ブラックホールをねらえ！

福江 純(大阪教育大学)

本シリーズでは、ブラックホール宇宙物理について、基本的な問題をさまざまな角度から紹介してきた。“隣のブラックホール”は、基礎編と発展編と2冊分あり、前回まででまとめたのは、基礎編に相当する部分である。いちおう、切りのいいところまできたので、ここでいったん連載は終わりたい。今回は、最後に、相対論とブラックホール物理学のおさらいとして、銀河系中心への調査旅行とブラックホール調査旅行をしてみよう。

銀河系の中心には、巨大なカーブラックホールが存在している。そしてその周囲を光り輝くガスの円盤が取り巻いており、さらにガス円盤に垂直方向には高温プラズマのジェットが吹き出している。銀河系中心は、高エネルギーの嵐が渦巻く宙域になっているのだ。そんな場所へのツアーだ。

8-1 銀河系中心探査ツアー

1) 旅立ち

時に西暦2179年、地球周回軌道で建造されていた深宇宙探査船—アインシュタイン生誕300年を記念してアインシュタイン号と名づけられた—が、いままさに進宙しようとしている。アインシュタイン号は、これから数ヶ月かけて船内の機装をほどこし、時空の謎を解明するために、驚異と神秘に満ちた宇宙へ向けて数万年におよぶ探査行に旅立つのだ(図8・1)。

探査船から周囲をみると、この時代、地球周辺には無数の衛星や宇宙ステーションが存在していて、いくつかは視認できるほどだ。また眼下には、青白く輝く母なる惑星地球が、視野の大半を占めている。アインシュタイン号やアインシュタイン号を生んだ人類が

現れるよりはるかな昔から変わらぬ姿で、アインシュタイン号の100名にのぼる乗組員を祝福してくれているようだ。

アインシュタイン号は、全長が1kmにもおよぶ巨大な宇宙船だが、距離感の掴めない宇宙空間では細長い銀色のペンシルのようにみえる。しかし目を凝らしてよくみると、銀色のペンシルには、あちこちに針のような突起が付いていたり、ペンシルを取り巻くリングがあったり、先頭にはラップ状の構造物がついていたり、ずいぶん複雑だ。アインシュタイン号は、太陽系空間では核パルス推進で航行し、十分スピードが上がったら、ラムジェット推進に切り替えるのだ。

空気のない宇宙空間を飛ぶ宇宙船は、基本的には、燃料(推進剤)を自分で運ぶ必要がある。たとえば、液体燃料ロケットではケロシンと酸化剤を燃焼室で燃焼させ、高温になったガスをノズルから噴出して飛ぶ。また

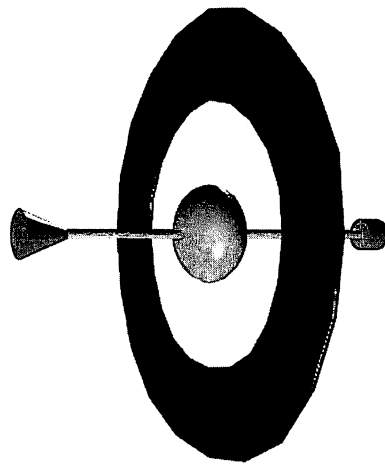


図8・1 アインシュタイン号

核パルス推進では、宇宙船の尾部に打ち出した水素の微小ペレットをレーザー核融合させ、その反動で進む。しかし、アインシュタイン号のように、あまりにも遠大な距離を航行する宇宙船の場合、必要とする燃料をすべて持参するとなると、とてつもない量になる。そこで、宇宙空間から燃料を補給するラムジェット推進が採用されている。すなわち、宇宙空間といっても、完全な真空ではなく、平均的に1立方センチメートルぐらいの体積に1個ぐらいの水素原子が浮遊している。水素原子はまさに宇宙船の燃料に他ならない。そこで宇宙船の前方に巨大な磁場を広げ、宇宙空間の水素原子を宇宙船内部へ取り込み、核融合させて尾部から噴出して進む。銀色のペンシルのラッパ状の構造物は、磁気漏斗を広げるための構造物なのである。

地球を出発してから約20年、アインシュタイン号は、ついに、目的地である銀河系の中心へ到達した。地球ではすでに、28000年は経っているだろう。そう、相対論的時差のために、地球時間と船内時間は大きくずれてしまったのだ。

2) 時空航路

さて、太陽系から銀河系の中心まで、およそ28000光年ほどだ。星間ラムジェット推進型の宇宙船、いわゆるラムシップは、理論的には一定の加速を続けることができる（実際には宇宙塵などの存在により加速は頭打ちになる）。たとえば1Gの加速で数光年ほど進めば、宇宙船の速度はほぼ光速になるので、宇宙船は、太陽系から銀河系中心までの全区間をほぼ光速で飛翔すると考えて差し支えない。したがって、宇宙船が銀河系中心に到達するまでに、28000光年を光速で割って、地球では約28000年経過することになる（地球時間）。一方、宇宙船の内部では、相対論的な時間の遅れのために、約20年しか経過しないのだ（船内時間）。

ところで、宇宙船の人間から見たときは、28000光年を（船内時間の）20年で踏破するわけだから、光速の1400倍もの超光速で進んだことになるのだろうか？ 速度は進んだ長さがかかった時間で割って得られる。このことは当たり前みたいだが、相対論では時間と空間が共に連動して変化するので、注意しないといけない。すなわち、宇宙船内で考えるときには、太陽系から銀河系中心までの距離も、船内のモノサシを使って測らなければならない。そして、高速で飛んでいる宇宙船内において、地球と銀河系中心の距離を測定すると、28000光年よりもはるかに短く見えるのである（「ローレンツ=フィッツジェラルド収縮」と呼ばれる）。高速で飛行する宇宙船内では、船内時間も短くなるが、踏破する距離も短く観測されるために、結果的に、船内で計測した宇宙船の速さも、光速を超えることはない。

以上の銀河系中心までの旅を、ミンコフスキーダイアグラムで示してみよう（図8・2、表8・1）。地球から銀河系中心までの距離は28000光年で、地球から出発した宇宙船は14000光年先の間接点までは1Gの加速を続け、間接点から銀河系中心までは1Gで減速するとする。

図8・2は、ミンコフスキーダイアグラムで表した銀河系中心までの往復旅行だ。1Gで加速を続けると数光年も進めば光速の99%を超えるので、出発時や到着時を除いて、ほとんどの区間は、ほぼ光速で運動していることになる。また表8・1は、特殊相対論を使って計算したタイムテーブルで、地球出発から銀河系中心到着までの地球時間 t 、進んだ距離 x 、宇宙船の速度 v 、そして船内時間 τ の具体的な数値である（帰りは省略）。ミンコフスキーダイアグラムと揃えるために、時間の並びは、一番下が地球出発で、一番上が銀河系中心到着という並びにしてある。

加速（減速）している宇宙船は、字義どお

表 8・1 1G 加速度での地球から銀河系中心までの過程

地球時間 t (年)	距離 x (光年)	速度 v (光速)	船内時間 τ (年)	備考
28000	28000	0	19.94	銀河系中心到着
27999	28000	0.72	19.06	
27990	27991	0.99532	17.00	
27900	27901	0.999953	14.77	
27000	27001	0.99999953	12.54	
14000	14000	1	9.97	中間点通過
1000	999	0.99999953	7.40	
100	99.03	0.999953	5.17	
10	9.08	0.99532	2.94	
1	0.42	0.72	0.88	

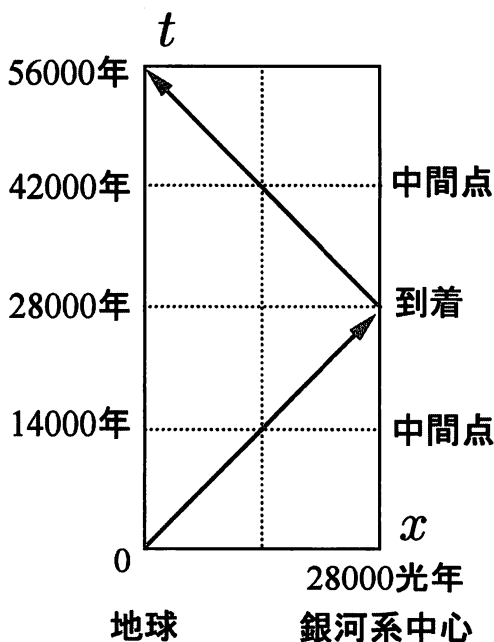


図 8・2 銀河系中心ツアーのミンコフスキーダイアグラム

り、等速直線運動をしている慣性系ではないので、地球とは同等でなくなり、地球時間よりも船内時間の方が遅れる。慣性系でないなら特殊相対論の対象外（一般相対論が必要）かといえば、必ずしもそうではない。すなわち時空そのものは平坦なので、上手に工夫すれば、一定加速度で加速したり減速したりする宇宙船を特殊相対論で扱うことができる。特殊相対論で扱える等速で動く宇宙船の速度を少しずつ変化させていくのだ。実際に、1G 加速の銀河系中心までの旅を等速運動で近似したダイアグラムを、図 8・3 に示す（帰りは省略）。この例では、地球から銀河系中心までを 10 の区間にわけて、各区間では宇宙船は等速で運動し、区間の境目で速度を変えたとしてある。したがって、宇宙船の軌跡（世界線）は直線をつないだものになっている。

大事なのは、こういう荒い近似でも、地球時間と船内時間の時差が生じるという点で、たしかに船内時間の方が遅れることがわかる。結局、双子のパラドックスはパラドックスではなく、ウラシマ効果のみが存在する。

3) 旅行プラン

最後に、銀河系中心への時空の旅の、いろいろな旅行プランをまとめておこう。

【標準ビジネスプラン】

ふつうの方には、先に述べた、中間点までは1G加速、その後1G減速して銀河系中心に到着するアライバル方式がお勧め。銀河系中心に到着するまでは、地球時間で28000年かかるが、船内時間では約19.78年ですむので、人の一生の間にはなんとか往復旅行ができる。

【片道ワンウェイプラン】

銀河系中心で停止することは考えずに、ずっと1Gで一定加速していき、銀河系中心を通過するフライバイ方式。銀河系中心をフライバイする時点で、地球時間は28000年だが、

船内時間は10.64年経過している。船内時間に限れば、標準ビジネスプランの半分の時間ですむ。

【安全快適デラックスプラン】

宇宙船の速度が光速に近くなるほど、微粒子の衝突などによる危険が急激に高くなるので、一定の巡航速度で飛行する巡航区間をはさむプラン。たとえば、巡航速度を光速の90%としよう。加速が1Gの場合、地球時間で2年（船内時間で1.43年）加速すると0.9cに達する。このとき、距離はまだ1.26光年しか進んでいない（同じだけの減速区間が必要）。この加速減速区間の距離は、28000光年に比べれば小さいので、巡航区間はほぼ28000光年で、それを0.9cで踏破するには、地球時間も

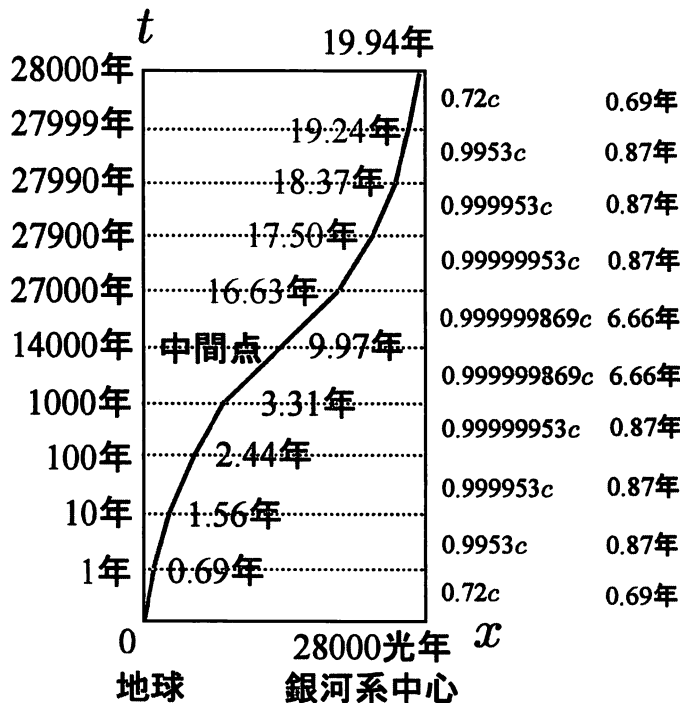


図8・3 近似ダイアグラム。横軸は地球からの距離x、縦軸は地球時間tだが、縦軸の目盛りは等間隔ではない。右側の数字は、各区間での宇宙船の設定速度vと船内経過時間τで、区間の境目の数字は、累積した船内時間τを示す。厳密なタイムテーブル（表8・1）に近くなるように速度などは調整してあるが、近似計算のために、表8・1とは少しずつ数値は異なる。区間数を増やしていけば、1G加速の正しい値に近づく。

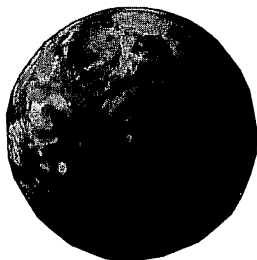
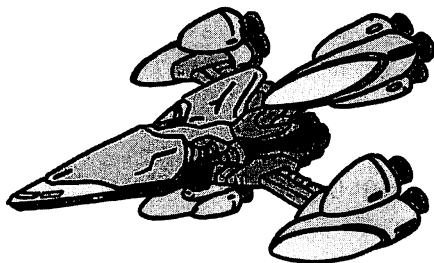
船内時間も、共に、約31000年かかる。乗組員はコールドスリープしなければならないだろう。一昔前の豪華客船を使った世界一周旅行のように、デラックスだけど退屈な旅になりそうだ。

【超特急エクスプレスプラン】

とても急ぐ人向けには、ちょっとハードな10G加速の旅行プランもある。加速の大きさ以外は標準ビジネスプランのアライバル方式だと、船内時間では約2.4年で銀河系中心に到達できる。高加速をしのぐために浮力槽で過ごす必要があるだろう。肉体をサイボーグ化するか電脳領域に精神をダウンロードすれば、もっと高加速・短時間で到達することもできるかもしれない。

銀河系中心の探査を済ませたアインシュタイン号が地球へ帰還する日 came。そのまま直帰するなら、アインシュタイン号が帰郷したときには地球では56000年も経過しているはずだ。地球の人々は星からの帰還者を覚えていてくれるのだろうか？

そもそも人類は残っているのだろうか？もしかしたら、アインシュタイン号は、さらなる謎を求めて、ワームホールを通り別の宇宙へ旅立つかもしれない。



ANITEC

京滋総代理店 富士平工業(株)
(株)フジヒラサビックス
小林無線工業(株)
京滋代理店 大起理化工業(株)
(株)藤原製作所
(株)科学共栄社

有限会社 アニテック

☎520-2153 大津市一里山一丁目16番11号
TEL. (077) 547-2566
FAX. (077) 547-2569