

ブラックホールシンδροームMe (ミレニアムエディション)
福江 純

地球内部に落下した(マイクロ)ブラックホールは、吸い込んだ物質の位置エネルギーを解放して光り輝くだろう。光り輝く“白い”ブラックホールは、だいたい一千万年から一億年ぐらいで地球中心に落ち込み、同じぐらいの時間をかけて地球を吸い尽くすと予想される。その間、白い悪魔は、強力な熱源として作用し、地球は暑くなるだろう。

多くのSFで地球の内部にマイクロ(ミニ)ブラックホールが落とされた(プロイス『破局のシンメトリー』、ホイラー『ブラックホールを破壊せよ』、布林『ガイア』)。またツングースカ事件がマイクロブラックホールの衝突だという“お話”もある。もう何年も前になるが、そのような地球内部に潜り込んだブラックホールが実際にはどうなるのかが気になり、マイクロブラックホールの振る舞いを定量的に調べたことがある(この解析は、その後、専門的な論文にスピノフし、銀河系中心領域に存在する巨大な分子雲とブラックホールが衝突したときのブラックホールの運命を論じることになった)。一方、専門分野では、ブラックホールに落ち込む物質が位置(重力)エネルギーを解放して強い光を放射することが知られていたのだが、この数年、そのようはブラックホール周辺からの放射が外界に与える影響が調べられてきた。そこで、それらの結果をふたたび地球内部のブラックホールに適用してみたのが、今回のブラックホールシンδροームMe (ミレニアムエディション)というわけだ。

まず最初に、大いなる誤解を解いておきたい。「ブラックホールは何でも吸い込んでしまう」↑こりゃウソである。少なくとも半分ウソである。

たしかにブラックホールは無限の胃袋をもっている。だから、“時間さえかければ”原理的には何でも吸い込めるかもしれない。しかしブラックホールの大きさ、いわば口の大きさは有限だ。太陽程度の質量のブラックホールで、その半径は3 kmだから表面積は10¹⁰平方kmぐらい。10億トンぐらいの典型的なマイクロブラックホールにいたっては、その半径は100万分の1ナノメートルと原子より小さく、表面積は、もういいや。そのような狭い口に物質が押し寄せても、物質同士の圧力によるせめぎ

あいであちにくくなったり、物質が光りだしてその光の圧力で落ちにくくなったりする。というわけで、ブラックホールが1秒間に吸い込める物質の量には上限があるのだ。

では、実際には、どれぐらいの物質を吸い込めるのだろうか？ これは、宇宙におけるブラックホール活動にとっても重要な問題だが、地球内部にマイクロブラックホールが落ちたときには重大な問題である。



図1

“黒い”ブラックホール

まず光っていないフツのマイクロブラックホールが地球に落ちたとしよう。ブラックホールは、重力によって周囲の物質を引き寄せながら運動していくので、ブラックホールの軌道を取り囲む円筒状の領域の物質が吸い込まれてしまう(図1)。この吸い込む領域の半径は、「ホイール=リットルトン降着半径」と呼ばれている(このホイールはあのホイール)。このホイール=リットルトン降着半径は、ブラックホールの質量に比例し速度の2乗に反比例するのだが、質量が10億トンのマイクロブラックホールが地球の脱出速度程度の10km/sで動いていると、1万分の1cmほどである。この範囲内の地球物質を吸い込むなら、一秒あたりの吸い込み率は毎秒0.3gぐらいに

なる。

この吸い込み率でブラックホールの質量を割れば、もともとの質量と同じくらいの質量を吸い込む時間、言い換えれば質量が2倍くらいに成長する時間が得られる。具体的には、典型的なマイクロブラックホールだと、2倍に成長するまでに約1億年かかるだろう。しかしたとえば質量が地球の1万分の1くらいだと、たった0.2年で2倍に成長する。

具体的な数値計算例を図2と図3に示す。

Figure 2

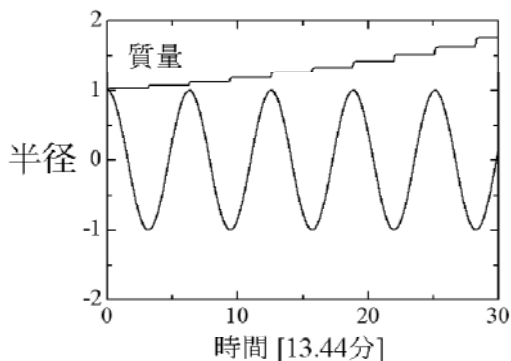


図2

Figure 3

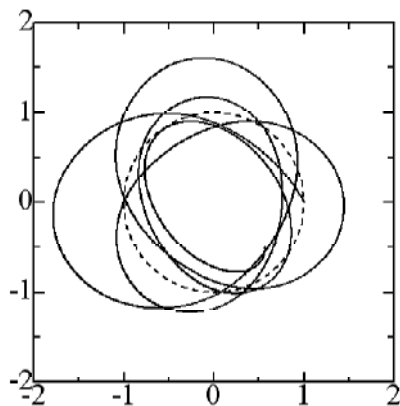


図3

図2は、“黒い”ブラックホールを地表からポトリと落としたケースである。図の横軸は1メモリが13.44分とした時間で、縦軸はブラックホールの質量（最初の質量が1）と地球中心からの距離（地球の半径が1）である。ブラックホールの初期質量

は地球質量の1万分の1で、初速度は動径速度も回転速度も共に0である。図2でブラックホールの位置を見ると、“黒い”ブラックホールは、地球重力のもとでほぼ単振動していることがわかる。すなわち初期質量が地球質量の1万分の1くらいだと、運動はゆっくりとしか減衰しない。一方、質量の変化を見ると、質量が階段状に増加していることがわかる。増加の位置をよくみると、半径=±1の地点（地表）に一致している。これはこういうことだ。地球内部で単振動的な運動をしている“黒い”ブラックホールは、大部分の領域で速度が10km/s程度と高速なため、ホイール=リットルトン質量降着率が非常に小さく、したがって物質を吸い込むヒマがないため、質量はほぼ変わらない。しかし地表近傍では（折り返し地点で）速度が0になるため、吸い込み率が一時的に増加して、そこで質量が階段状に増えているのである。

図3は、“黒い”ブラックホールが地表（破線で表した円）から斜めの方向に飛び込んできたケースである。ブラックホールの初期質量は地球質量の百分の1で、動径速度は約毎秒4km、回転速度は約毎秒7.9kmである。地球質量の百分の1というのはかなり大きな値だが、振る舞いを強調するために、この値を取ってある。矢印の位置から地球内部に突入してきた“黒い”ブラックホールは、地球内部では地球重力のもとで減衰運動を行い、地球外部に突き抜けたら、地球外部では通常のニュートン重力のもとでの楕円軌道を描き、そしてふたたび地球内部に飛び込むという運動を繰り返しながら、次第にその軌道を減衰させていく。初速度や初期質量によっては、宇宙の彼方から飛び込んできた“黒い”ブラックホールが、地球を突き抜けた後、速度を少し減じて宇宙の彼方に飛び去っていく場合もある。初期条件（初期質量と初速度の値）によって、さまざまな振る舞いをするだろう。

“白い”ブラックホール

では、今度は、古典的な黒いブラックホールとは逆の極限の場合、すなわちブラックホール（周辺のガス）がきわめて明るく光っている場合を考えてみる。天体の明るさには、重力と放射圧のバランスで決まる最大の光度が存在し、それは「エディントン

ン光度」と呼ばれている。具体的に、10億トンのマイクロブラックホールの場合、毎秒 0.7 g ぐらいの物質を吸い込めば、(その質量に対する) エディントン光度で輝くことになる。さらに、この吸い込み率でマイクロブラックホールが成長する時間は、5千万年弱になる。面白いことに、この値はブラックホールの質量などによらない。すなわち“黒い”ブラックホールの成長時間はブラックホールの質量や速度によって変わるが、“白い”ブラックホールの成長時間はどんなブラックホールでも一定なのである。

実際のマイクロブラックホールは、“黒い”ブラックホールのようにまったく輝いていないわけではなく、一方、“白い”ブラックホールのように最大で輝いているわけでもない。すなわち、吸い込み率が小さいうちは暗いが、吸い込み率がエディントン降着率に近づくにつれて明るくなるのである。

具体的な数値計算例を図4と図5に示す。

図4は、“白い”ブラックホールを地表からポトリと落としたケースである。図の横軸は時間で、縦軸は半径と(最大光度を1とした)明るさである。ブラックホールの初期質量は、破線が地球質量の100億分の1、実線がマイクロブラックホールに相当する値で地球質量の約10兆分の1、点線が地球質量の1京分の1である。図4でブラックホールの位置を見ると、“白い”ブラックホールもほとんど減衰せずに単振動していることがわかる。一方、この“白い”ブラックホールの明るさの変化の仕方は、ブラックホールの初期質量に依存する。図4から見て取れるように、初期質量が大きい(破線)と、明るさはおおむね1ぐらいである。すなわち、ほぼ最大光度(エディントン光度)で輝きながら地球内部を往復運動する。逆に、初期質量が十分小さい(点線)と、明るさは0と1の間で大きく変動する。すなわち、初期質量の小さな“白い”ブラックホールは、速度が大きくて物質を十分吸い込めない地球深部では、光らずに“黒く”なるが、速度が小さくなり物質を十分吸い込める地表近傍では急激に増光しエディントン光度程度で輝くのだ。質量降着率が中程度(実線; マイクロブラックホール程度)だと、“白い”ブラックホールは適度に輝く。

図5は、“白い”ブラックホールが地表(破線で表した円)から斜めの方向に飛び込んできたケースである。ブラックホールの初期質量は十分小さく、動径速度は約毎秒4km、回転速度は約毎秒7.9kmである。軌道の減衰は非常に小さい。

Figure 4

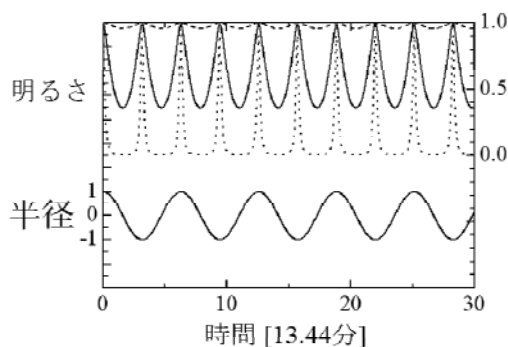


図4

Figure 5

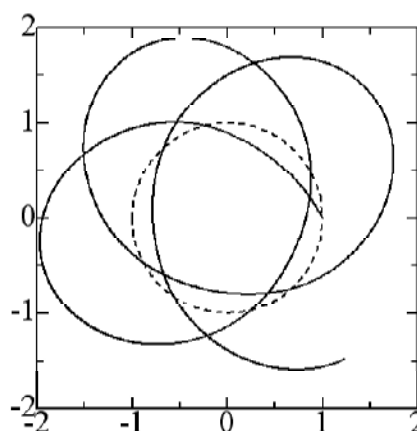


図5

さて、以上の結果からも明らかのように、降着物質の光度(降着光度)を考慮した“白い”ブラックホールの場合、一般的に吸い込み率が小さくなる。たとえば“白い”ブラックホールの初期質量がマイクロブラックホールの質量に比べて大きいと、ブラックホールはエディントン光度程度で輝くので、その放射圧のために吸い込み率は小さくなる。逆に、初期質量が小さいと、明るさは小さくなれるが、初期質量が小さければ吸い込み率はそもそも小さい。という

ことで、初期質量に関わらず、“白い”ブラックホールでは一般的に吸い込み率は小さく、その結果、軌道の減衰も小さくなるのである。減衰が小さいということは、言い換えれば、“白い”ブラックホールの成長時間（＝軌道の減衰時間）はとても長くなり、典型的には、約5千万年で、これはかなり長い。

熱源

さて、以上までは、“白い”ブラックホールの運動面について考察したが、ここで少し、“白い”ブラックホールの働きについて、エネルギーという別な観点から議論しておこう。すなわち“白い”ブラックホールは、その放射エネルギー自体のせいで、熱源として作用する可能性があるのだ。

たとえば、過去に地球の内部に飛び込んできた10億トンのマイクロブラックホールが、光り輝きながら地球の内部をうろつき回っていたとしよう。簡単のために、5千万年の間ずっとエディントン光度で輝いていたとすると、その間に放出されるエネルギーは、約 10^{27} 乗ジュールにもなる。もし地球の内部物質が、比熱が 1 J/K/g 程度の玄武岩質だとすると、このエネルギーで、内部全体の温度を約 1.5 K 上昇させることができる。この値は一見小さいように見えるが、ブラックホールの初期質量を大きくすれば、全エネルギーも初期質量に比例して大きくなるので、あながち無視できるモノでもない。実際、初期質量を10倍にただけで、約 15 K 上昇することになる。

また、“白い”ブラックホールが発生した光度が地球表面から常に放射されるとすると（地球内部の物質の熱伝導率とかがよくわからないので、一定の値に落ち着くまで、どれくらい時間がかかるかわからないが）、エディントン光度の分が地球表面から熱放射に加わる。

いずれにせよ、マイクロブラックホールを飲み込んだ地球は、少々暑い惑星になるだろう。