

準光速ロケットでのブラックホール旅行における時間の遅れ



光速に近い速さで運動したときの時間の遅れ。
 強い重力場による時間の歪みからくる時間の遅れ。
 この二つを合わせて計算した。 (木村 龍一)



研究の目的

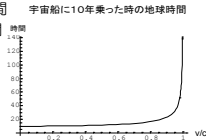
- 相対性理論は時間と空間の物理学である。
- アインシュタインの特殊相対性理論によれば、高速で移動する宇宙船で宇宙を旅した人は、地球に残っていた人よりも歳を取っていないという「浦島太郎」のような奇妙な結論が導かれる。
- またブラックホール近傍では、強い重力場が存在するため時間が歪むのでさらに時間が遅れる。
- そこで光速に近い宇宙船で、ブラックホール近傍まで行って帰ってきたときの時間の遅れを計算した。

問題設定

- 銀河の中心には質量が太陽の 10^6 倍のブラックホールが存在するといわれている。地球は太陽系に含まれているが、その太陽系から銀河の中心までの距離は約30000光年離れている。
- 宇宙船内、地球上それぞれに時計を設置し、宇宙船は速度 v で銀河の中心のブラックホール近傍まで旅行し、そのブラックホールの周り(中心からの半径 $=3r_g$)を10年間、円運動してその後、地球へ戻ってくる。
- 宇宙船が地球に戻ってきたときの時間のずれを計算する。(ただし加速度は考慮しない。)

宇宙船に乗っている人の時間の遅れ

- ローレンツ変換によれば、運動する速度に応じて時間のずれが $dt_1 = \sqrt{1 - (v/c)^2} dt$ だけ発生する。
- dt_1 =運動している人の時間
- dt =静止している人の時間
- v =運動している人の速度
- c =光速



宇宙船の速度が光速に近づくにつれ地球時間は無限に発散しているのがわかる。

計算と結果

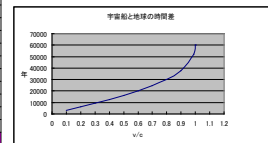
- 地球上の時間 T は宇宙船の往復の時間、距離 l と速度 v とブラックホールの周りを10年飛行したことによる遅れ(中心から半径 $=3r_g$ の地点を円運動するので)23年を足した時間になる。
よって $T = \text{距離} / v + 23$ になる。
- 宇宙船内の時間 t' は、 $dt' = \sqrt{1 - (v/c)^2} dt$ より、 $t' = \int_0^{20000} \sqrt{1 - (v/c)^2} dt$ で求めることができる。
- $T - t'$ を求めることによって、宇宙船内と地球上の時間差を求める。

ブラックホール近傍での時間の遅れ

- ブラックホールとは、光でも脱出することができない時空領域であり、その半径は $r_g = \frac{2GM}{c^2}$ (シュワルツシルド半径) で与えられる。
- ブラックホール(シュワルツシルト解)の中心から半径 R の地点での宇宙船内の時間の遅れは、 $dt_2 = \sqrt{1 - \frac{r_g}{R}} dt$ で表される。
- G =万有引力定数、 M =ブラックホールの質量

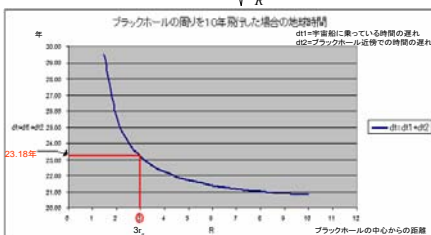
また、ブラックホールの周りを円運動するためには $3r_g$ 以上の半径でないと、ブラックホールの巨大な重力によって飲み込まれてしまう。

v/c	T(年)	t'(年)	T-t'(年)
0.1	29997.3	98542	3031
0.2	29997	25914	6083
0.3	199795	15070	9225
0.4	150227	137756	12571
0.5	119887	102884	16053
0.6	100225	69162	20063
0.7	85639	41142	24497
0.8	74859	24900	29959
0.9	66613	29028	37587
0.99	60651	4574	55077
0.999999	60000	94	59995
0.9999999	60000.8	1	60000.1



宇宙船の速さが光速に近づくにつれ、宇宙船内と地球上の時間差は無限に増加していくのが分かる。
 また、宇宙船の速さが $0.99999999c$ のとき宇宙船内では、わずか8年しか経っていないのに対し地球上では約60000年経過していることが分かる。

- ブラックホールの周りを円運動することを考えると、Newton力学では、 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ の速度になる。



ブラックホールに飲み込まれない最小半径 $3r_g$ だと地球時間の約2.3倍の時間の遅れが生じる。

今後の課題

- 宇宙船の加速・減速を含めた計算に拡張する。
- 宇宙船の航行時間、距離、ブラックホールへの距離をパラメータにして、X年後の世界に行くにはどうしたら良いかを自動的に計算、明示するプログラムを作成する。