

ブラックホールとは？

一般向けのブラックホールの話から

2011年10月24日

高エネルギー天体物理学特論第三回

JAXA 宇宙科学研究所

海老沢 研

- ブラックホールについて
 - ブラックホールとは何か？
 - どうやってブラックホールを観測するのか？

ブラックホールとは？

- ブラックホールとは
- 「とっても」重くて、「とっても」小さな星
- 「これよりは小さくならない」星
- どのくらい重くてどのくらい小さければブラックホールと言うのか？

重力の話

- すべての星は重力を持っている
 - ぼくたちは重力で地球にくっついている！
 - 星の重力 → 星の重さ ÷ (星の半径)²
 - 質量M,半径rの星の重力= GM/r^2
重力ポテンシャル= $-GM/r$
- G=万有引力定数
- 星の半径がどんどん小さくなると...
 - 星の重力はどんどん強くなる！

重力の話

- 星の重力がどんどん強くなると...
 - モノが落ちるときの速さはどんどん速くなる
 - モノが星から離れるのがどんどんむずかしくなる

地球の重力

- ボールを上に向けて見ましょう
 - 速ければ速いほど高く上がる
- ボールを高いところから落としてみましょう
 - 高ければ高いほど速くなる
- 地球の「**脱出速度**」
 - 運動エネルギーとポテンシャルエネルギーが等しい
(無限遠方で速度=0になる)
 $\frac{1}{2} mv^2 = GMm/r$
 $v = (2GM/r)^{1/2}$
 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{Mm}^2\text{kg}^{-2}$, $M = 5.97 \times 10^{24} \text{kg}$, $R = 6378 \text{km}$
 - **$v = \text{秒速11キロメートル(時速4万キロメートル)}$**
 - 1時間ちょっとで地球を1周するくらいの速さ
- それより速いボールは地球からにげ出してしまう！

地球をブラックホールにするには？

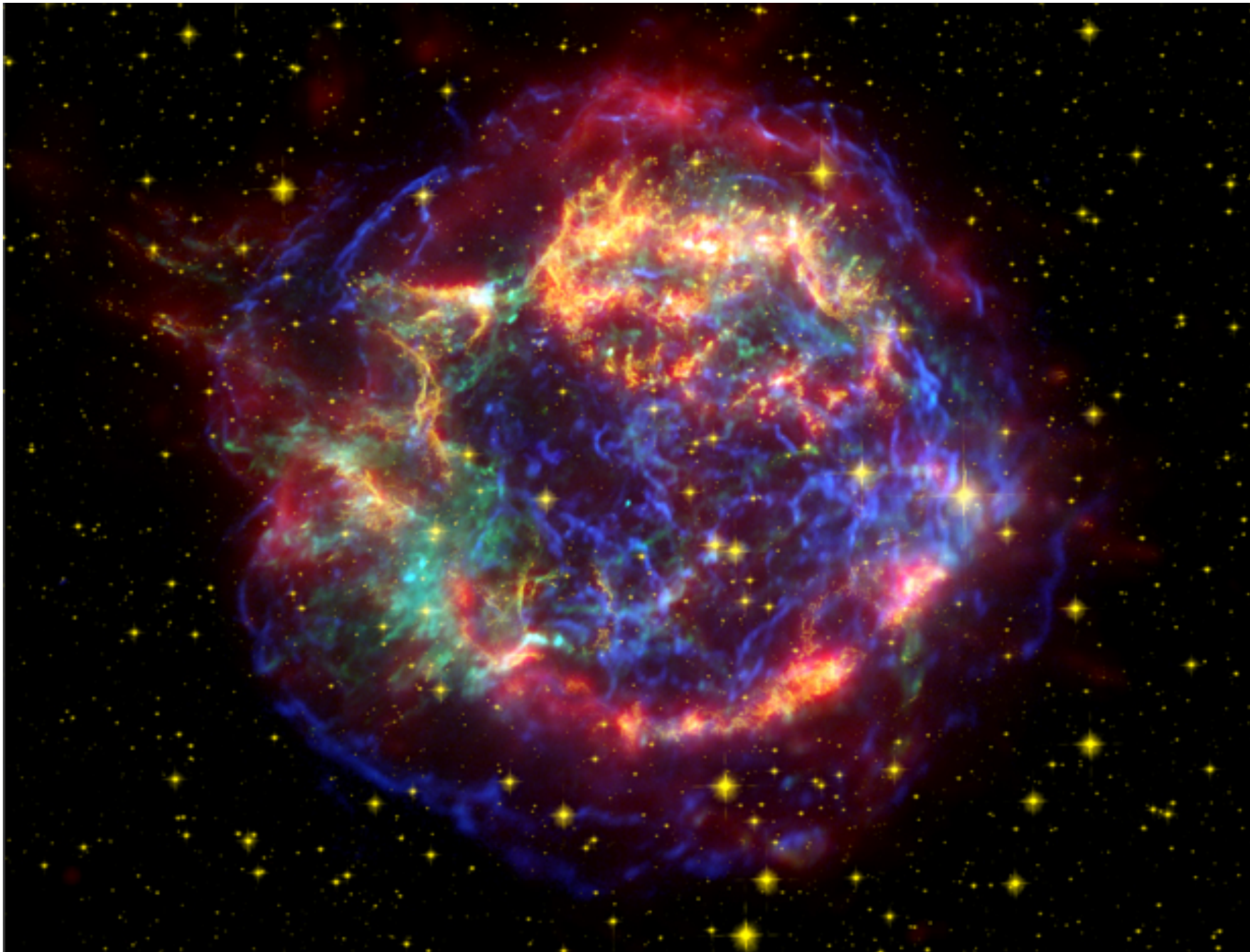
- 脱出速度=光の速さとなる地球の半径は？
 - c を光速として、 $c=(2GM/r)^{1/2}$
 - $r=2GM/c^2$ この半径をシュバルツシルド半径と言う
 - $r=2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 5.97 \times 10^{24} / (3 \times 10^8)^2 = 0.009\text{m} = 9\text{mm}$
 - 地球の脱出速度が光の速さになる！
 - 地球にモノが落ちたときの速さが光の速さ
 - 光の速さじゃないと地球から逃げられない
- 自然界には光より速いものはないから...
 - 地球は半径9mmよりは小さくならない！
- 半径9mmの地球はブラックホールになる

しかし...

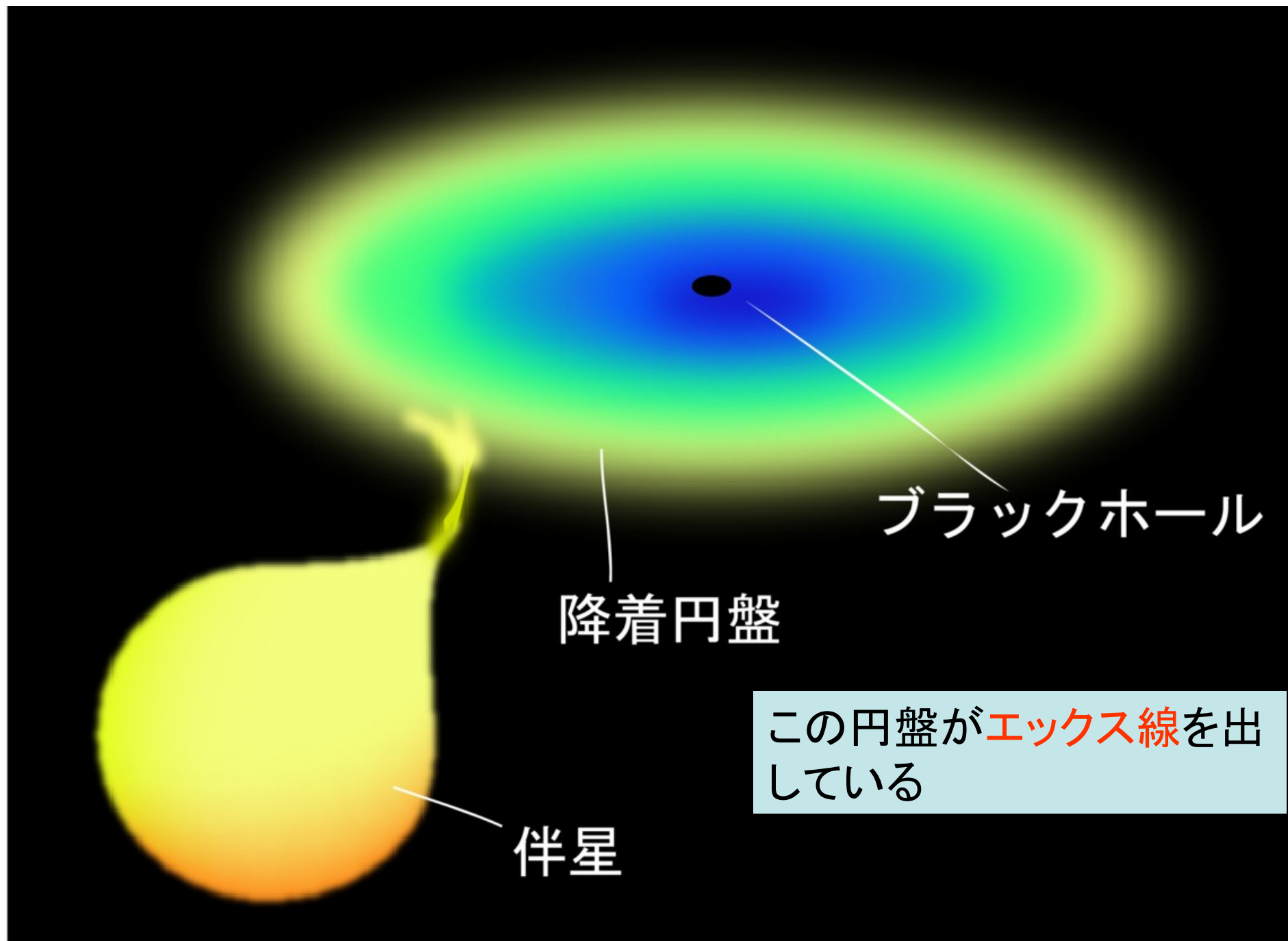
- 地球を半径9mmまで押しつぶす力はない
- 地球はブラックホールにはなれない

ブラックホールはどこにある？

- ブラックホールは星の爆発の後にできる
- 大きな星の最後
 - 超新星爆発
- 爆発の後に星のコアが残る
 - 星の芯が太陽の1~2倍程度→中性子星ができる
 - 中性子星は、中性子同士の「核力(強い相互作用)」で支えられている
- 星のコアがとても重いとき...
 - 太陽の重さの2倍から3倍以上
 - それほど重いものを支える力はない
 - 自分の重力でどんどんつぶれていく
- ブラックホールの誕生！



超新星爆発の約320年後の姿(カシオペアAのX線写真)



円盤はどうやってエックス線を出す？

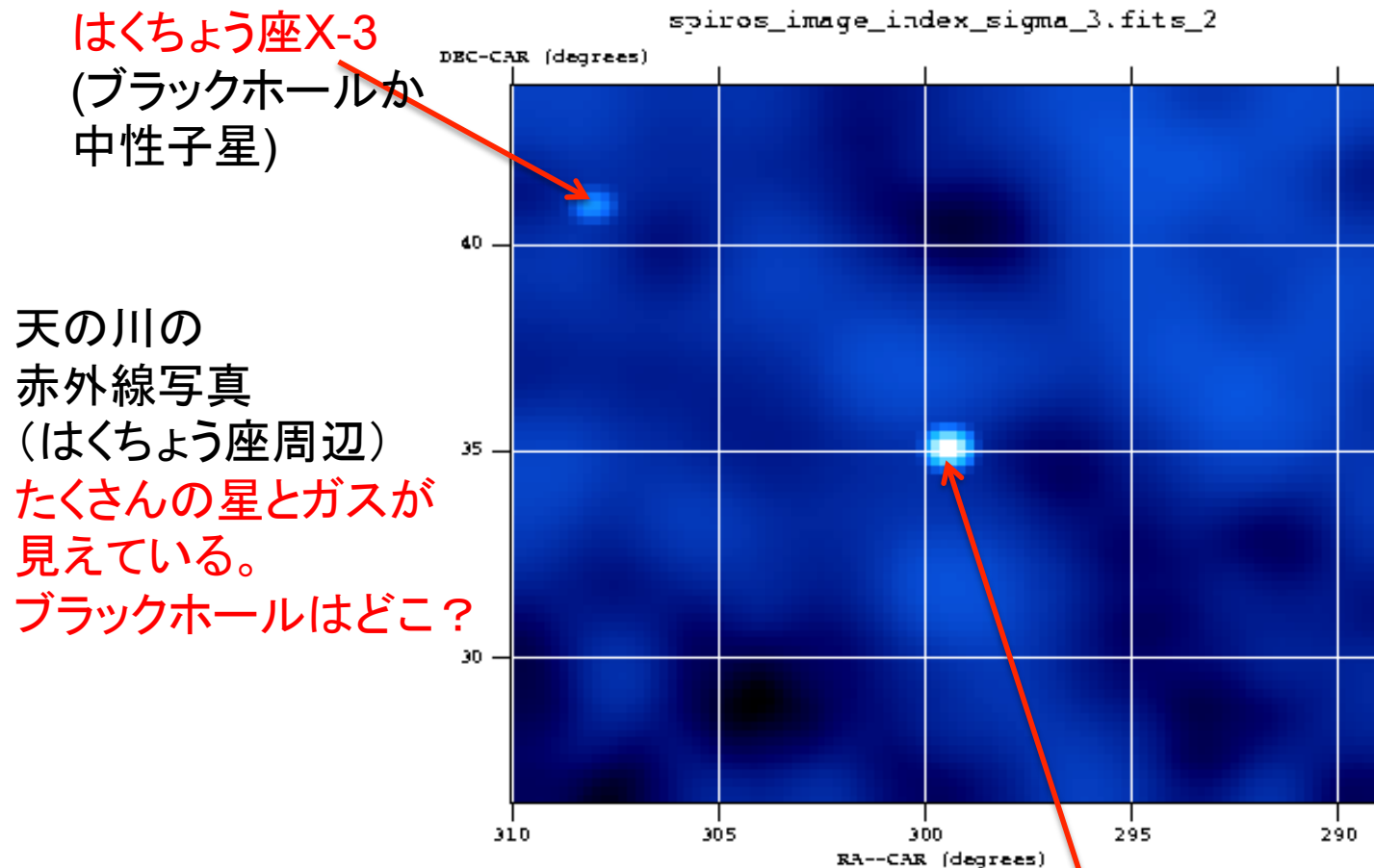
- ブラックホールの回りで、円盤はほとんど光の速さで回っている
- 両手をこすり合わせてみましょう
 - 「まさつ熱」(粘性)で温かくなってくる
- ブラックホールの回りの円盤で、まさつ熱が生じる
 - 磁気的な粘性だと考えられている
- 円盤の温度は一千万度から一億度になる！

円盤は

- 星は温度
- 太陽の温
 - 黄色く見
- 赤っぽい
- 白っぽい
- もっと温度
- 線を出す
- 一千万度
 - 人間の
 - 大気に



ブラックホールのエックス線写真



- ヨーロッパのINTEGRAL衛星による、
ブラックホール天体「はくちょうざX-1」の写真
- ブラックホールはX線で明るく光っている！

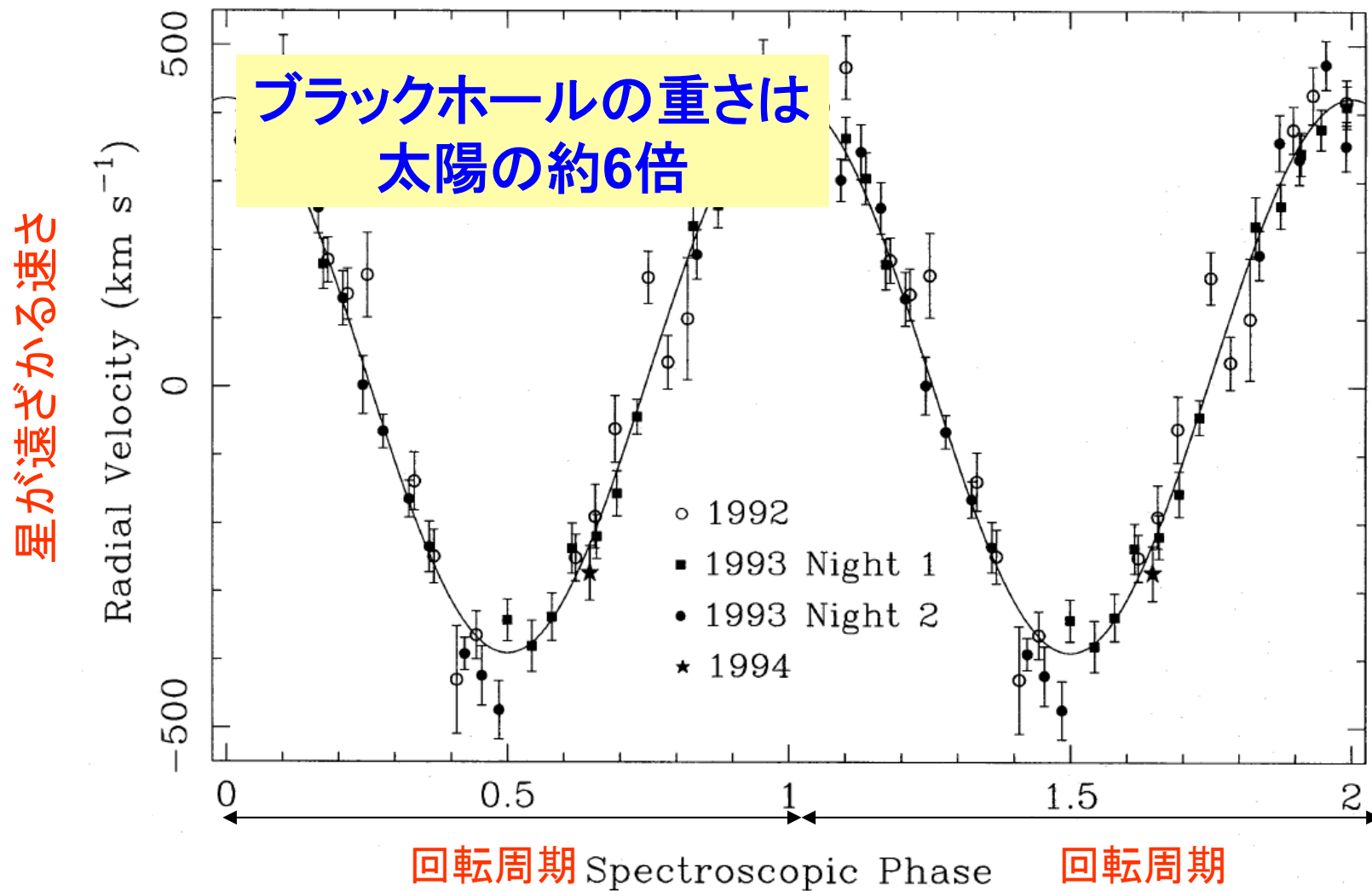
ブラックホールの質量をどうやって測定する？

- ブラックホールの回りを回っている星の運動を調べる
- 星の運動から計算してブラックホールの重力の強さがわかる
 - 速くまわっていれば重力が強い
 - 重力の強さからブラックホールの重さがわかる

ブラックホールの回りを回っている星の運動をどうやって調べる(1)?

- 音を出しているものは、音のドップラー効果を使えば運動がわかる！
- 運動によって音の高さ(波長)が変化する
- 星からは決まった色(波長)の光が出ている
- 光のドップラー効果によって、その色(波長)が星の運動によって変化する
- その色(波長)の運動による変化をはかる
- ブラックホールのまわりを回転する星の運動からブラックホールの重さがわかる

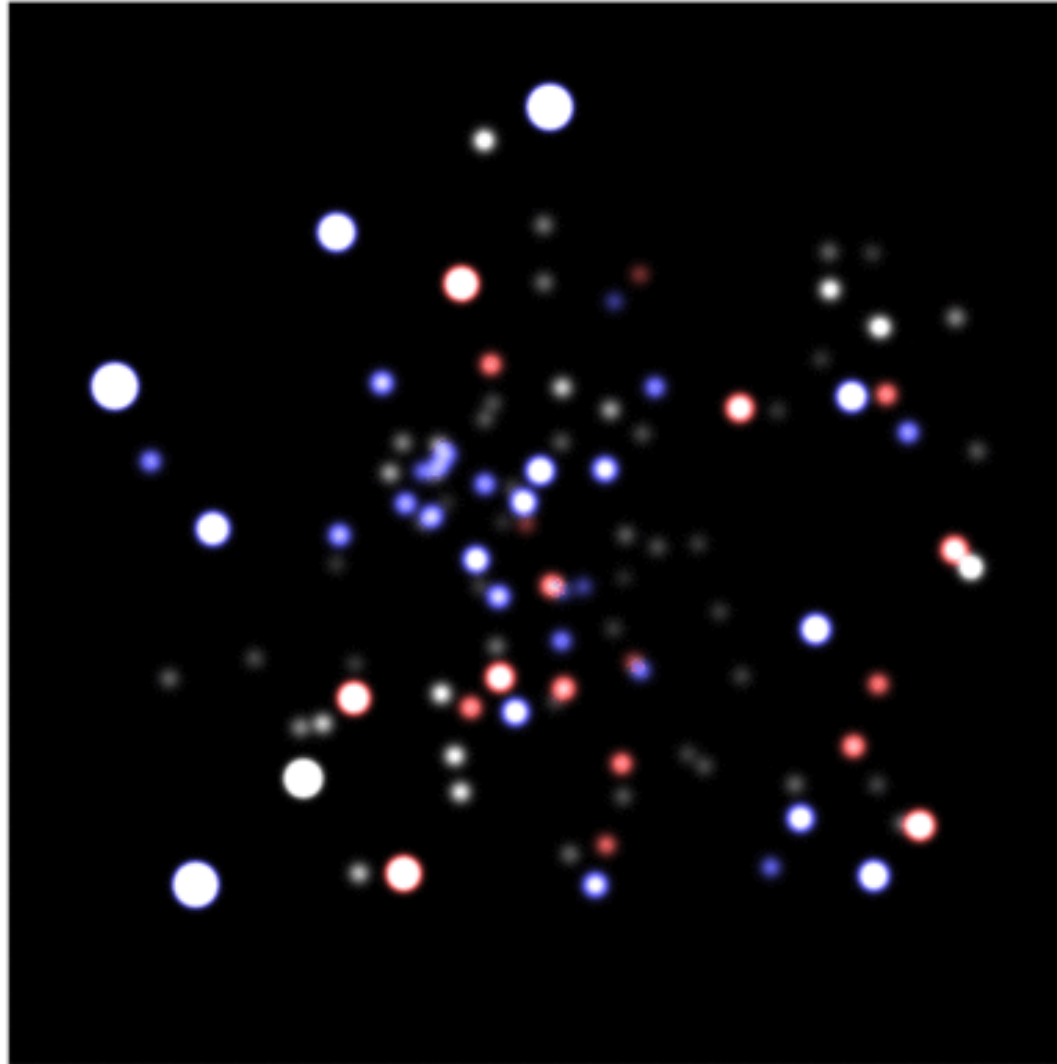
「ぎんが」衛星が発見したブラックホールGS1124-68のまわりの星の運動



ブラックホールの回りを回っている星の運動をどうやって調べる(2)?

- 銀河の中心には**巨大ブラックホール**がある
- **巨大ブラックホール**の回りを回っている**星の動き**を直接観測することができる
- 星の運動から計算によって、**巨大ブラックホール**の重力の強さがわかる
- 重力の強さから巨大ブラックホールの重さがわかる
- 私たちの銀河の中心にあるブラックホールの重さは太陽の370万倍

我々の銀河中心付近の星の運動



http://www.mpe.mpg.de/ir/GC/res_dance.phpより