



ブラックホール活動天体入門

Black-Hole Active Objects

Introduction

福江純(大阪教育大学)

Kazuchika



ブラックホールの 常識・非常識・超常識

常識

非常識

超常識

➤ 見えない

➤ 光輝く

➤ シャドー

➤ 吸い込む

➤ 吹き出す

➤ ジェット





1 ブラックホール活動天体と 亜光速ジェット現象

ブラックホール活動天体とジェット

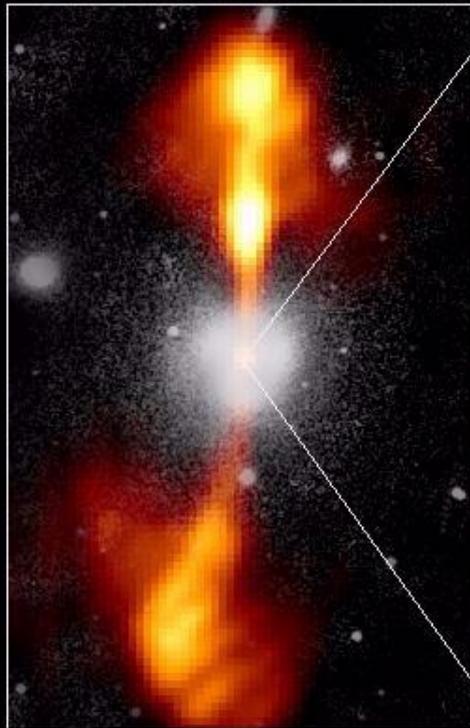
Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope
Wide Field / Planetary Camera

黄色～赤
電波画像
高温プラズマ
ジェット

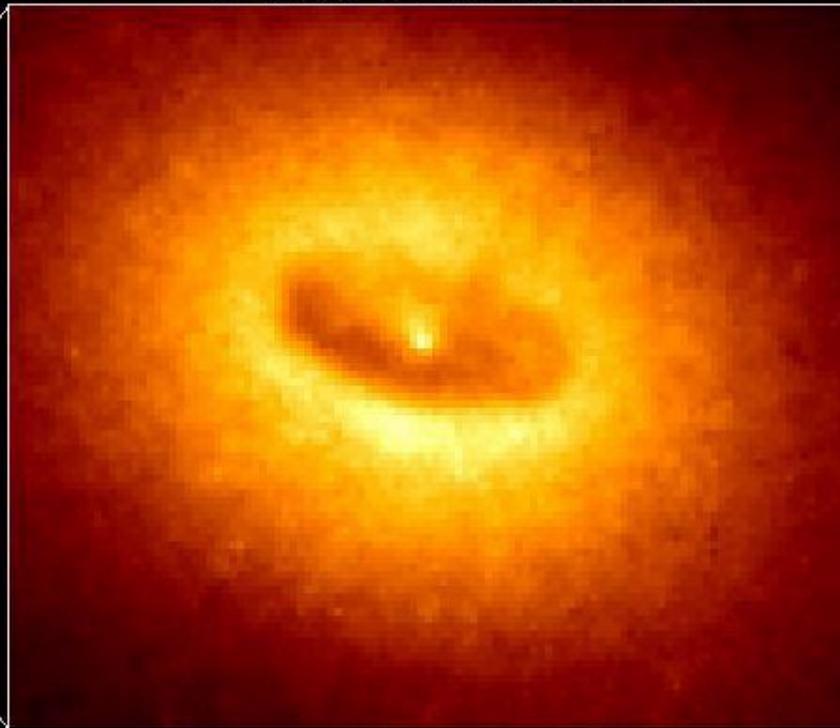
白
可視光画像
星の光
楕円銀河

Ground-Based Optical/Radio Image



380 Arc Seconds
88,000 LIGHTYEARS 88000光年

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds
400 LIGHTYEARS 400光年

中心部の
拡大画像
可視光
主に星の
光



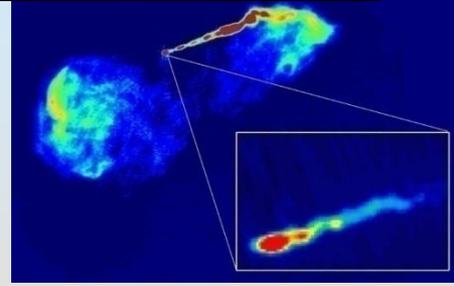
ブラックホール活動天体

ブラックホール活動天体 (black-hole active objects)

ブラックホール = 降着円盤システム: 電波から可視光さらにX線領域で莫大なエネルギーを放出し、亜光速の高温プラズマ流を吹き出している

- 活動銀河/クェーサー
- X線星/マイクロクェーサー
- ガンマ線バースト

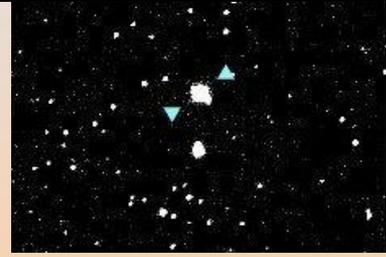
活動銀河 M87



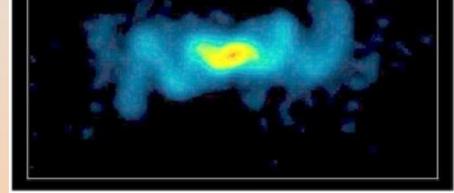
クェーサー 3C273



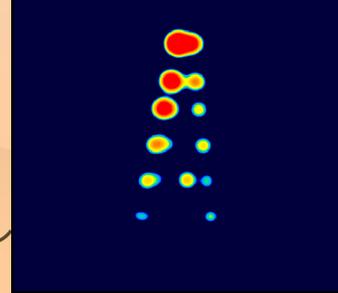
X線星 Cyg X-1



マイクロクェーサー SS433



マイクロクェーサー GRS1915



ガンマ線バースト





光のスペクトル

X線



可視光



赤外線



ガンマ線

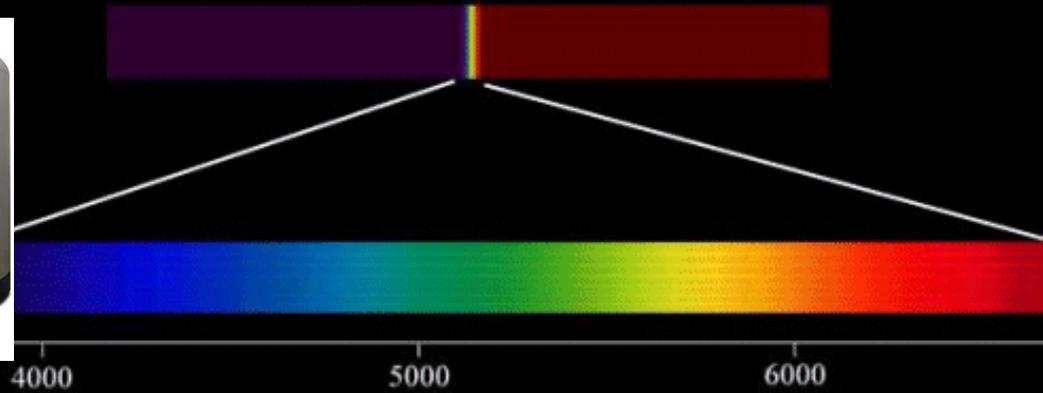


電波



Magnetic Spectrum

γ線 X線 紫外線 可視光線 赤外線 電波



波長 (オングストローム)





2 活動銀河とクエーサー モンスターブラックホール系

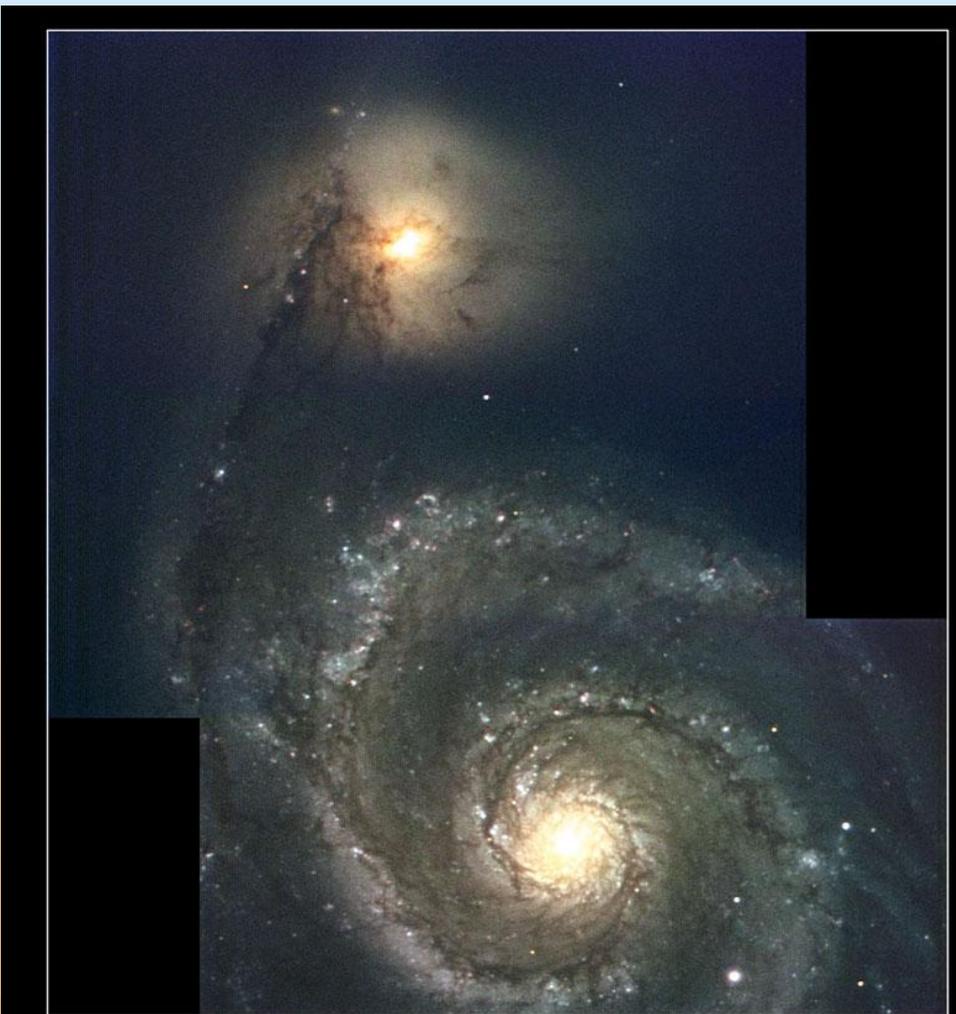


銀河

銀河 (galaxies)

銀河 = 数千億個の星とガスの巨大な集合体; 円盤状の渦状銀河や球状の楕円銀河などがある

子持ち銀河M51→



2011/7/11

ブラックホー



NGC 5194 (M 51) & NGC 5195
[Whirlpool Galaxy]

Ultra-high-sensitivity HDTV I.I. color camera (NHK)
Exp. 10 sec. (10 frames coadded) January 16, 1999

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

Copyright © 1999, National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved



活動銀河

活動銀河核 (active galactic nuclei)

中心核が何らかの活動性を示す銀河

電波銀河M87(可視光)



2011/7/11



ラックホール活動大





活動銀河

電波銀河 Cen A

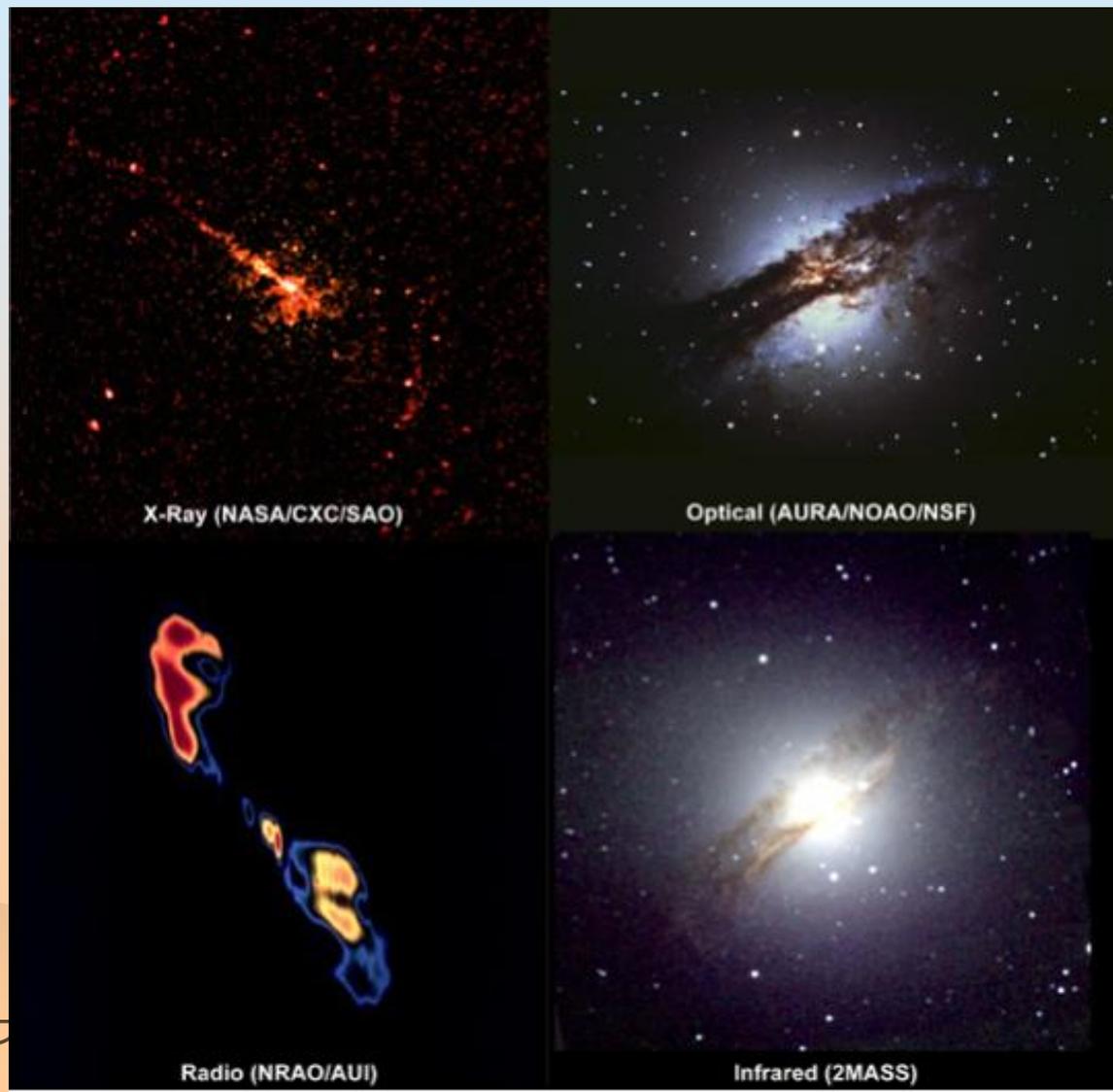
さまざまな波長で見た活動銀河ケンタウルス座A/NGC5128 (<http://physics.gmu.edu/~rms/astro113/myimages/cenacomp.jpg>)。

右上: 可視光では、赤道面が塵の多いガスで隠された楕円銀河のように見える。

右下: 赤外線では、塵の帯を通して中心部が非常に明るく輝いているのがわかる。

左下: 電波では、塵の帯に垂直方向に広がる二つ目玉がわかる。

左上: X線では、二つ目玉の方向に細く伸びるジェットが写っている。



2011/7/11





クェーサー

クェーサー(quasar)

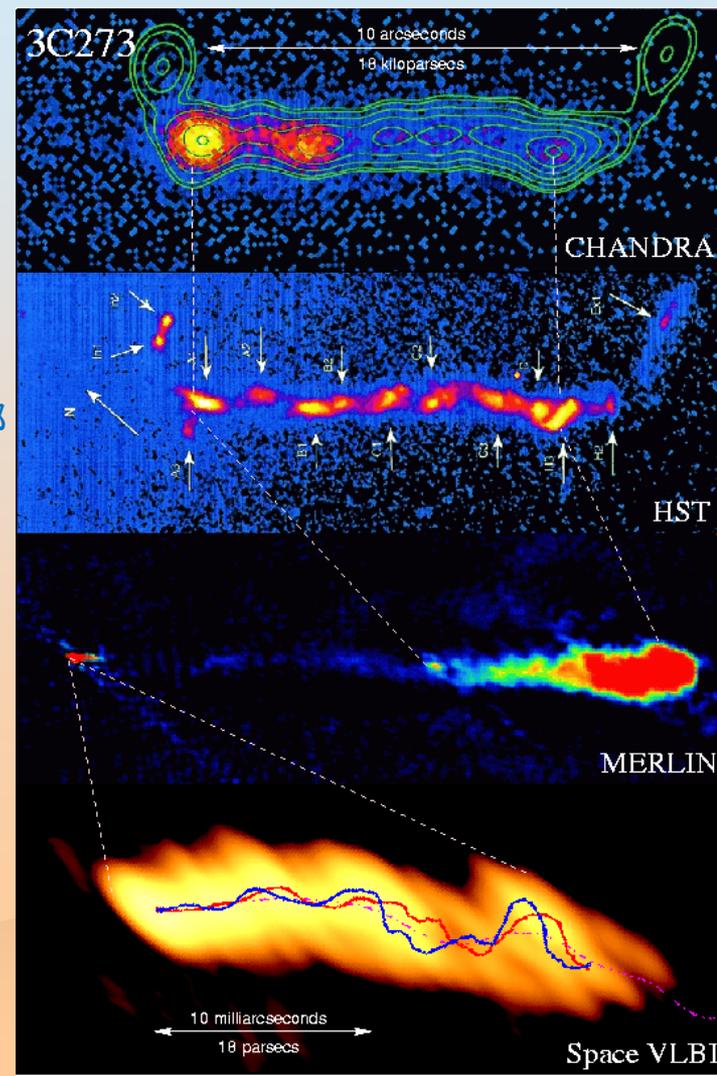
非常に遠方の活動銀河核

多波長で観測したクェーサー3C273のジェット。
 X線(チャンドラ衛星)
 可視光(ハッブル宇宙望遠鏡)
 電波(マーリン干渉計)
 電波(宇宙電波干渉計はるか)

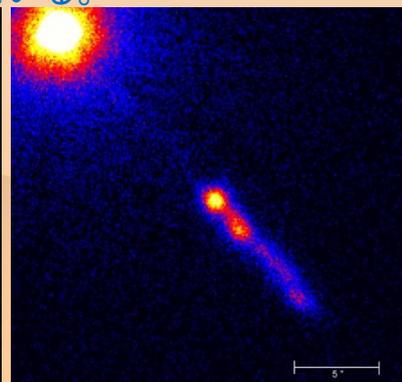
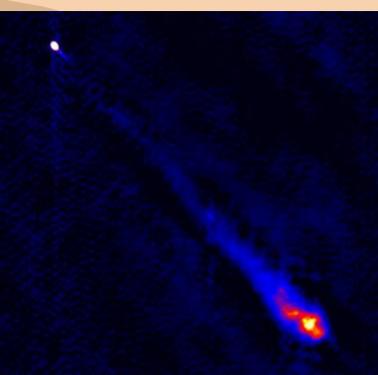
クェーサー

3C273

1番目のチャンドラの画像と2番目のハッブルの画像にはジェットの先端半分程度のほぼ同じ部分が写っている。3番目のマーリンの画像にはだいたいジェットの全体が写っていて、左端の3C273中心核から右方向へジェットが伸びている。一番下のはるか衛星の画像には中心核部分を拡大したものが写っており、数十光年ぐらの領域がみえている。

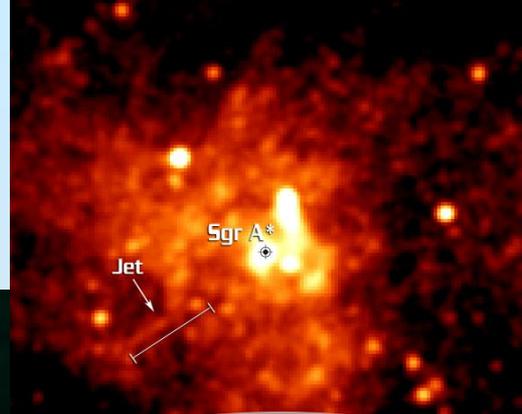


電波・光・X線





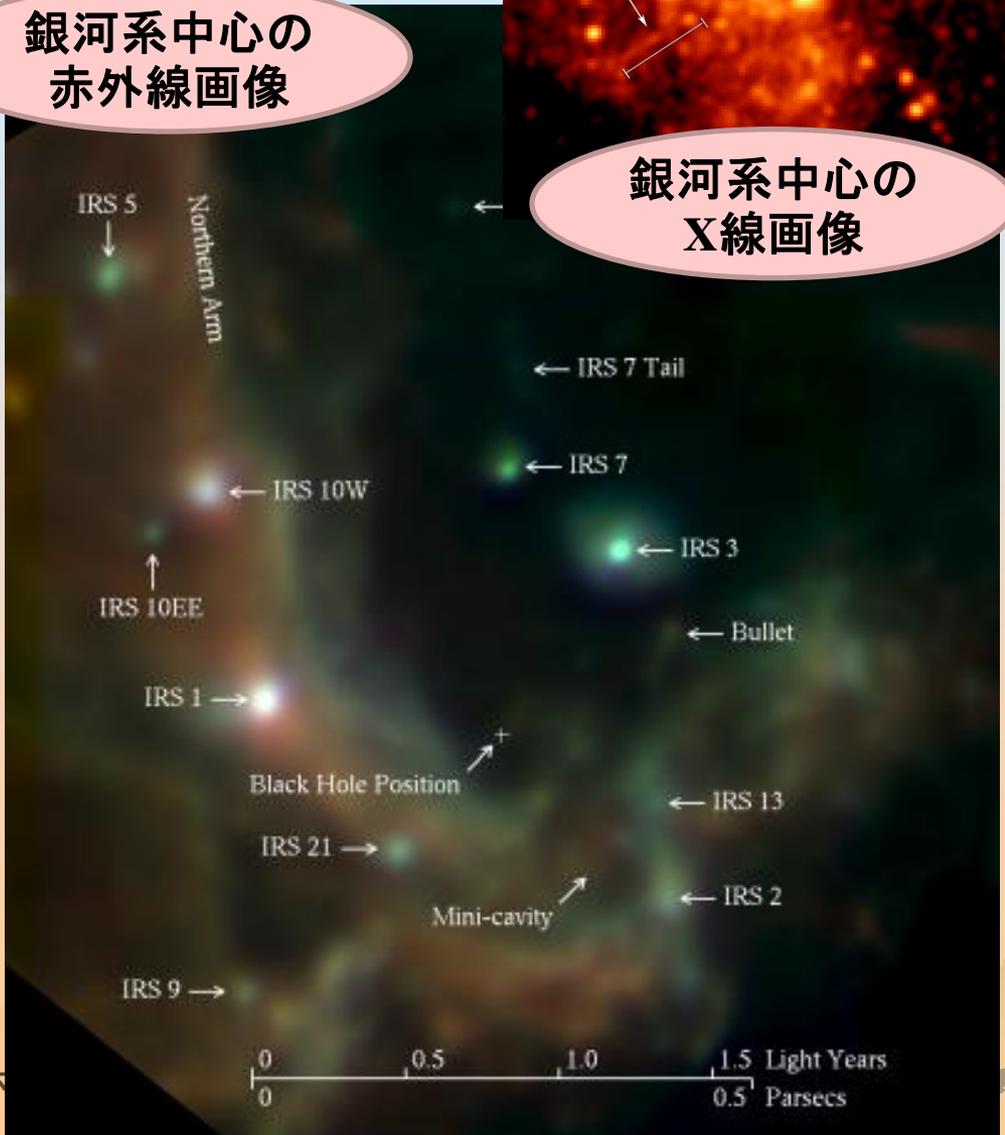
銀河系中心いて座A*



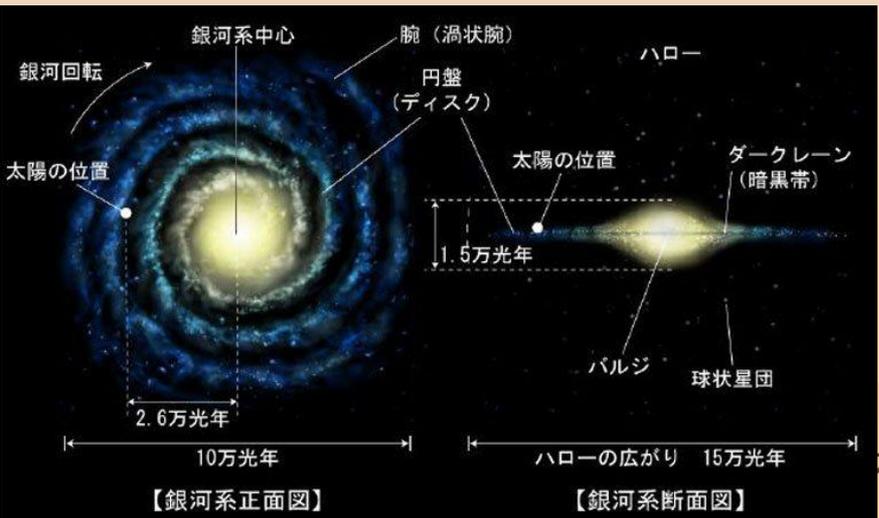
天の川



銀河系中心の赤外線画像



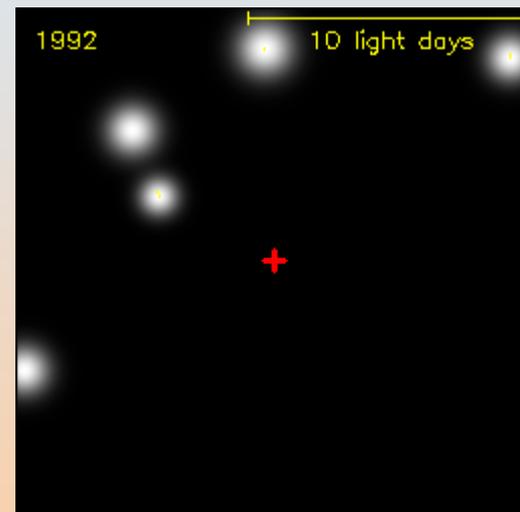
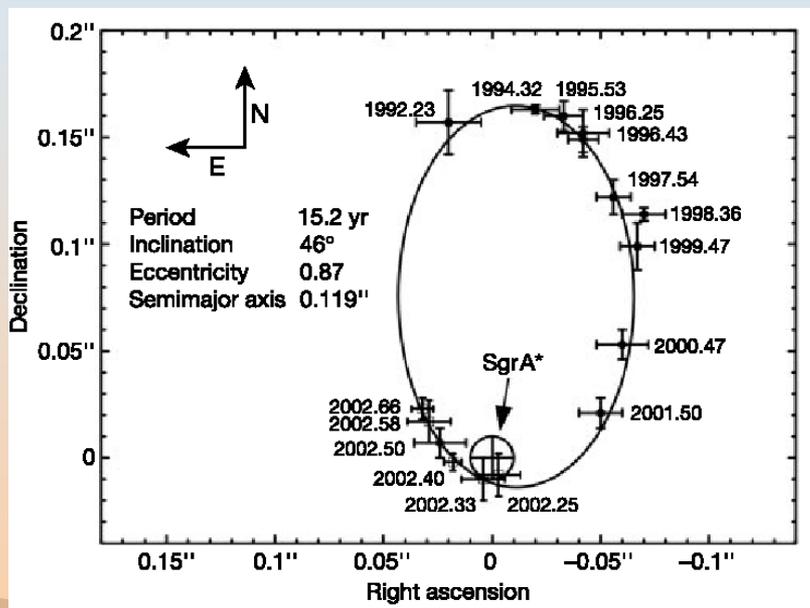
銀河系中心のX線画像





銀河系中心いて座A*

個々の星の運動 (Sgr A*)



太陽の370万倍の質量をもった
モンスターブラックホールの存在

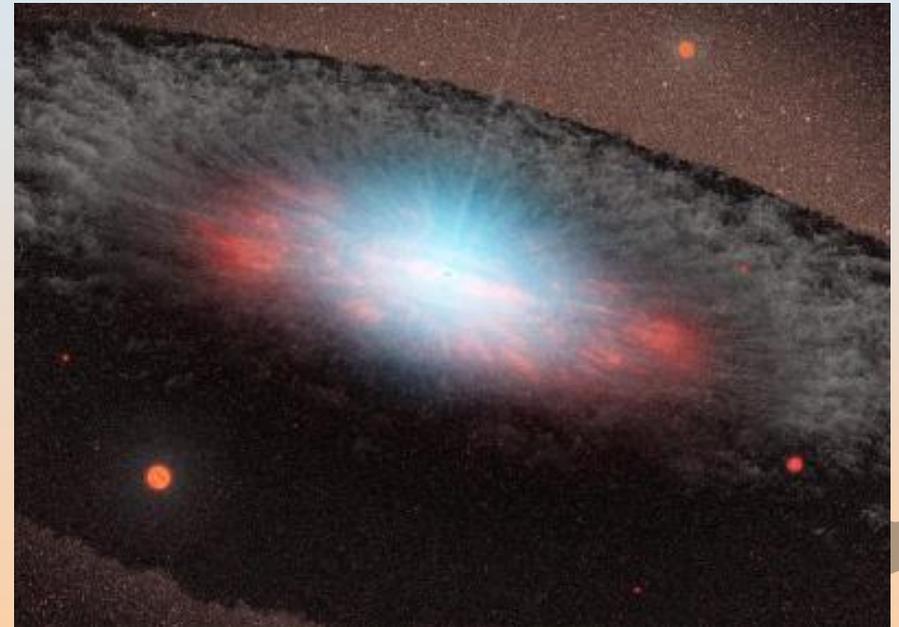




活動銀河の描像

1. 超大質量(モンスター)ブラックホールの存在
2. プラズマガスの降着円盤<BHが? 光輝く>
3. 亜光速のBHジェット<BHから? 吹き出す>

クェーサーや活動銀河核に存在するブラックホール=降着円盤の想像図。活動銀河の中心には巨大ブラックホールが存在し、その周囲には光り輝くプラズマガスの円盤(降着円盤)が渦巻いている。ブラックホール近傍からはしばしば、高温プラズマガスのジェットが吹き出ている。図の差し渡しは1光年程度で、ブラックホールの大きさはその10万分の1程度。





3 X線星とマイクロクエーサー ブラックホール連星



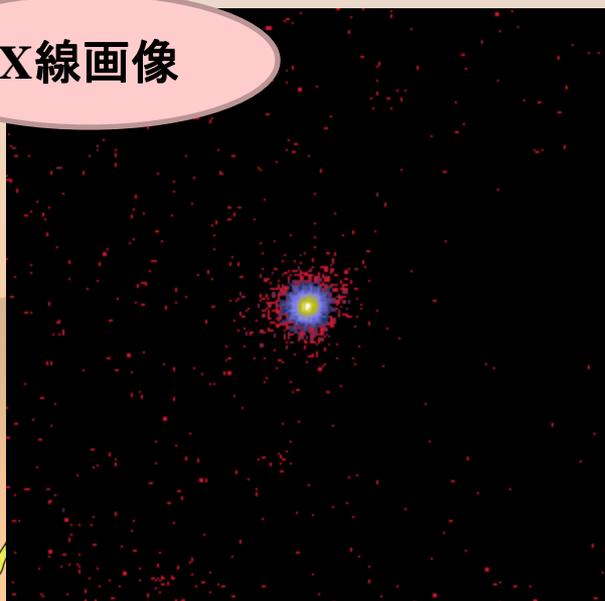
はくちょう座X-1の発見

Cygnus X-1 (Cyg X-1): はくちょう座X線源第1番
9等星

ブラックホールと同定(1971年)

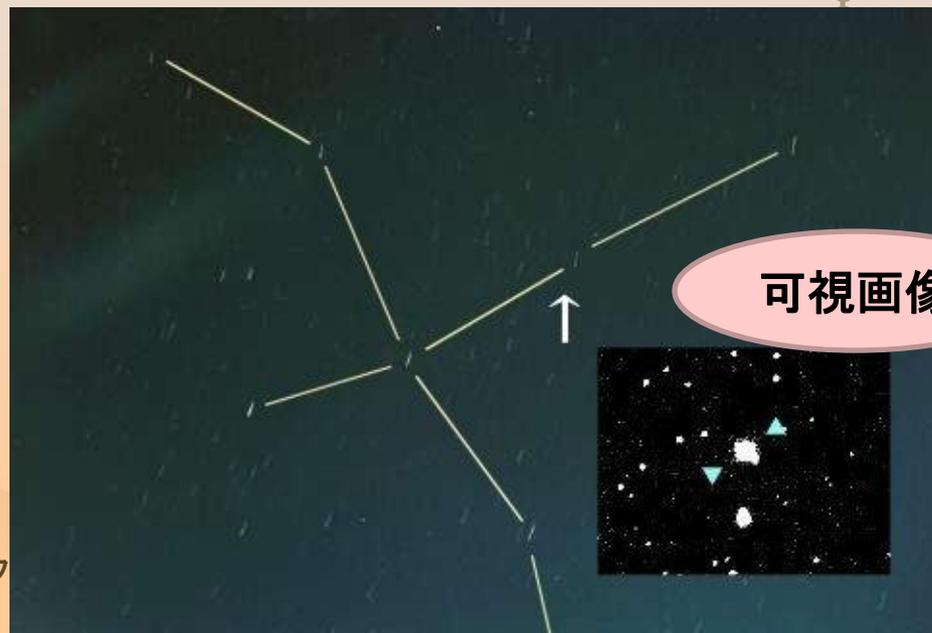
O9Iab型恒星HD226868+ブラックホール

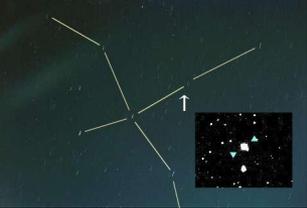
X線画像



ブラック

可視画像





はくちょう座X-1 質量



❁ はくちょう座X-1は連星



❁ 光では伴星しか見えない

❁ 公転周期 = 5.6日

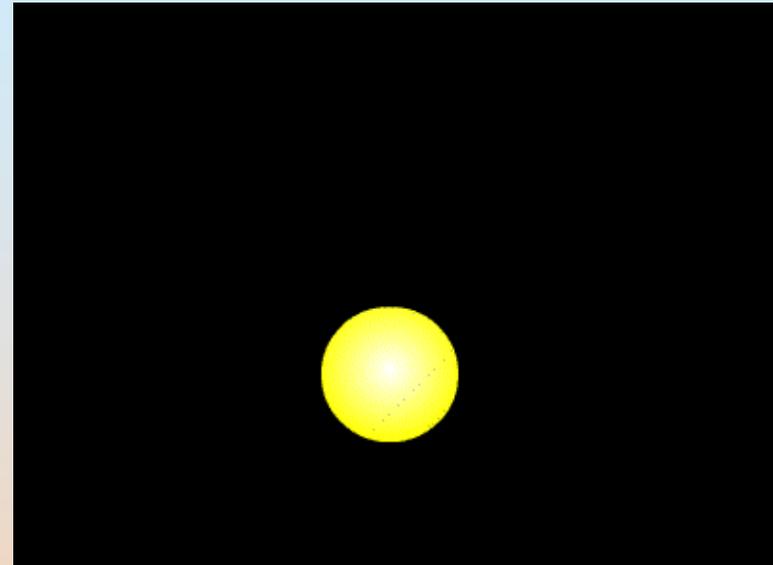
❁ 伴星 ~ 30太陽質量

❁ **見えない星 ~ 10太陽質量**

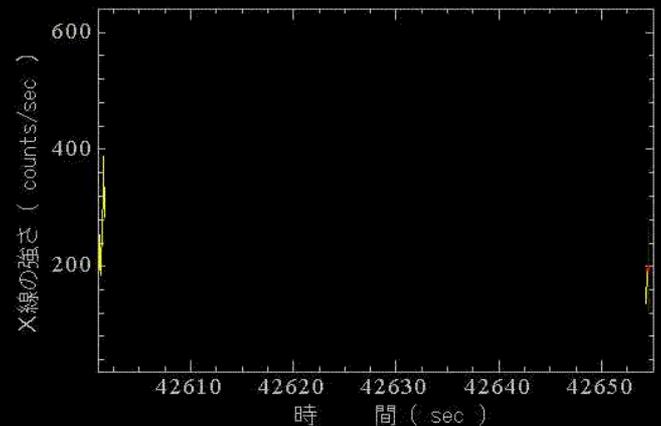


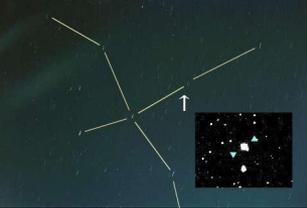
2011/7/11

ブラックホール活動天体



Cyg X-1

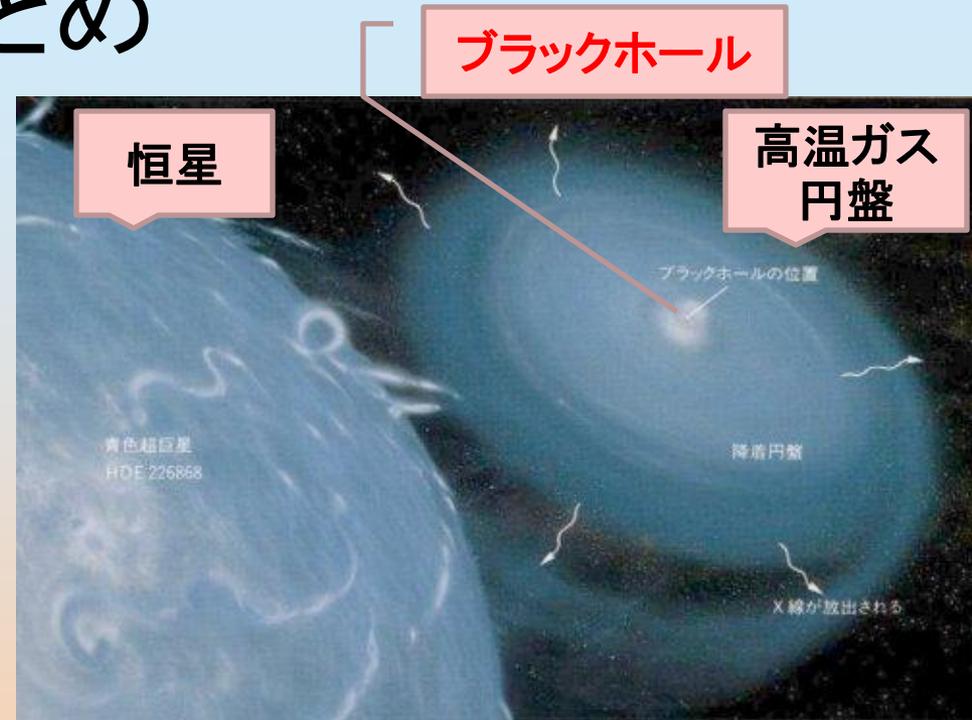




はくちょう座X-1 まとめ

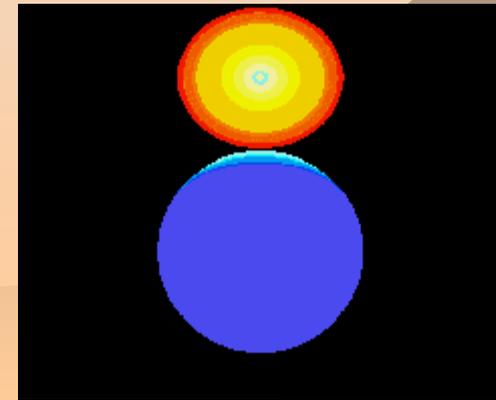


O9Iab型恒星HD226868(
約 $30M_{\odot}$) + ブラックホール
(約 $10M_{\odot}$)



❁ ブラックホール (black hole)

Wheelerが命名 (1967)

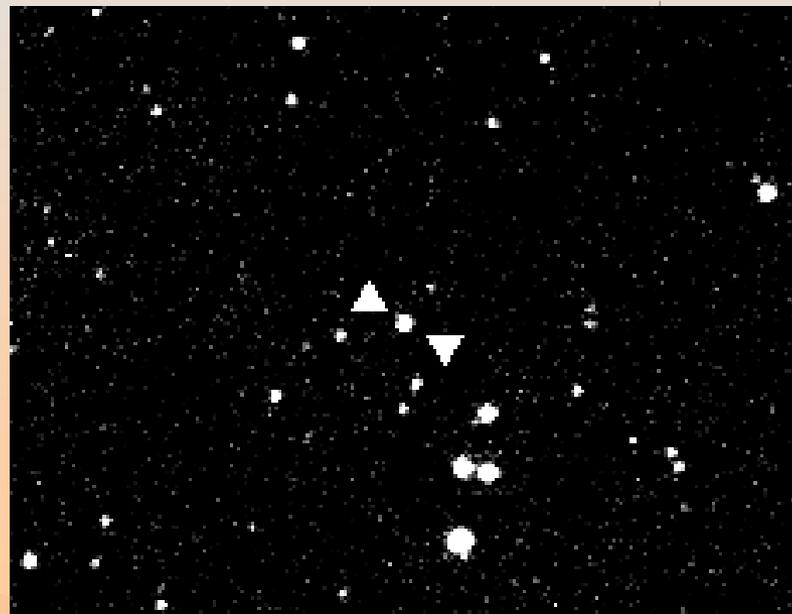
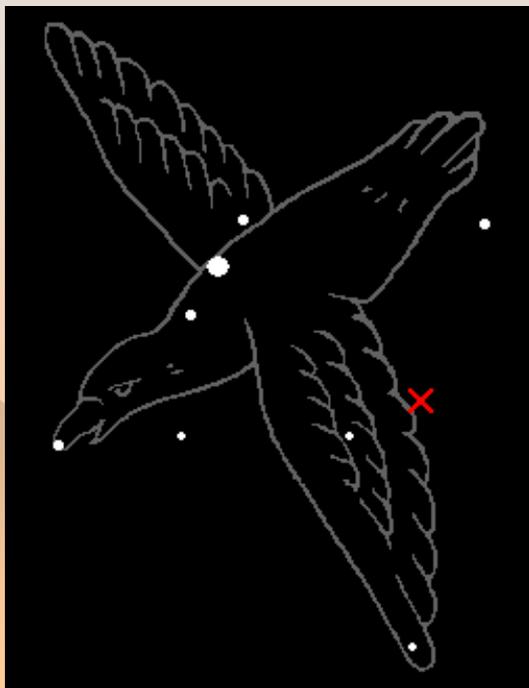




特異星SS433の発見

SS433 : Stephenson-Sanduleakカタログ433番
14等星

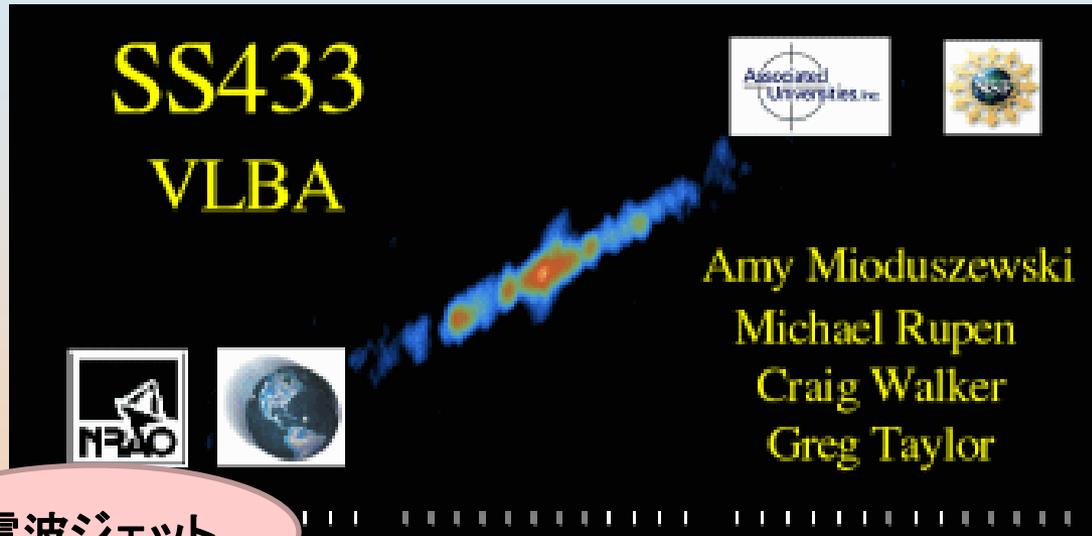
奇妙なスペクトル (Margon et al. 1984)



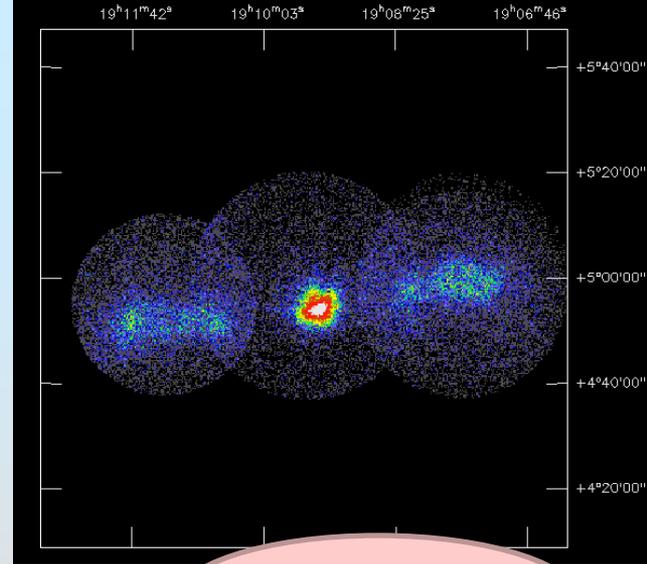


特異星SS433 ジェット

✿ コルク抜きパターン

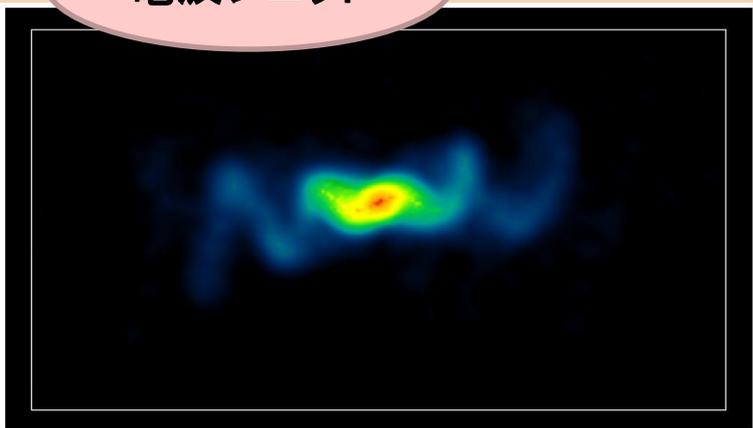


電波ジェット



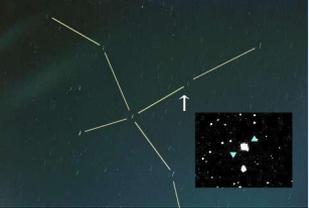
X線ジェット

X線衛星ぎんがの撮像した特異星SS433のジェット (<http://www-cr.scphys.kyoto-u.ac.jp/>)。光速の26%もの速度で星間空間に突入したジェットガスと、星間物質との間の摩擦によって、ガスが高温になりX線を放射していると想像されている。



電波で観測したSS433ジェットの Corkスクリューパターン (<http://www.nrao.edu/pr/2004/ss433corkscrew>)。SS433ジェットは、ある固定軸(歳差軸)のまわりを約20°の頂角をもつ円錐面内で周期163日で、傾いた独楽の軸が振れるような歳差運動をしている。





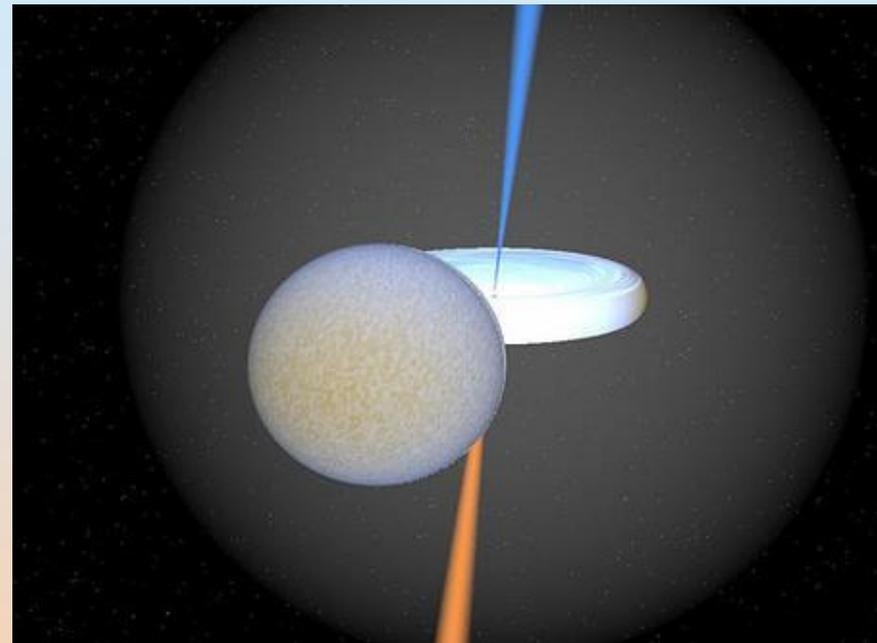
特異星SS433

まとめ



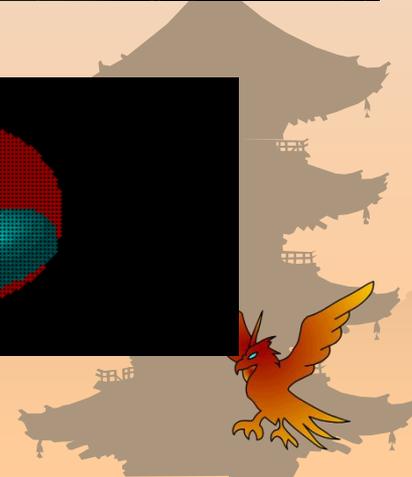
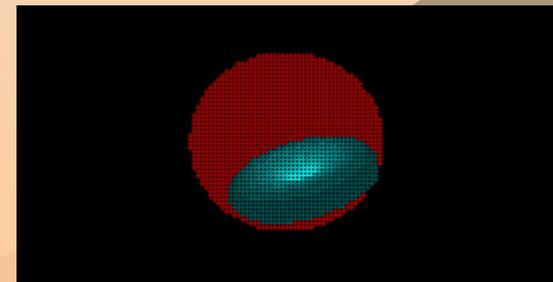
恒星+ブラックホール
亜光速ジェットをもつ

ジェットの速度は光速の
26%!



マイクロクェーサー

ジェットをもつブラックホー
ル連星

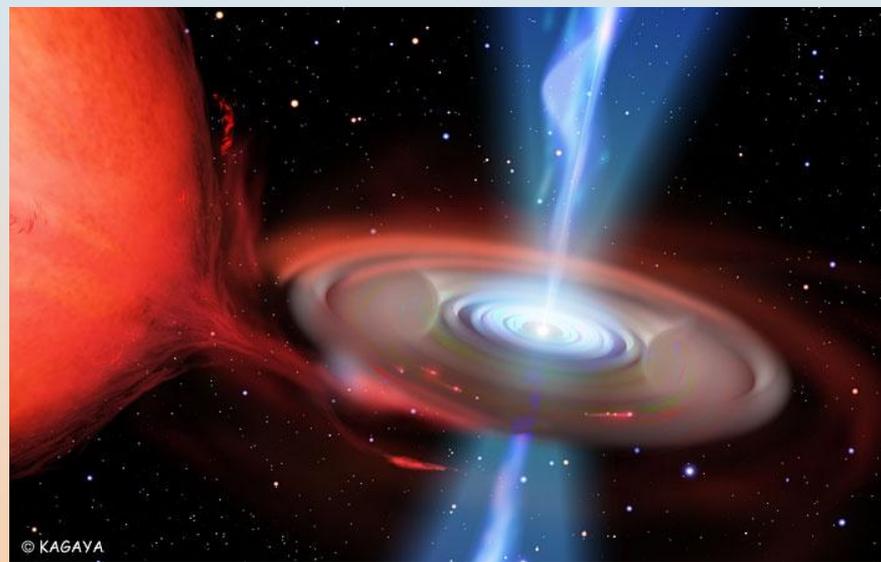




X線星・マイクロク エーサーの描像

1. 恒星ブラックホール
2. プラズマガスの降着円盤<BHが？光輝く>
3. 亜光速のBHジェット<BHから？吹き出す>

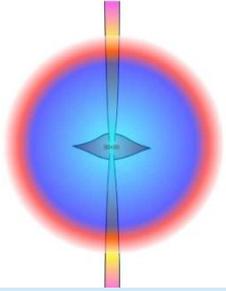
ブラックホールと普通の星からなるブラックホール連星の想像図。ブラックホールの強い重力が伴星のガスを引きずり込んで、ブラックホールのまわりにガス円盤が形成されている。ブラックホール近傍からはしばしば、高温プラズマガスがジェットとして吹き出している。この図の差し渡しは100万km程度で、ブラックホールの大きさはその10万分の1程度。。





4 ガンマ線バースト

宇宙最大の爆発現象



ガンマ線バースト

ガンマ線バースト (gamma-ray burst)
数十秒にわたり、強いガンマ線を放つ
宇宙最大の高エネルギー天体現象

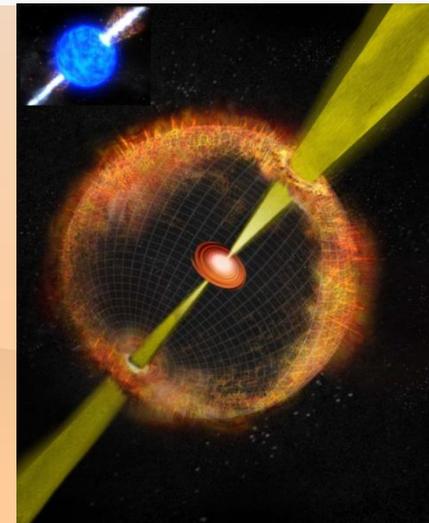
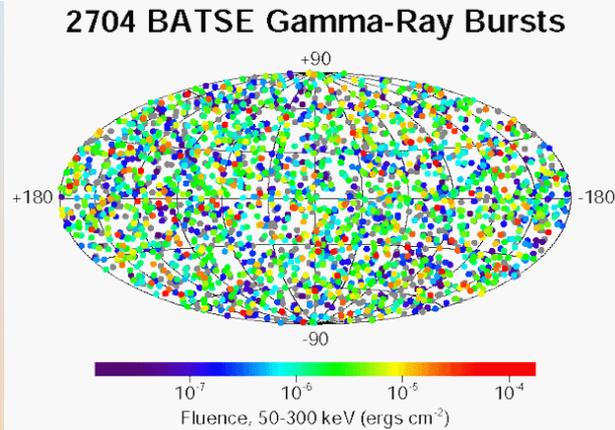
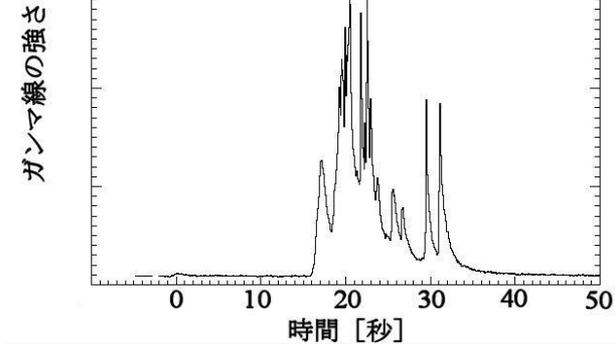
ファイアボールエンジン

速度は光速の99.99%！！

大質量星の崩壊に伴い、ほぼ光速で膨張するファイアボールが吹き出す

コンプトン衛星／BATSEで検出した数千例のGRB (NASA)。赤ほど明るく青ほど暗いが、どれも全天で一様に分布している。

ブラックホール近傍でできたファイアボールが非球対称に膨張し、重力崩壊する星の外層を貫いて、光速の99.99%のジェットが吹き出している (NASA)。



5 ブラックホールエンジン 重力発電所





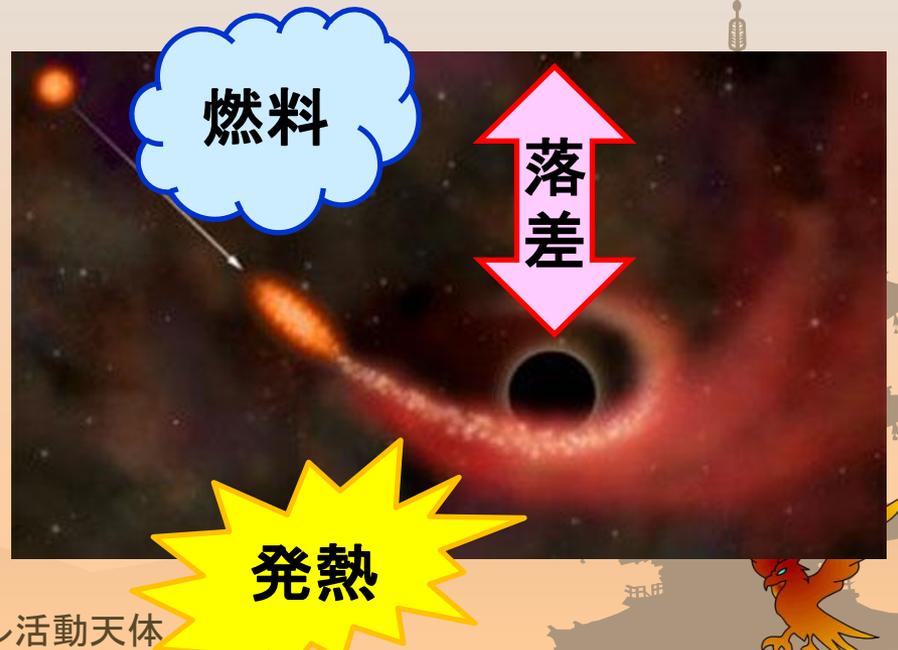
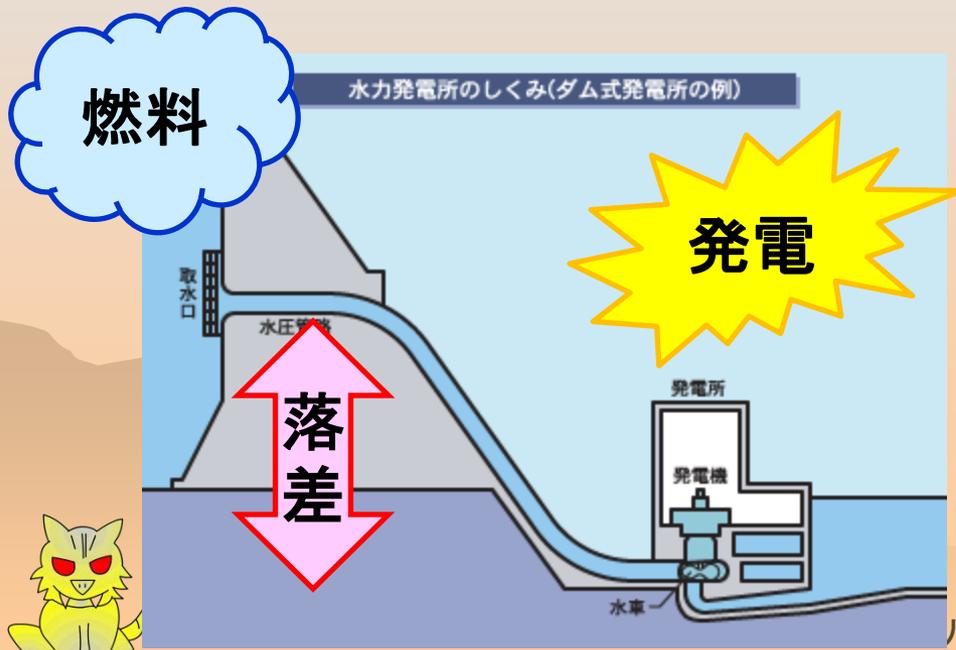
ブラックホールエンジン 宇宙の重力発電所

❁ 地上の水力発電所

1. ダムが落差を作る
2. 水が燃料になる
3. 落差を落ちて発電

❁ 宇宙の重力発電所

1. BHが落差を作る
2. 水素ガスが燃料になる
3. 落下でエネルギー発生

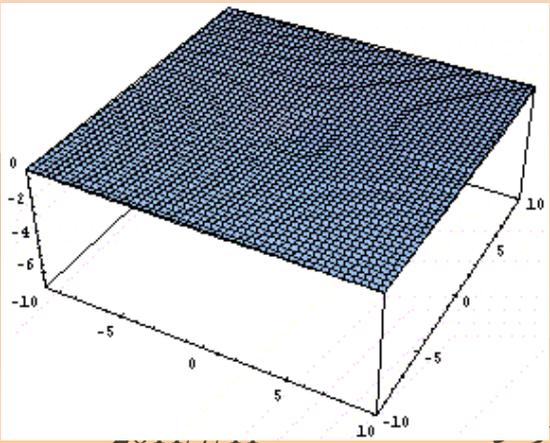
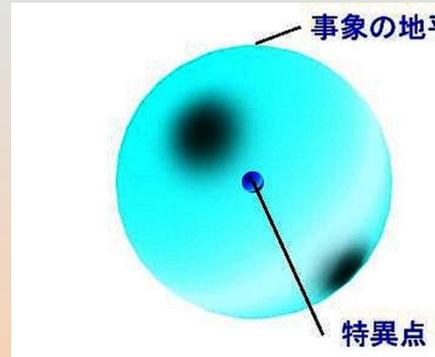




ブラックホール

- ニュートン力学
→天体の脱出速度が光速を超えてしまい、光でさえ出て来られなくなった天体。
- 一般相対論
→天体の重力が強すぎて空間の曲がりが大きくなり、光でさえ空間の曲がりの中に閉じ込められるようになった天体。

- 事象の地平面(ブラックホールの境界面)
- 特異点

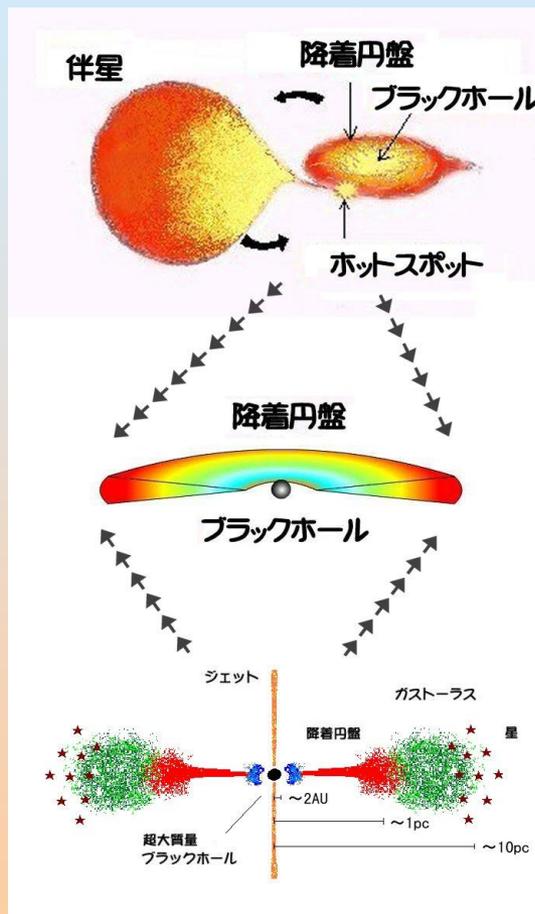
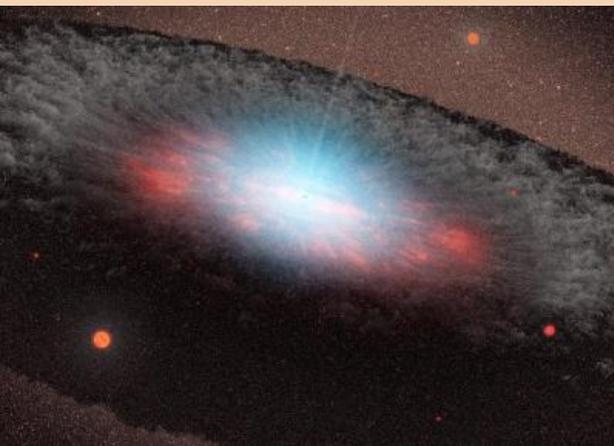
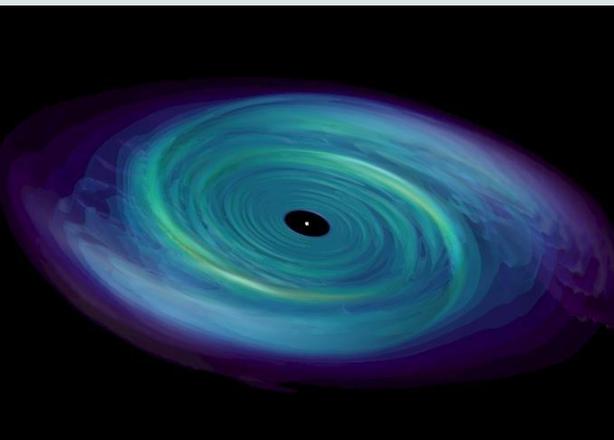
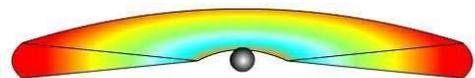


• 宇宙で一番単純な天体





降着円盤



原始星・白色矮星・中性子星・ブラックホールさらに超巨大ブラックホールなど、重力天体に周囲から降り積もったガスによって、重力天体のまわりに形成された回転ガス円盤を**降着円盤 (accretion disk)**と呼ぶ。

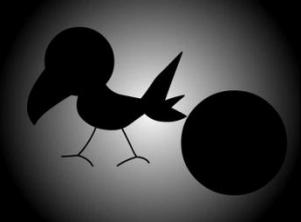
原始惑星系・激変星・X線星・活動銀河など、宇宙における活動的な天体において、その活動の中心的な役割をになっていると考えられている。

そして降着円盤は、しばしば活動天体の強烈なスペクトルや活動天体から噴出するジェットの起源になっていると信じられている。



6 ブラックホールシャドー

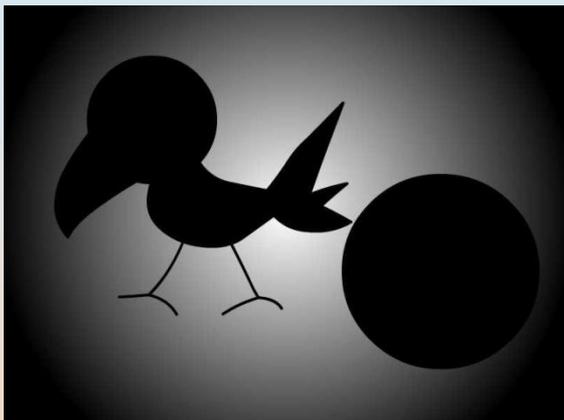
KozuchA



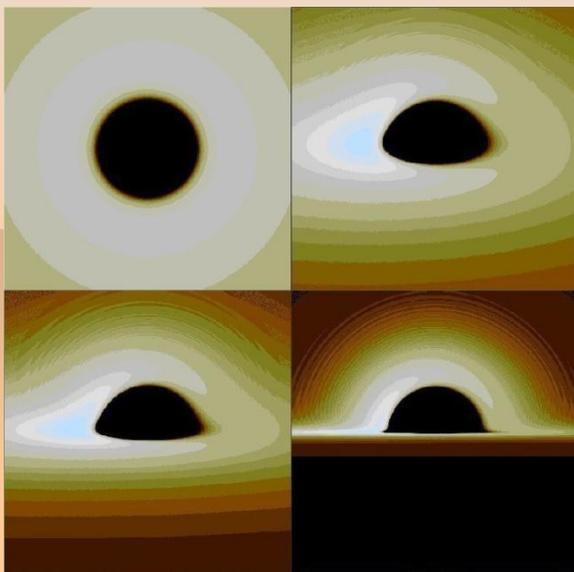
ブラックホールシャドー 闇夜のカラスを見る方法



❁ 闇夜のカラスを見る方法

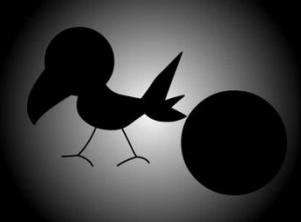


❁ ブラックホールは光でさえ出てこられない天体だ。だから観ることはできないような気がするが、決してそうではない。光り輝く衣を纏うことによって、ブラックホールのシルエットを見ることが可能になる。それを**ブラックホールシャドー (black hole shadow)**と呼ぶことがある。



ブラックホールのシルエット。見る角度が違う。

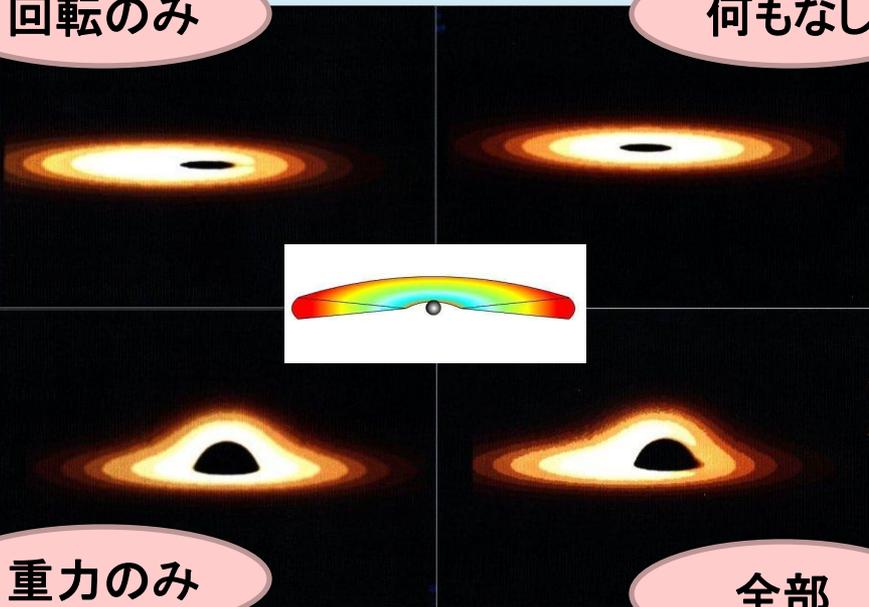




歪むシャドー

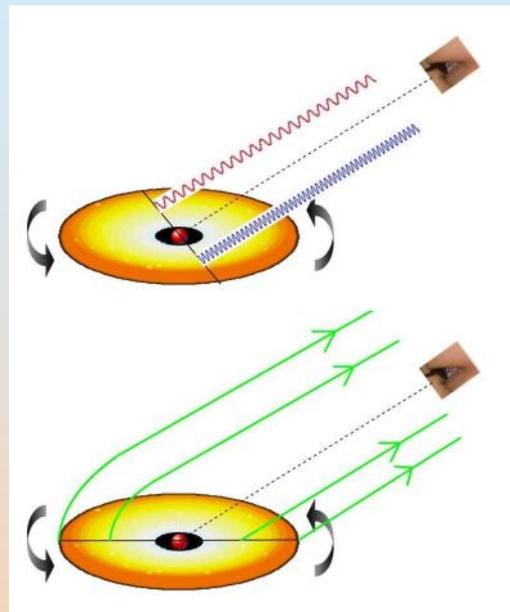
回転のみ

何ものなし



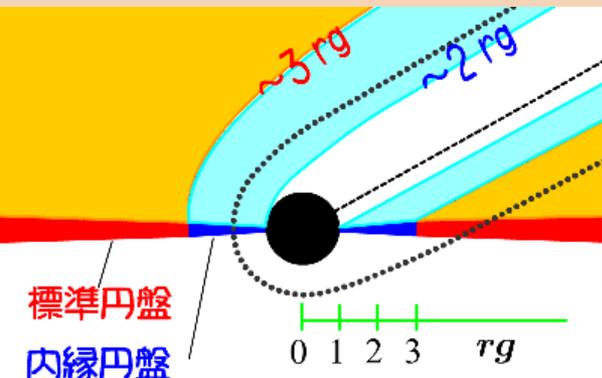
重力のみ

全部



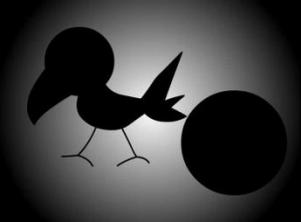
ドップラー効果

光線の曲がり



ブラックホール＝降着円盤の姿が歪んで見える理由は2つある。まず円盤のガスはブラックホール近傍では光速近くのスPEEDで回転しているため、手前に近づく側のガスから出た光は非常に強められる(右図の上)。その結果、円盤の画像は左側が明るく見える(左図の左上)。一方、ブラックホール近傍では空間が歪んでいるため、光線が曲げられる(右図の下)。その結果、円盤の画像は向こう側が浮き上がったように見える(左図の左下)。これらの効果が合わさって、いろいろなシルエットになる。





カー・ブラックホール のシャドー



標準円盤中での
回転していないブラックホール



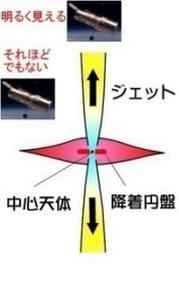
標準円盤中での
最大回転するブラックホール

(c:R高橋)



7 ブラックホールジェット



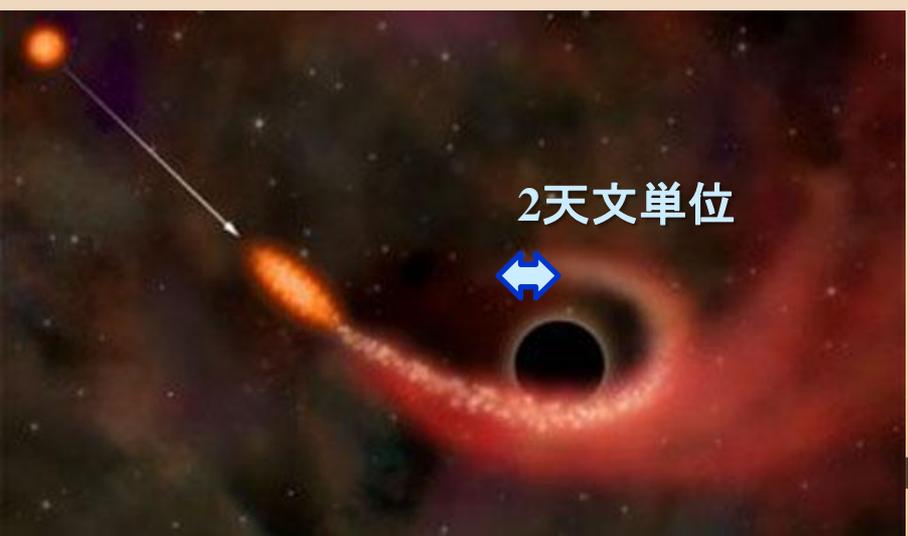


ブラックホールジェット

胃袋は無限だが喉元は有限

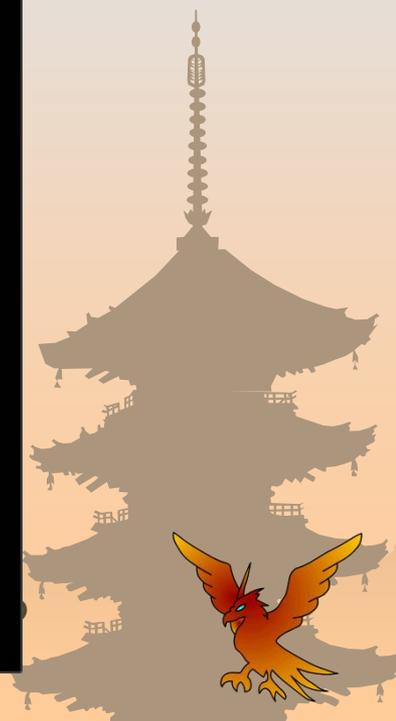
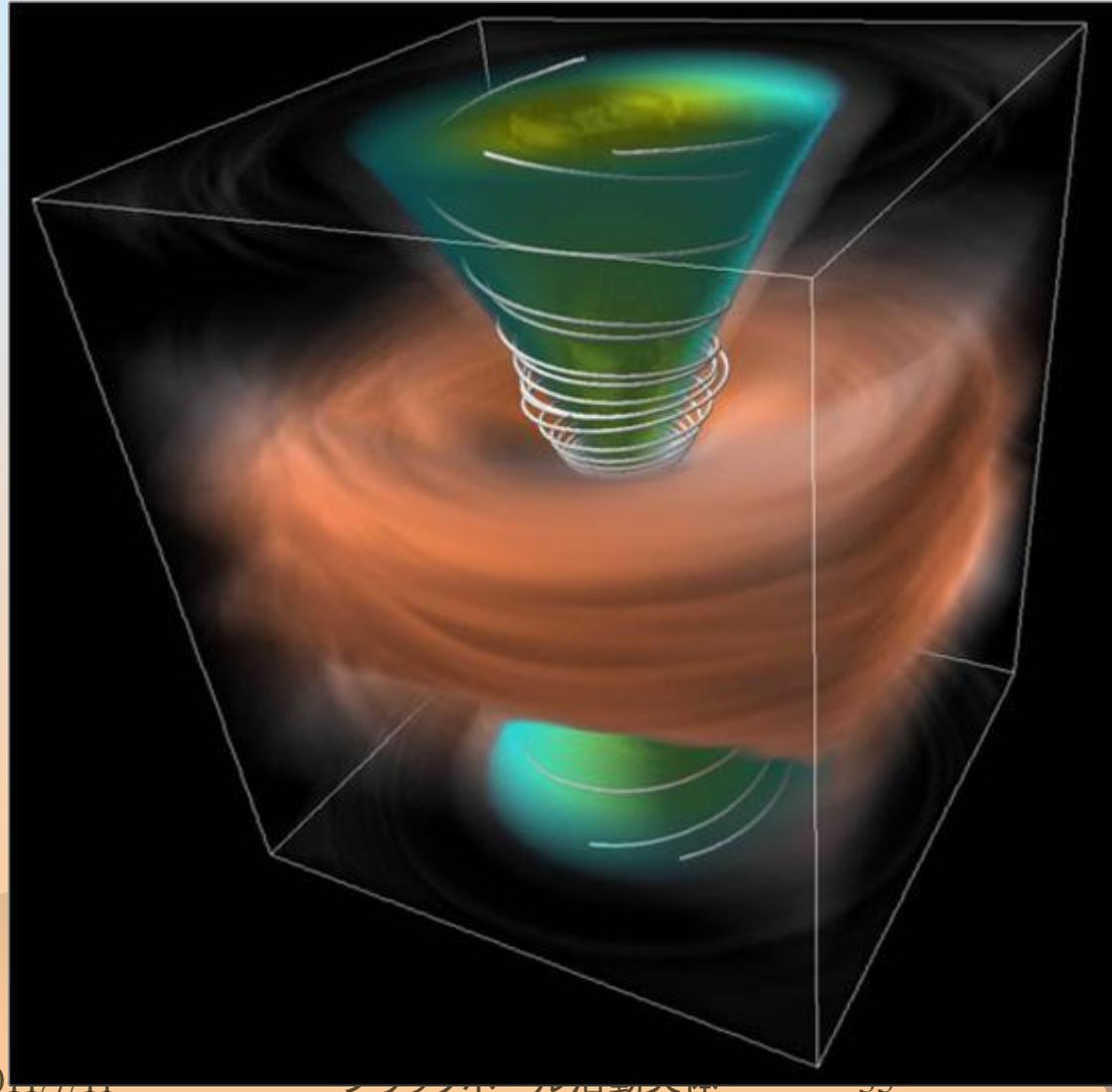
BHの胃袋は底なし
BHの喉元は有限
吸い込みきれないものを
吐き出す→ジェット

- ✿ ブラックホールは物質を吸い込み光輝くだけではない。意外なことに、ブラックホール近傍からは、高温プラズマの噴流が吹き出している。
- ✿ 中心の天体から、天体をはさんで双方向に吹き出す細く絞られたプラズマの流れを、**宇宙ジェット** (astrophysical jet) と呼ぶ。
- ✿ 宇宙ジェットや降着円盤は、重力天体の周辺で生じる動的な段階に伴って現れる**普遍的**な現象だと思われるようになってきている。



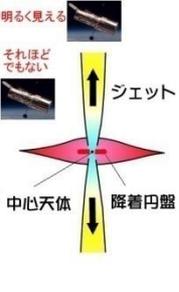


ジェットの作り方

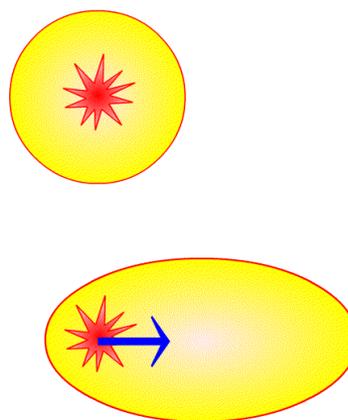
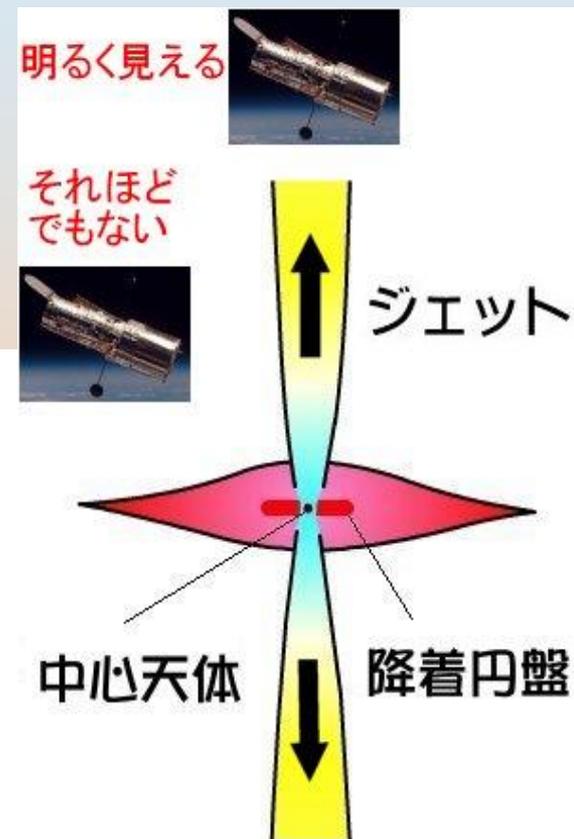




天体は“見た目”が10割



- ❁ 相対論的風 (アウトフロー)
 - アウトフローが光学的に厚い
 - 見かけ上の“**光球 (photosphere)**”
- ❁ 光の伝播への相対論的効果
 - 光行差
 - ドップラー効果
 - 重力赤方偏移
 - 光線の彎曲



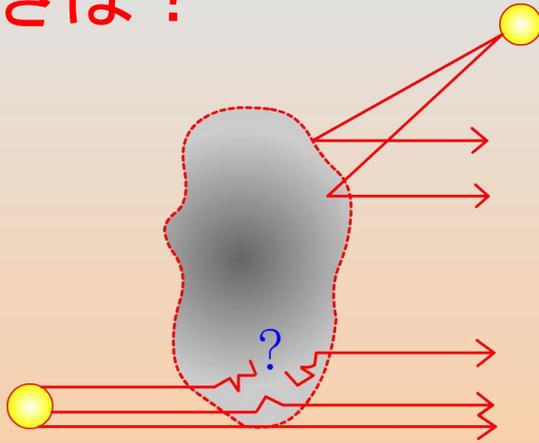
ドップラーブースト。亜光速で吹き出すプラズマジェットを正面から観測すると、非常に明るく観測される。





雲ーガス体ーの“見た目”

- ❁ 半透明なガス体の表面はどこか？
- ❁ 背後から光が透け出てくるときは？



どこで
反射する
のか



どこで
透過する
のか

- ❁ ガスの密度分布や温度分布によって見える場所(深さ)は違う

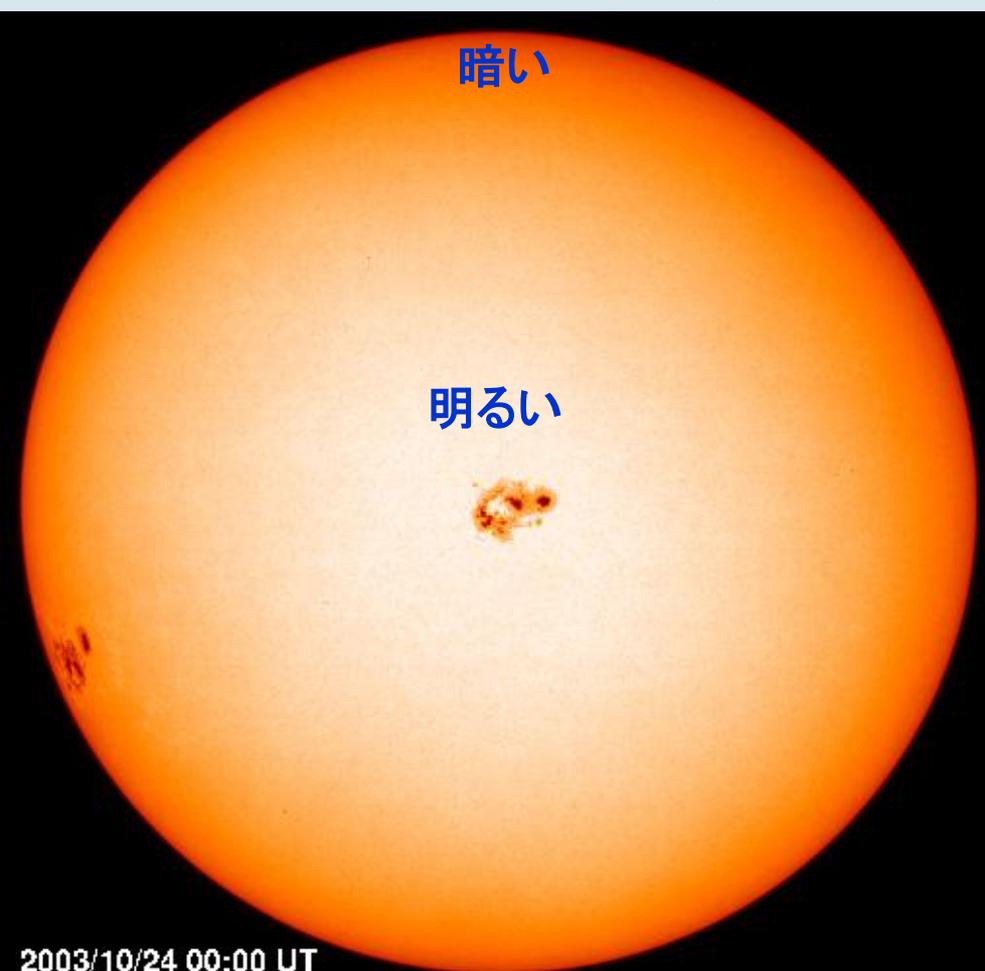




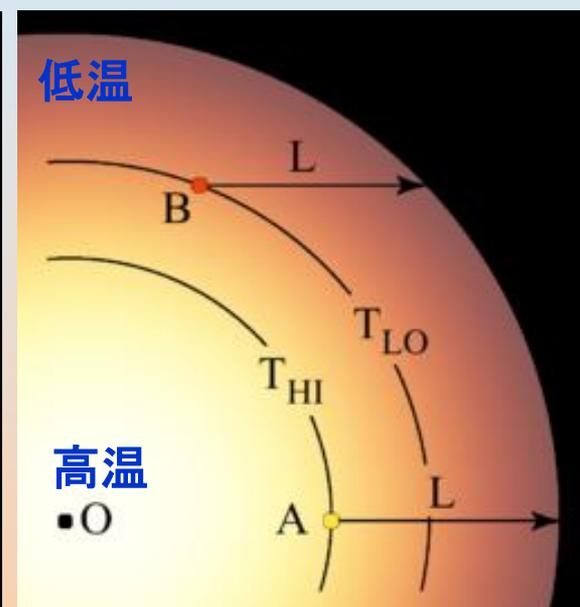
太陽の周縁減光効果



☼ 太陽の正面写真



☼ 太陽の断面図



周縁部
浅い場所
低温
暗い

中央部
深い場所
高温
明るい

☼ どこを視ているのか

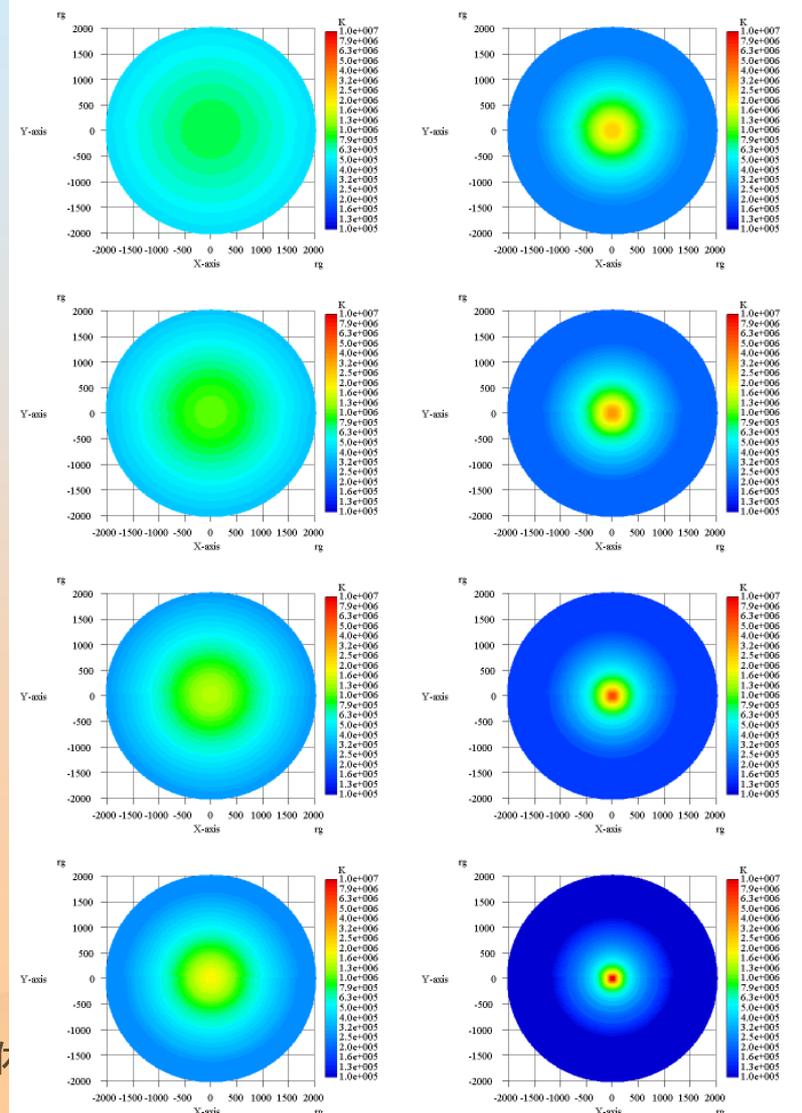
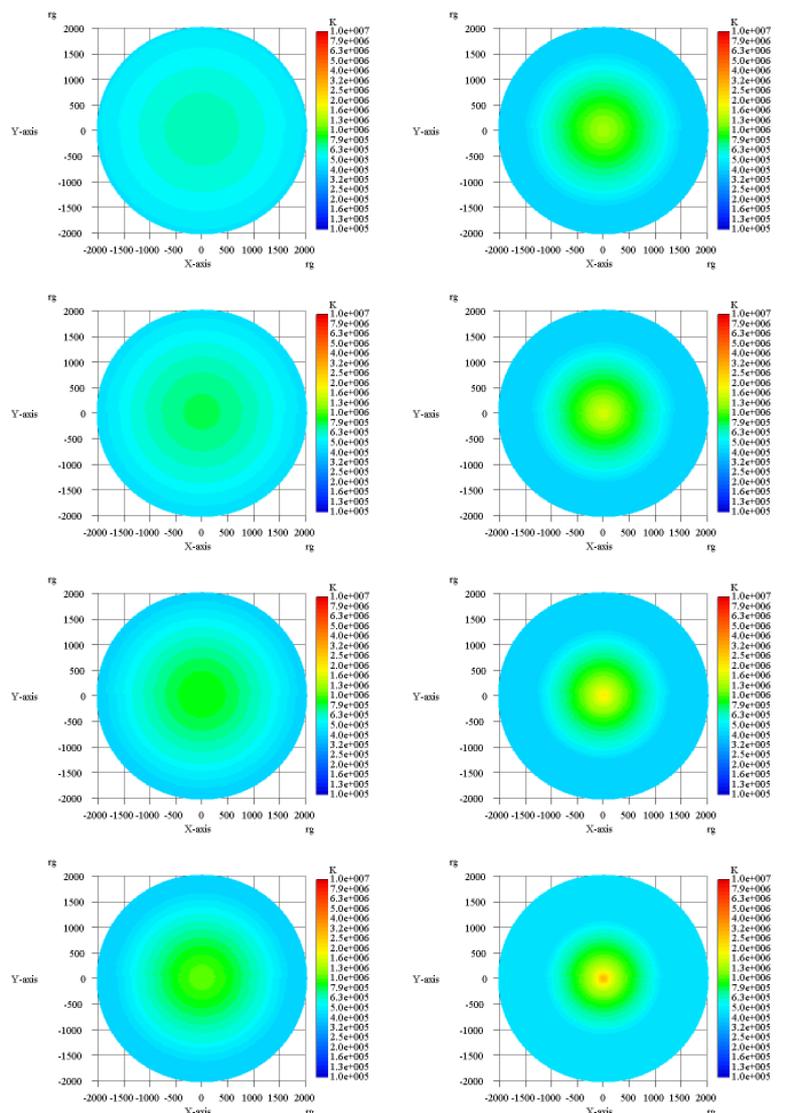




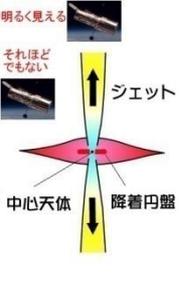
見かけの温度分布

共動系温度

静止系温度



無限遠の観測者から見た光球の温度分布。左側は共動系での、右側は静止系での温度分布。風の速度 β は左上から右下へ0.2, 0.3, ... 0.9である。



ブラックホール風の見え方 まとめ



- ❁ 亜光速ガス流の場合、どこを視ているかを注意深く考えないといけない
- ❁ 相対論的な風では、見かけの光学的厚みが小さくなるので、より深部を視ることになる
- ❁ 観測される温度は、ドップラーブーストによって、中央部は高くなり、周辺部は低くなる。
- ❁ 観測される光度は、全体としては、ドップラーブーストで高くなる



An illustration of a woman with brown hair in a ponytail, wearing a white long-sleeved blouse and a green skirt with yellow buttons. She is looking towards a large, glowing pink celestial body on the left side of the frame. The background is a dark space filled with numerous white stars. The title text is overlaid in the center in a red, stylized font.

9 ブラックホール活動天体 の今後

Kazuchika



ブラックホールシャドー ブラックホールジェット

- **アインシュタインの遺した科学遺産！**
- **遺産を食い潰しているようにみえる**
- **使えば使うほど、遺産も増殖する**
- **使いたい放題！**
- **発掘されていないお宝だらけ！？**
- **大阪教育大学で、一緒に発掘しよう♪**

