



ブラックホール活動天体

- 活動銀河とクェーサー☆**モンスターブラックホール**
 - クェーサー3C273の発見
 - 活動銀河の特徴
 - 活動銀河中心核の描像
- X線星とマイクロクェーサー☆**ブラックホール連星**
 - ブラックホールCyg X-1の発見
 - ブラックホール連星の特徴
 - ブラックホール連星の描像
- ガンマ線バースト☆**宇宙最大の爆発現象**
 - ブラックホールエンジン☆エネルギー源の正体
 - ブラックホールシャドウ☆見えないモノを視る
 - ブラックホールジェット☆黒い穴からのプラズマ噴流

2010/5/22 ブラックホール活動天体 2

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

2010/5/22 ブラックホール

光のスペクトル

電波 赤外線 可視光 X線 ガンマ線

電波 赤外線 可視光 X線 ガンマ線

波長 (オングストローム)

光のスペクトル 連続スペクトル

- 白熱電球
- ホタル

2010/5/22 連続スペクトル

光のスペクトル 線スペクトル

- 蛍光灯
- 星

2010/5/22 線スペクトル

光のスペクトル 水素バルマー線

原子は固有の波長で光を放射する

水素

水銀

ナトリウム

水素ガスが赤い光を出しているパラ星雲

光の波長 (nm)

光のスペクトル ドップラー効果

光源と観測者の間の相対運動によって、観測される光の波長(振動数)が実験室で測定されるものとずれる現象を光のドップラー効果(Doppler effect)と呼ぶ。



1 活動銀河とクェーサー モンスターブラックホール系

クェーサー3C273の発見

3C273: 第3ケンブリッジカタログ
273番登録天体

3C273=13等の‘星’
(Hazard et al. 1962)

クェーサー3C273 スペクトル

3C273 (1963)
シュミット

?!

Maarten Schmidt (1929-) in 1992

クホー

クェーサー3C273 赤方偏移

奇妙なスペクトル線
特別な原子? No!!
水素のスペクトル線だ!

ただし
16%の赤方偏移
→光速の約16%の速度

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0}$$

クェーサー(quasar)
Chiuが命名(1964)

2010/5/22 ブラックホール活動天体 12

クェーサー エネルギーの大きさ

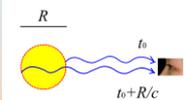
- 3C273
 $z=0.158 \rightarrow 20$ 億光年
 $m=12.8$
 $\rightarrow 10^{40}$ W (典型的な銀河 10^{37} W, 太陽 4×10^{26} W)
- 光度 $L \sim 10^{38-39}$ W
- 寿命 $\tau \geq 10^6$ 年
- エネルギー $E \geq 10^{54}$ J



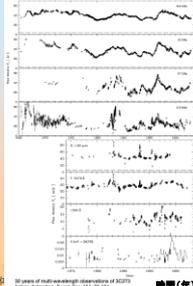
2010/5/22 ブラックホール活動天体 13

クェーサー エネルギー源のサイズ

- $R \leq ct$



- $R \leq 1$ 光日 $\sim 10^{15}$ cm



2010/5/22 ブラックホール活動天体 14

クェーサー エネルギー源

- 核反応
 $\eta=0.007$
 $E=0.007Mc^2$
太陽が1億個必要
- 重力エネルギー
 $\eta \sim 0.1$ (0.057 ~ 0.42)
 $E=GM^2/R$
太陽の1億倍のBH


 星
 原子核
 エネルギー


 人
 化学
 エネルギー


 降着天体
 重力
 エネルギー

重力エネルギーが本質的

2010/5/22 ブラックホール活動天体 15

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 \rightarrow



2010/5/22 ブラックホール活動天体

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)

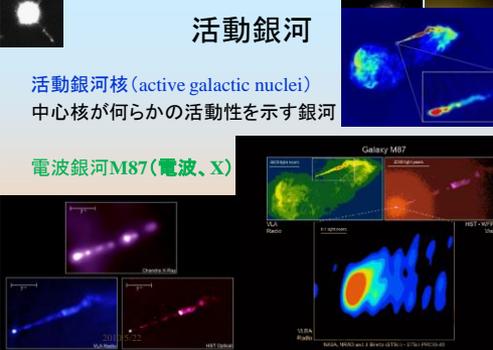


2010/5/22 ブラックホール活動天体

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 (電波、X)



2010/5/22 ブラックホール活動天体

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(NGC128 (<http://physics.gmu.edu/~rms/astro113/myimages/cenacomp.jpg>)).

右上:可視光では、赤道面が歪の多いガスで覆わ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の目玉がわかる。

左上:X線では、二つの目玉の方向に細く伸びるジェットが写っている。

2010/5/22

クエーサー

クエーサー(quasar) 非常に遠方の活動銀河核

多波長で観測したクエーサー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(マウナケア射電望遠鏡)
電波(宇宙電波干渉計によるもの)

**クエーサー
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の程度のほぼ同じ部分が写っている。1番目のマウナの画像には、1番目のジェットの全体が写っている。左側の3C273中心核から右方向へジェットが伸びている。一番下のはるかに衛星の画像には中心核部分も写ったものが写っており、数十光年ぐらいの規模がわかってる。

電波・光・X線

2010/5/22

銀河系中心いて座A*

天の川

銀河系中心の赤外線画像

2010/5/22

銀河系中心いて座A*

* 個々の星の運動(Sgr A*)

Ghez et al., 2000

2010/5/22 ブラックホール活動天体 22

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

2010/5/22

活動銀河 まとめ

Objects	Type	<i>d</i>	<i>M</i>
stellar dynamics			
Sgr A* / The Galaxy	Sbc	0.0085	3.7×10^6
M 31	Sb	0.7	3×10^7
M 32	dE	0.7	2×10^6
NGC 3115	S0	8.4	1×10^8
NGC 4594	Sa	9.2	5×10^7
NGC 3377	E	9.9	8×10^7
gas dynamics			
M 87	cD	15.3	3×10^9
NGC 4261	E	31.6	5×10^8
water maser			
NGC 4258/M 106	Sbc	7.5	4×10^7
NGC 1068	Sy	16	2×10^7
NGC 4258	Sy	7.2	4×10^7
IC 2560	Sy	38	3×10^6

2010/5/22 ブラックホール活動天体 24

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>

クエーサーや活動銀河核に存在するブラックホール=降着円盤の中心部、近傍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、高エネルギーガスのジェットが放射されている。星の雲は星は:光年単位で、ブラックホールの大きさはその10万分の1程度。

2010/5/22 ブラックホ

2 X線星とマイクロウェ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日(1971年)
 O9Iab型恒星HD226868+ブラックホール

X線画像

可視画像

2010/5/22

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

2010/5/22 ブラックホール活動天体

はくちょう座X-1 質量

- 質量関数

$$f(M) \equiv \frac{(M_x \sin i)^3}{(M_x + M_2)^2} = \frac{PK_2^3}{2\pi G} = 10^{-7} \frac{P}{d} \left(\frac{K_2}{\text{km s}^{-1}} \right)^3 M_{\odot}, (1.27)$$

- もし $M_x > 2-3M_{\odot}$ ならば
- ブラックホール!

2010/5/22 ブラックホール活動天体

はくちょう座X-1 質量

- $K_2=75\text{km/s}$
- $f(M)=0.241M_{\odot}$
- $M_2 \sim 30M_{\odot}$
- $M_x \sim 10M_{\odot}$

$$f(M) \equiv \frac{(M_x \sin i)^3}{(M_x + M_2)^2} = \frac{PK_2^3}{2\pi G} = 10^{-7} \frac{P}{d} \left(\frac{K_2}{\text{km s}^{-1}} \right)^3 M_{\odot}, (1.27)$$

2010/5/22

はくちょう座X-1 X線時間変動

- 時間変動が不規則でカオス的

2010/5/22 ブラックホール活動天体 31

はくちょう座X-1 X線スペクトル

- High state / soft state
- Low state / hard state

ブラックホール連星はくちょう座X-1のX線スペクトル図。横軸はX線のエネルギー(振動数に比例する)で、縦軸はX線の強度。いろいろな状態のものがあるが、X線強度で強いエネルギー放射があることがある。

2010/5/22 ブラックホール活動天体 32

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)

Elements	Values	Ref.
Optical counterpart	V = 39/49.7lab	
Distance d	2 kpc	
Binary period P	5.6017 d	1
Ephemeris T_0 (2 440 000+)	1860.17 d	1
Semi-amplitude K	75.0 km s ⁻¹	1
Mass function $f(M)$	0.241 ± 0.013 M_{\odot}	
Inclination angle i	27°-35°	2
Ellipticity e	< 0.1	3

2010/5/22 ブラックホール活動天体 33

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)

2010/5/22 ブラックホール活動天体 34

特異星SS433 スペクトル

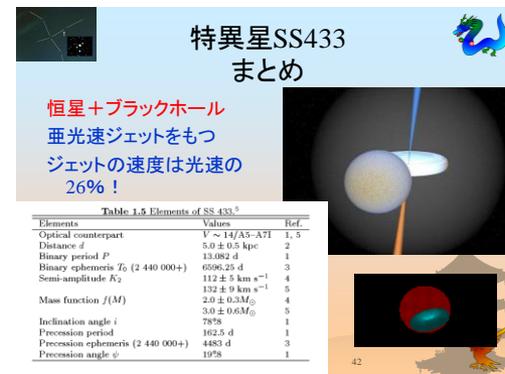
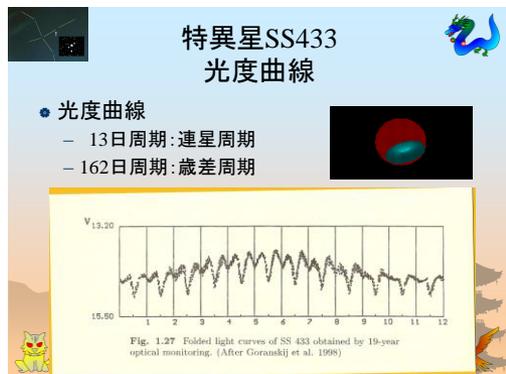
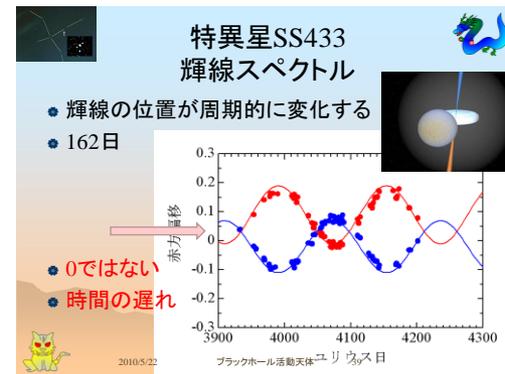
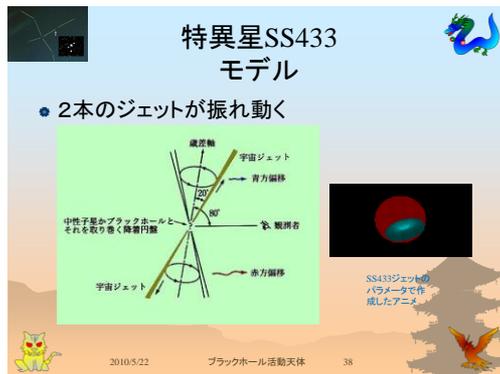
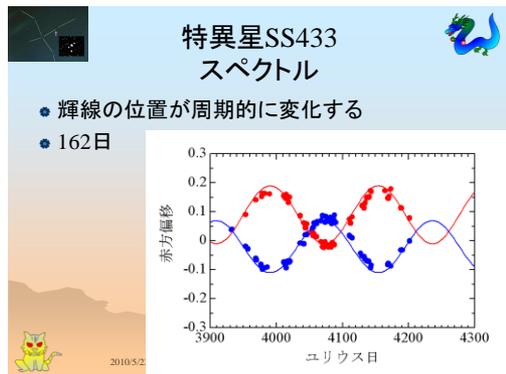
- 奇妙なスペクトル線

2010/5/22 ブラックホール活動天体 35

特異星SS433 スペクトル

- 動くスペクトル線

2010/5/22 ブラックホール活動天体 36



ブラックホールX線連星

ブラックホールX線連星 (black hole X-ray star)
 ブラックホールを含む連星で
 X線領域で激しく活動をしている

2010/5/22

マイクロクェーサー

マイクロクェーサー (microquasar)
 亜光速ジェットをもったブラックホール連星

GRS1915+105
 速度は光速の92% !!

電波で撮像したマイクロクェーサー GRS 1915+105
 (http://universe-review.ca/B08-17-microquasar.gif) 異なる時間に撮られた4つの画像が上から下に並べてある。中心の電波源から隣の左下に電波源が移動しているのがわかる。

2010/5/22

BH連星+マイクロクェーサーまとめ

Source	$M_c [M_\odot]$	$P [d]$	$f(M) [M_\odot]$	$d [kpc]$	Companion
HMXBs					
Cyg X-1	≥ 9.5	5.6	0.244 ± 0.005	2.0 ± 0.1	O9.7Iab
SS 433	~ 9.0	131	3.0 ± 0.6	5.0 ± 0.5	A5/A7I
LMC X-3	5.9-9.2	1.70	2.3 ± 0.3	50 ± 2.3	B5V
LMC X-1	4.0-10.0	4.23	0.14 ± 0.05	50 ± 2.3	O7III
LMXBs					
GRO J0422+32	3.2-13.2	0.21	1.19 ± 0.02	2.6 ± 0.7	M2V
A 0620-003 [†]	8.7-12.9	0.325	2.72 ± 0.06	1.2 ± 0.1	K4V
1009-45	6.3-8.0	0.28	3.17 ± 0.12	5.0 ± 1.3	K7/M0V
1118+480	6.5-7.2	0.17	6.1 ± 0.3	1.8 ± 0.5	K5/M0V
GS 1124-684 [†]	6.5-9.2	0.43	3.01 ± 0.15	5 ± 1.3	K3/K5V
1543+475	7.4-11.4	1.13	0.25 ± 0.01	7.5 ± 0.5	A2V
1550-564	8.4-10.8	1.54	6.86 ± 0.71	5.3 ± 2.3	G8/K8IV
GRO J1655-40	6.0-6.6	2.62	2.73 ± 0.09	3.2 ± 0.2	F3/F5IV
H1705-25	5.6-8.3	0.52	4.86 ± 0.13	8 ± 2	K3/7V
1819-25	6.8-7.4	2.82	3.13 ± 0.13	$7.4-12.3$	B9III
GRS 1915+105	≥ 10.0	33.5	9.5 ± 3.0	11-12	K/MIII
GS 2000+25	7.1-7.8	0.35	5.01 ± 0.12	2.7 ± 0.7	K3/K7V
GS 2023+338*	10.1-13.4	6.47	6.08 ± 0.06	2.2-3.7	K0III

2010/5/22

マイクロクェーサーの描像

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描像。ブラックホールの強い重力が伴星のガスを引き寄せ、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、高温プラズマガスがジェットとして吹き出している。この際の噴出しは100万km/s程度で、ブラックホールの大きさはその10万分の1程度。

2010/5/22

3 ガンマ線バースト

宇宙最大の爆発現象

2010/5/22

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

Short GRB/Long GRBの2種類

宇宙論的天体 (1991年)
 10⁴³Jを超えるエネルギー

コンプトン衛星 / BATSEで検出した数千例のGRB (NASA)。表層で明るく青緑色に近いが、中心を天で一緒に分布している。

2010/5/22



ガンマ線バースト

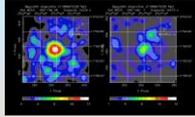


残光の発見 (1997年)

可視光の追観測

~100億光年

GRB970508は70億光年

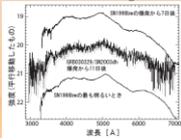


BeppoSAX衛星がX線で捉えたオリオン座のガンマ線バーストGRB970228の残光 (http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/object/grbs/grb970228.html)。左は1997年2月28日のバースト時で、右は3月3日で随分と暗くなっている。

極超新星との関連 (2003年)

GRB030329/SN2003dh

SN2003dhとSN1998bwを比較したスペクトル。GRB030329の残光を連続観測している中で出現してきたので、GRB030329と超新星SN2003dhの関係が明白に示された。



2010/5/22

ブラックホール活動天体



ガンマ線バースト



コンパクトネス問題

相対論的火の玉の膨張

(Rees&Meszaros 1992年)

ファイアボールエンジン

(Paczynski 1986年)

速度は光速の99.99%！！

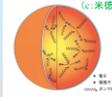
大質量星の崩壊に伴い、ほぼ光速で膨張するファイアボールが吹き出す

初期の放射のエネルギー密度がバリオン

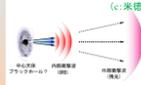
のエネルギー密度の γ 倍あれば、最終

的なローレンツ因子 γ となる。

大量のガンマ線光子を狭い領域に閉じ込めると、電子-陽電子対を作り出す。ガンマ線は電子や陽電子に衝突して散乱し、外部へ抜け出せない。



超高速の放射体—相対論的火の玉—がX線を出している。相対論的効果のために、観測者は早い時間変動をするガンマ線として検出する。



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、重力圏を越える層を貫いて、光速の99.99%のジェットが吹き出している (NASA)。



2010/5/22

ブラックホール活動天体

