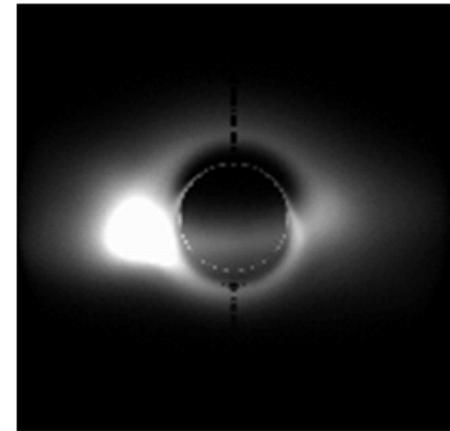
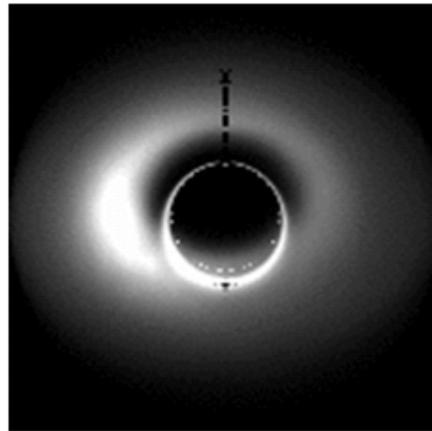
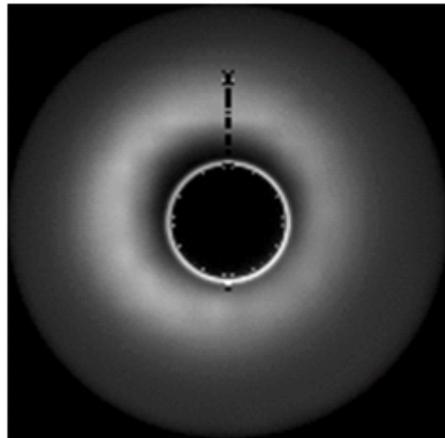
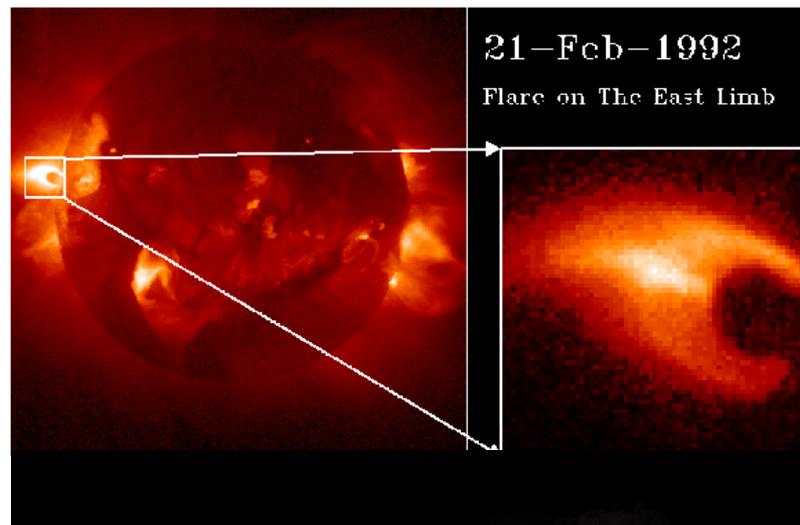


# ブラックホールを探る

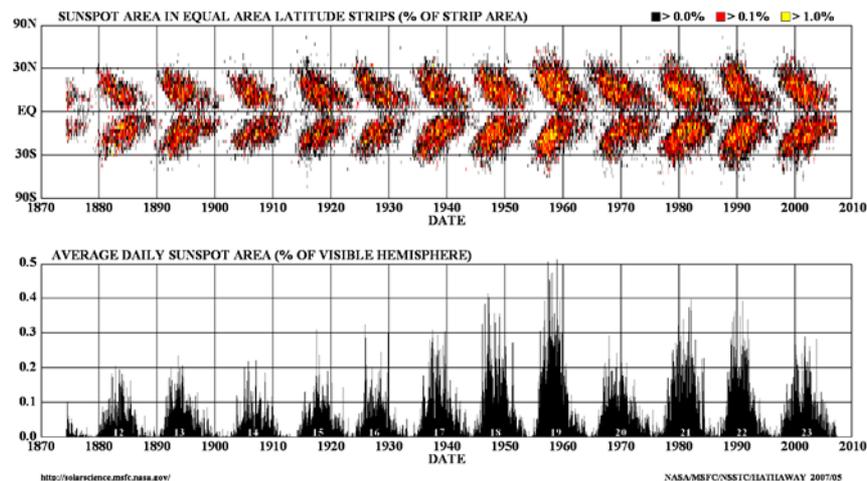


千葉大学大学院理学研究科  
ハドロン宇宙国際研究センター  
松元亮治

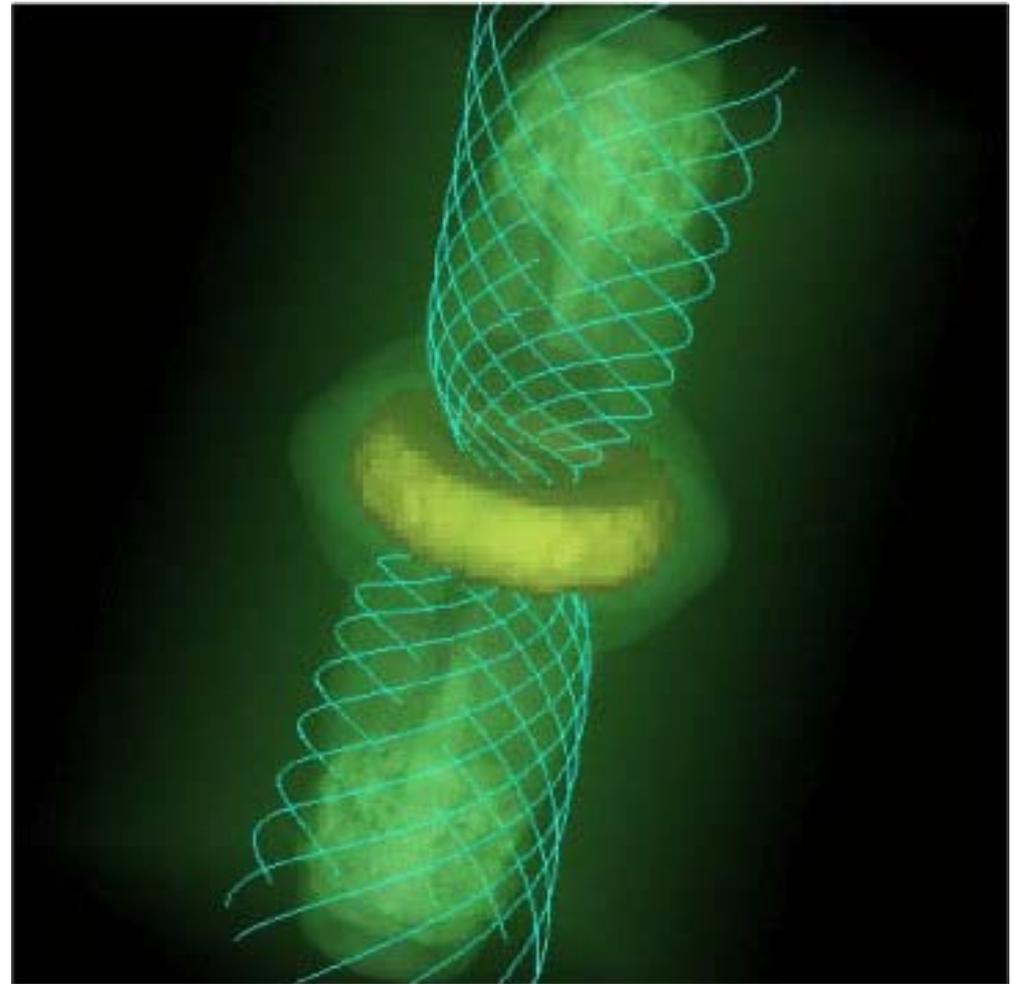
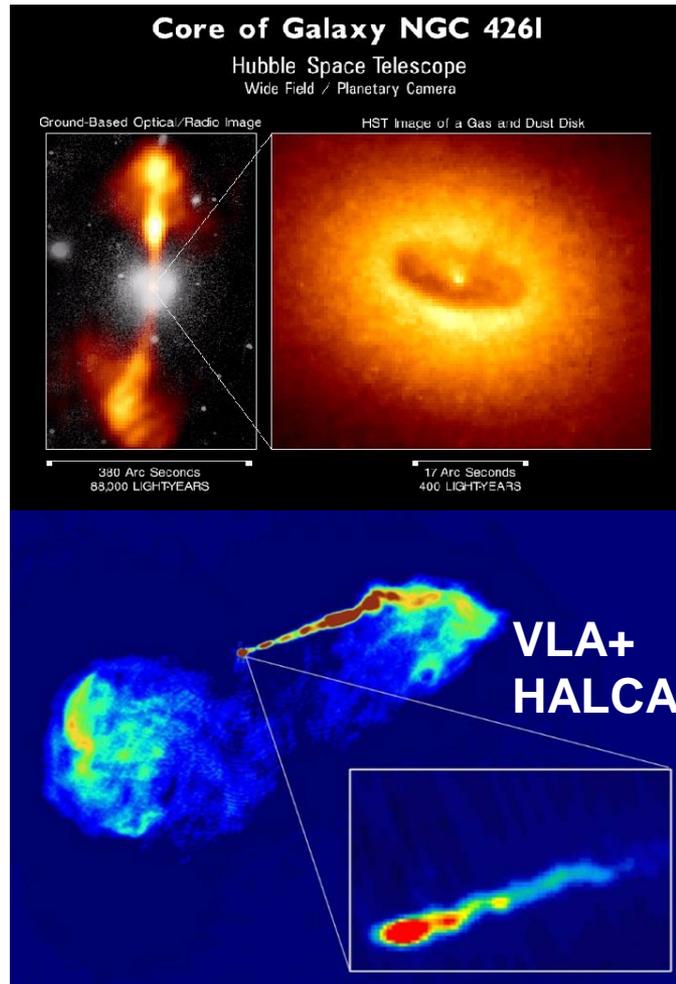
# 宇宙は思いもよらない活動性に満ちている



DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS

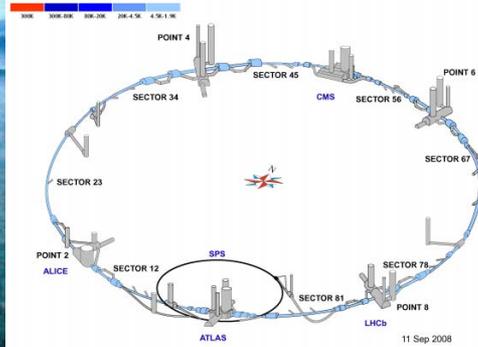


# 宇宙ジェットのコピュータシミュレーション

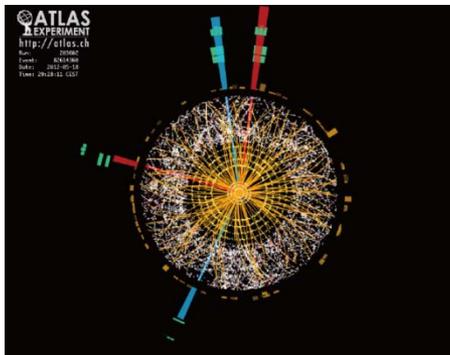


活動銀河中心から噴出するジェット シミュレーション結果。密度分布と磁力線

# 宇宙の巨大加速器はどこに？

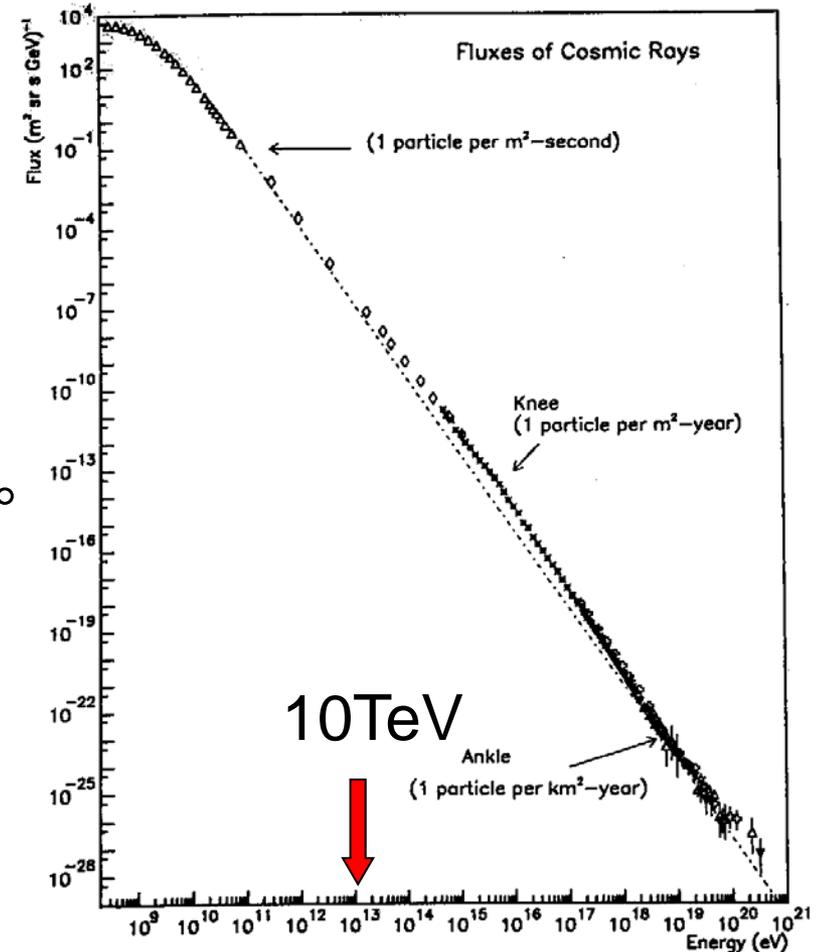


大型ハドロン加速器：CERNのLHC  
陽子を7TeVまで加速して衝突させる。  
2012年7月にHiggs粒子発見を発表



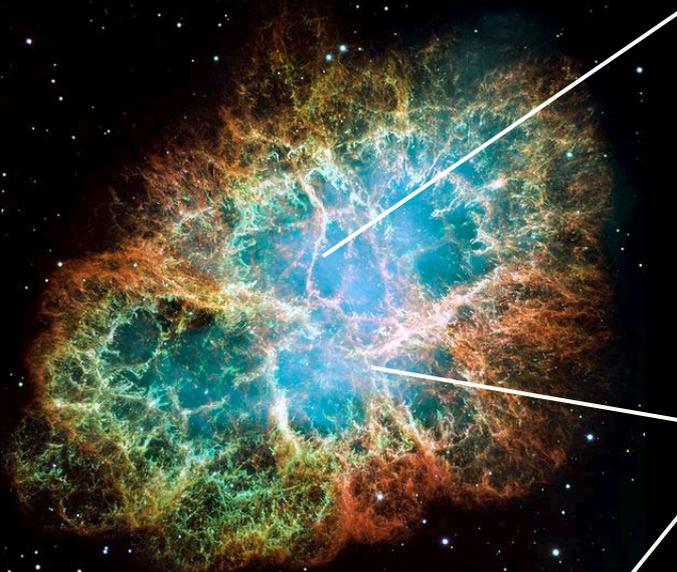
Higgs粒子の崩壊と考えられる事象

## 粒子数



宇宙から降り注ぐ粒子(宇宙線)

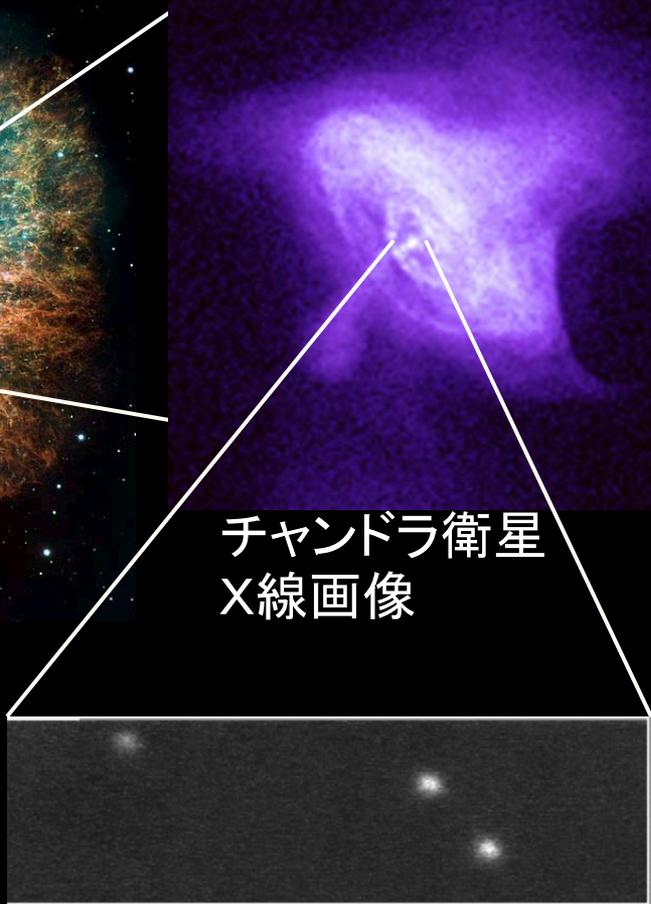
# 超新星爆発とその残骸



かに星雲

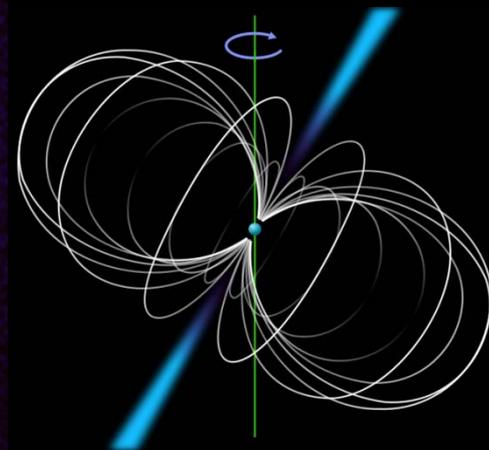
おうし座にある

1054年に爆発



チャンドラ衛星  
X線画像

Cambridge University  
Lucky Imaging Group

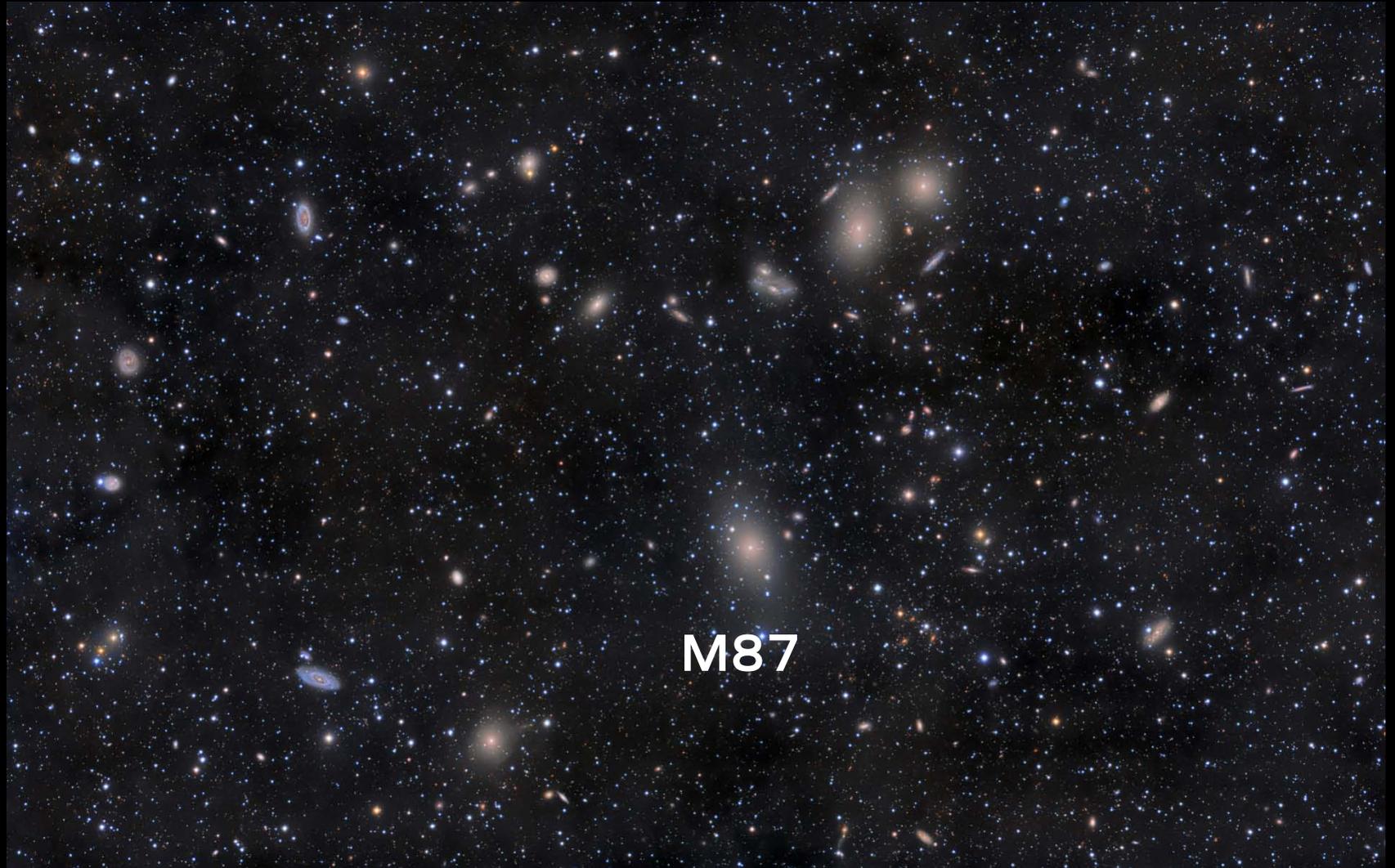


中心天体は半径  
10km程度の  
中性子星

質量は太陽の  
1~2倍

極めて強磁場

# 銀河系の外

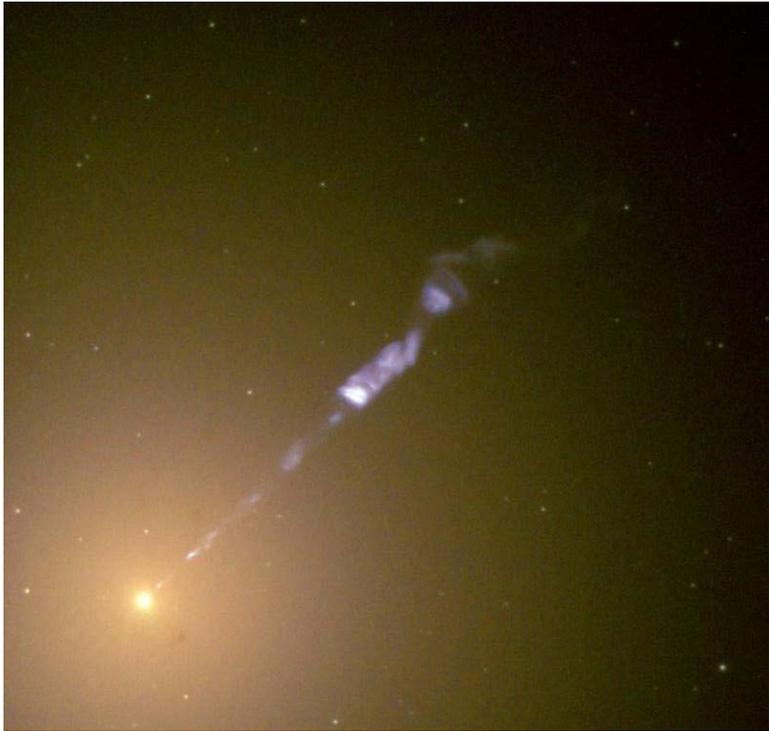


M87

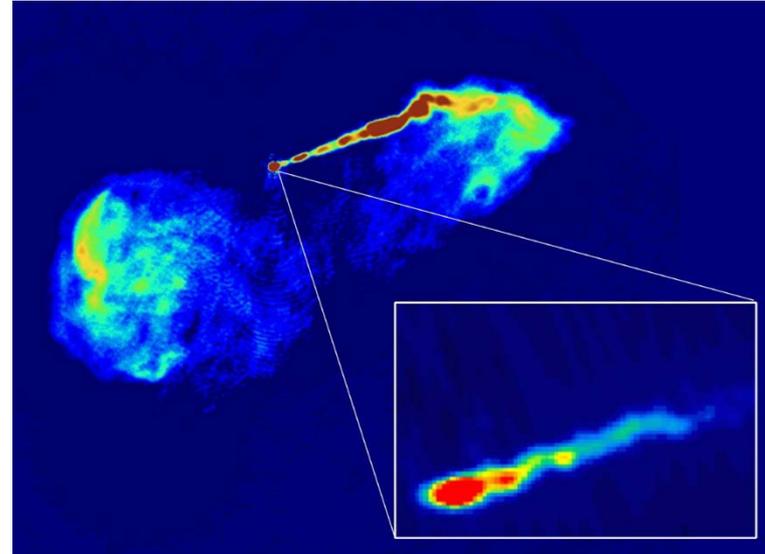
おとめ座銀河団

Image Credit: Rogelio Bernal Andreo

# 活動銀河中心から噴出するジェット

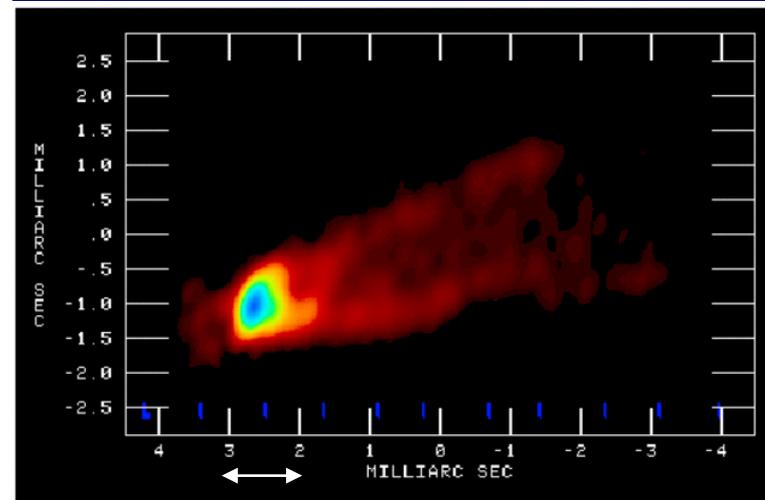


おとめ座銀河団中心の巨大  
銀河M87から噴出するジェッ  
ト(STScI/AURA)



電波  
放射

VLA+  
HALCA

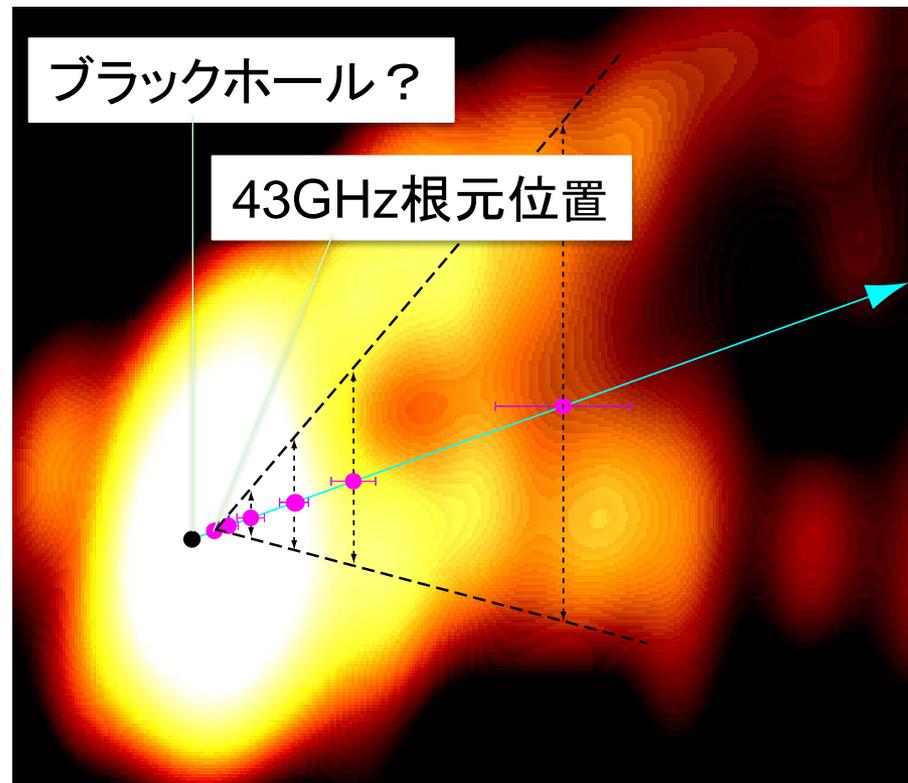


0.3光年

VLBA  
43GHz

Walker  
et al.  
2007

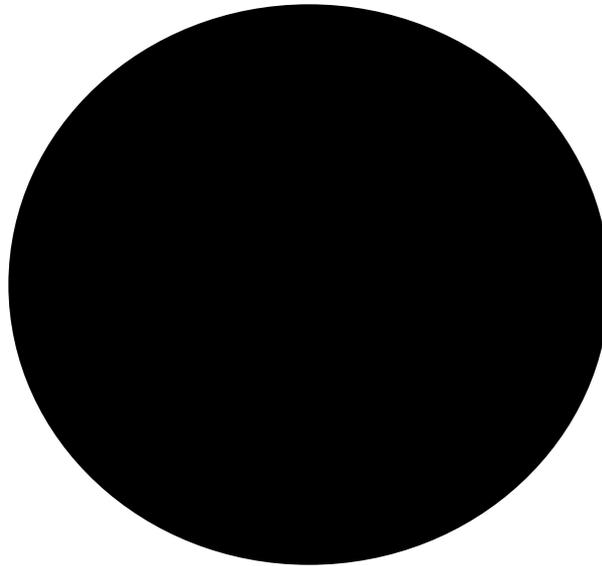
# さらにその中心にあるのは？



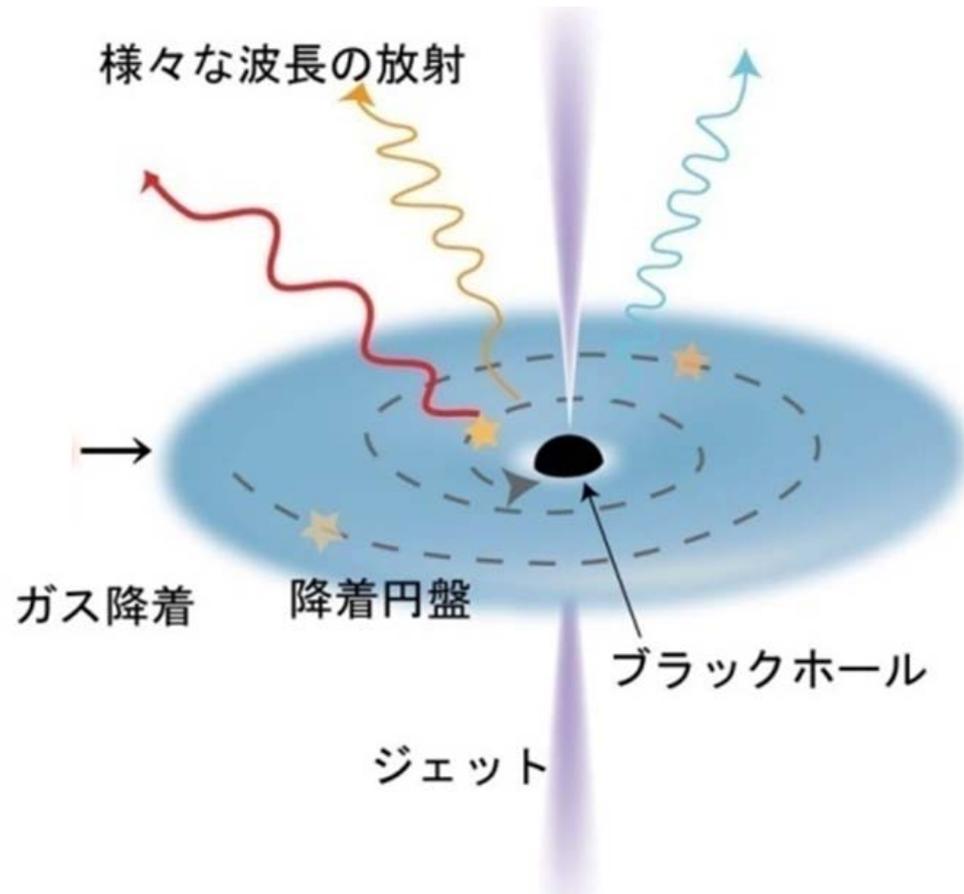
秦 和弘ら(2011年9月 Nature 掲載)

# ブラックホール

- 重力が強いために光さえも逃げ出せなくなった天体

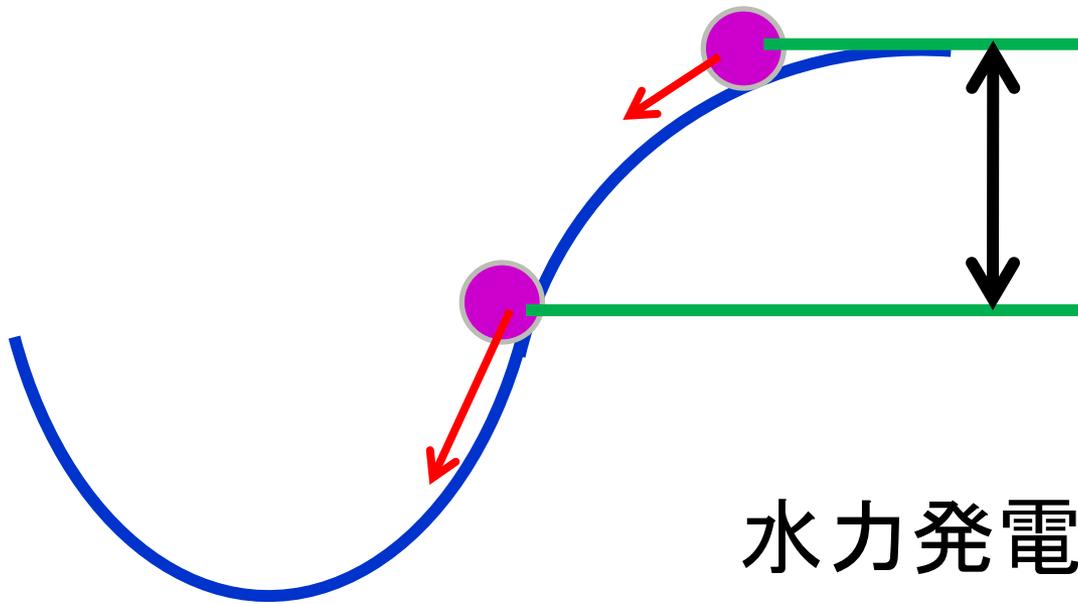


# ブラックホールはなぜ見える？



物質が天体に落下するときに形成される円盤中で重力エネルギーが輻射エネルギーに変換されて光る。

# 落下によるエネルギー解放

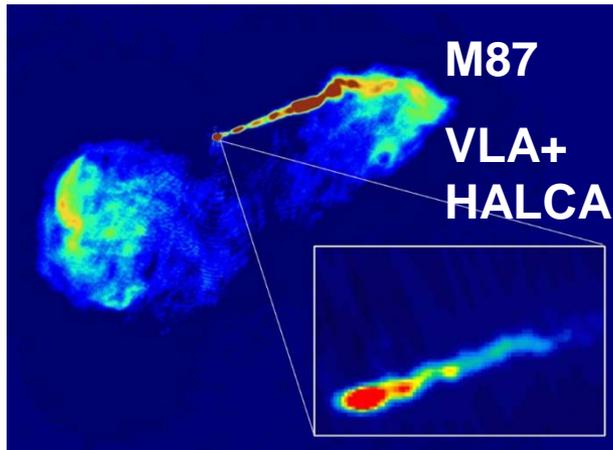
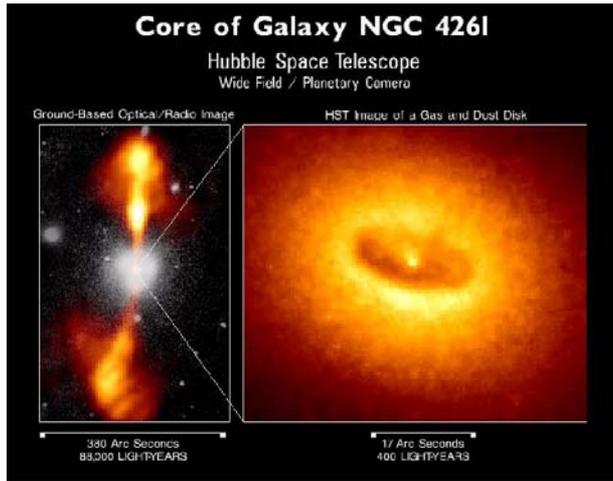


この差の位置  
エネルギーが他  
のエネルギーに  
転化される

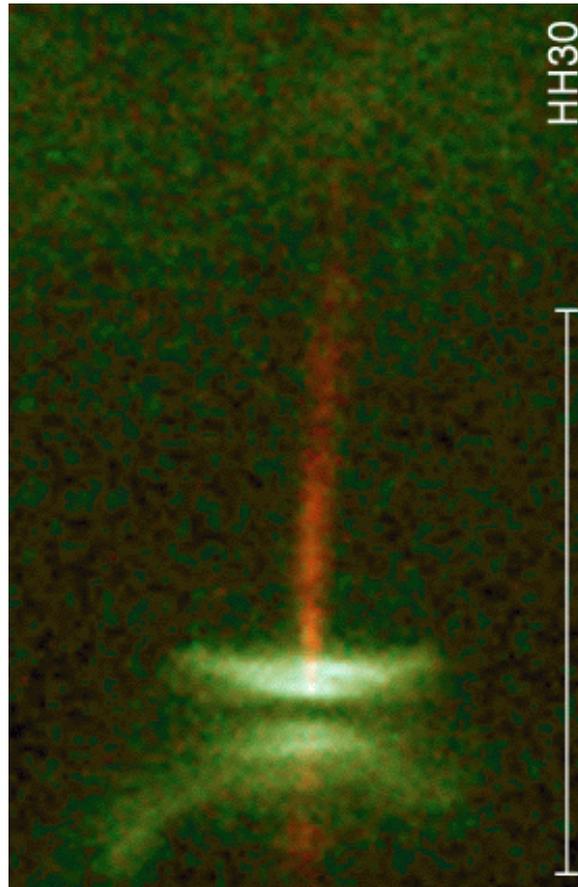
水力発電と同じ原理

解放されるエネルギーと物質の持つ静止エネルギー  $mc^2$  の比は中心天体がブラックホールの場合1に近づく (核融合より効率が良い)

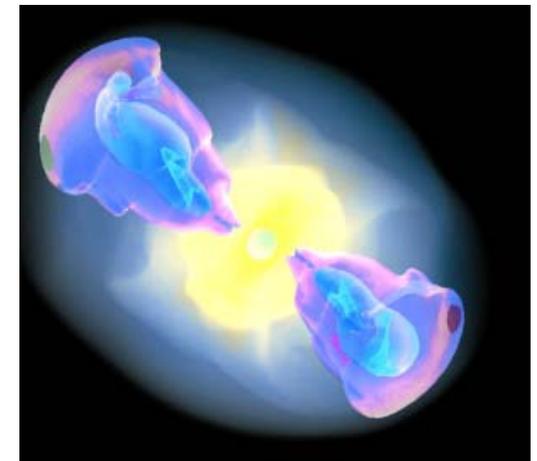
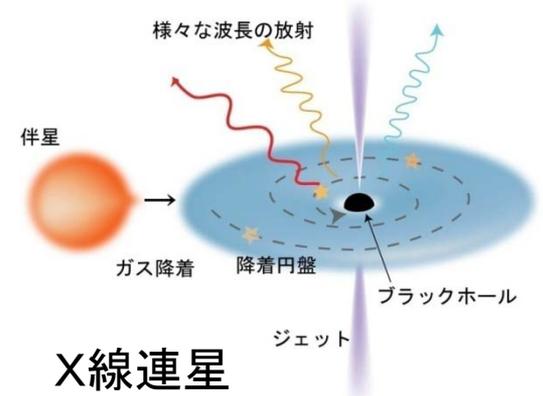
# 降着円盤は宇宙の活動現象を駆動する



活動銀河中心から噴出するジェット

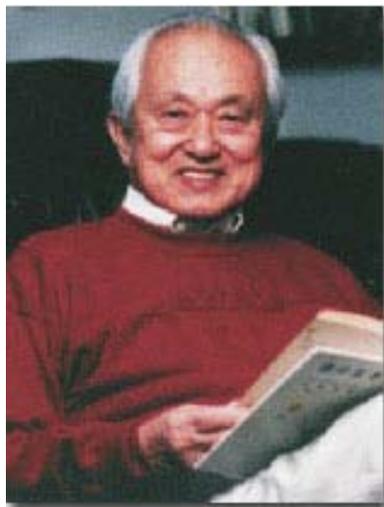


原始星円盤とジェット  
(Burrows 1995)

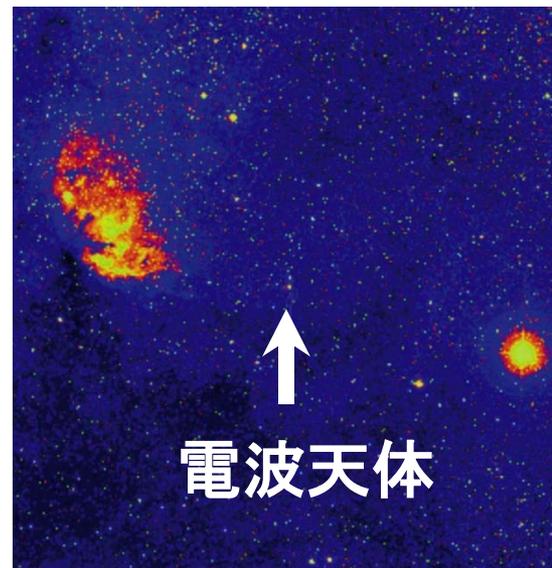
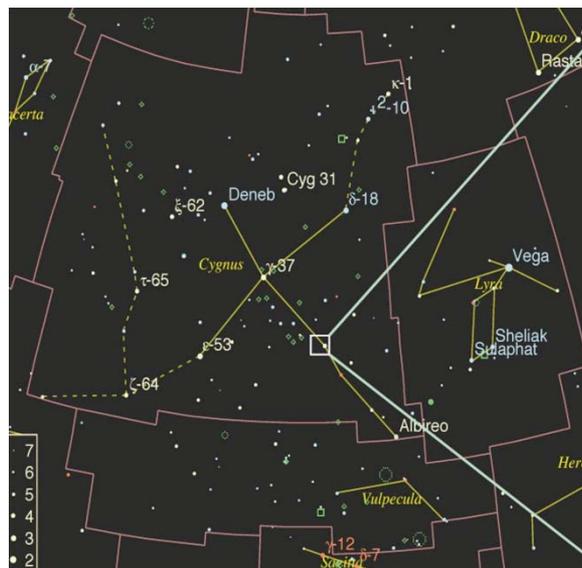


大質量星の重力崩壊と  
ガンマ線バースト

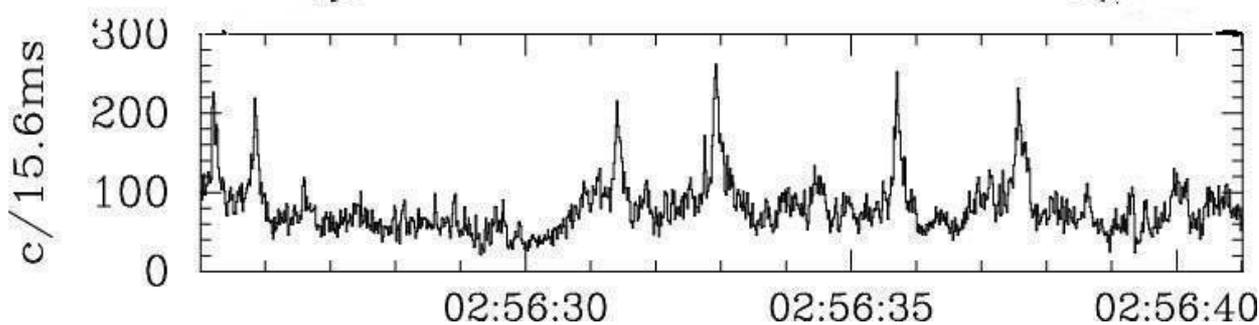
# ブラックホールはどこにある？」



故小田 稔博士



**X線強度が  
ミリ秒で変動**

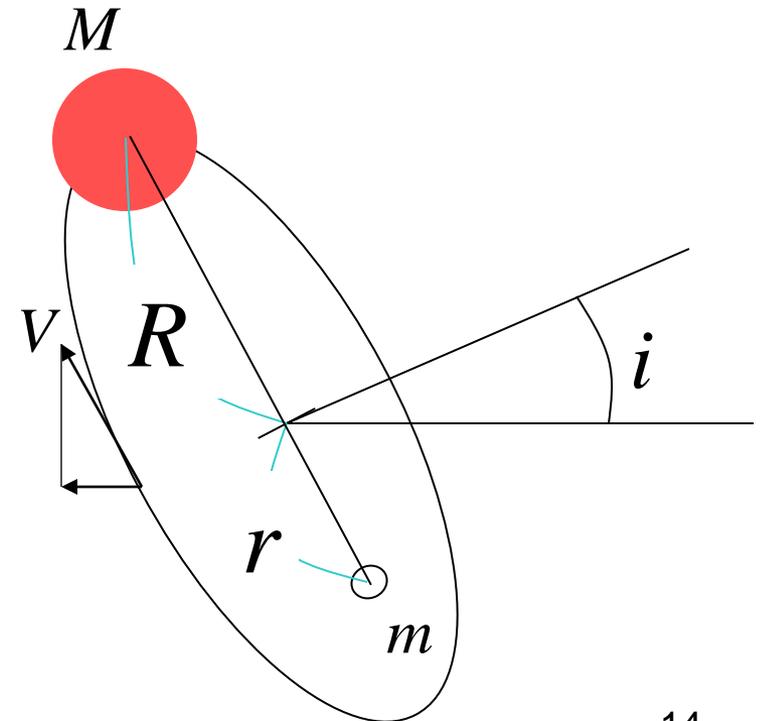
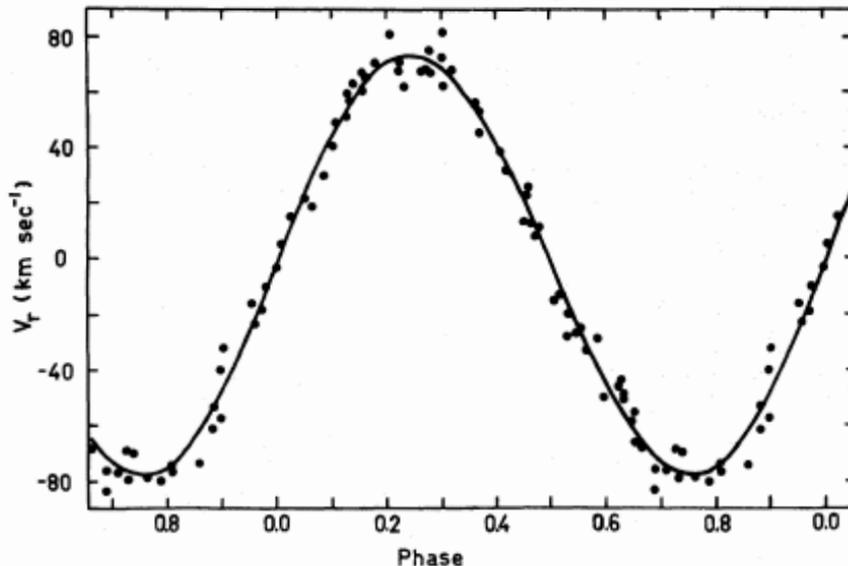


Negoro 1995

# 白鳥座X-1がブラックホールである証拠

- $M > 3 M_{\text{太陽}}$  (中性子星の質量の上限値)

伴星の吸収線の時間変化

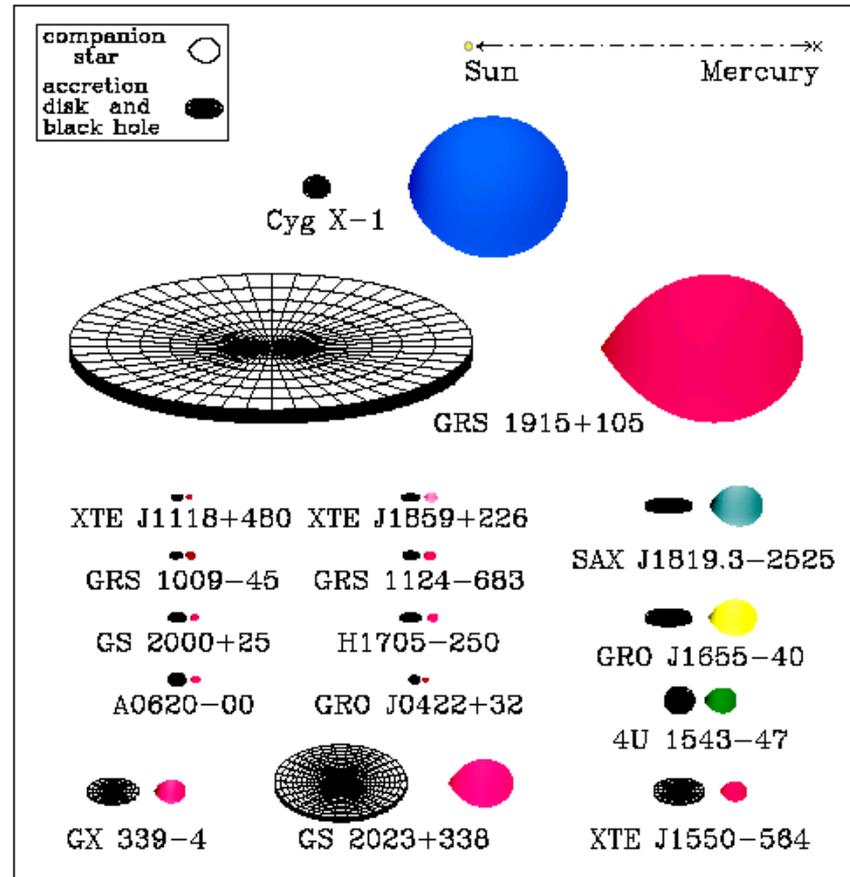


# 銀河系内のブラックホール候補

Table 1: Twenty confirmed black holes and

Coordinate Name	Common <sup>b</sup> Name/Prefix	Year <sup>c</sup>	Spec.
0422+32	(GRO J)	1992/1	M2V
0538-641	LMC X-3	-	B3V
0540-697	LMC X-1	-	O7III
0620-003	(A)	1975/1 <sup>f</sup>	K4V
1009-45	(GRS)	1993/1	K7/M0V
1118+480	(XTE J)	2000/2	K5/M0V
1124-684	Nova Mus 91	1991/1	K3/K5V
1354-64 <sup>g</sup>	(GS)	1987/2	GIV
1543-475	(4U)	1971/4	A2V
1550-564	(XTE J)	1998/5	G8/K8F
1650-500 <sup>h</sup>	(XTE J)	2001/1	K4V
1655-40	(GRO J)	1994/3	F3/F5IV
1659-487	GX 339-4	1972/10 <sup>i</sup>	-
1705-250	Nova Oph 77	1977/1	K3/7V
1819.3-2525	V4641 Sgr	1999/4	B9III
1859+226	(XTE J)	1999/1	-
1915+105	(GRS)	1992/Q <sup>l</sup>	K/MIII
1956+350	Cyg X-1	-	O9.7Iab
2000+251	(GS)	1988/1	K3/K7V
2023+338	V404 Cyg	1989/1 <sup>f</sup>	K0III

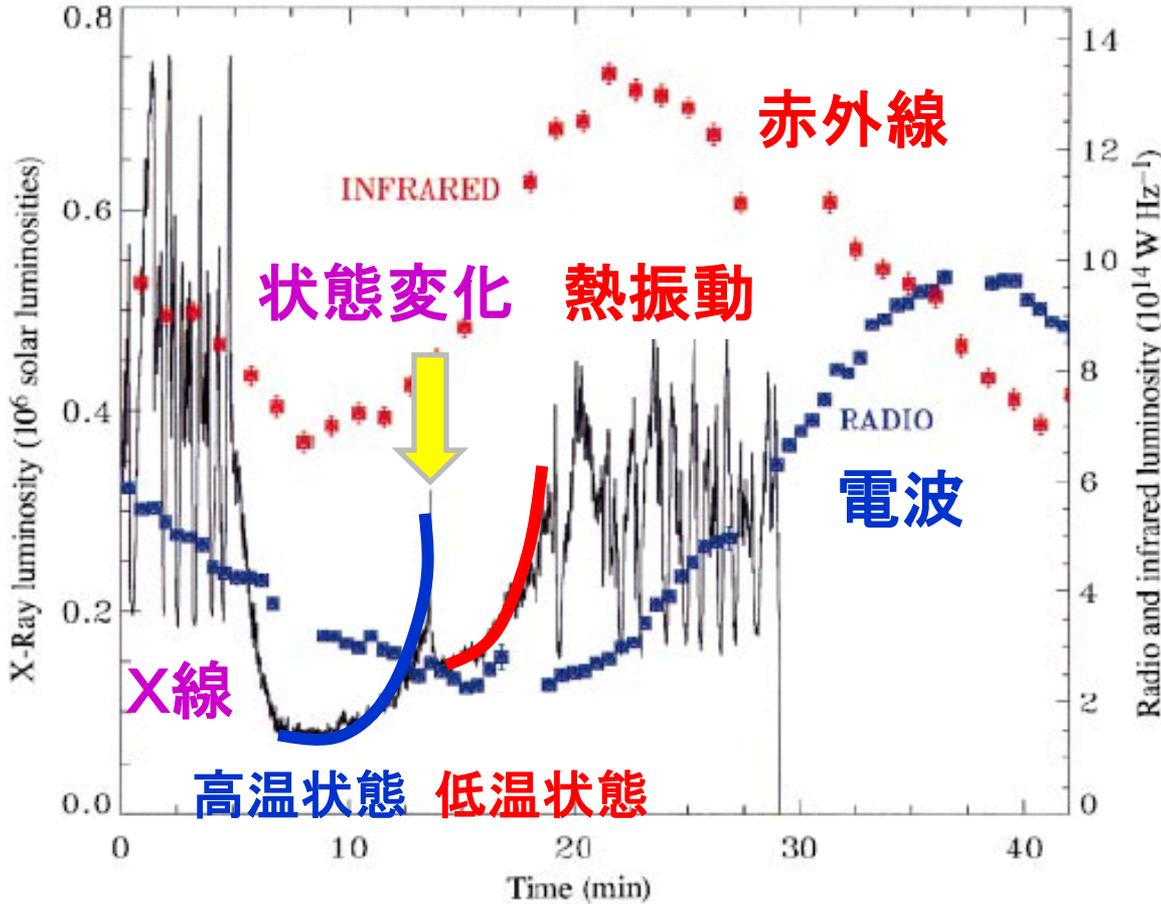
## Black Hole Binaries in the Milky Way



Remillard and McClintock, Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol. 44, 49 (2006)

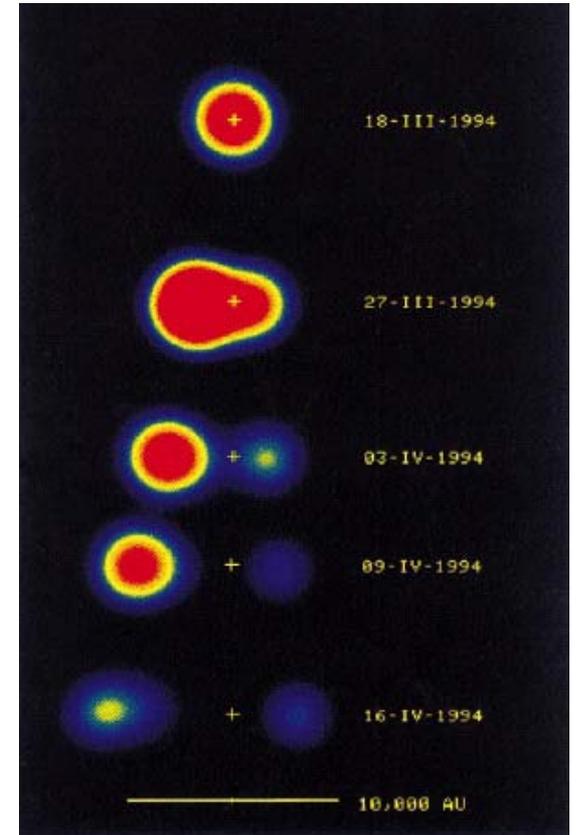
# マイクロクエーサーGRS1915+105

光度



GRS1915+105 の時間変動

時刻

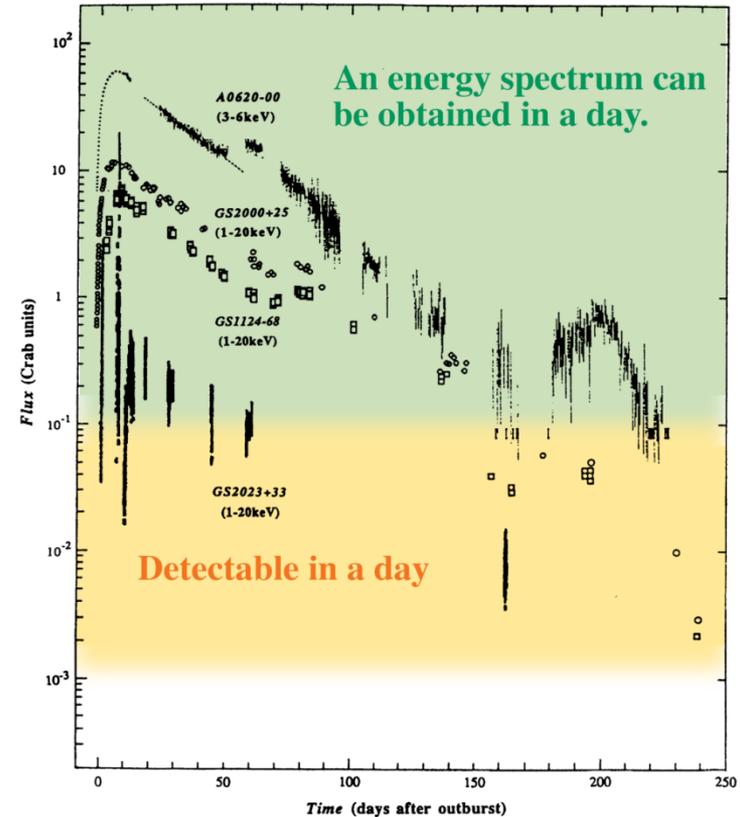
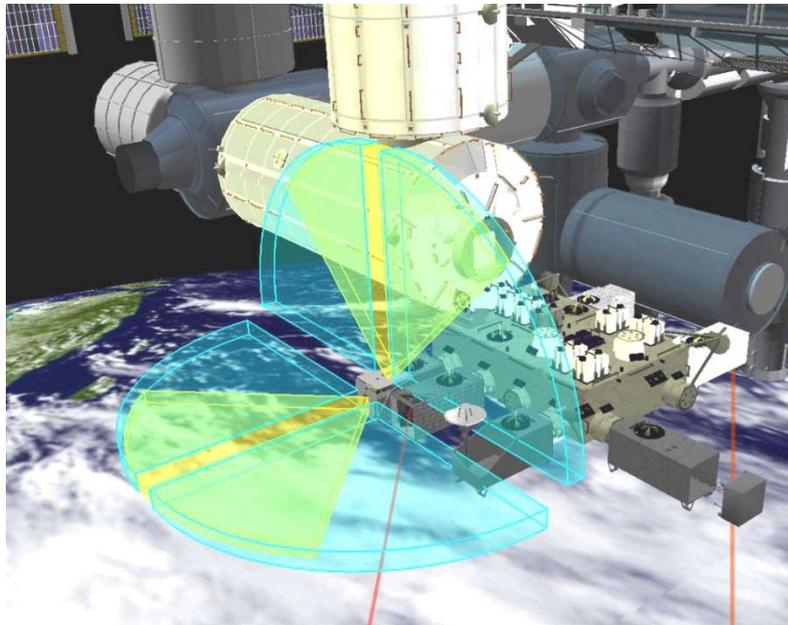


プラズマ噴出現象

Mirabel and Rodriguez 1998



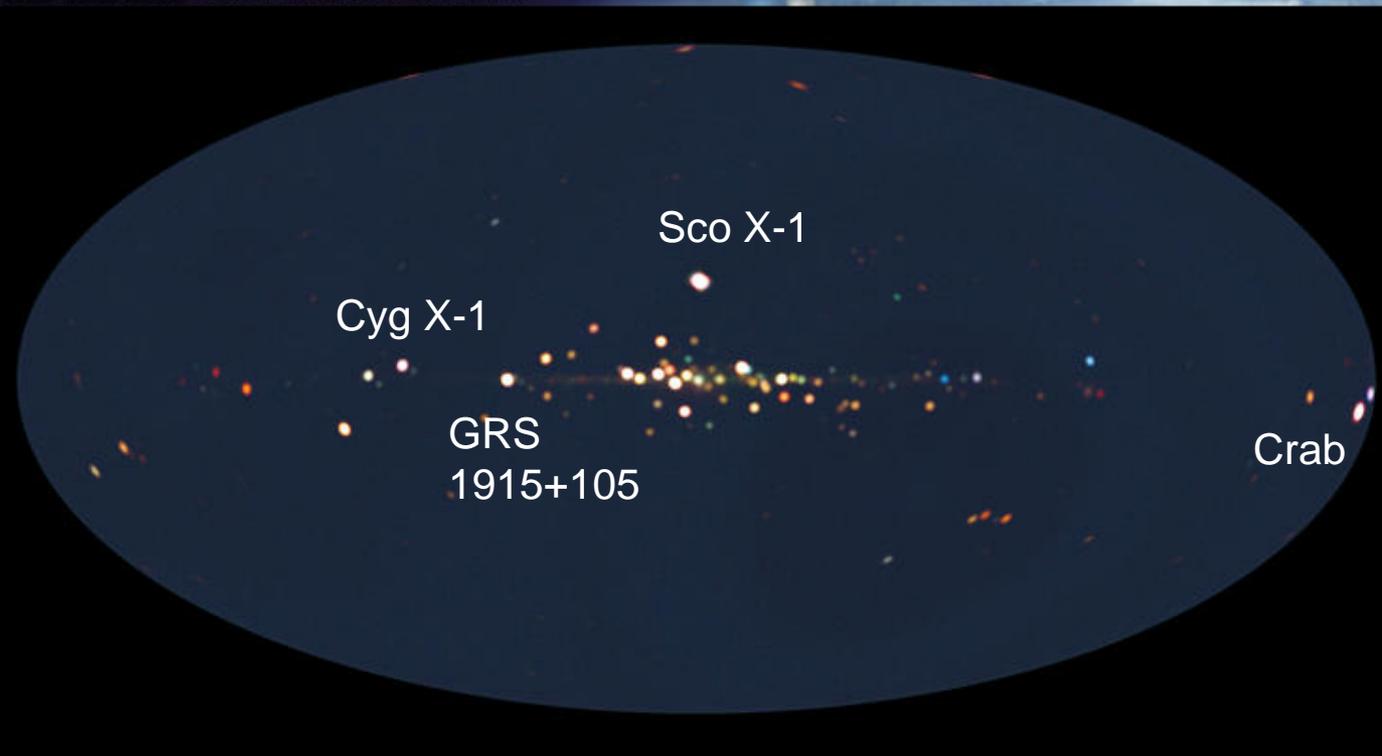
# 全天X線モニタ MAXI(2009～)



国際宇宙ステーションの日本の  
実験モジュール「きぼう」に取付

ブラックホール候補天体の時  
間変動モニタ観測を実施中<sup>17</sup>

# MAXI Monitor of All-sky X-ray Image 全天X線監視装置 MAXI



20100812

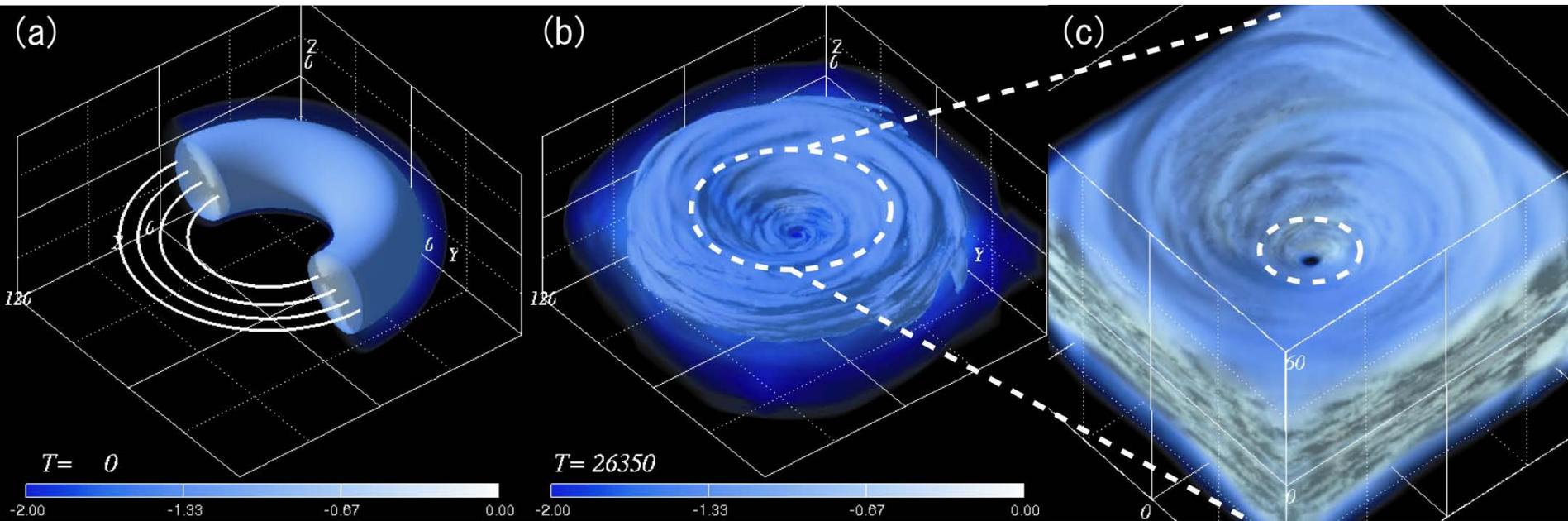


概要	Overview	News	Data Products	Mailing List	Publications
----	----------	------	---------------	--------------	--------------

概要
Overview

<http://maxi.riken.jp/> に日々のデータが公開されている。

# 計算機で探るブラックホールと降着円盤



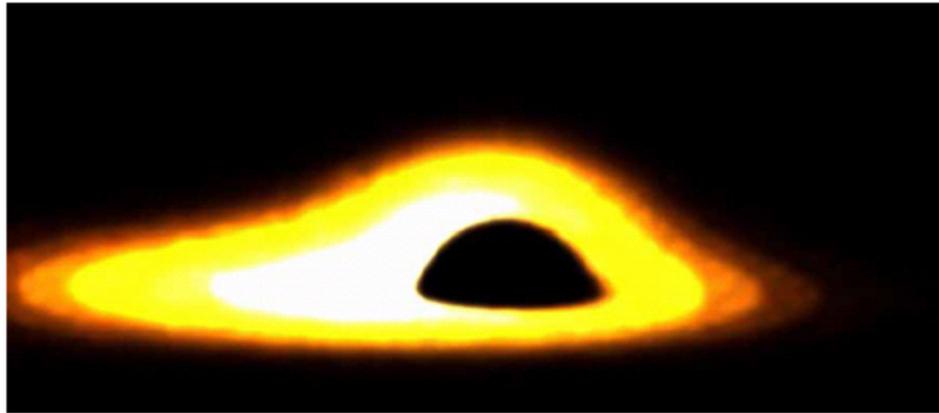
初期状態

$t=26350$

unit time  $t_0=rg/c$

降着円盤形成過程の数値実験

# ブラックホールはこう見える

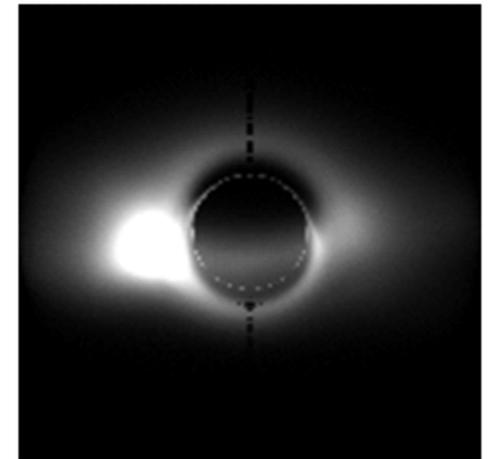
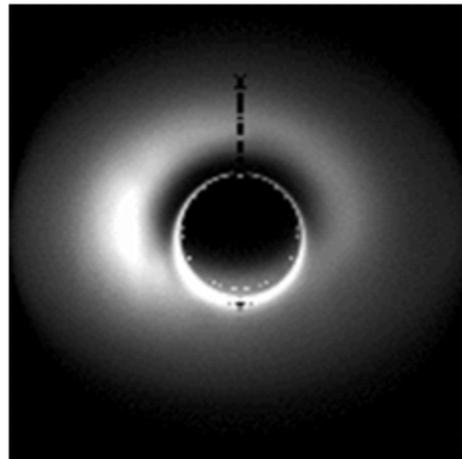
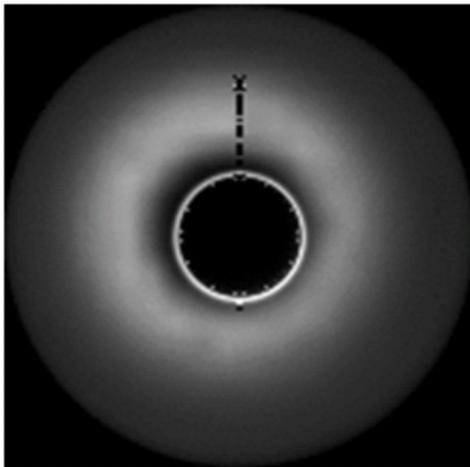


J. Fukue 1988

Inclination 5

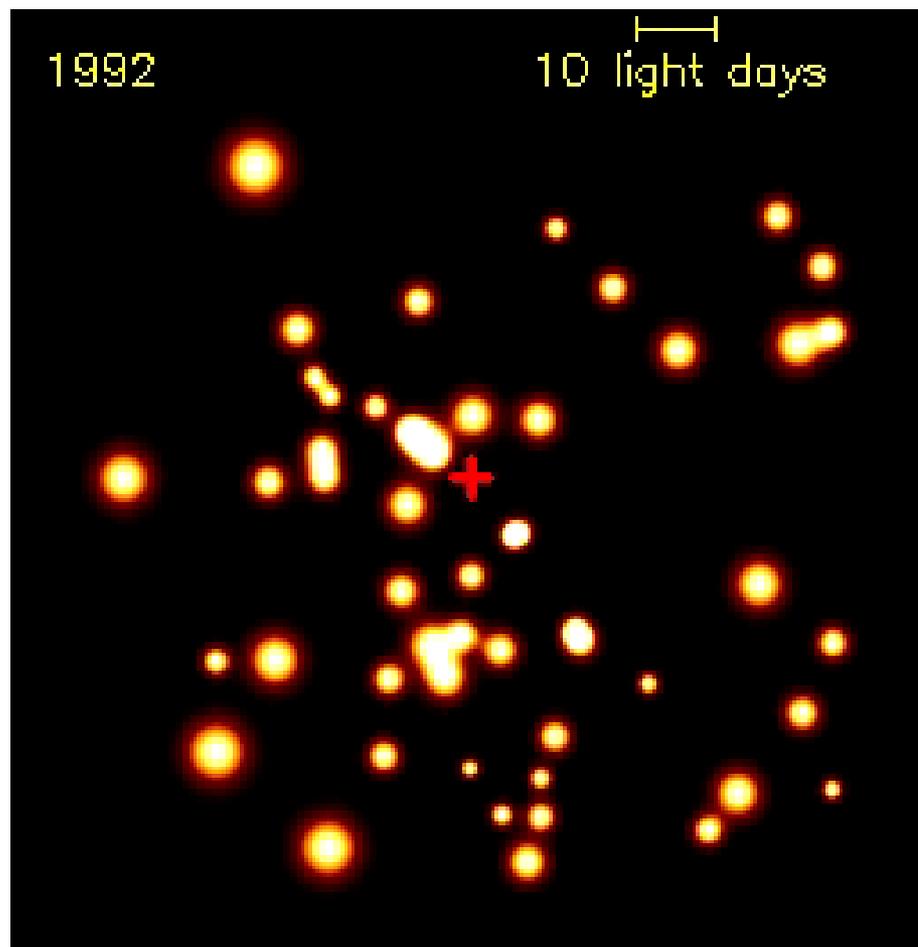
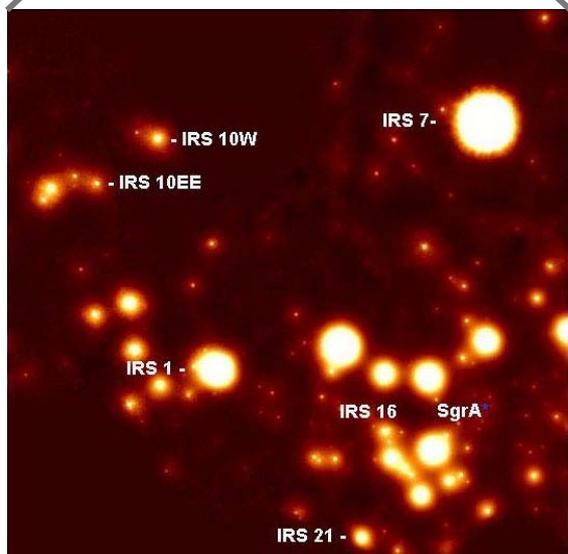
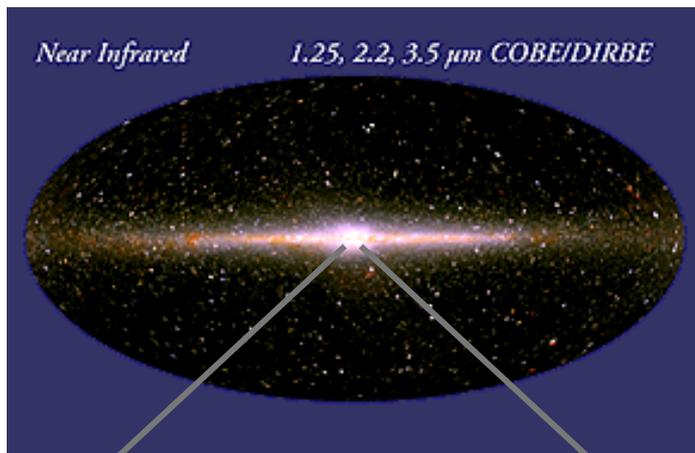
45

75



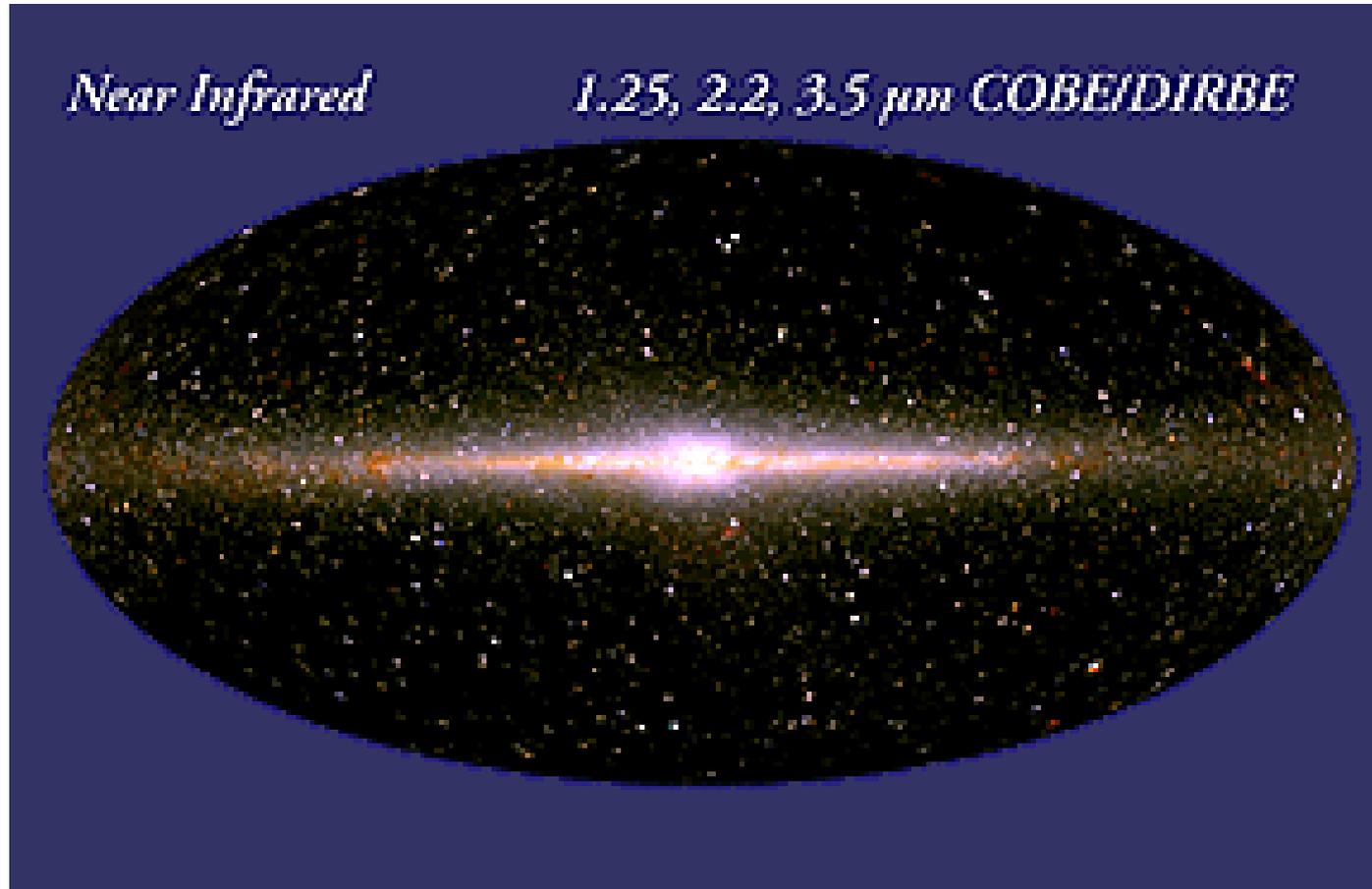
Calculated by M. Bursa<sup>20</sup>

# 銀河系中心の巨大ブラックホール

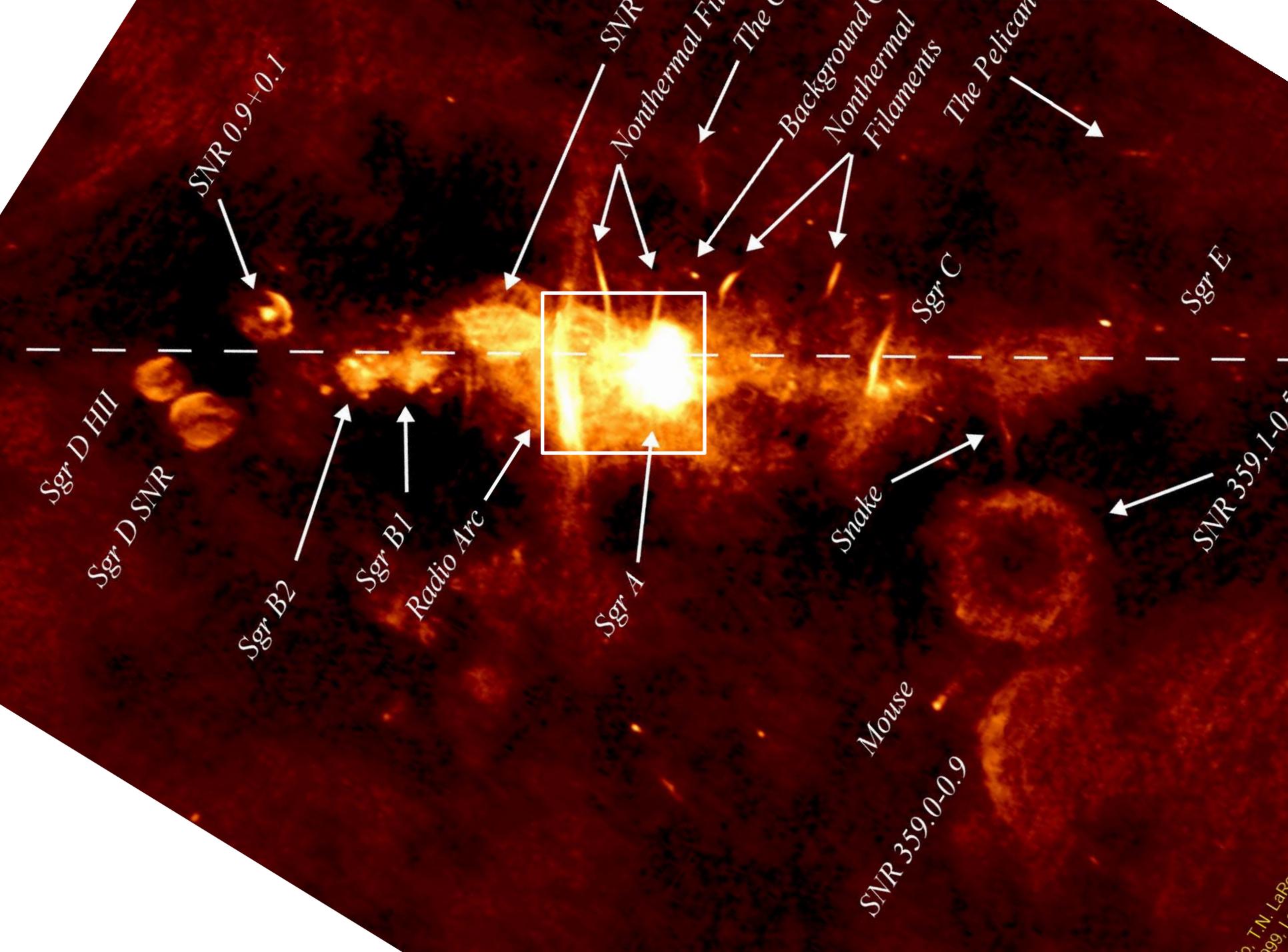


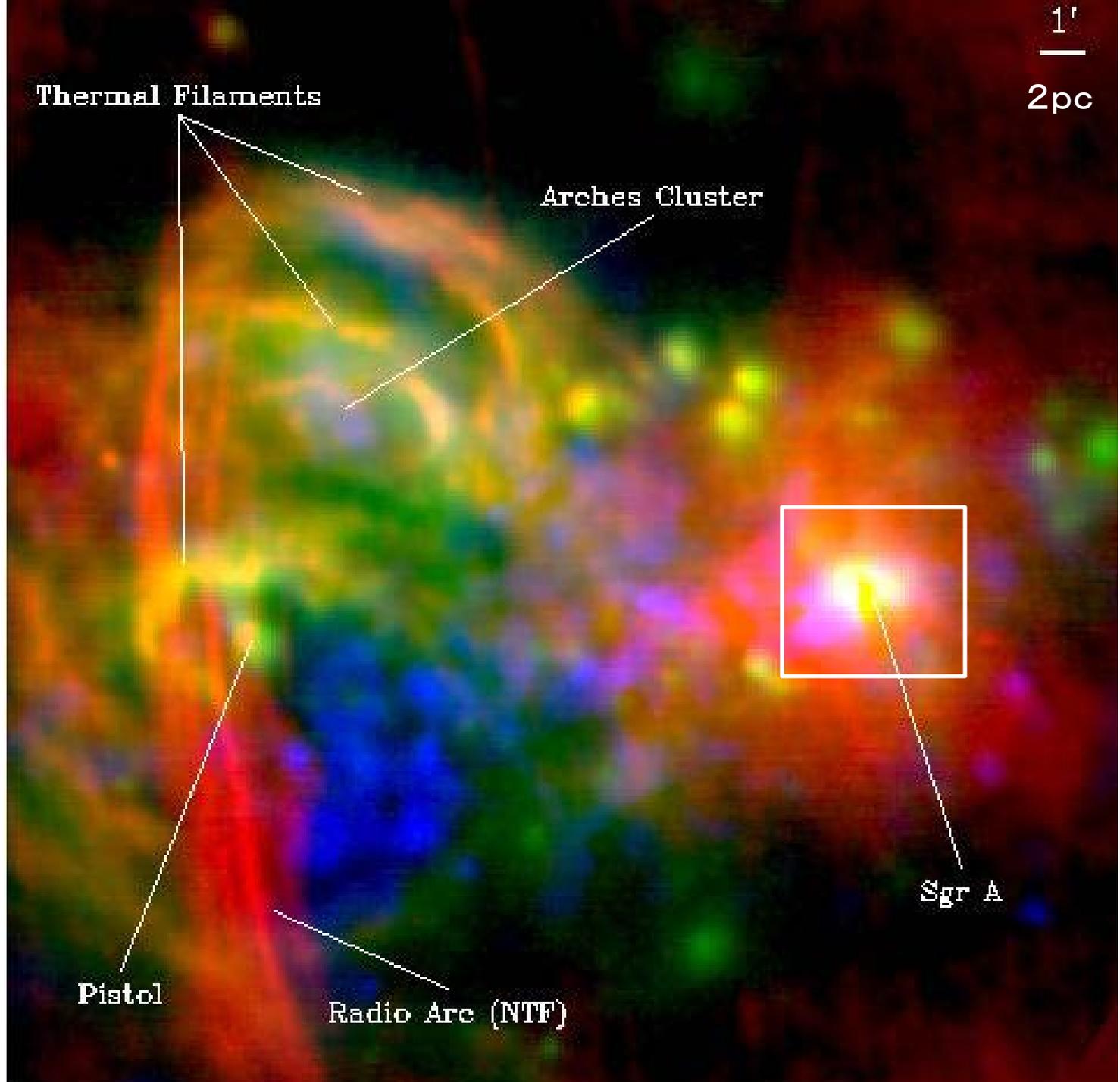
ESO/MPI

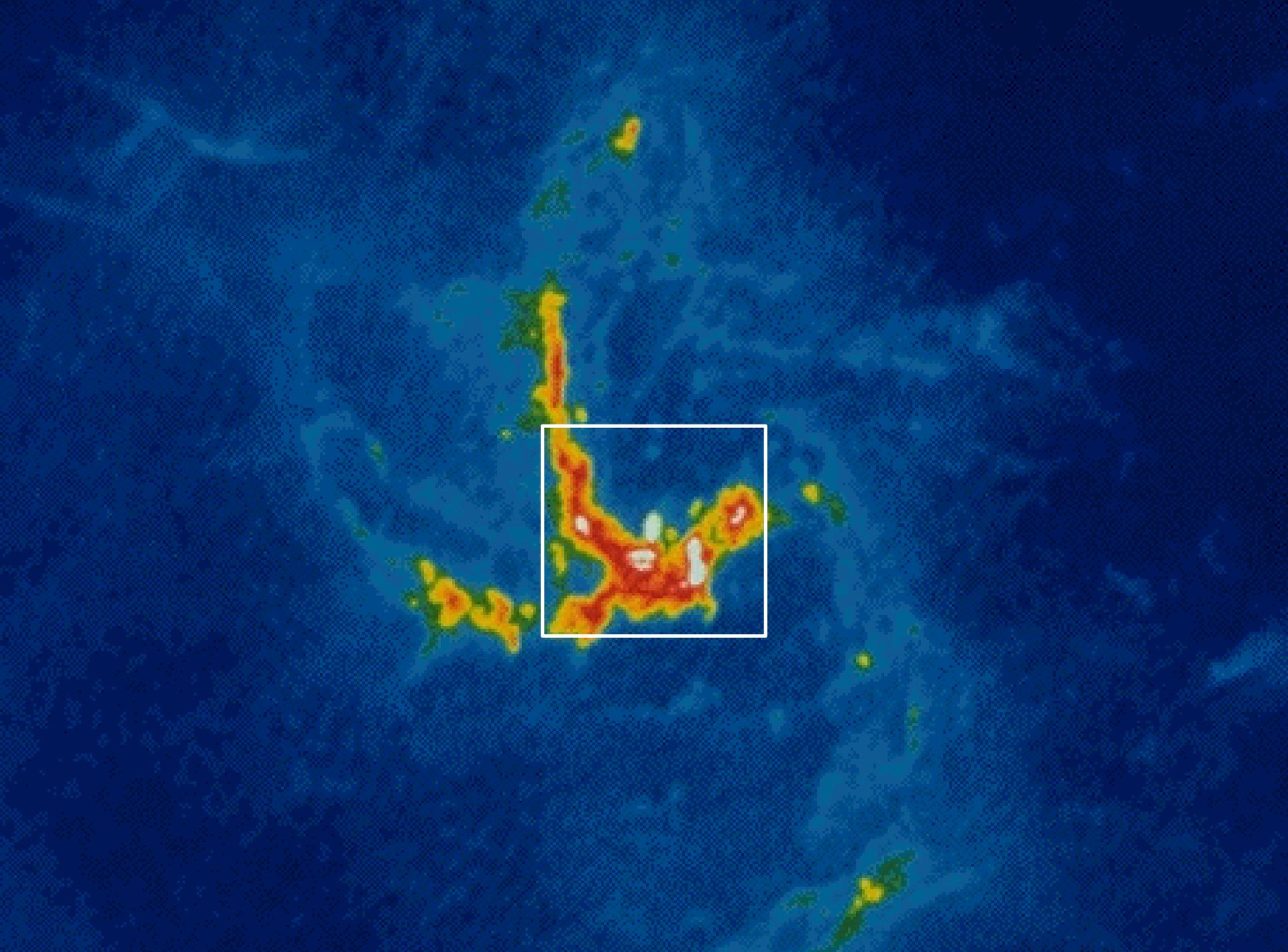
# 赤外線で見た天の川

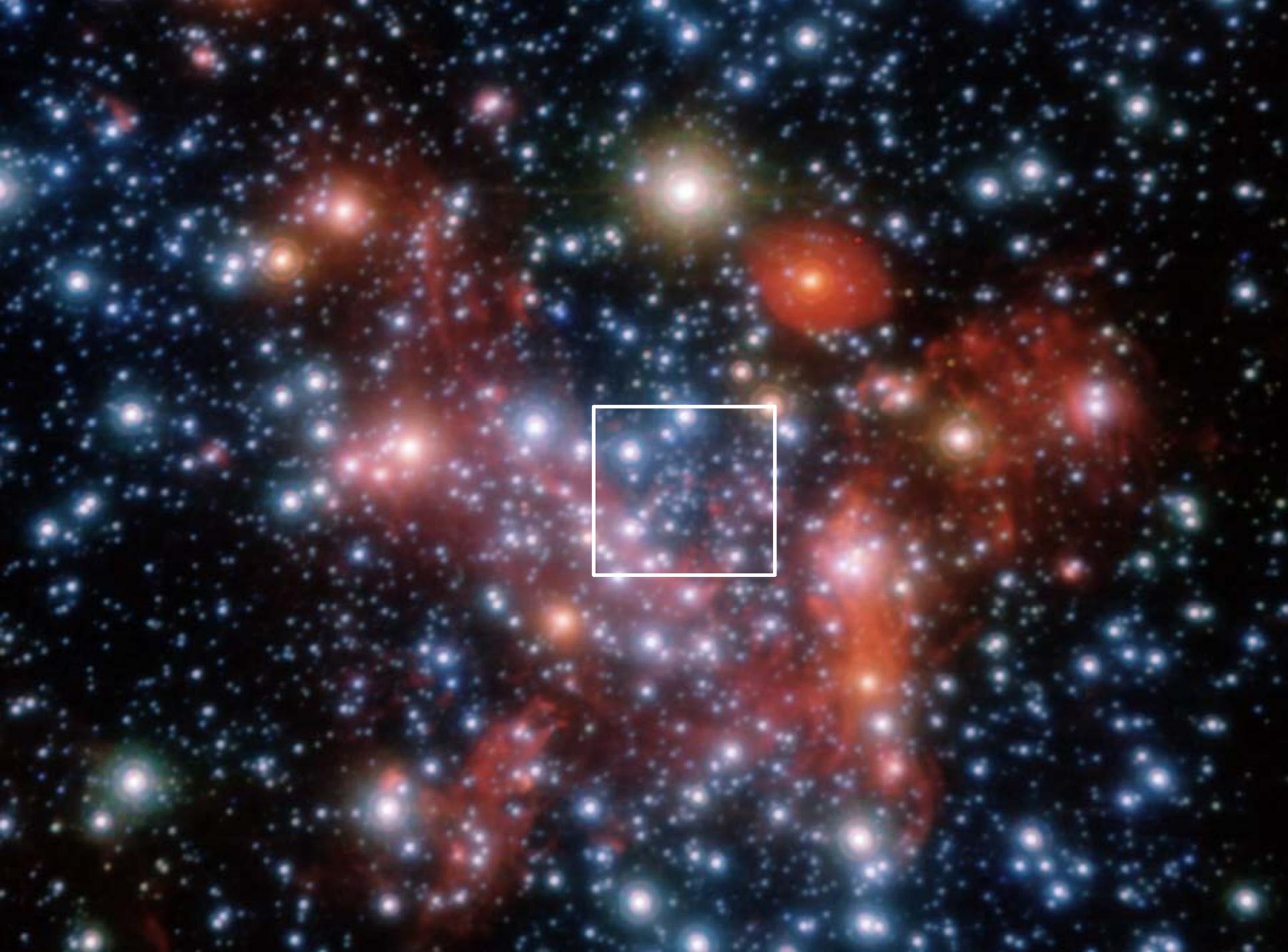


近赤外線で見た天の川





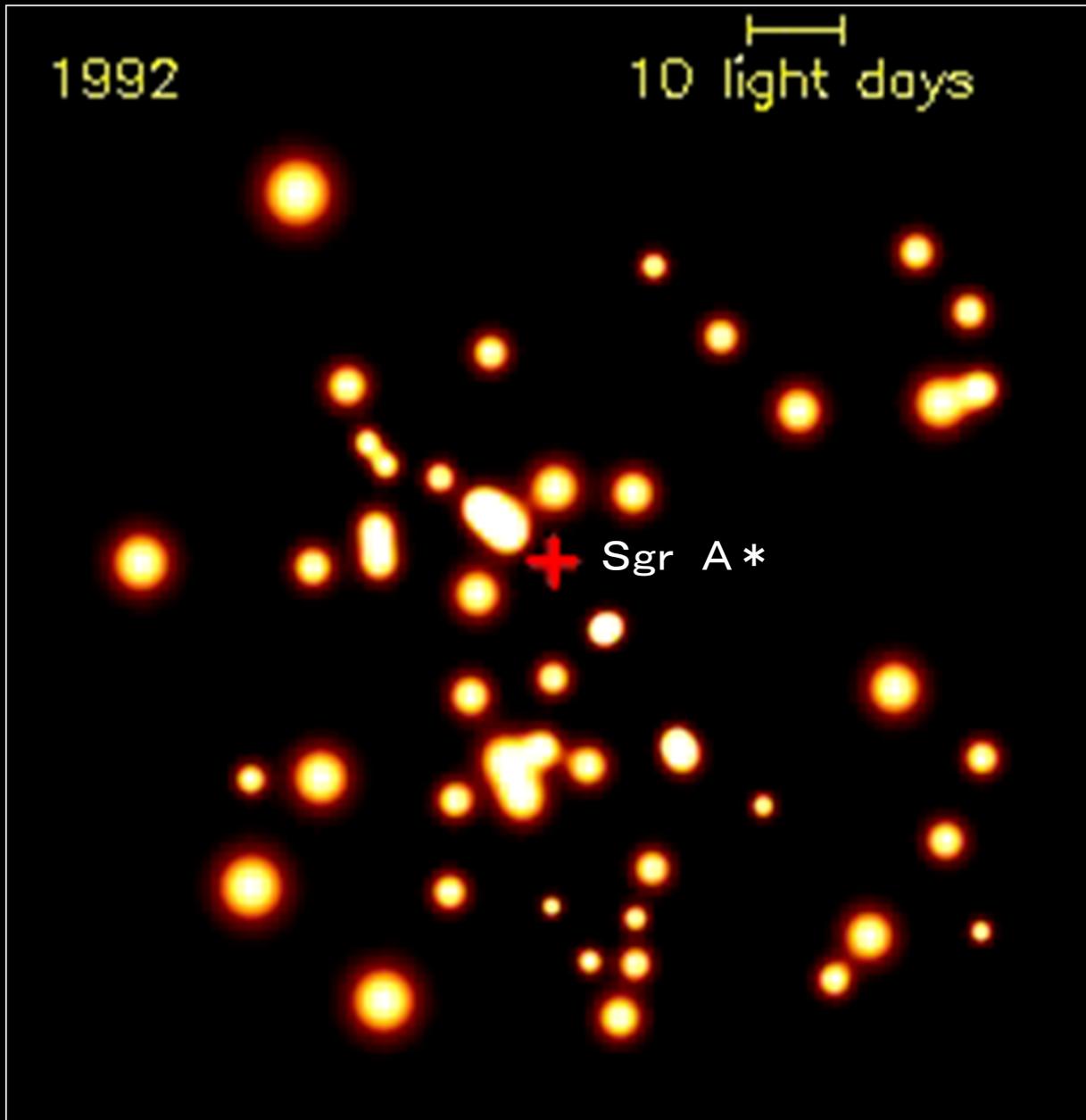


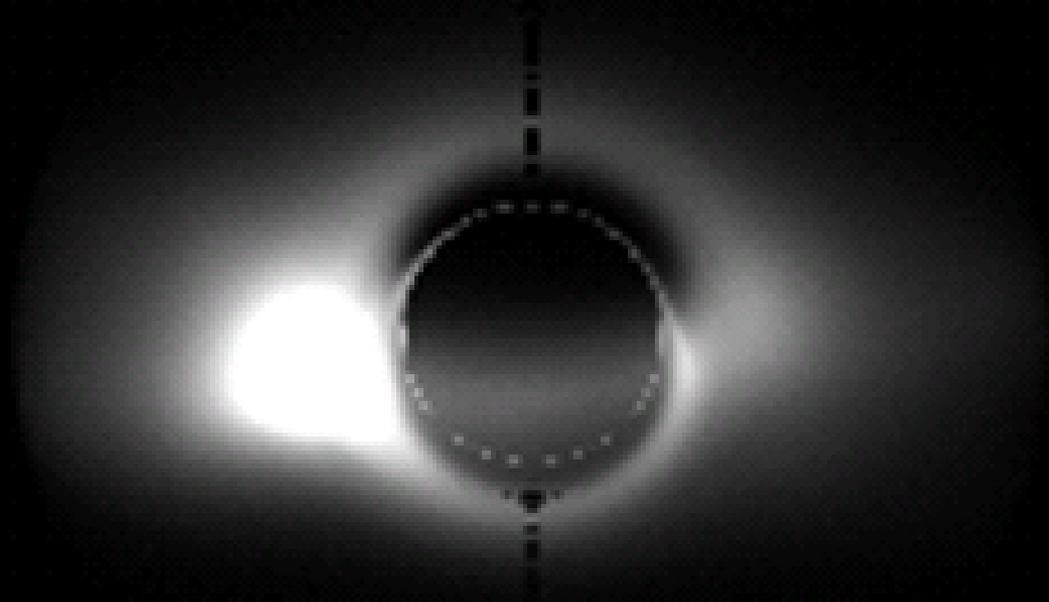


1992

10 light days

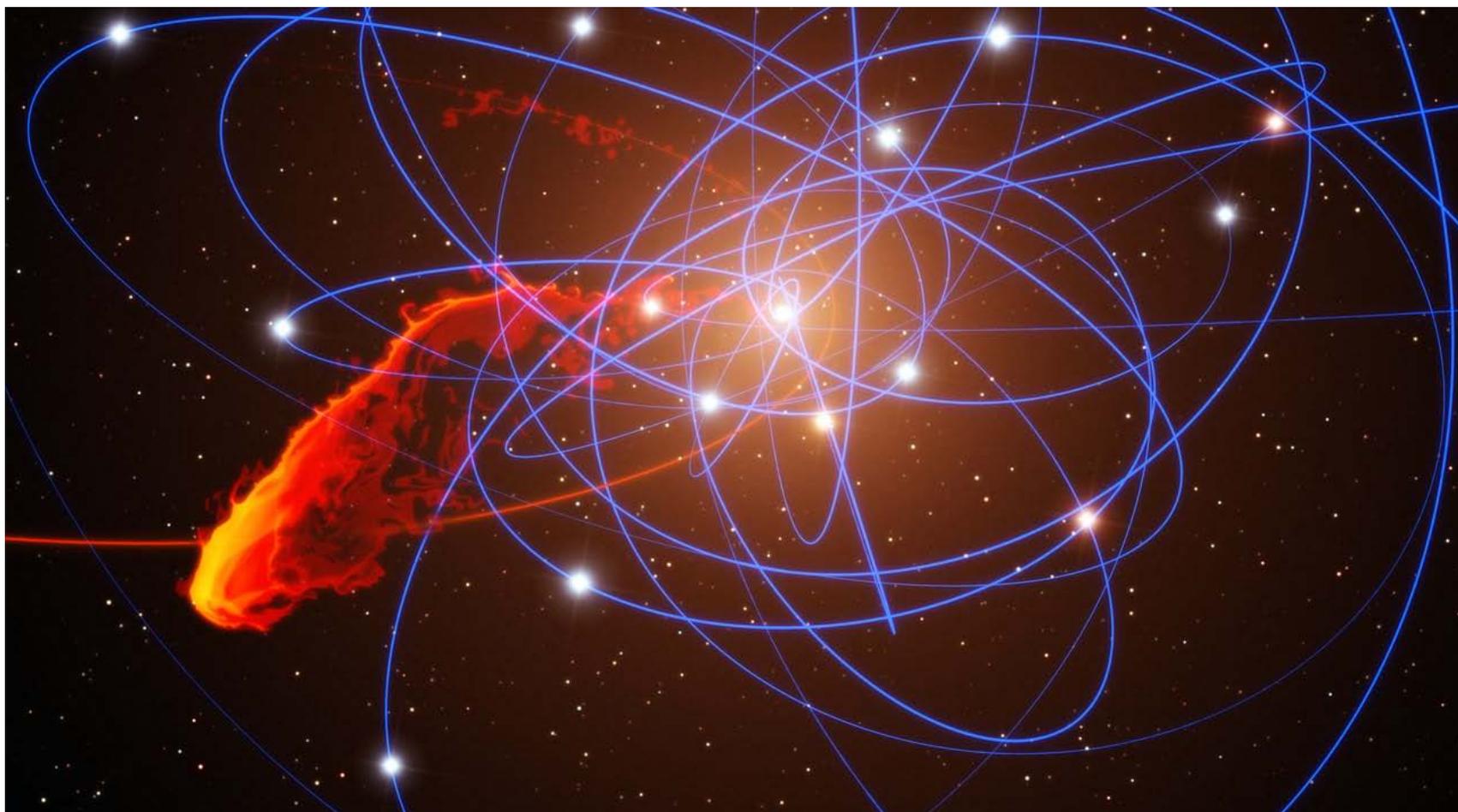
+ Sgr A\*



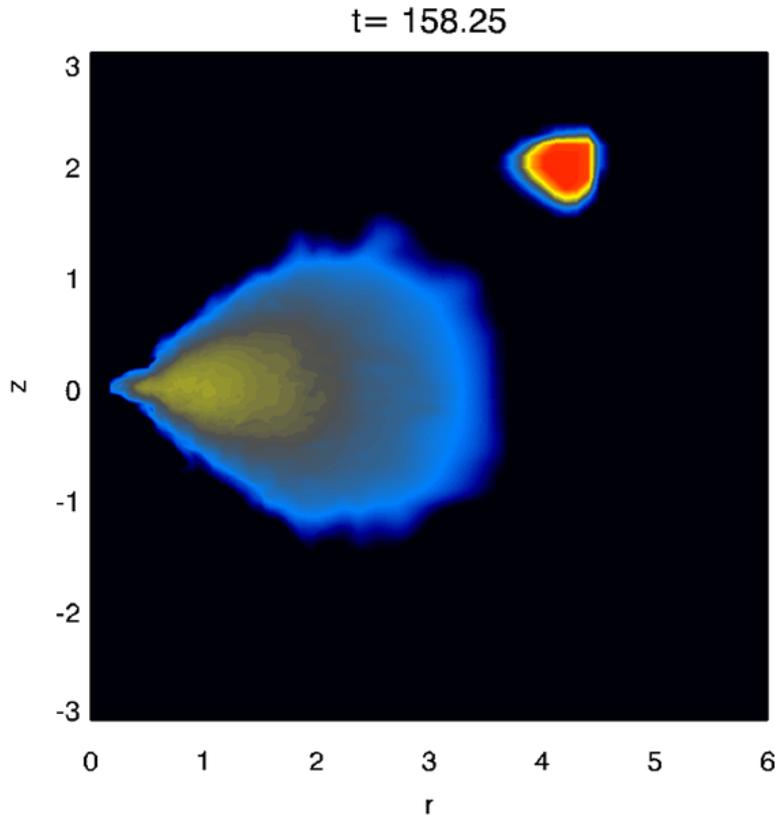


中心にあるのは巨大ブラックホール

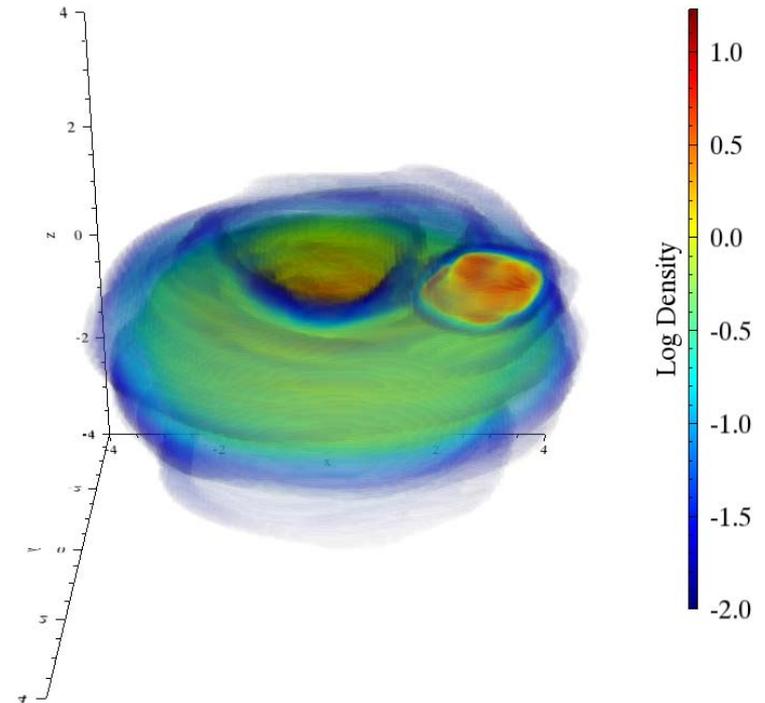
# 銀河中心ブラックホールへのガス雲の落下



# ガス雲衝突シミュレーション

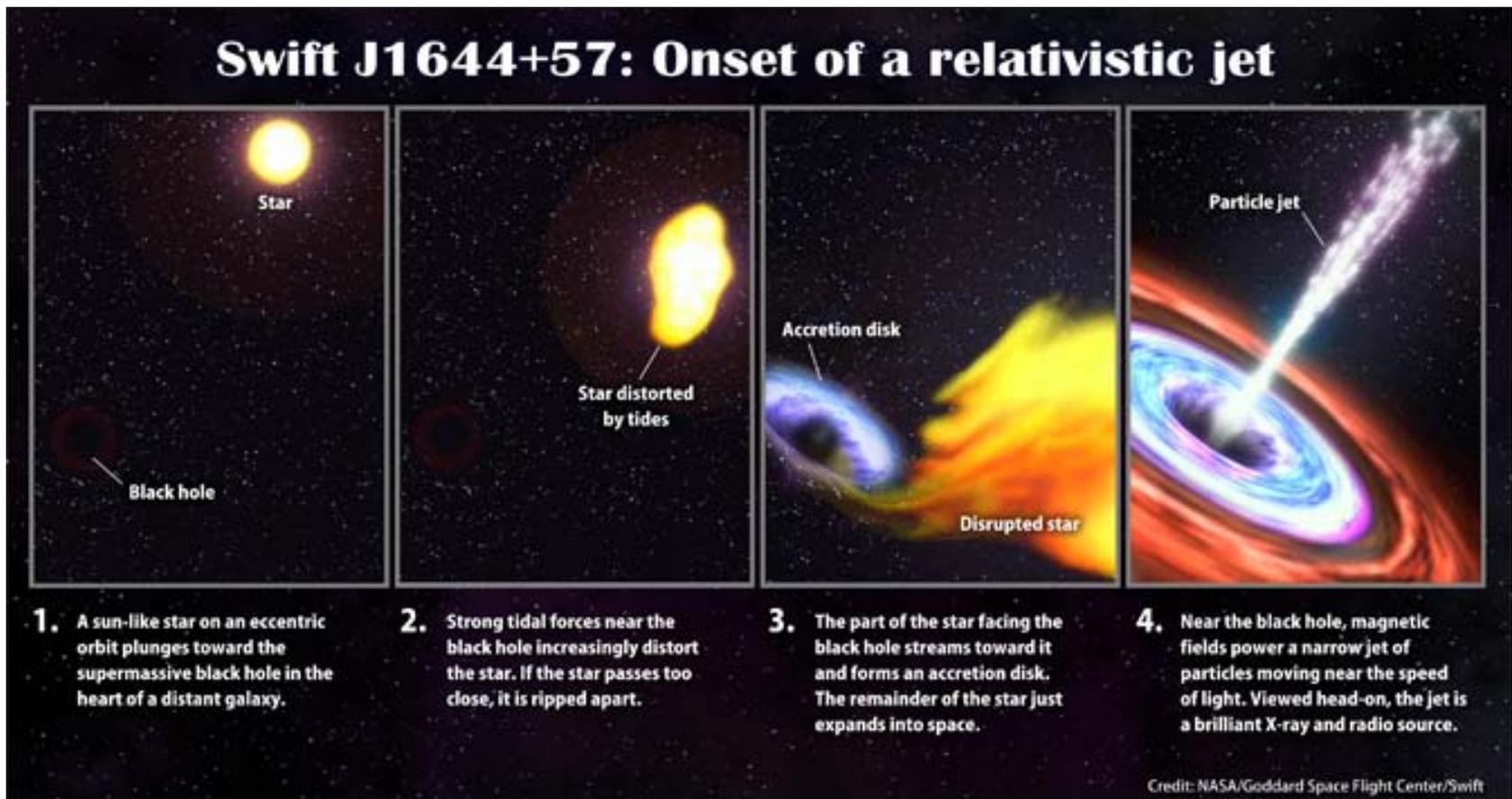


密度分布



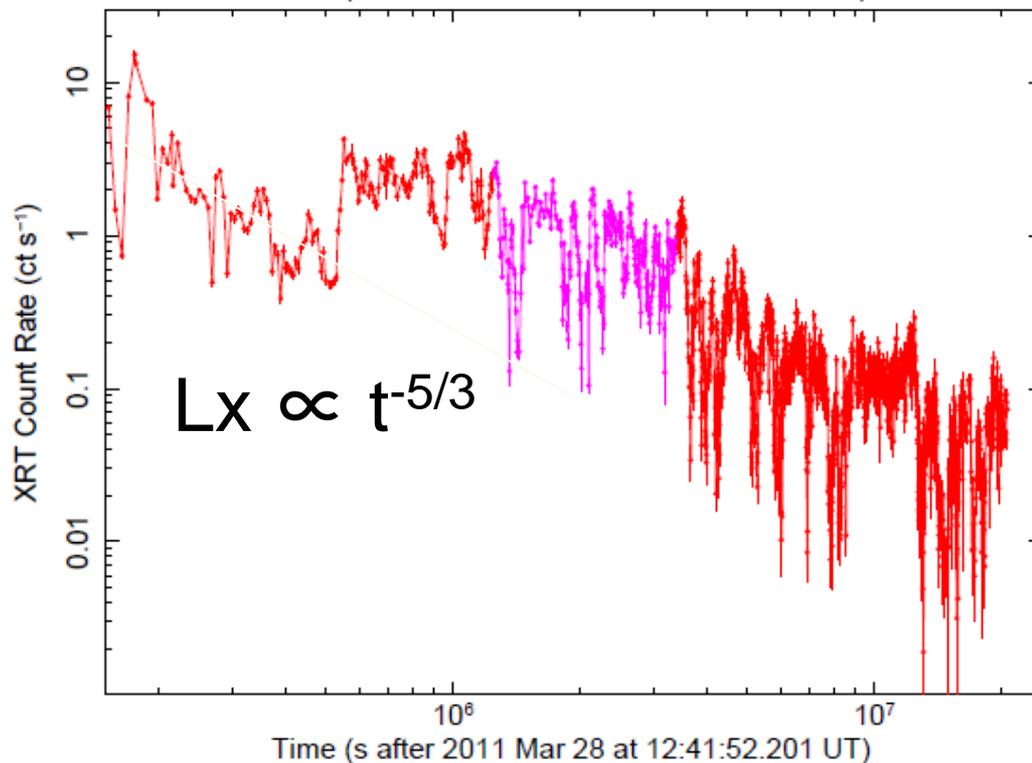
ガス雲衝突によってブラックホールへの質量降着率がどの程度増加するかを調べている

# 超巨大ブラックホールによる星の破壊



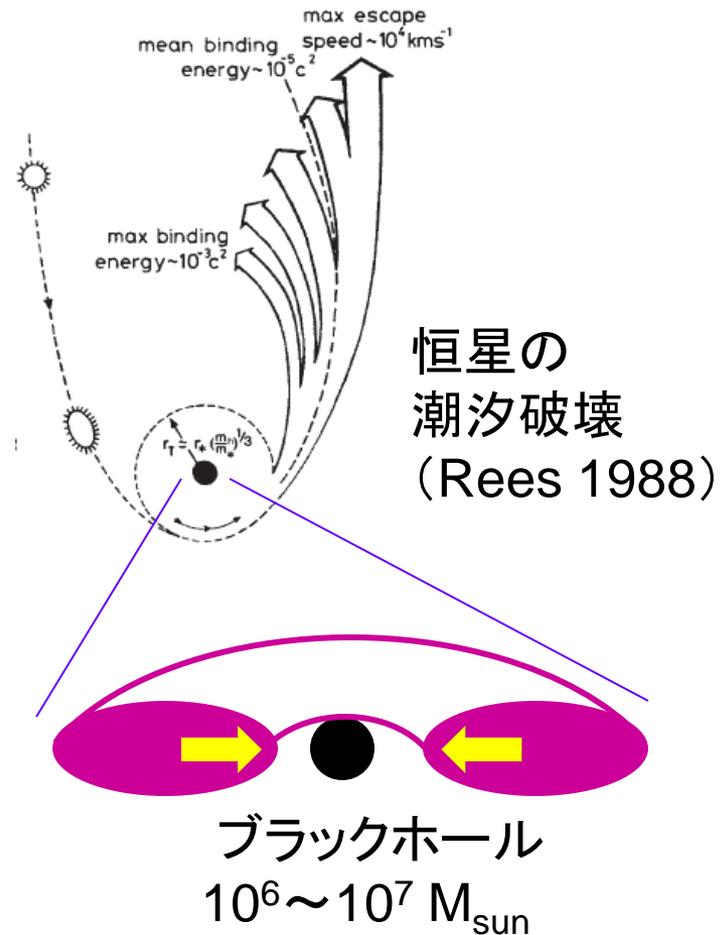
# Swift J1644+57の光度変化とモデル

光度



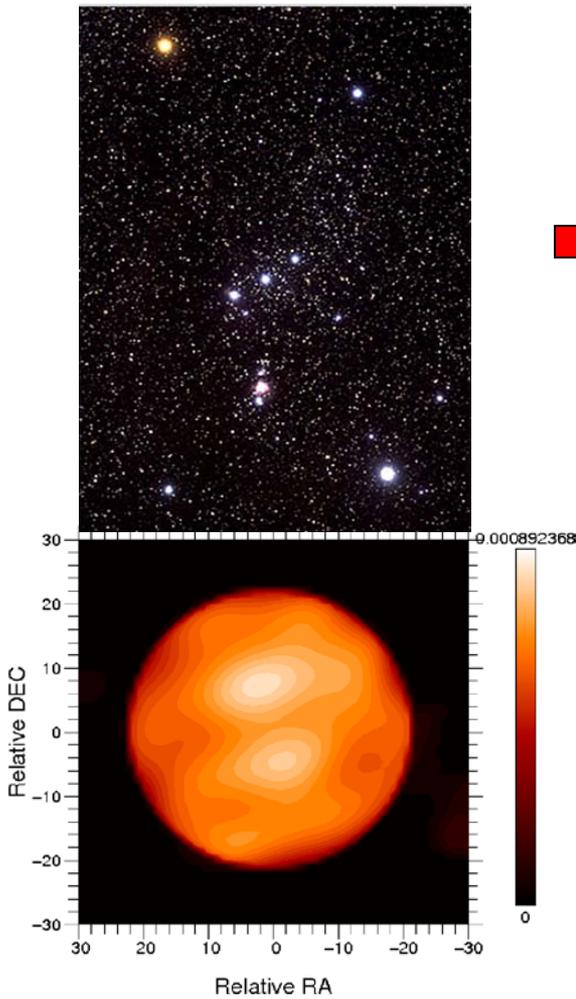
増光開始からの時間

Saxton et al. 2012, MNRAS 422, 1625



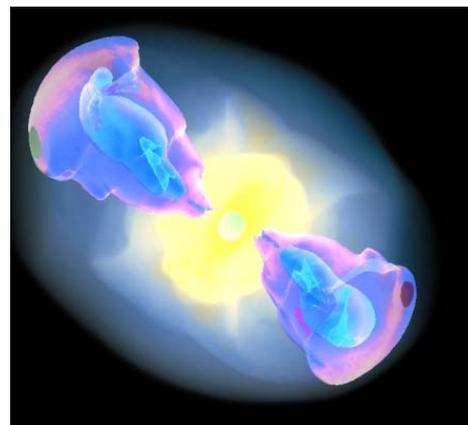
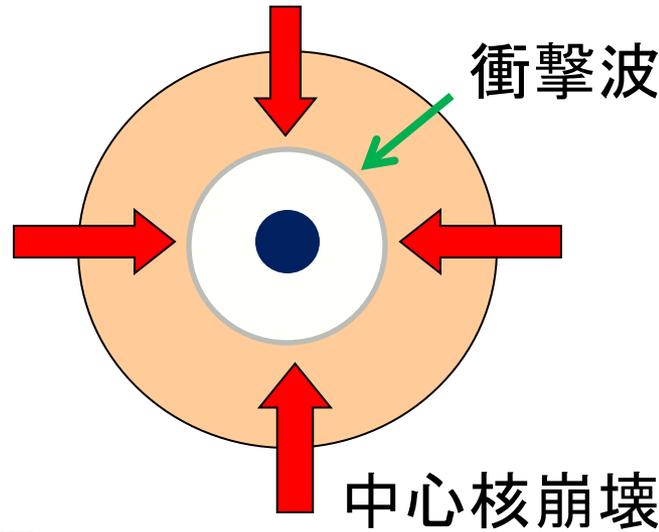
銀河中心ブラックホールへの超臨界降着？

# 粒子加速源のもうひとつの候補

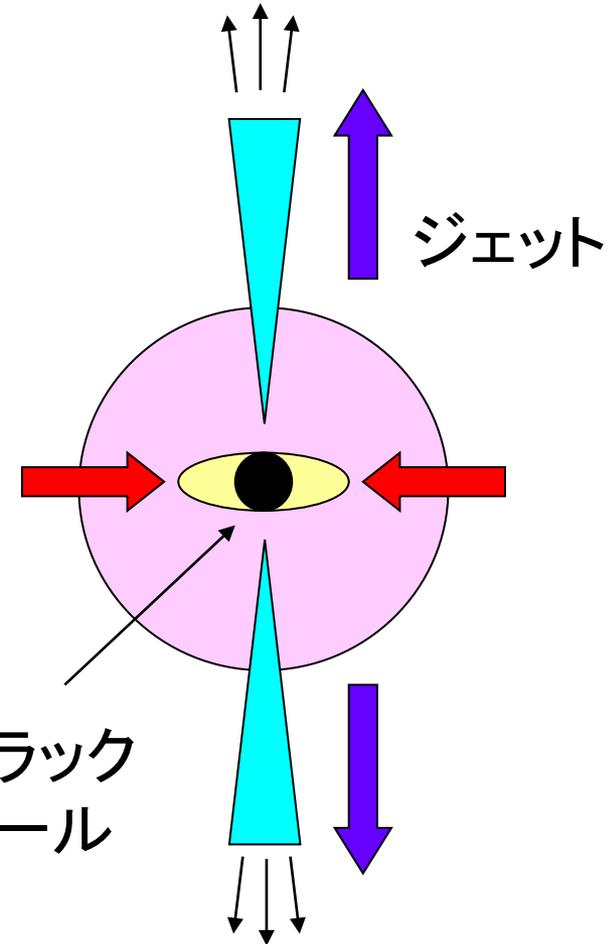


ベテルギウス

Haubois et al. 2009



シミュレーション結果(三上ら)



ガンマ線バースト

# まとめ

- ブラックホールが単独で存在するときには観測は難しいが、物質供給があれば、電磁波の放射やジェットのスプレーによって観測できる。
- ブラックホール近傍からスプレーするジェットは高エネルギー粒子加速源の候補
- 私たちの銀河系中心ブラックホールは今年、明るくなるかもしれない
- ブラックホールが直接観測される日も近い

**END**