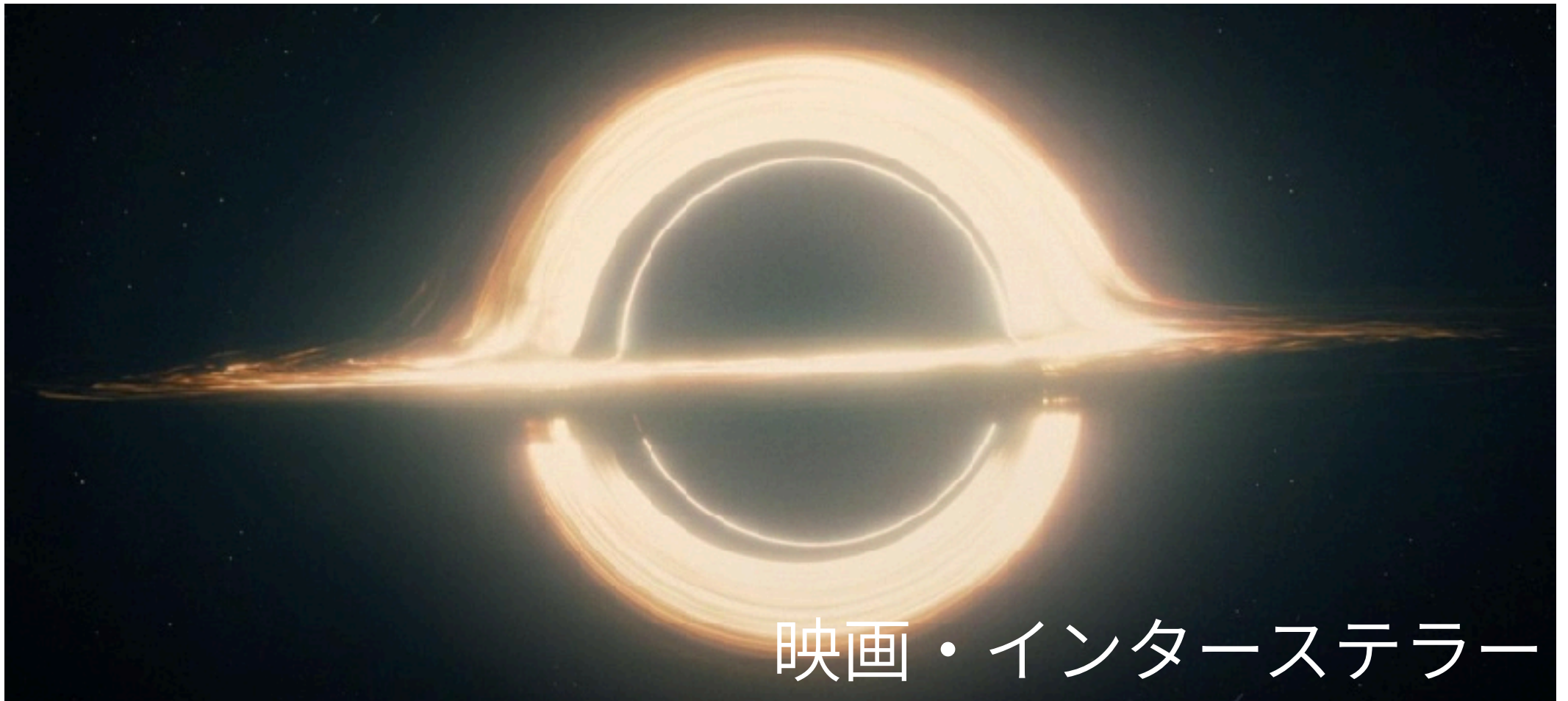


ブラックホールを通して 紐解く宇宙の歴史

井上 芳幸 (理化学研究所)

ブラックホール



映画・インターステラー

- 光すら脱出できない天体
 - 周囲の物質の運動や放射を通して発見可能
- 太陽程度の重さのブラックホールは重い星の爆発により生成

はくちょう座X-1:最初のブラックホール

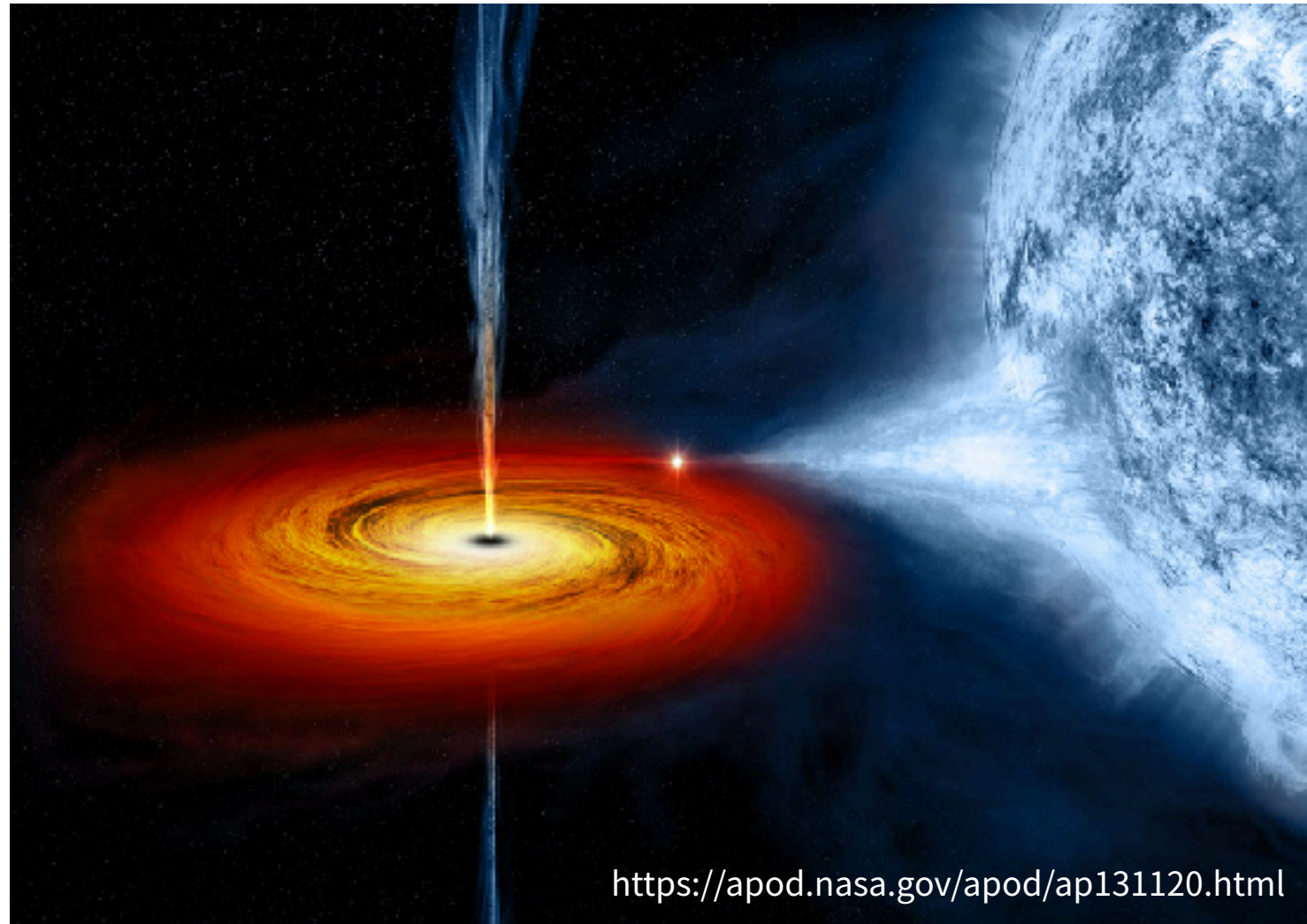


http://www.isas.jaxa.jp/j/japan_s_history

小田稔

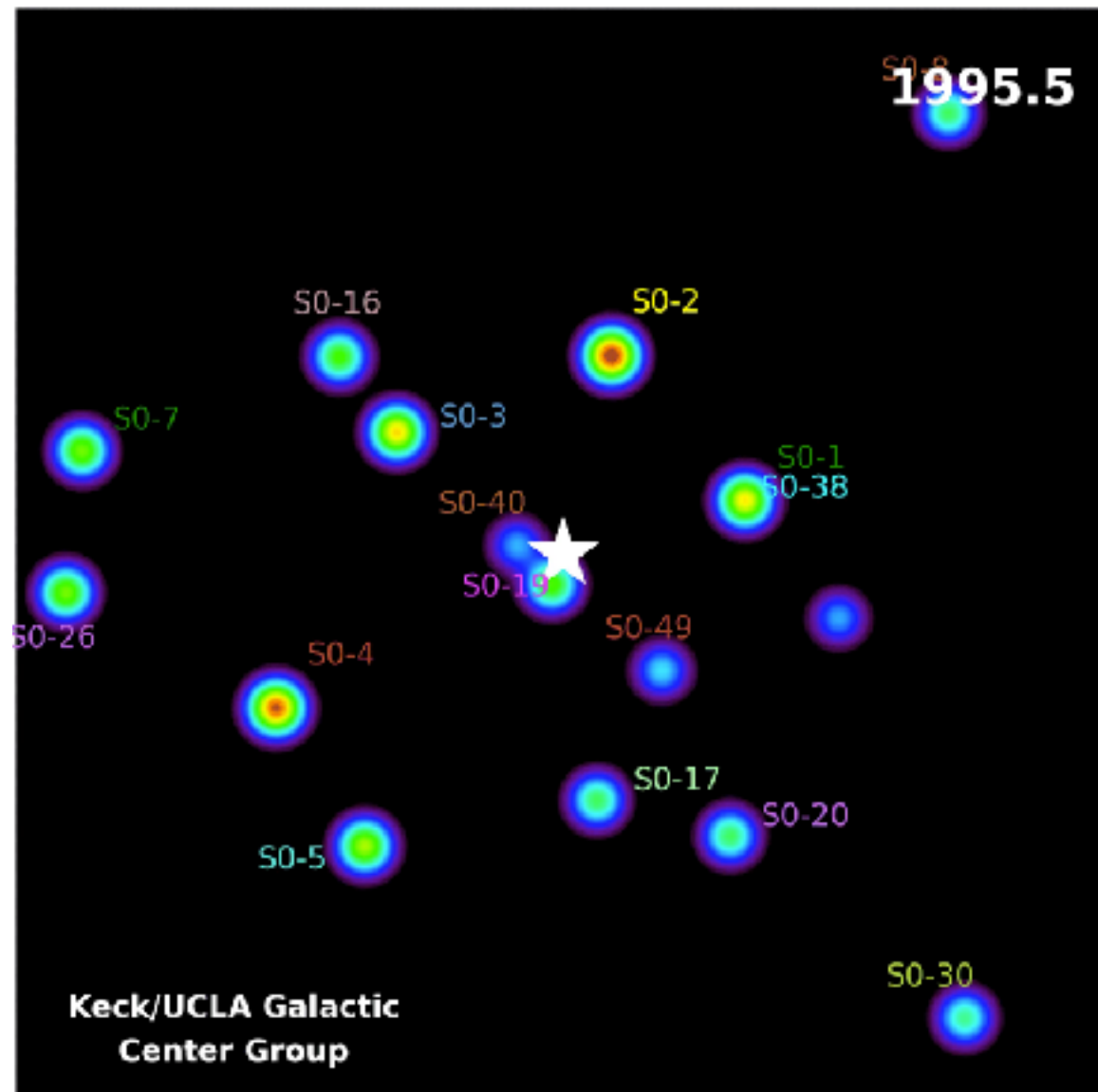
近接連星系ブラックホール

- ふつうの星とブラックホールからなる連星系
- お互いの回りをくるくる回る
- 周期~1日程度
- 距離~太陽半径の数倍程度



巨大ブラックホール

天の川銀河中心の巨大ブラックホール
周辺の星の運動



- 銀河の中心には、百万 - 百億太陽質量のブラックホールが存在
- 4百万太陽質量のブラックホール@天の川銀河中心
- 銀河の中心領域の星の総質量と相関
 - ブラックホールの空間サイズの10億-100億倍
- 銀河進化史・宇宙史にとって重要天体

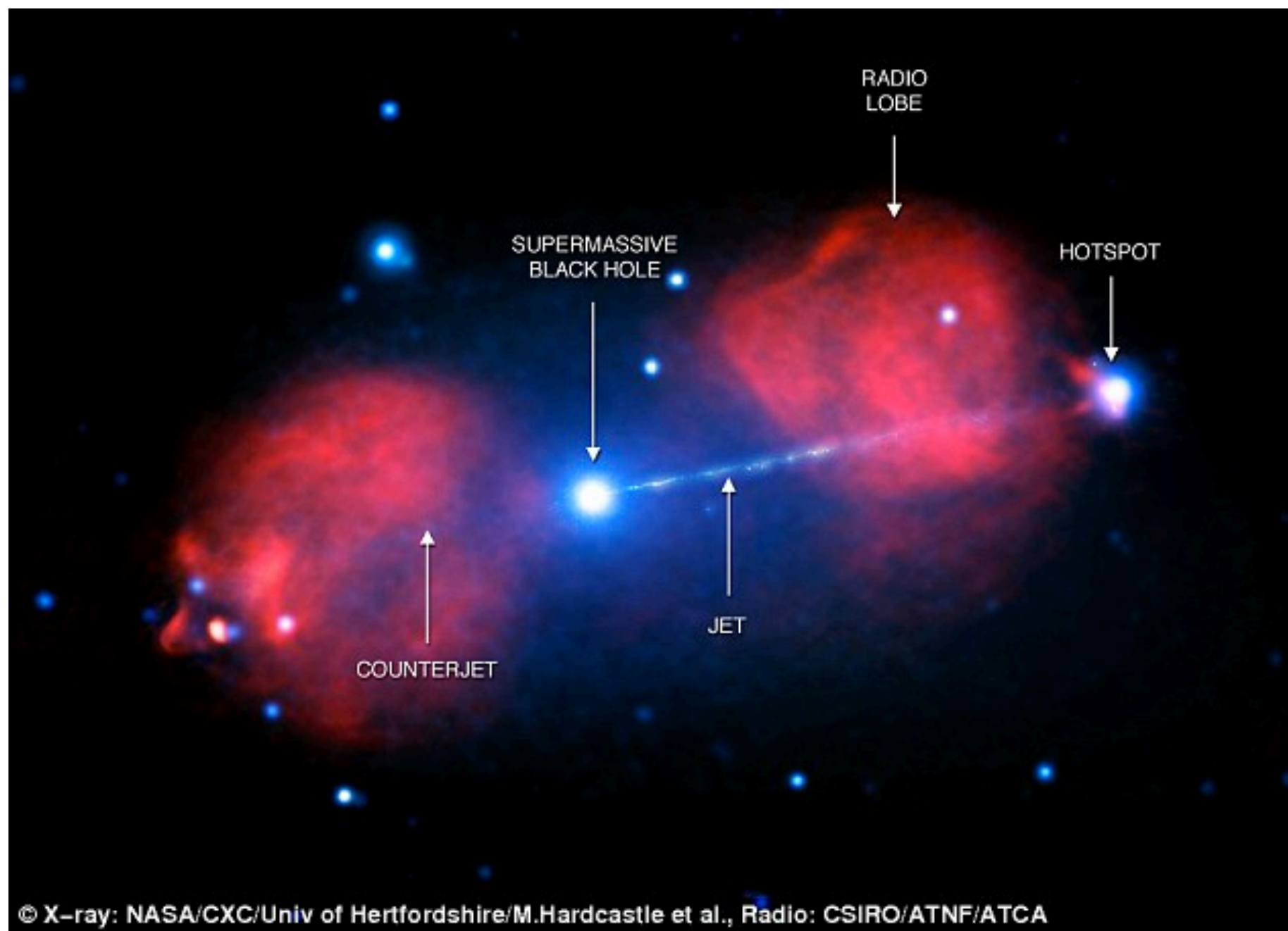
活動する巨大ブラックホール



- 巨大ブラックホールへ周囲のガスが降着
- ブラックホールの重力エネルギーを開放
- 銀河より明るくなる
 - 活動銀河核、クエーサーなど
- 相対論的ジェット
 - 宇宙最大の粒子加速器

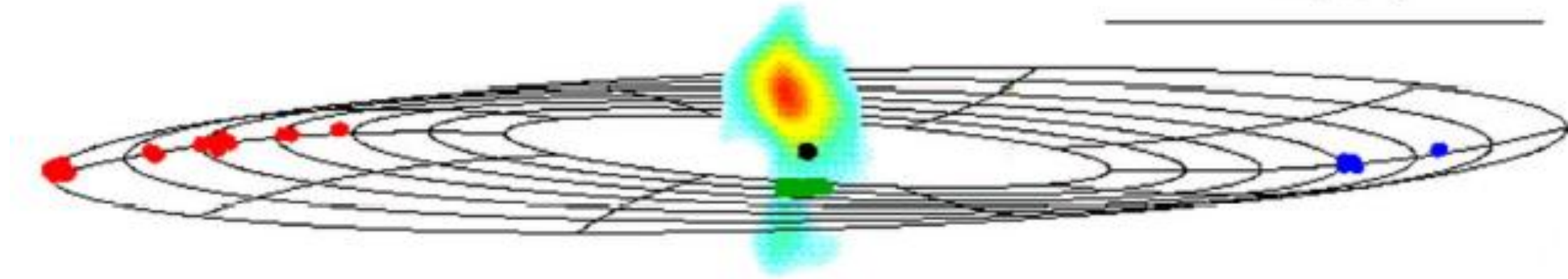
ブラックホールの見え方

- ブラックホール近傍は極限世界
- 高温ガス・高エネルギー粒子➡X線・ガンマ線も放射

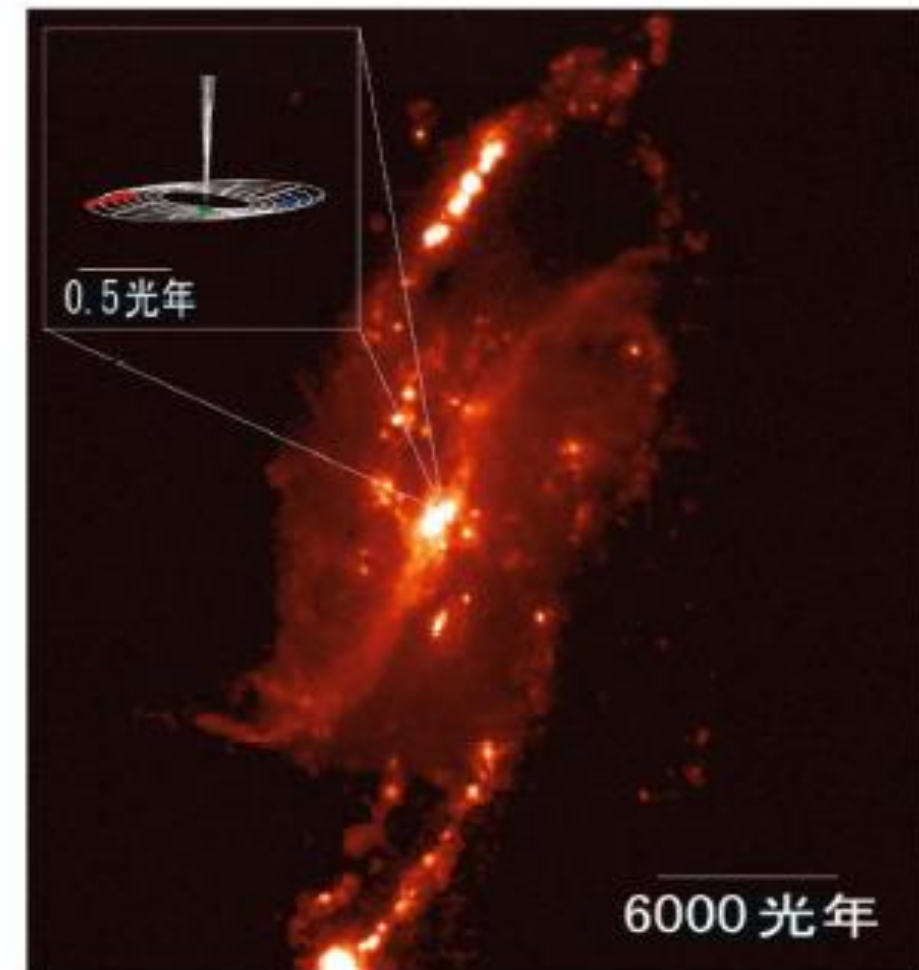
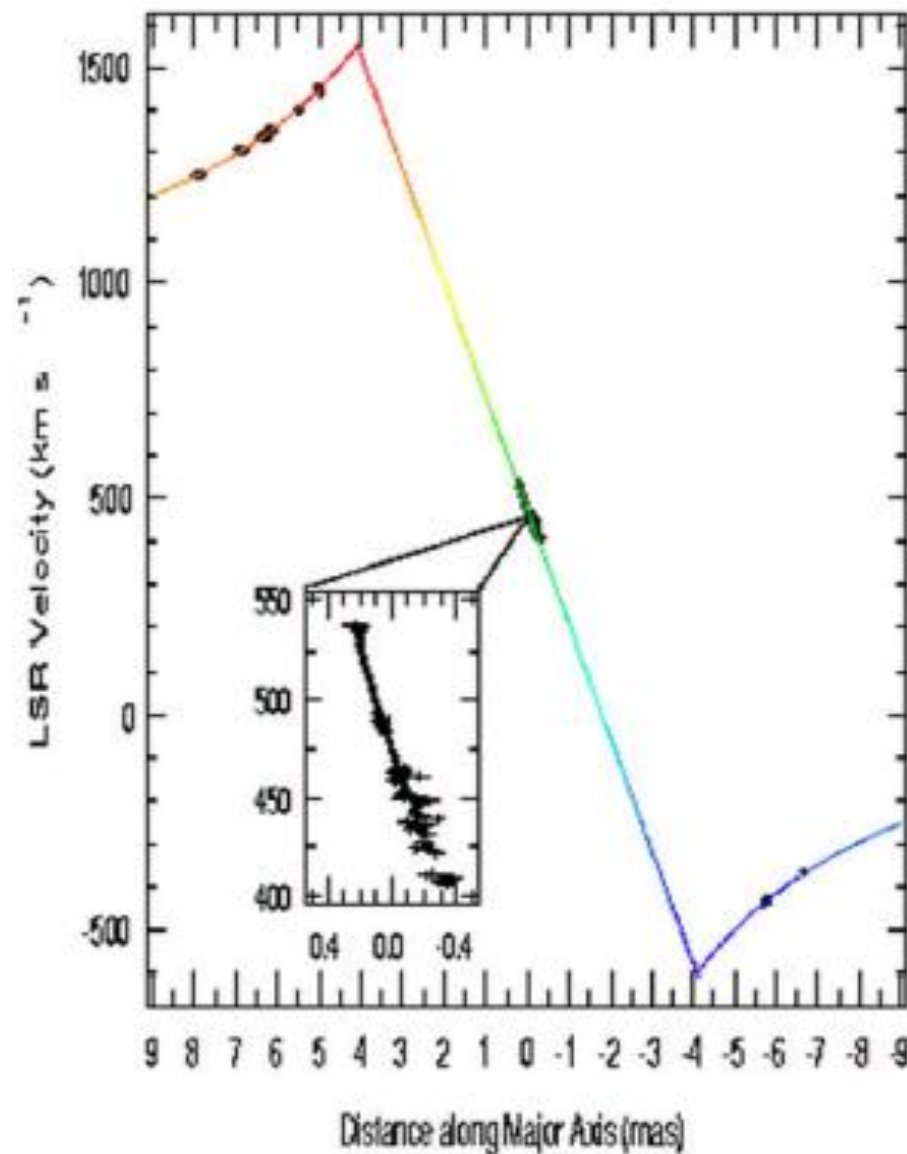


電波でみるブラックホール

0.5 光年

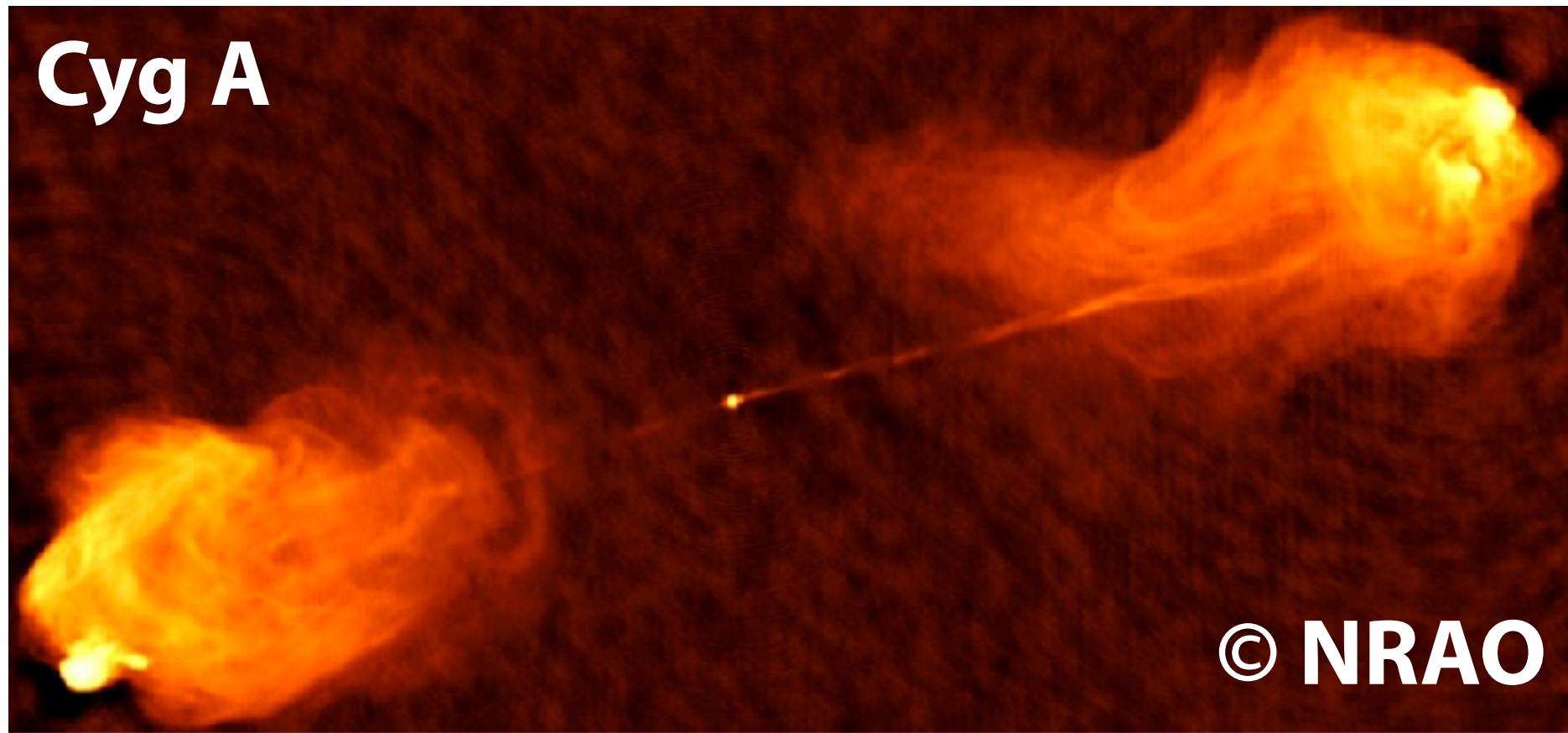


- BH 円盤ガス
が電波を放射
- ケプラー回転
の発見



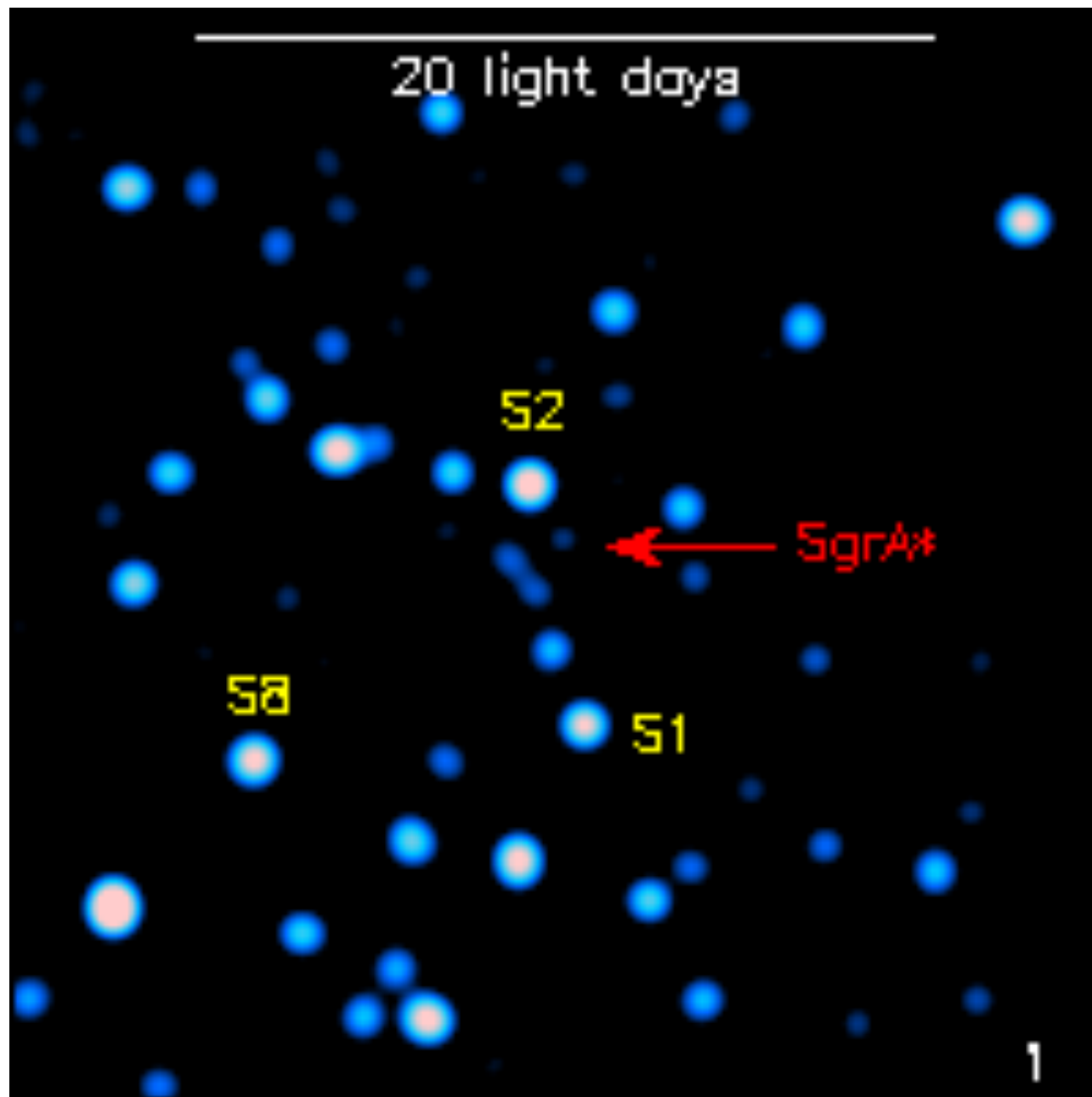
Miyoshi et al. 1995

電波でみるブラックホール



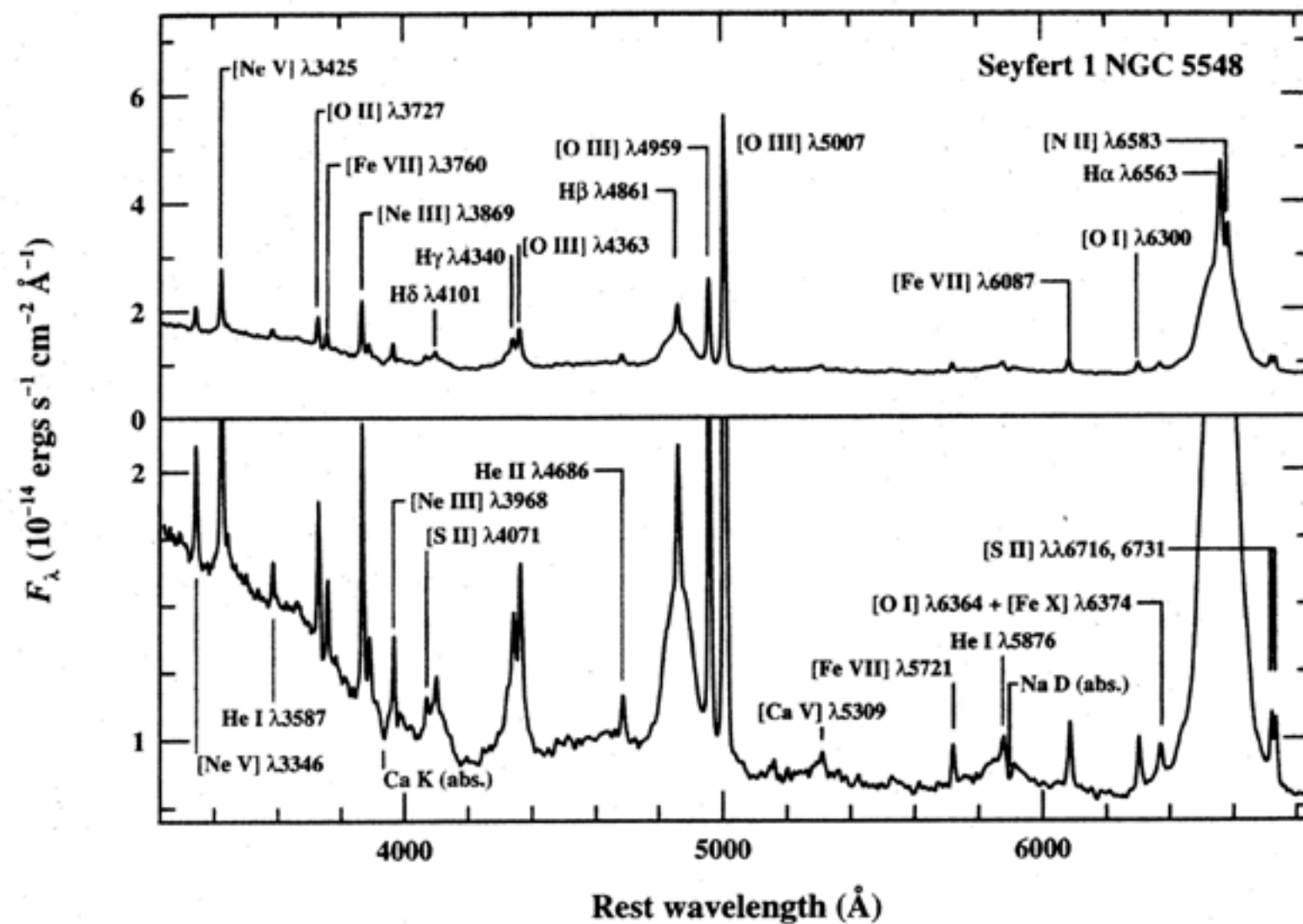
- BH からほぼ光速で噴き出す「相対論的ジェット」からの電波放射
- ~数百 kpc (一千万光年程度の大きさ)

赤外線で見えるブラックホール



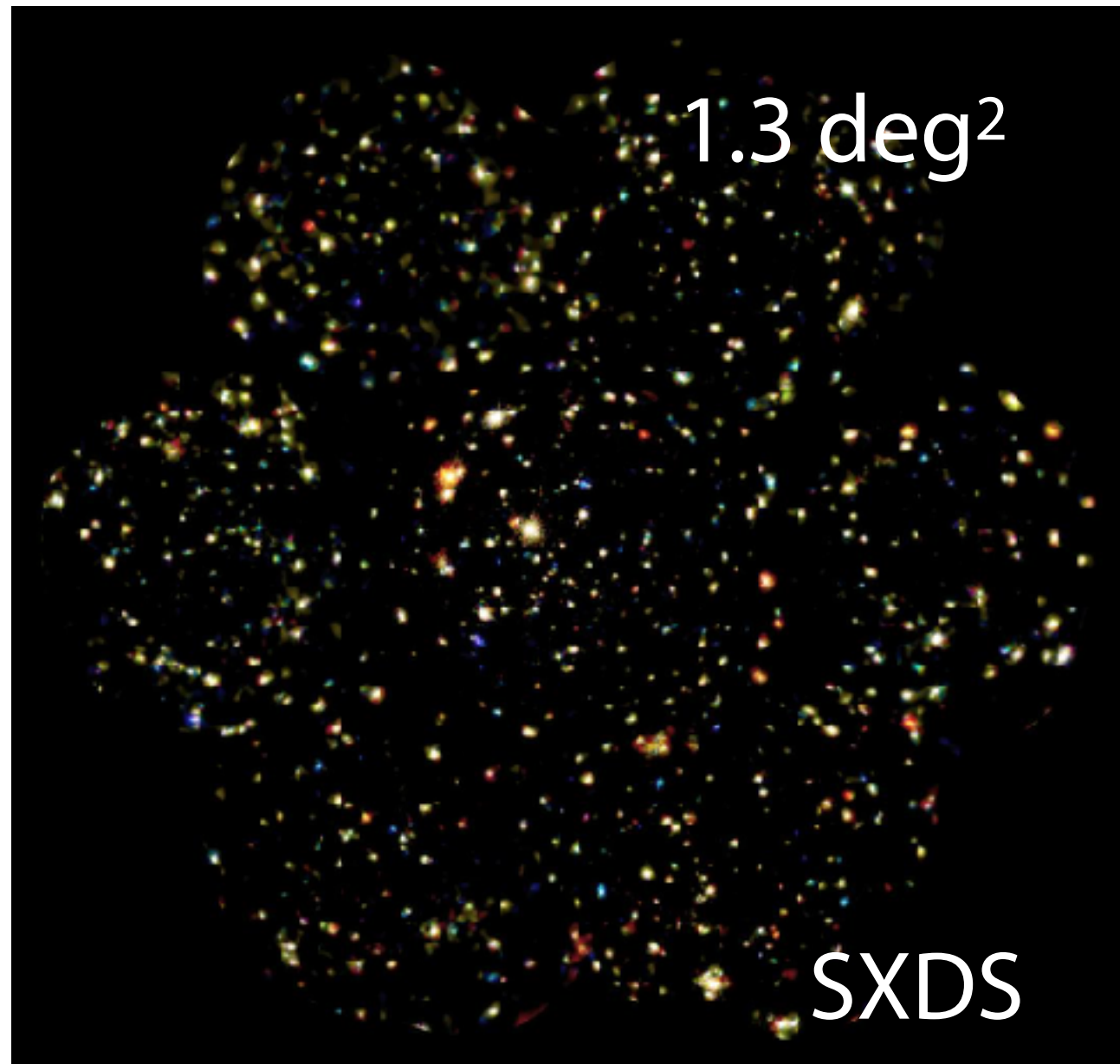
- 天の川銀河中心領域の近赤外線画像
- 中心で明滅してるのがブラックホール
- ~1 hr の動画

可視光でみるブラックホール



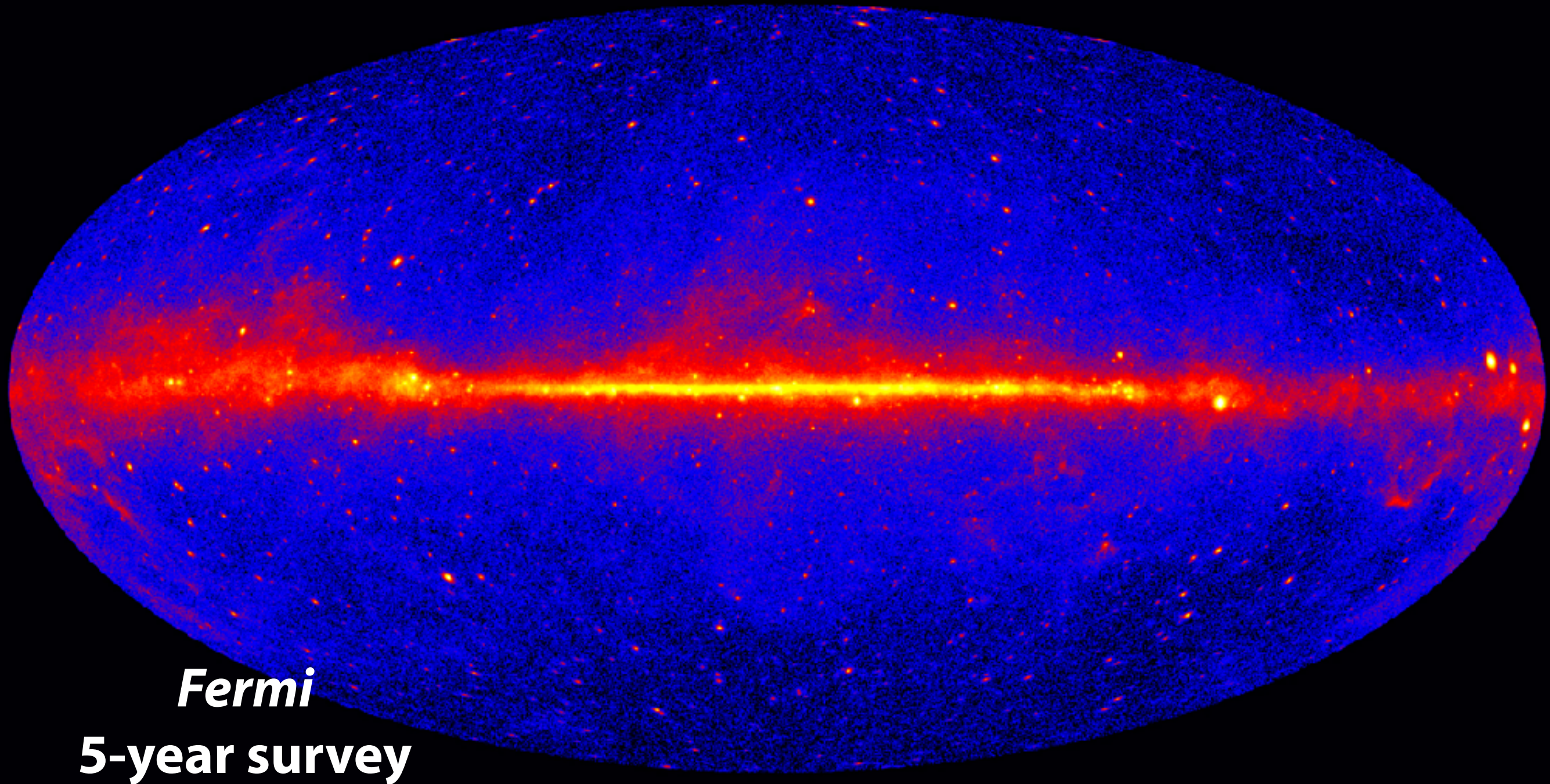
- 様々な高励起輝線
- 幅の広い輝線

X線で見えるブラックホール



- ブラックホール円盤はX線で光る
- 巨大ブラックホールからの光

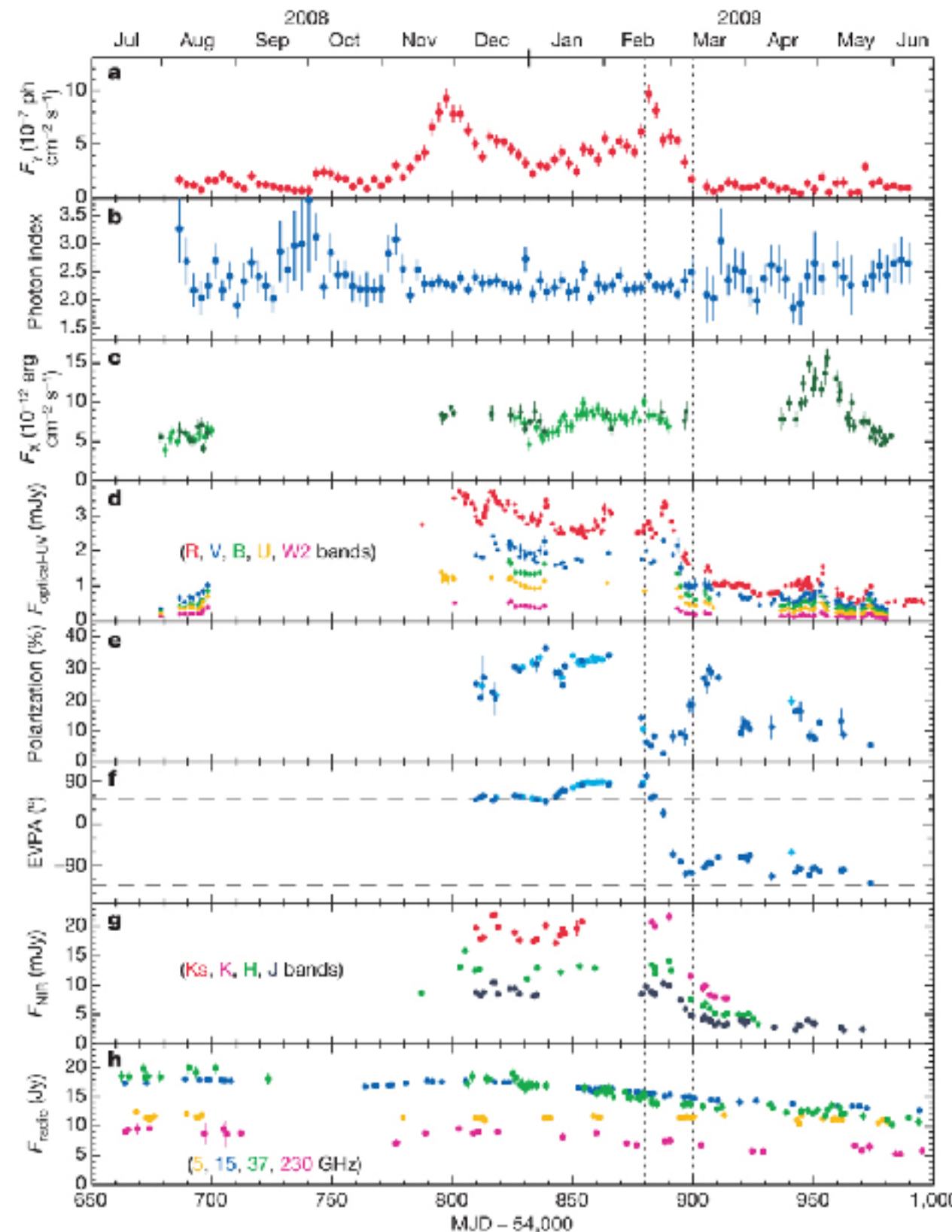
ガンマ線で見えるブラックホール



- ジェットで加速された粒子による放射

多波長でみるブラックホール

- 巨大ブラックホールジェットの時間変動
- 典型的には1日で変動
 - 早いものだと~200秒程度
- 偏光度は10%程度

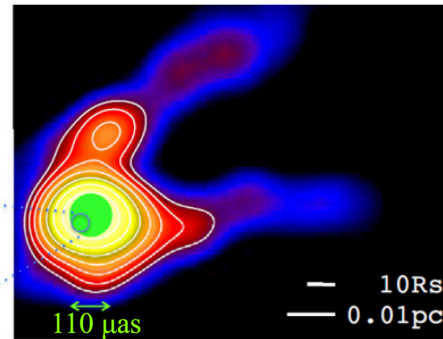
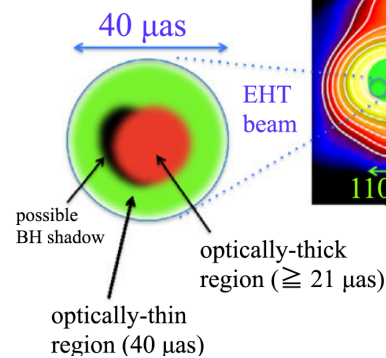


ブラックホールジェット之谜

radio (mm-VLBI)

(Kino+15,16)

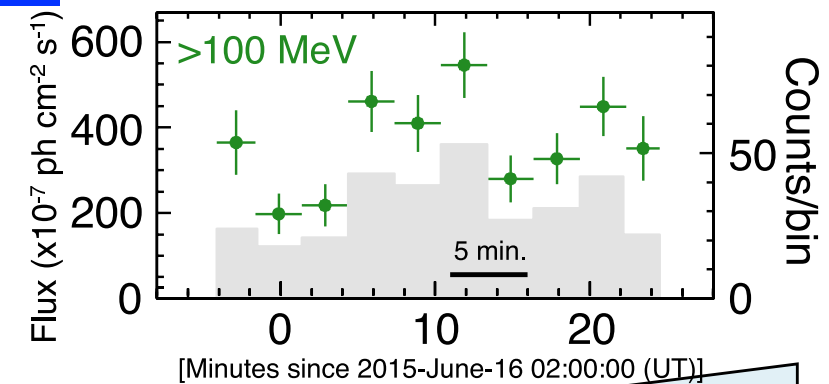
poynting
dominated
@a few-10Rs



Gamma-ray

minute-scale
variability

(LAT collab.16, MH+16)



BH

磁場優勢

$> \sim 10^{4-5} R_S$?

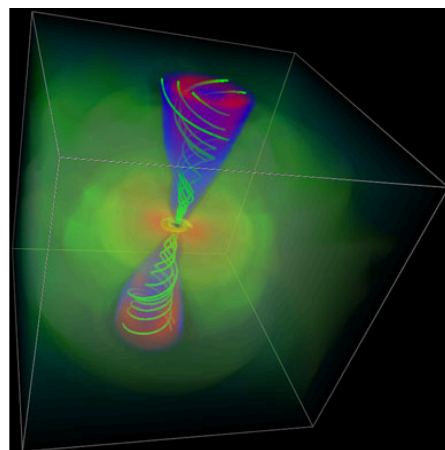
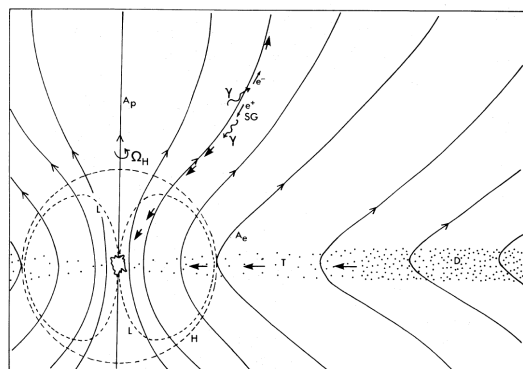
物質優勢

γ -ray?
 $\Gamma > 50$

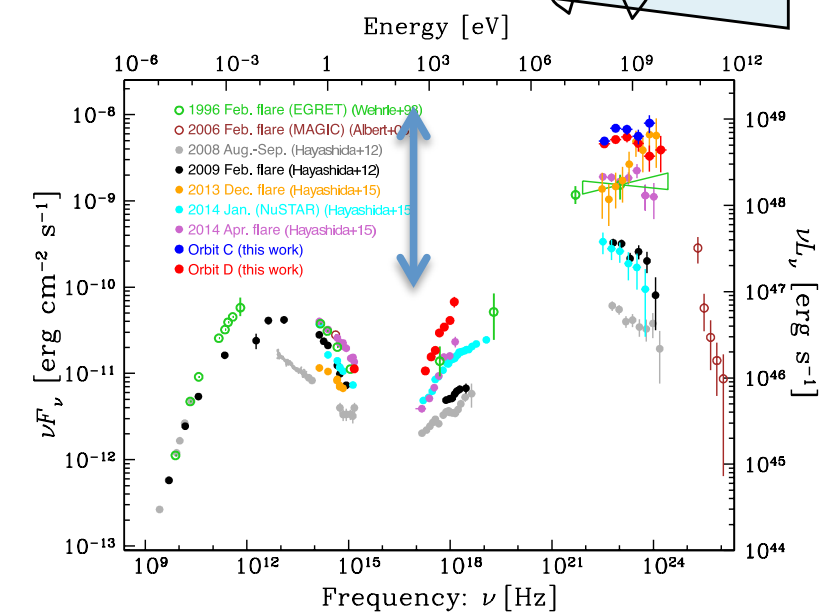
simulation

magnetically driven jet

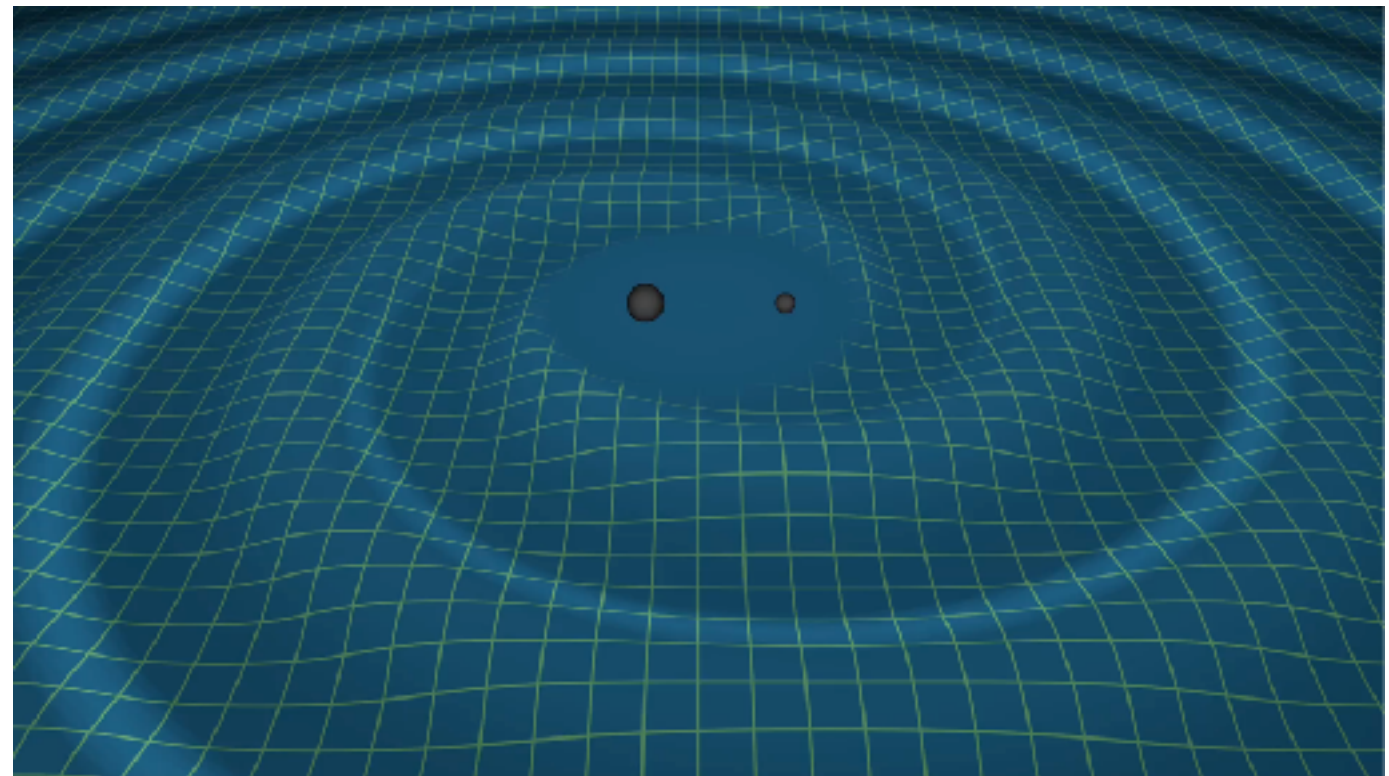
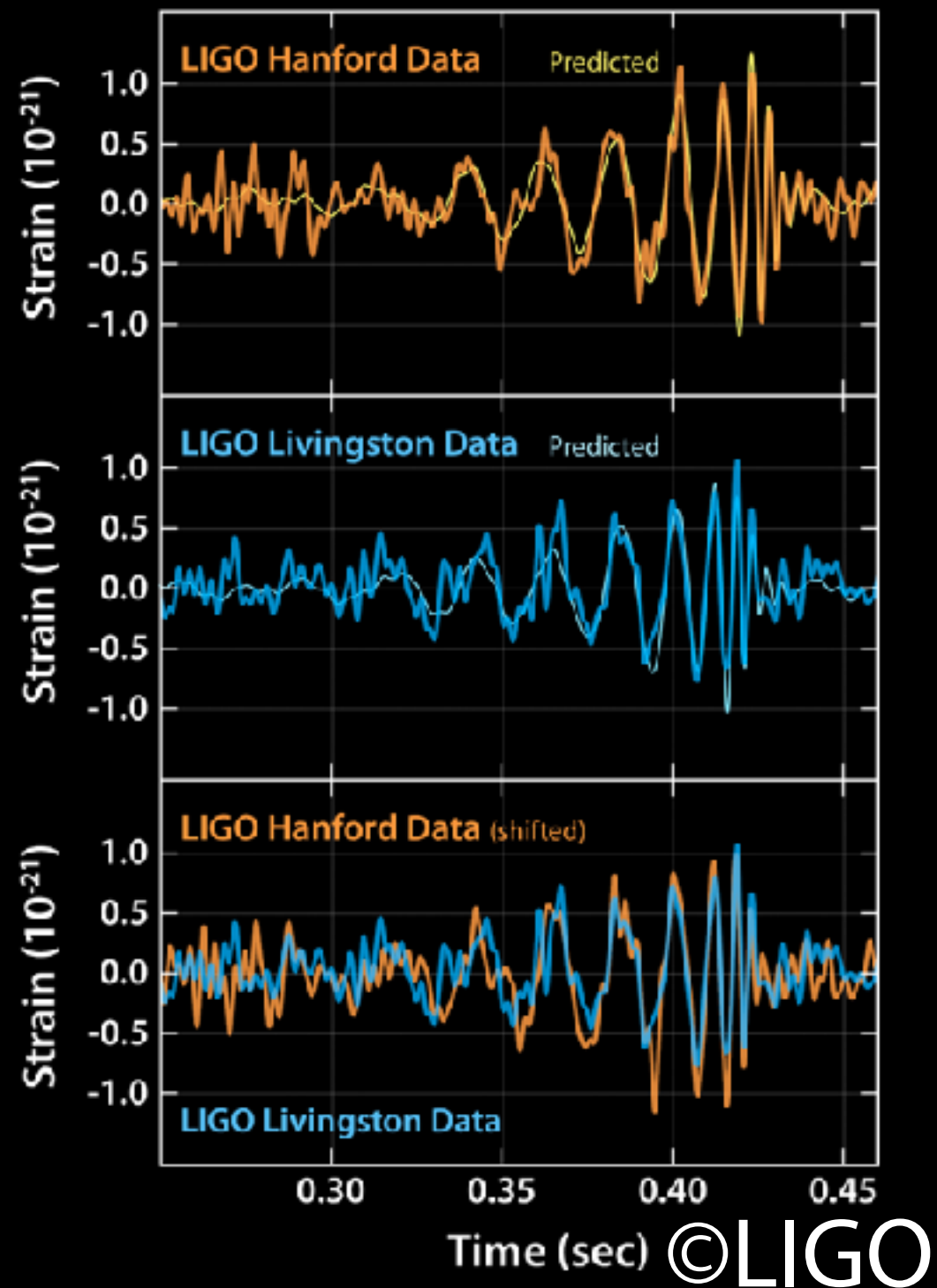
(e.g., BZ mechanism)



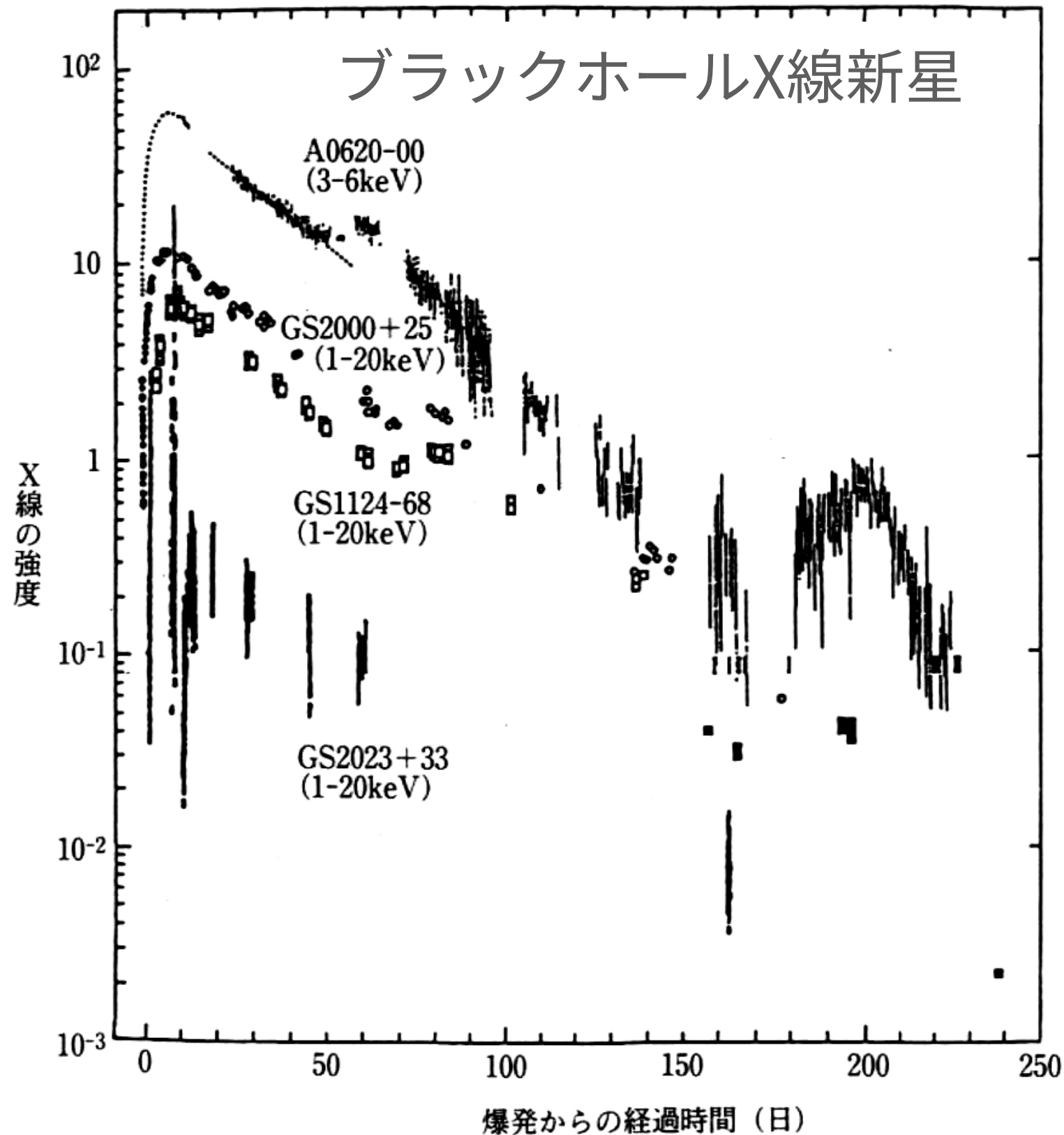
high-Compton
dominance



重力波で見るブラックホール



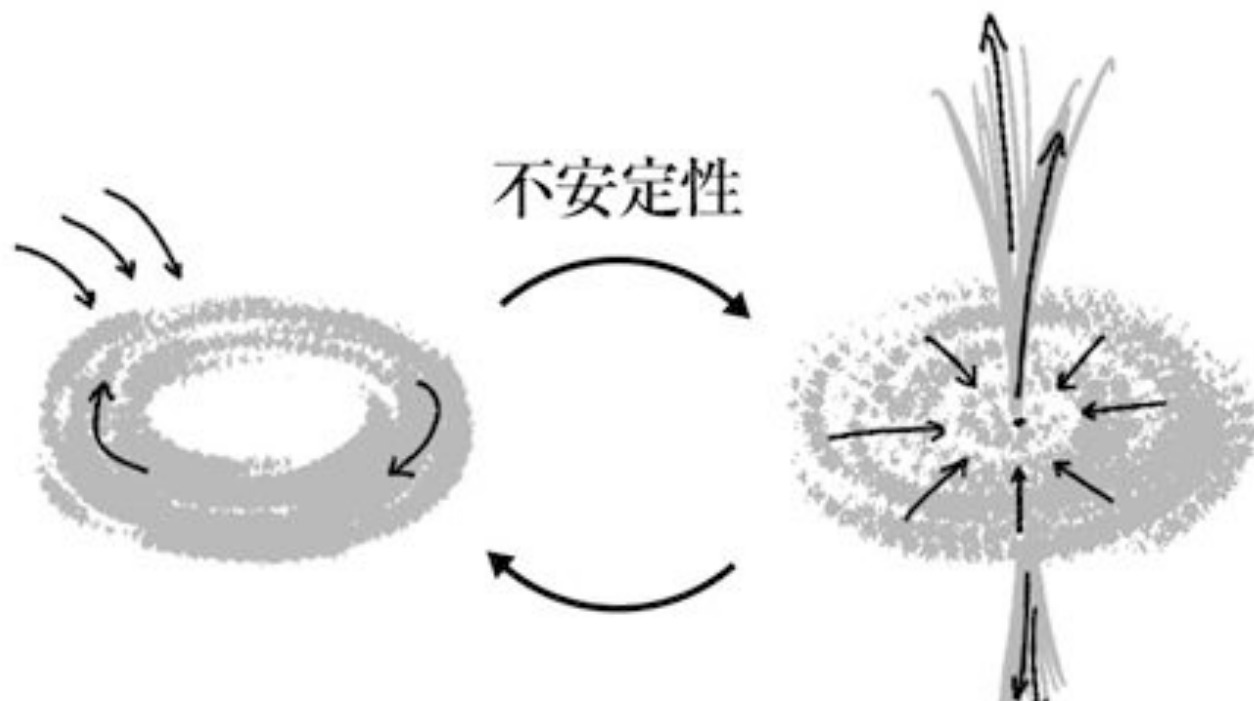
ブラックホールの明るさ変動



- 日本のぎんが衛星最大の成果の一つ
- 銀河系内ブラックホールは数十年に一度大増光

円盤不安定モデル

- ブラックホール降着円盤は2つの異なる状態間を行来



ガスを貯める暗い状態(静穏期)

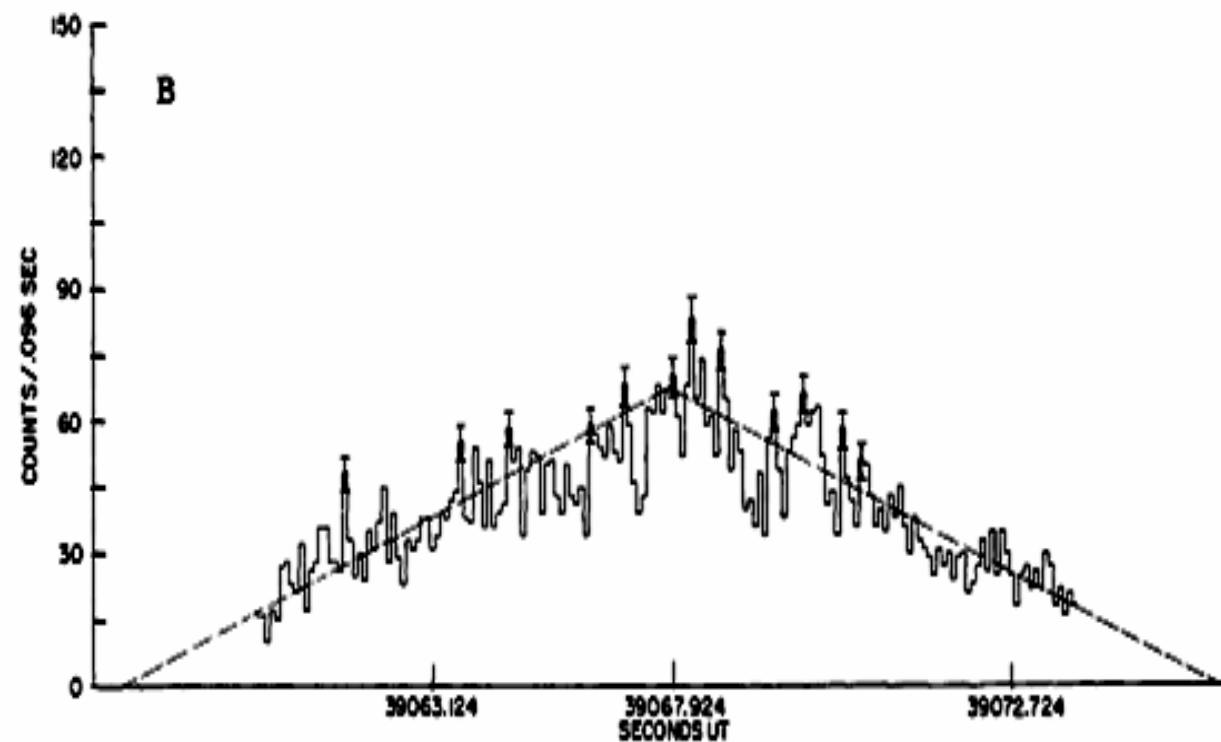
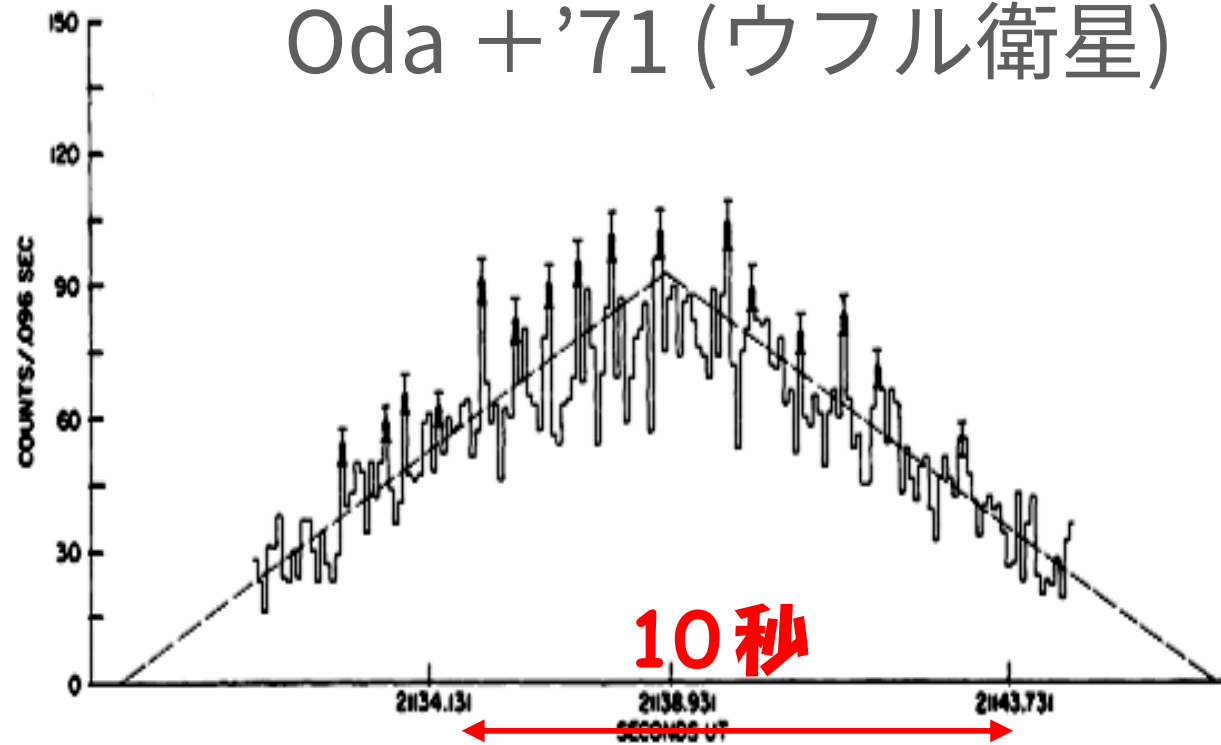
ガスを落として明るい状態(フレア期)



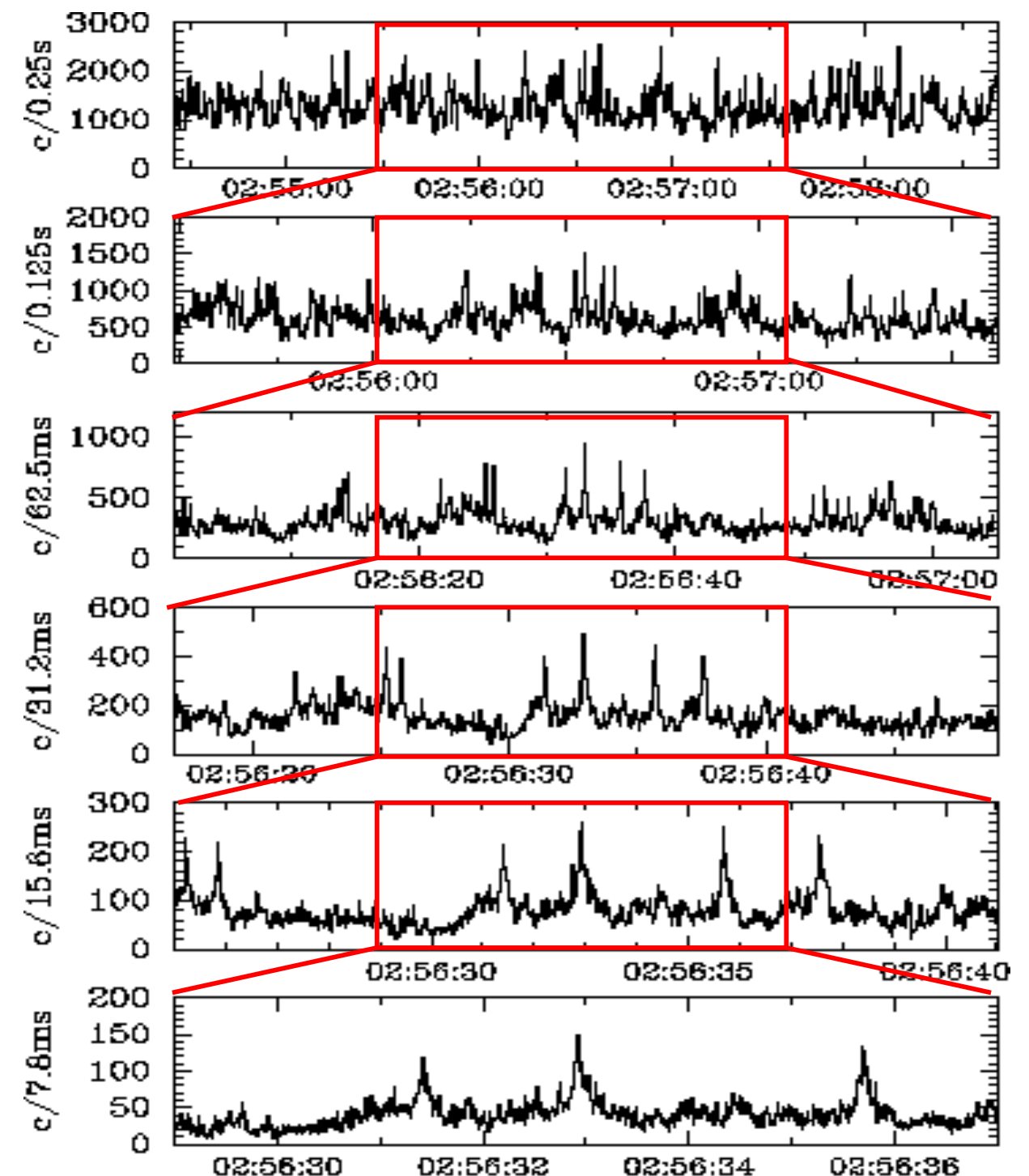
<https://www.youtube.com/watch?v=qKq2OGG7m68>

激しい時間変動

Oda +'71 (ウフル衛星)

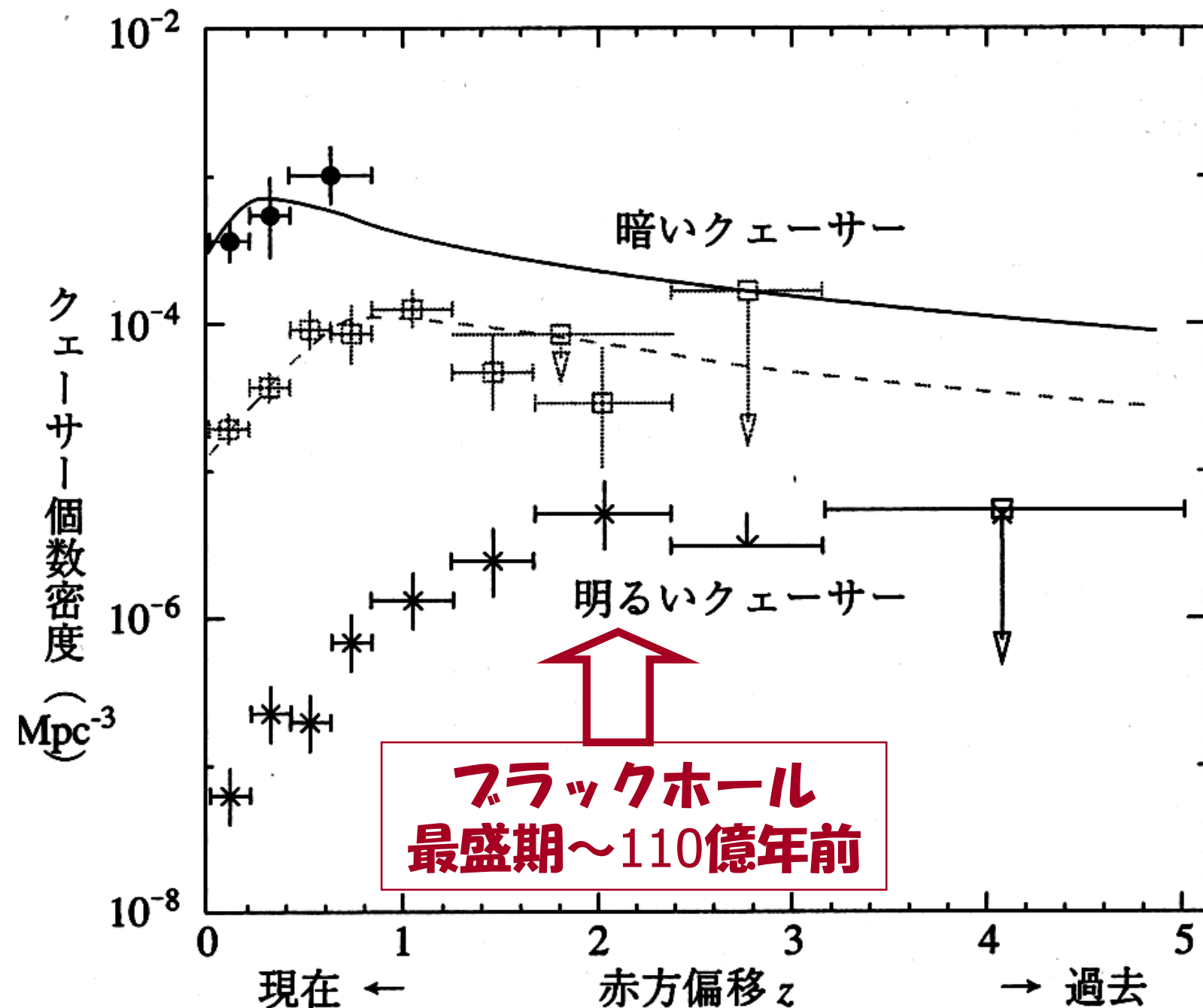


Negoro+ '95 (ぎんが衛星)



ブラックホールの宇宙論的進化

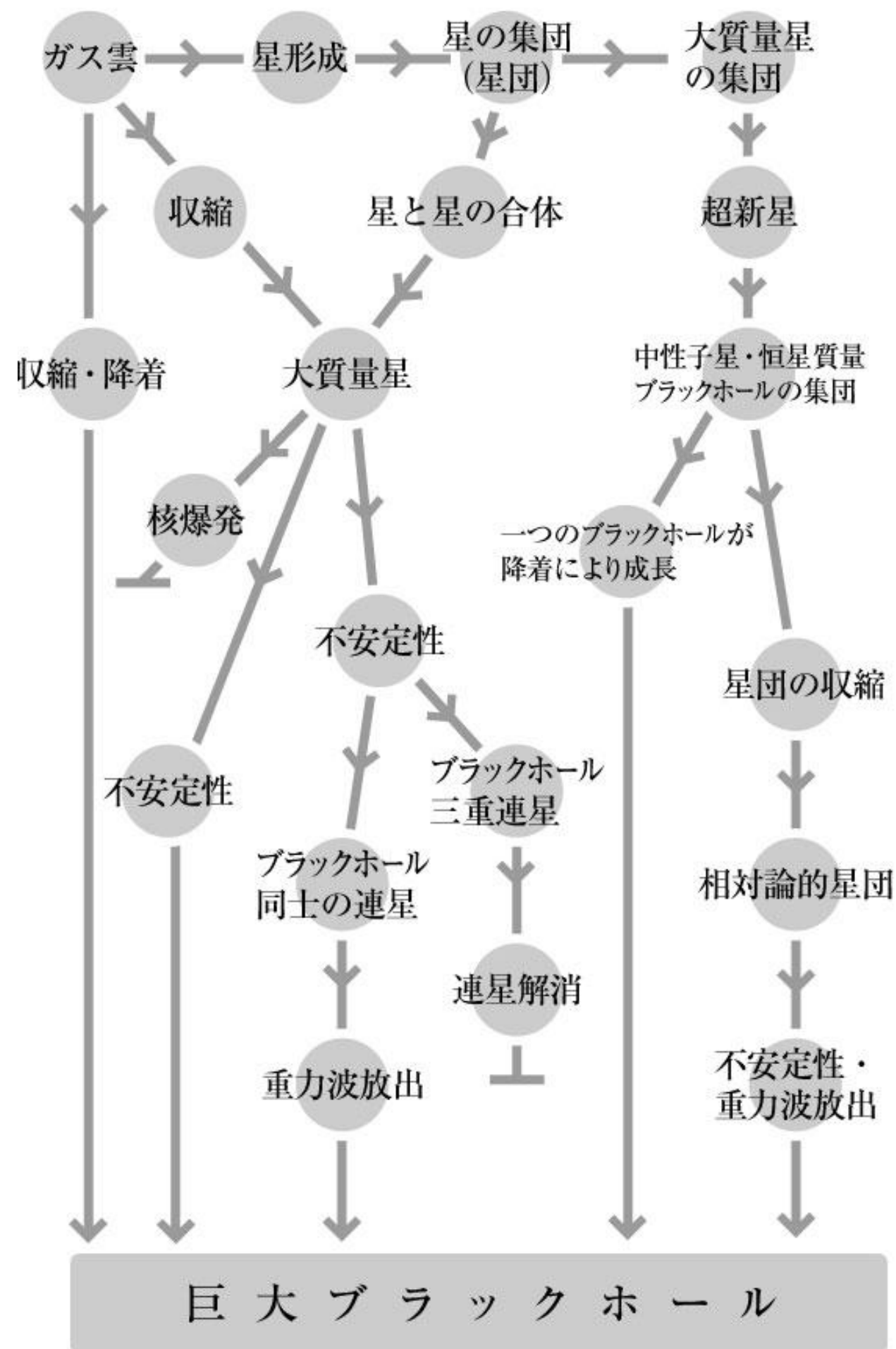
- 明るいクエーサーほどより昔にたくさんできた
- 明るいクエーサー = 重いBH



巨大ブラックホールの作り方: リース 1984



- でかい星をつくる
- 星団を作ってから合体合成



ブラックホールを作るために必要な時間 を見積もってみよう

- ガス降着 ➡ 放射

$$L = \frac{GM_{\text{BH}}\dot{M}_{\text{acc}}}{R_{\text{in}}} \simeq \frac{1}{6}\dot{M}_{\text{acc}}c^2 \equiv \epsilon\dot{M}_{\text{acc}}c^2$$

- エディントン降着：重力 = 輻射圧

$$\dot{M}_{\text{BH}} = \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \frac{L}{c^2} < \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \frac{L_{\text{Edd}}}{c^2} = \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \frac{M_{\text{BH}}}{t_{\text{Edd}}}$$

$$L_{\text{Edd}} = \frac{4\pi c G M_{\text{BH}}}{\kappa_{\text{T}}} \quad t_{\text{Edd}} = 0.45 \text{ Gyr}$$

- 成長時間

$$t_{\text{grow}} \geq 0.05 \ln(M_{\text{BH}}/M_{\text{BH},0}) \text{ Gyr}$$

-