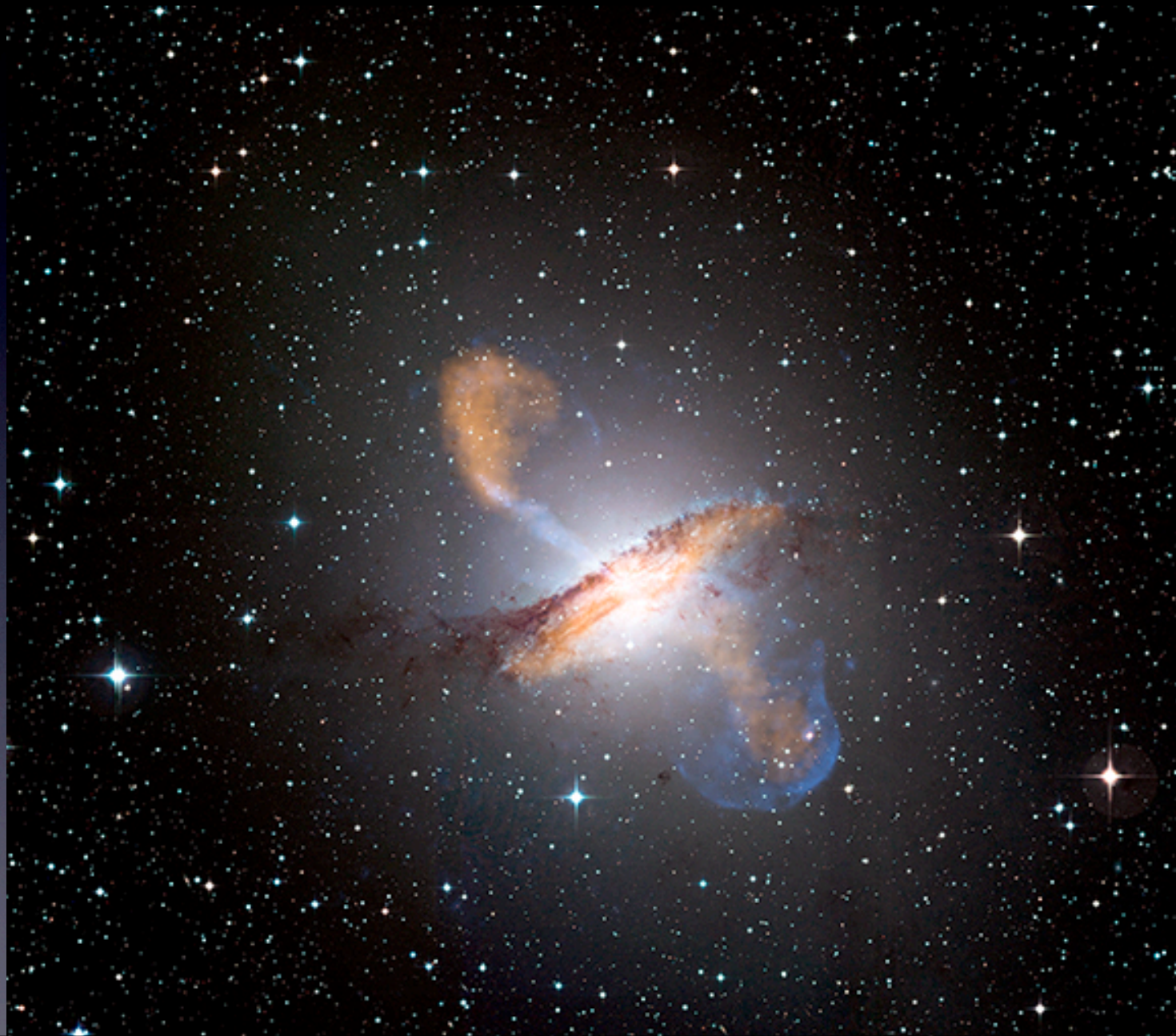
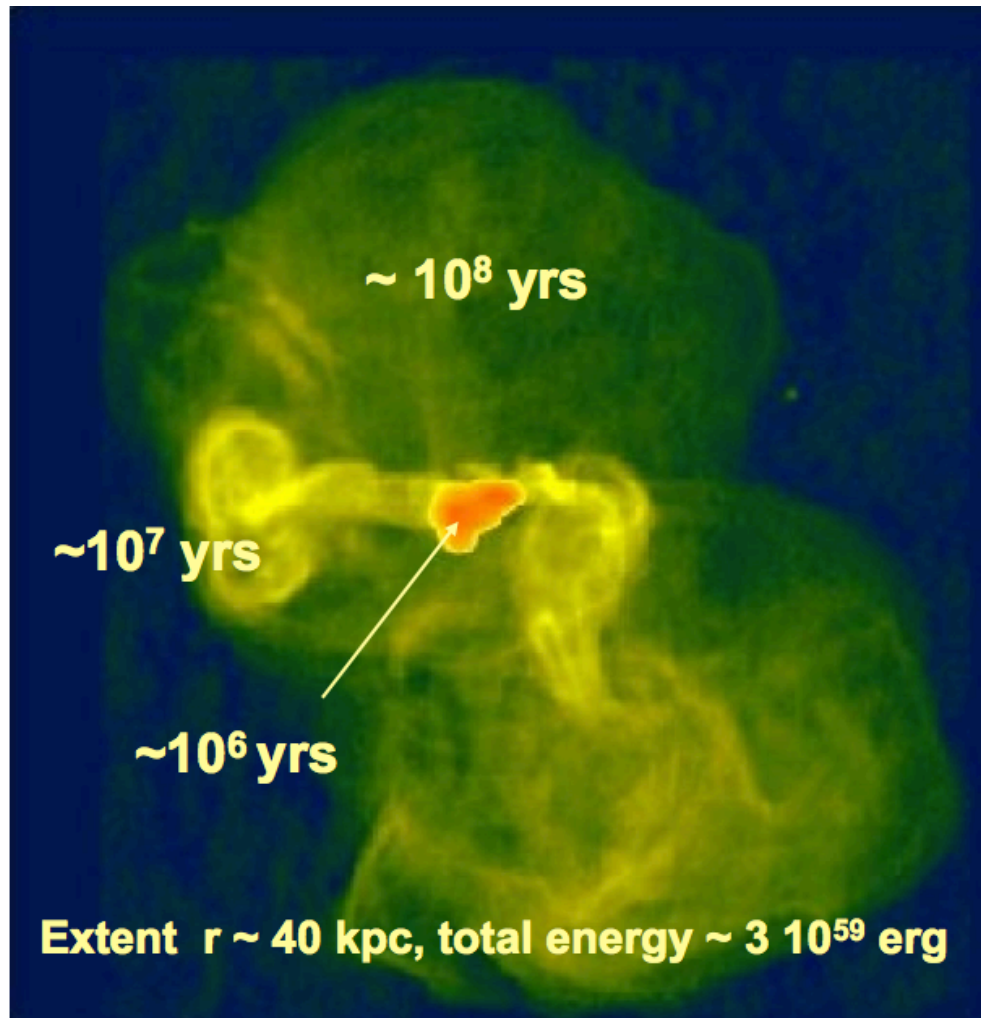


# The role of blackholes

# Jets from the center



# Radio lobes around a BH



M87

Energy input from the central blackhole.

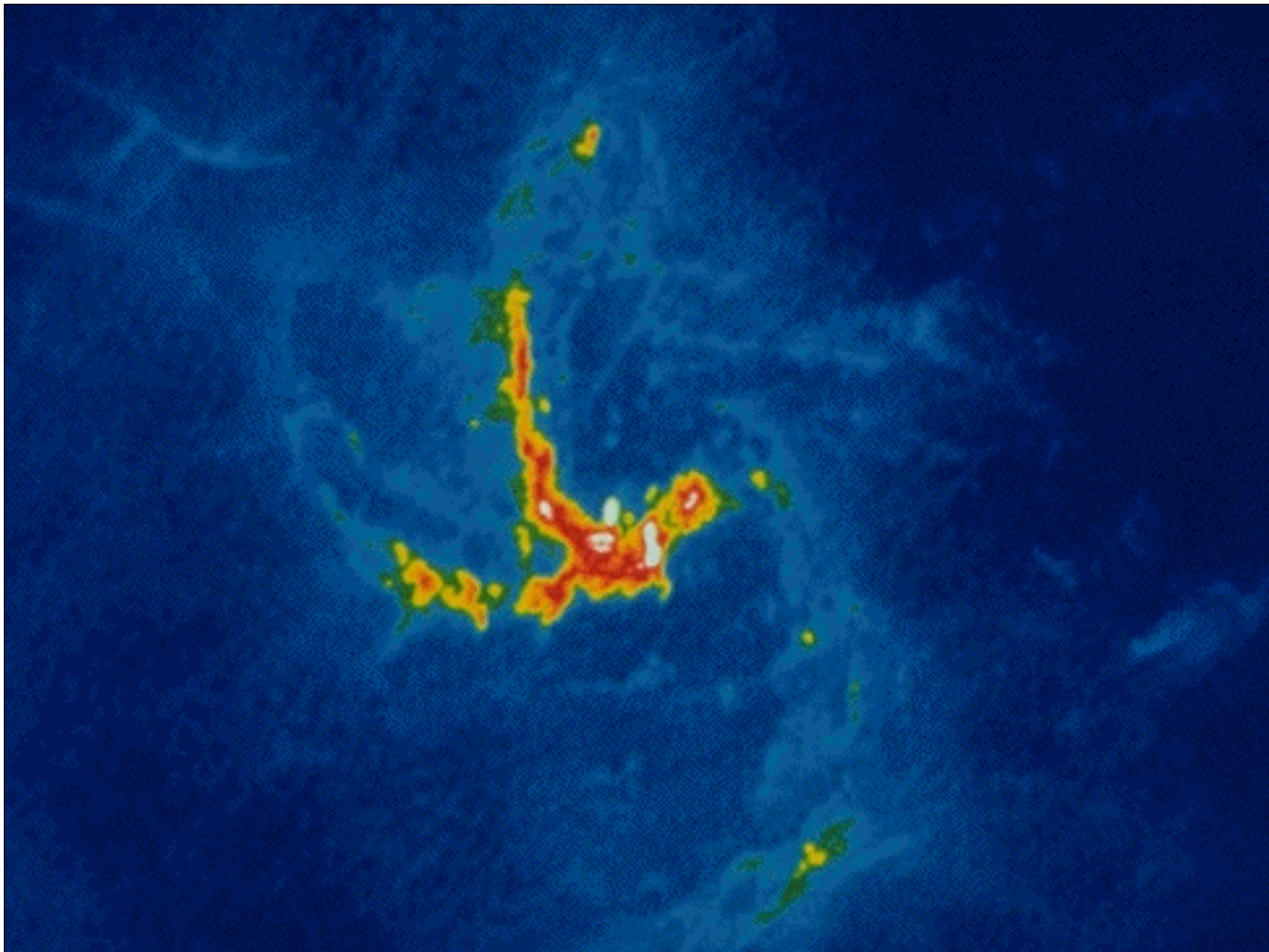
Initially as a dipolar relativistic jets

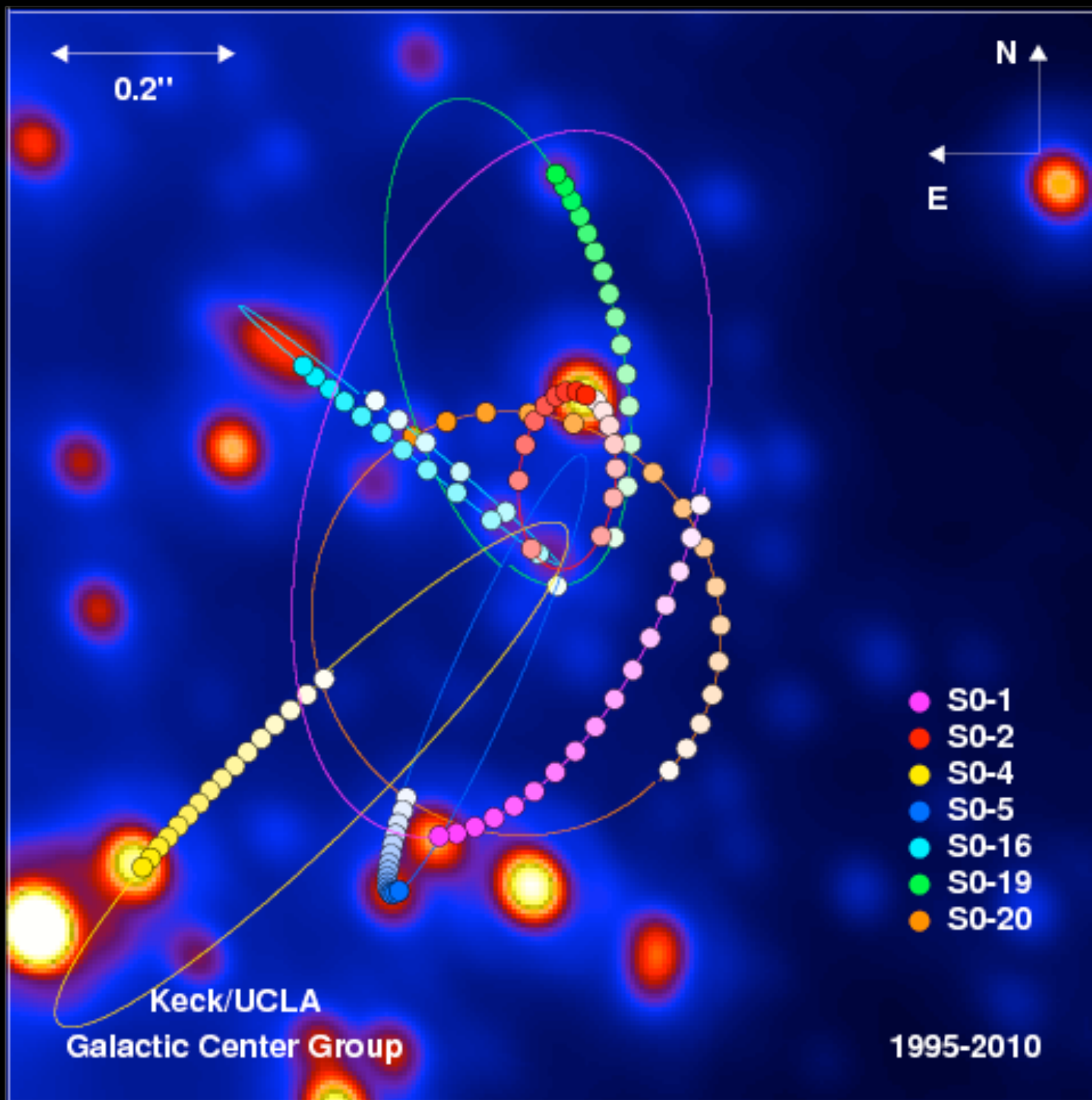
Cocoons and bubbles are formed

# BH in Milky Way!

SGR A\*

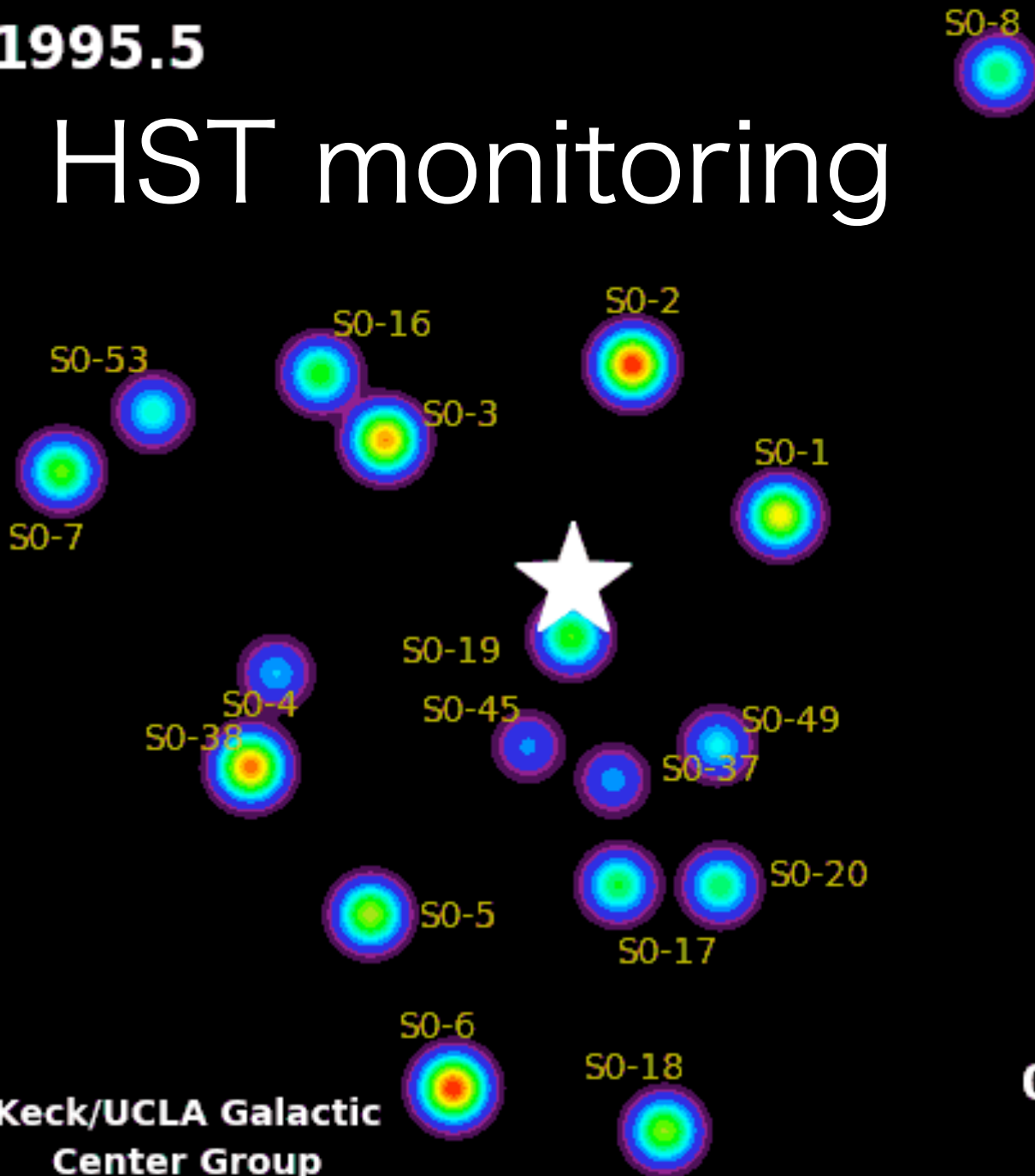
A composite image of the Milky Way galaxy, showing a dense field of stars and interstellar dust. The central region is highlighted with a yellow arrow and labeled "SGR A\*", indicating the location of the supermassive black hole. The image is a mosaic of different wavelengths, showing various colors like blue, green, and red.



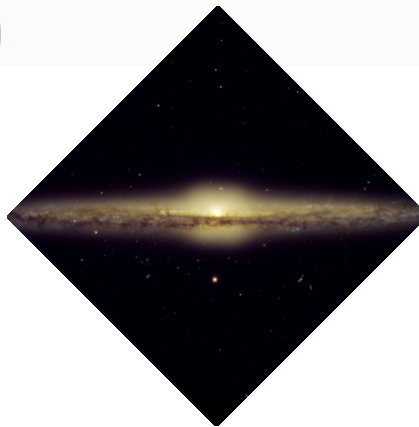
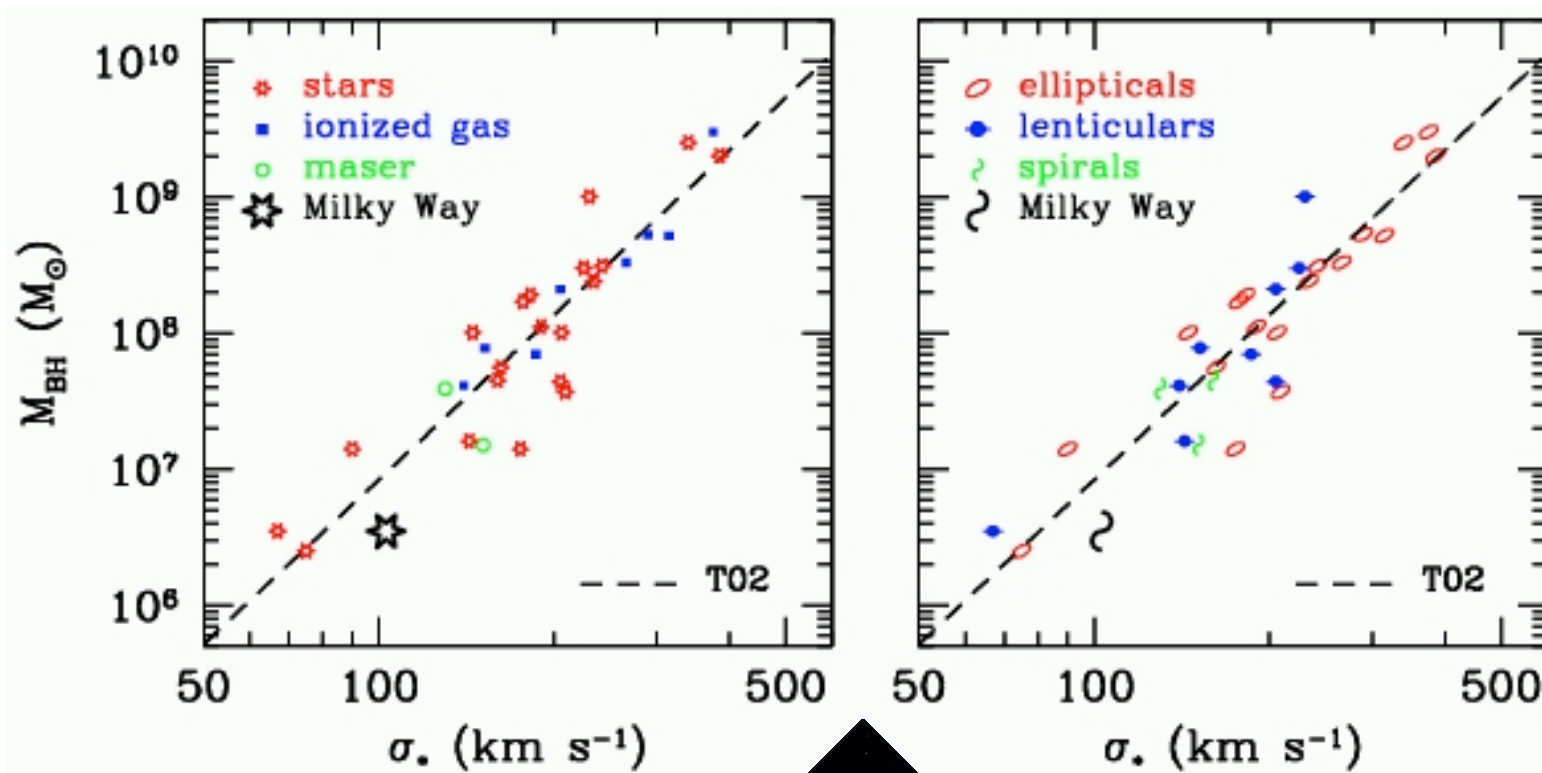


1995.5

# HST monitoring

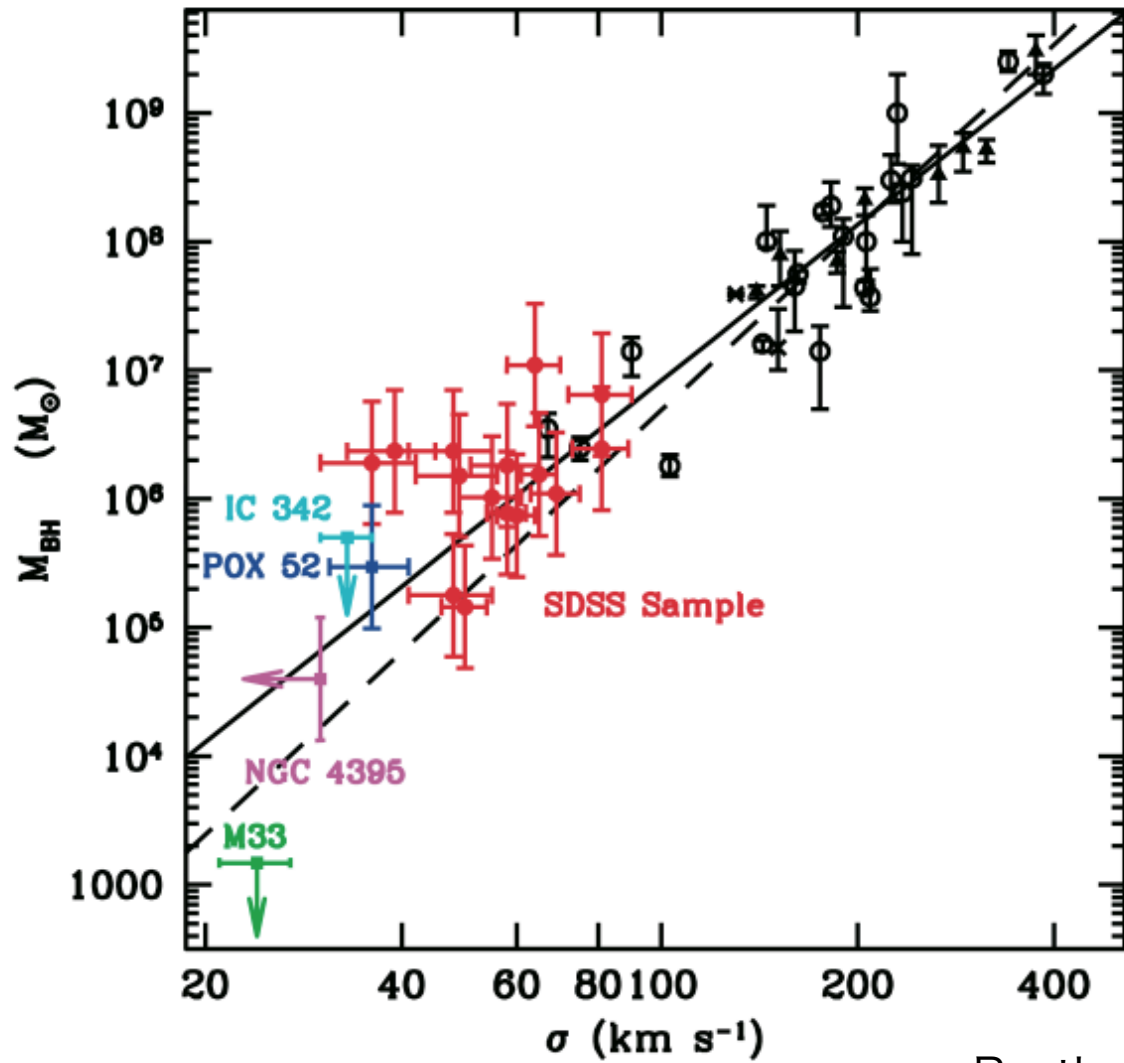


# The Magorrian relation





# M- $\sigma$ relation at small M



Barth, Greene, Ho 2005

# 共進化と言われても...

質量が  $M$  のブラックホールのシュワルツ

シルト半径は  $r = 2GM / c^2$  :

1太陽質量なら  $r \sim 3$  km

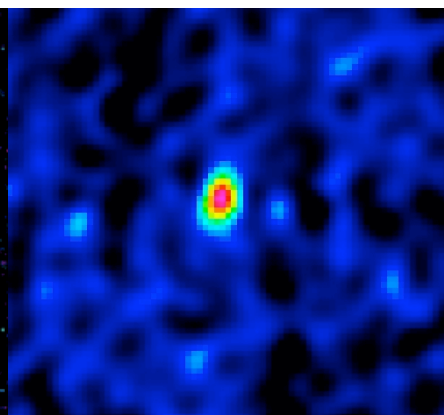
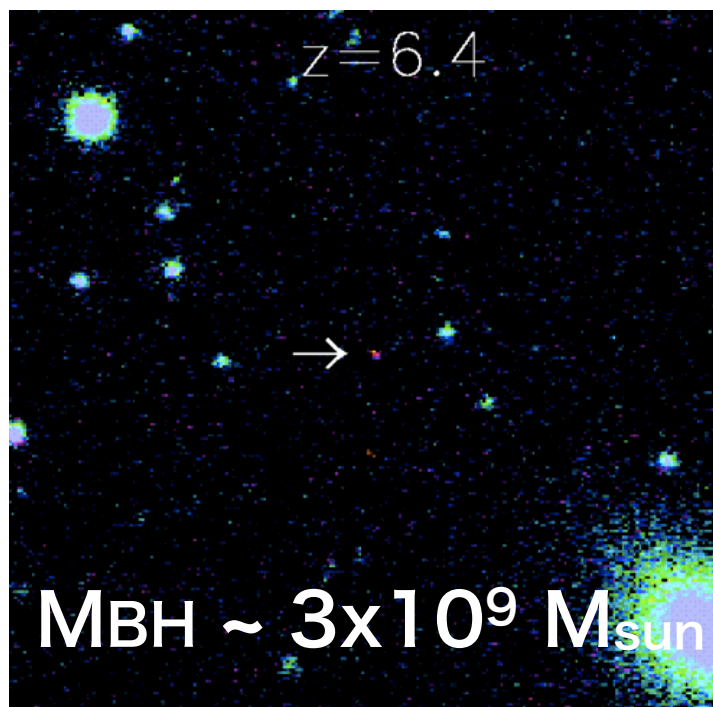
1億太陽質量でも  $r \ll 1$  pc

ブラックホールの重力による影響が及ぶのは

$$r_{\text{BH}} = GM/\sigma^2 = \underline{10.8 \text{ pc}} (M/10^8) (\sigma/200 \text{ km/sec})^{-2}$$

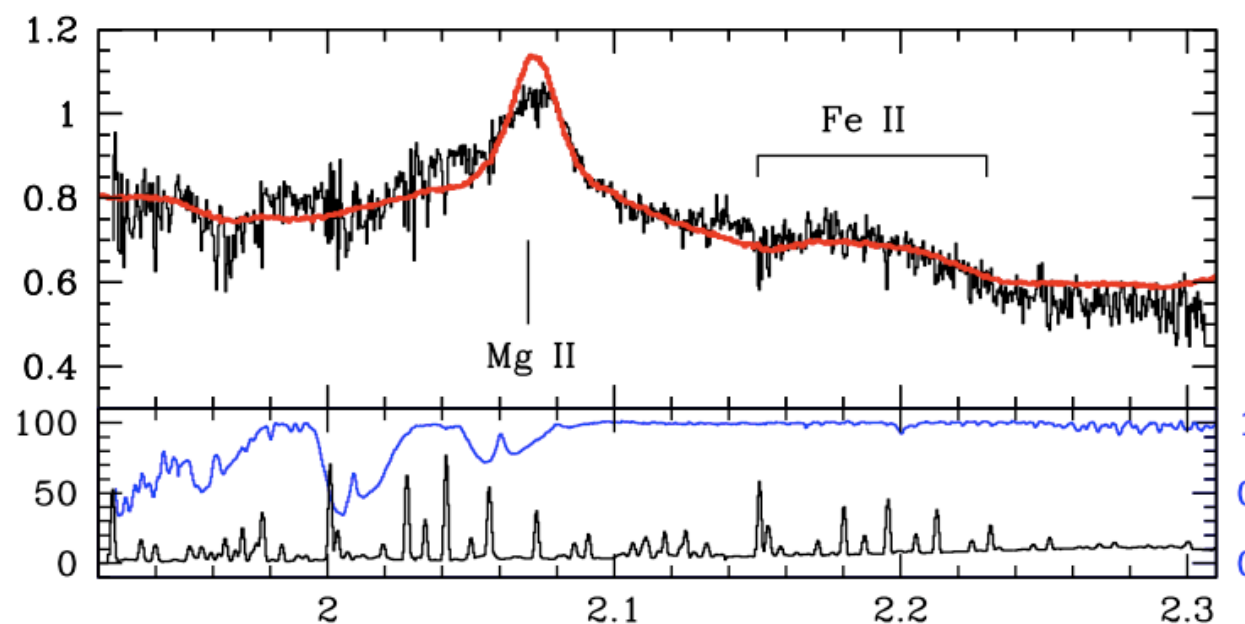
# BHの成長

# Quasar SDSS J1148+5251



VLA  
CO(3-2)  
@ $z=6.42$  (870 Myr)

FIR luminosity  
 $1.3 \times 10^{13} L_{\text{sun}}$



# エディントン板書

# The Eddington rate

The Eddington luminosity

$$L_{\text{Edd}} = \frac{4\pi G M m_p c}{\sigma_T}$$

The radiative efficiency

$$L = \varepsilon \dot{M} c^2$$

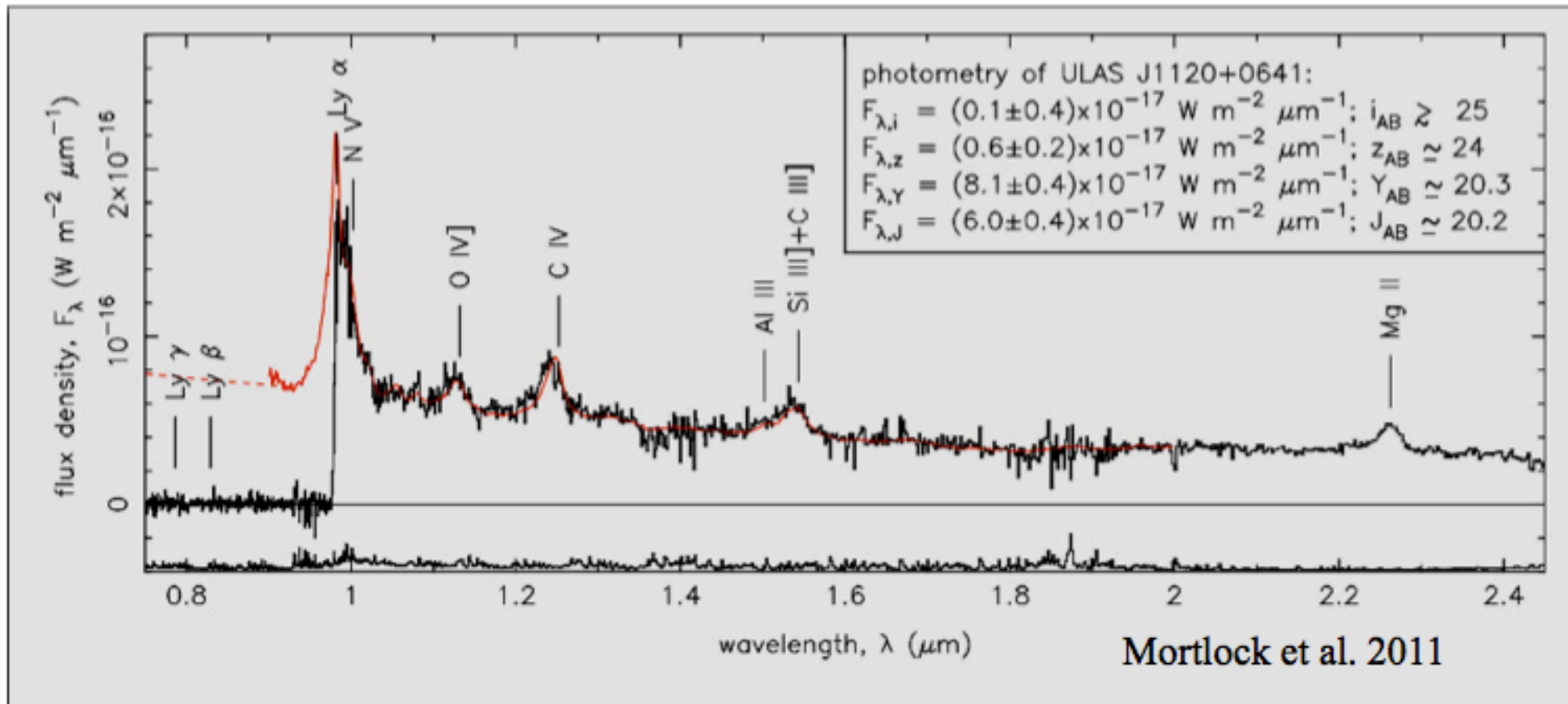
Salpeter time:  $M/\dot{M} \sim 4 \times 10^7$  year

f

for  $\varepsilon = 0.1$ .

# 宇宙初期のSMBH

宇宙年齢7億7千万年の頃に存在した、  
太陽の20億倍のブラックホール



VLT FORS + Gemini NIRS

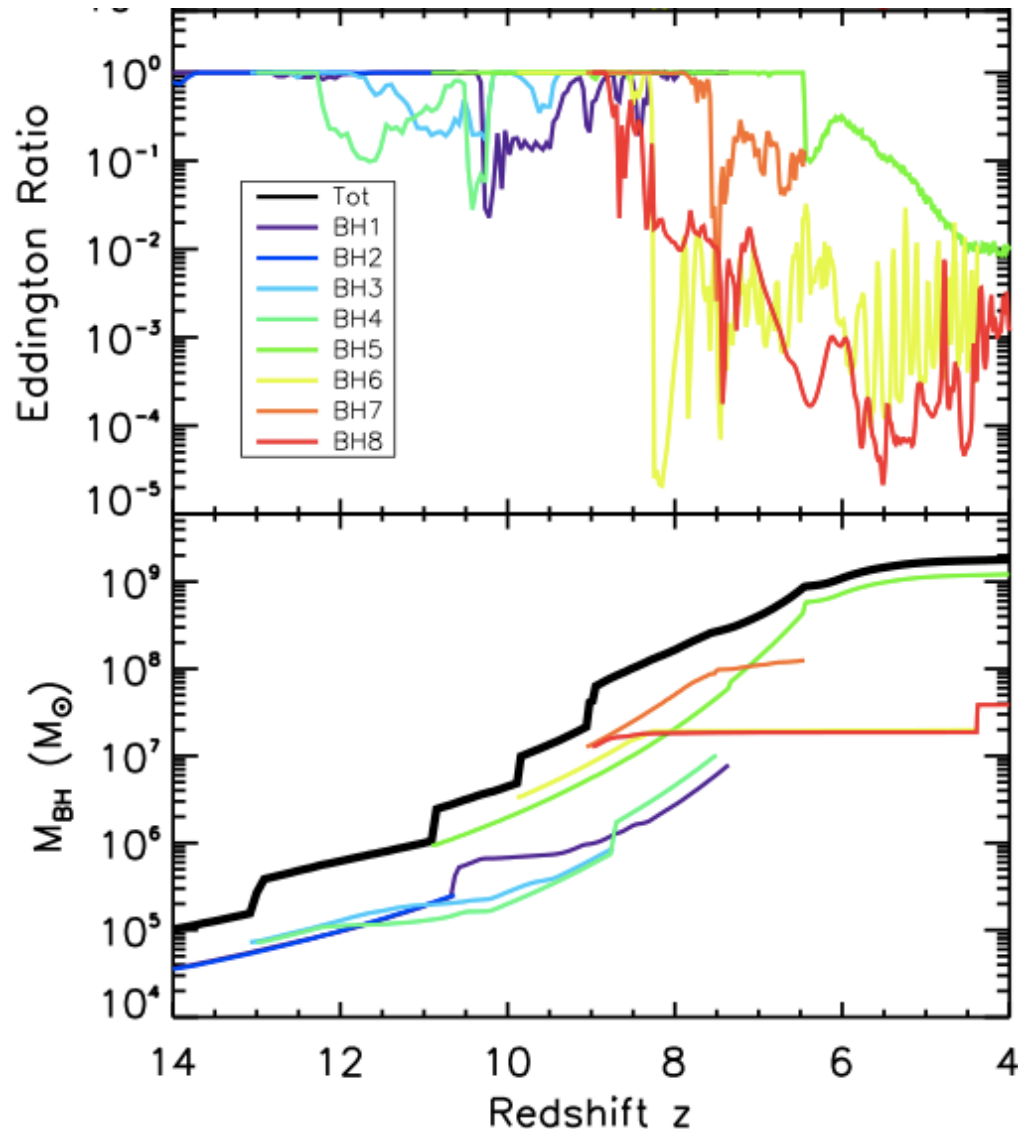
# Quiz 5: 時間リミット

$z=7$ にあるSMBHの何が問題なのか  
計算して理解しよう。

初期宇宙ではブラックホールは全てEddington  
限界で成長するという（やや無理な）仮定をたてる。  
radiative efficiency  $\epsilon_r = 0.1$  として、Salpeter time は  
 $t_{\text{BH}} = 4 \times 10^7$  年。この時間でBHは質量をもとの  $e$  倍  
にすることができる。始めの種として、大質量星の重力崩壊  
によりできるBHを考え、その質量を  $10 M_{\text{sun}}$  とする。  
 $10 M_{\text{sun}}$  のBHが降着により  $3 \times 10^9 M_{\text{sun}}$  になるには  
（つまり  $3 \times 10^8$  倍質量を増やすには）何年必要か。



# SMBH formation @ $z > 6$



BH同士の合体に加えて  
ガスの降着

**10億年の間ずっと  
エディントン降着率を  
保ってようやく10億  
太陽質量のものが出来る**

# 種BHの成長

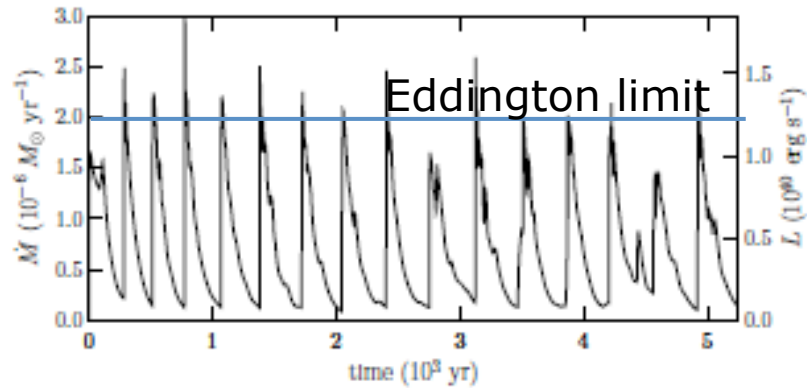
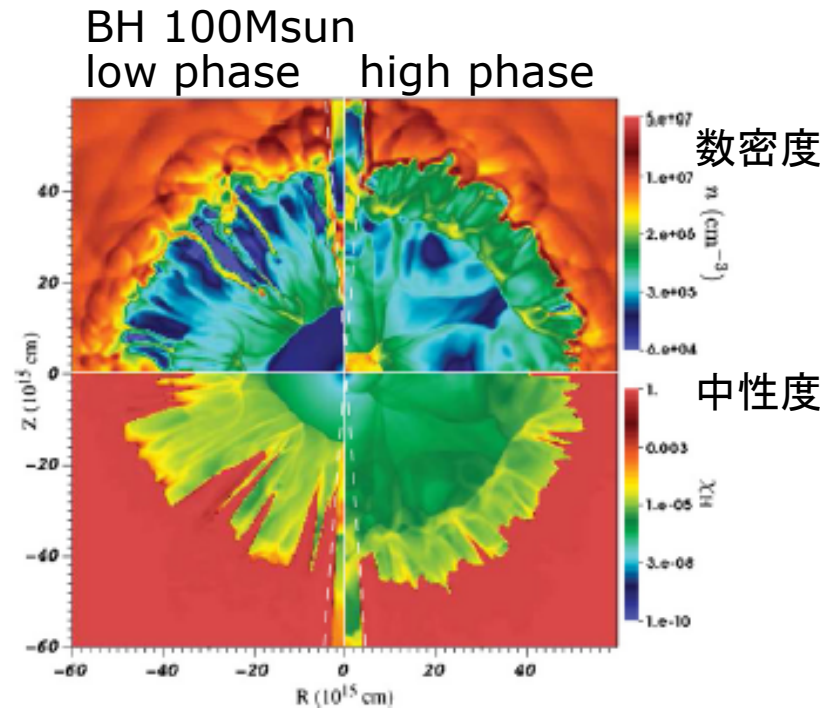


Figure 1. Central accretion rate and radiative luminosity as a function of time for radiative efficiency  $\epsilon = 0.1$ .

Milosavljevic+2009

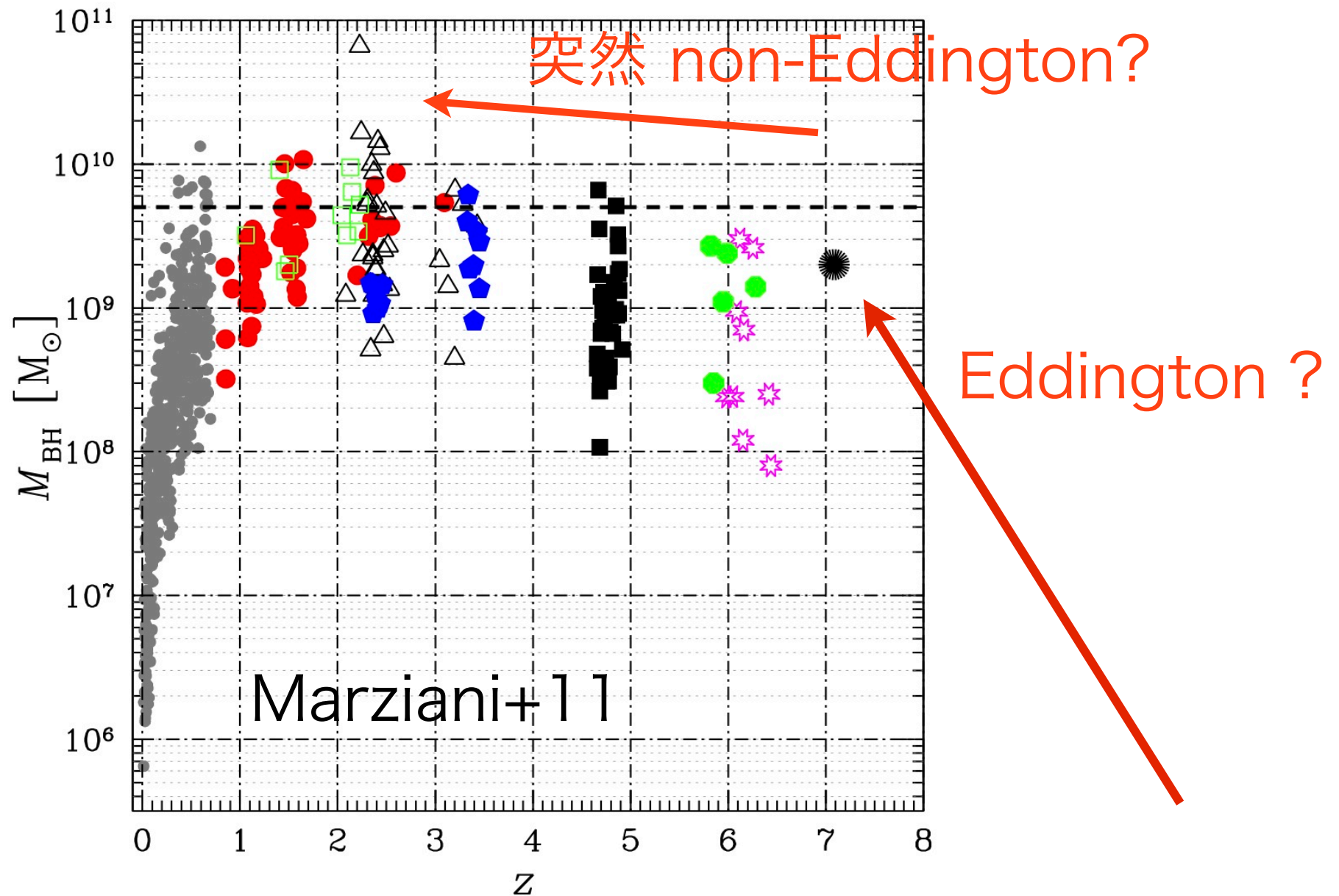


平均すると降着率はEddington limitの30%

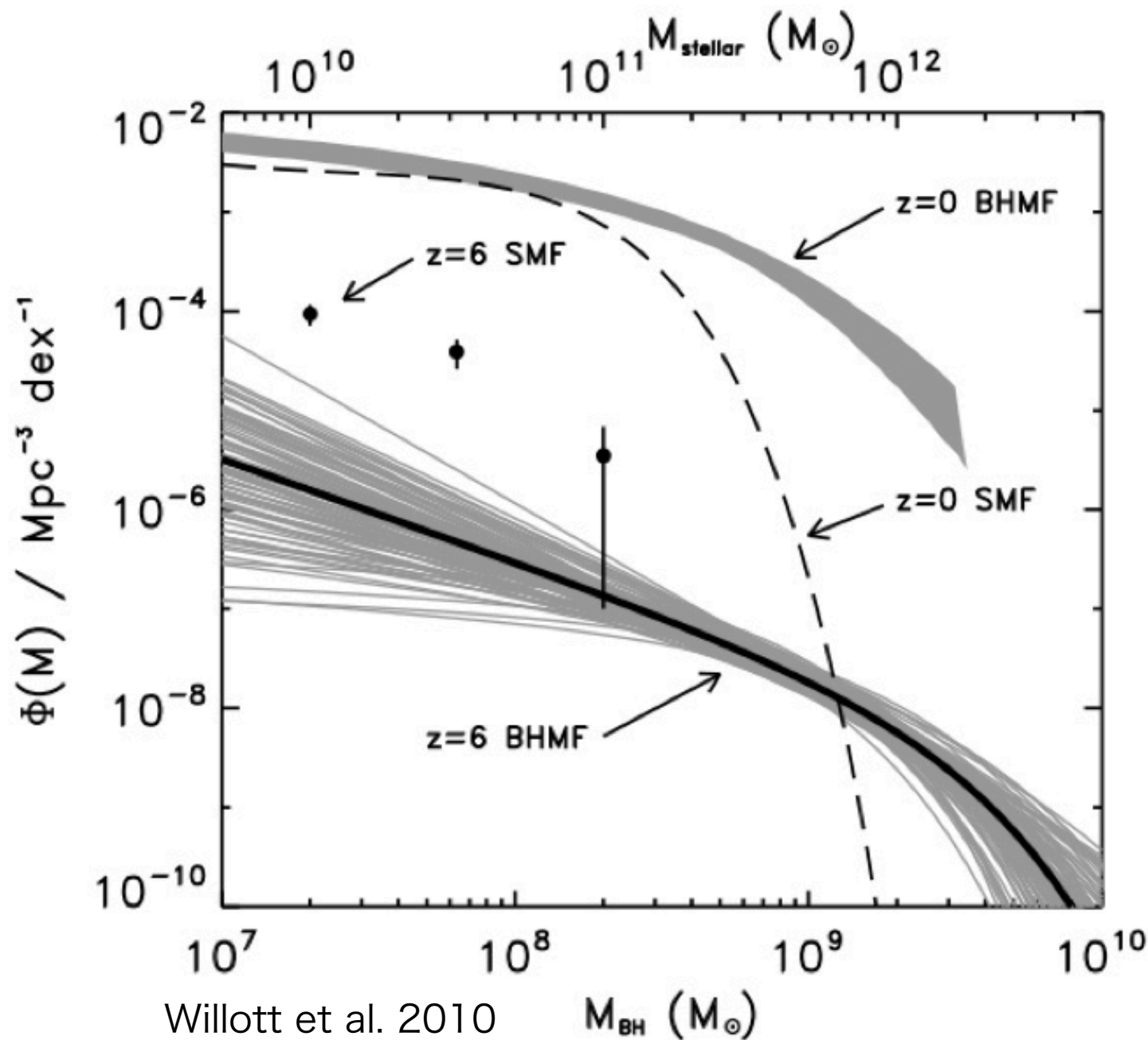
Bondi 降着率の 0.2%。

⇒種BHの成長は順調とは言えないようである。

# SMBH mass

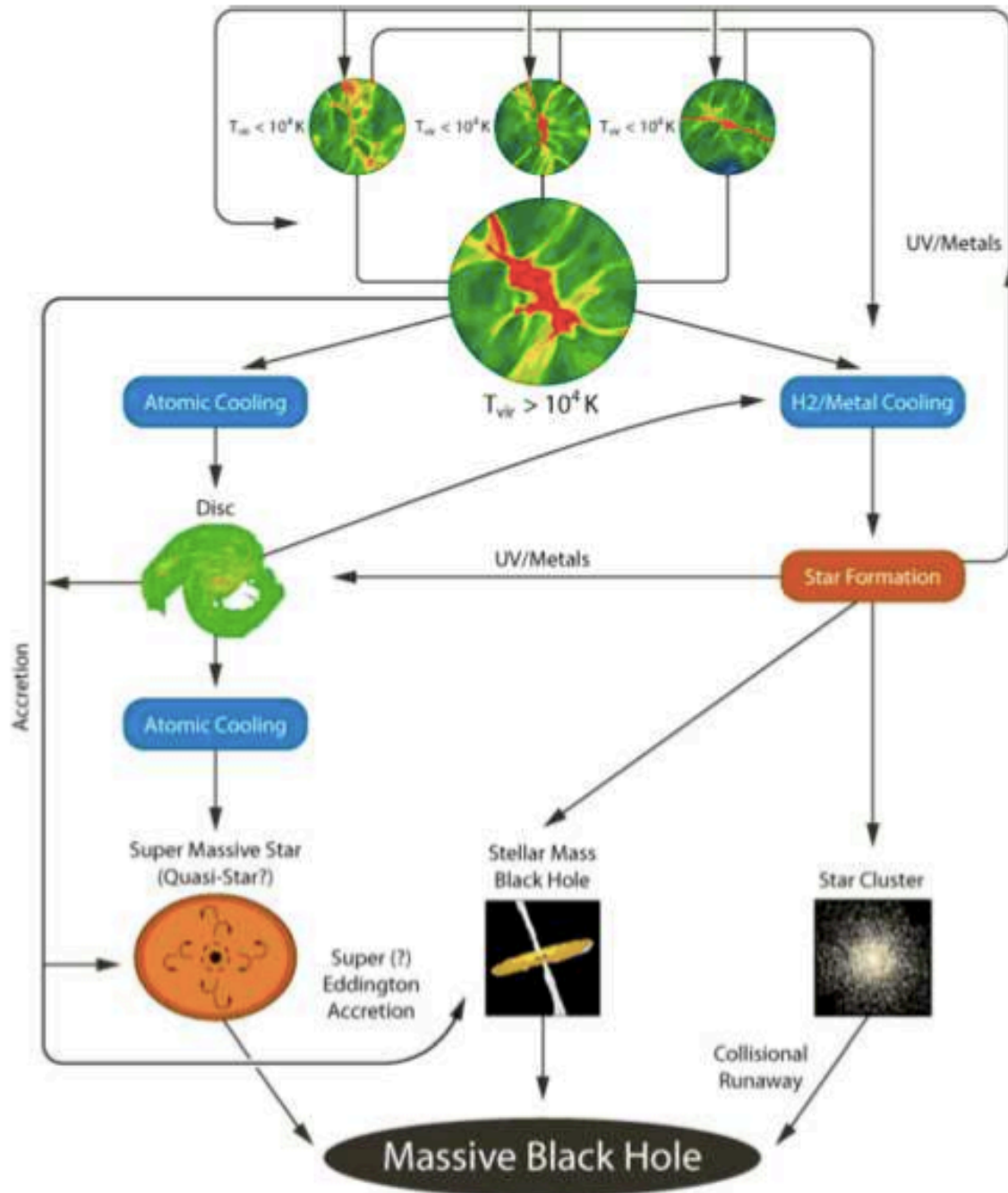


# ブラックホール-銀河共進化



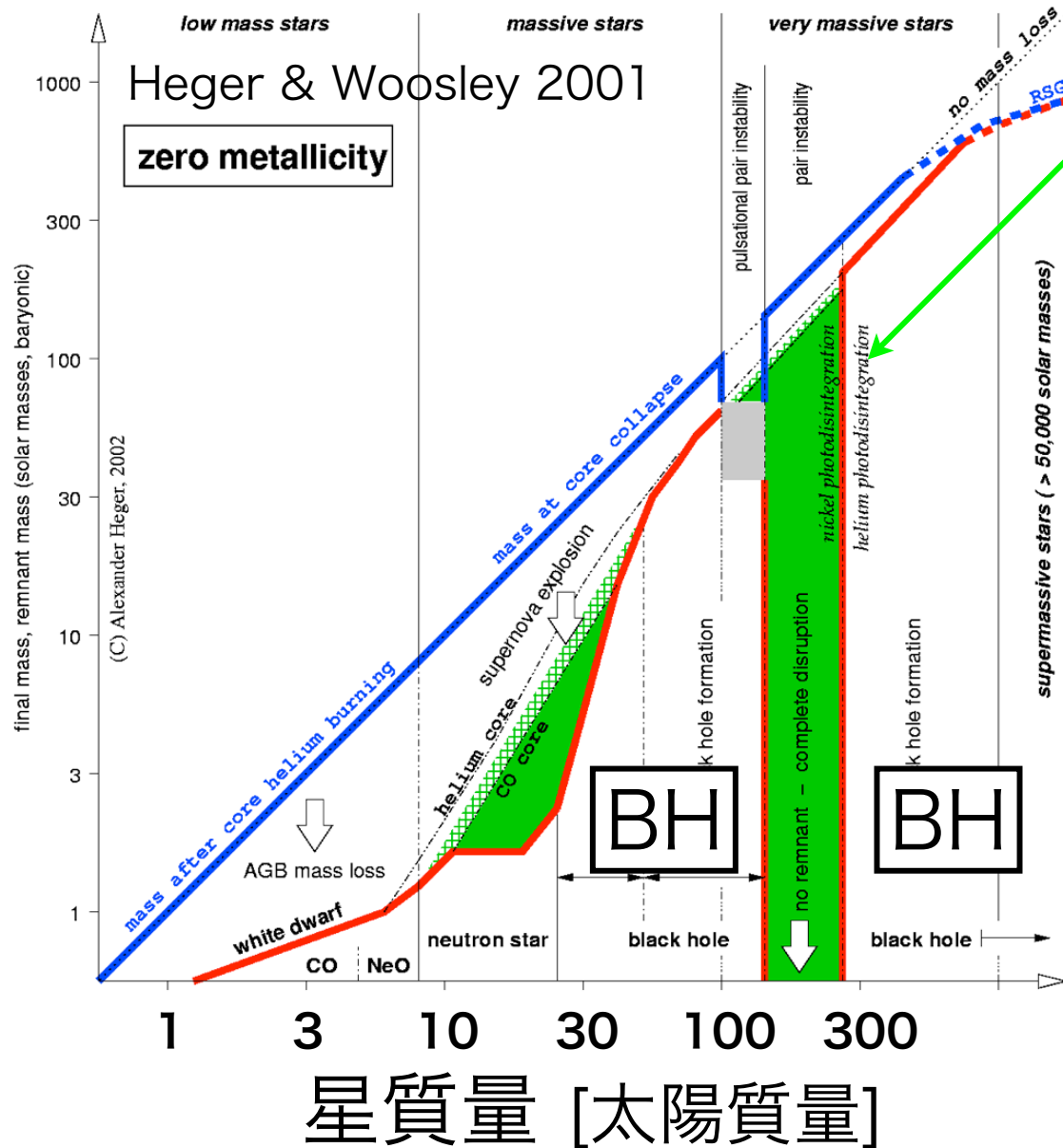
# SMBHの起源

# Updated Rees diagram

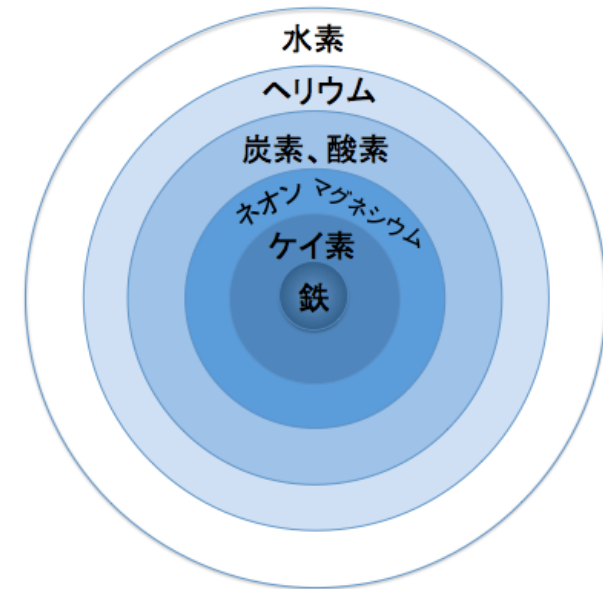


Regan & Haehnelt 10  
Bromm, NY, ARAA 2011

# 大質量星の最期



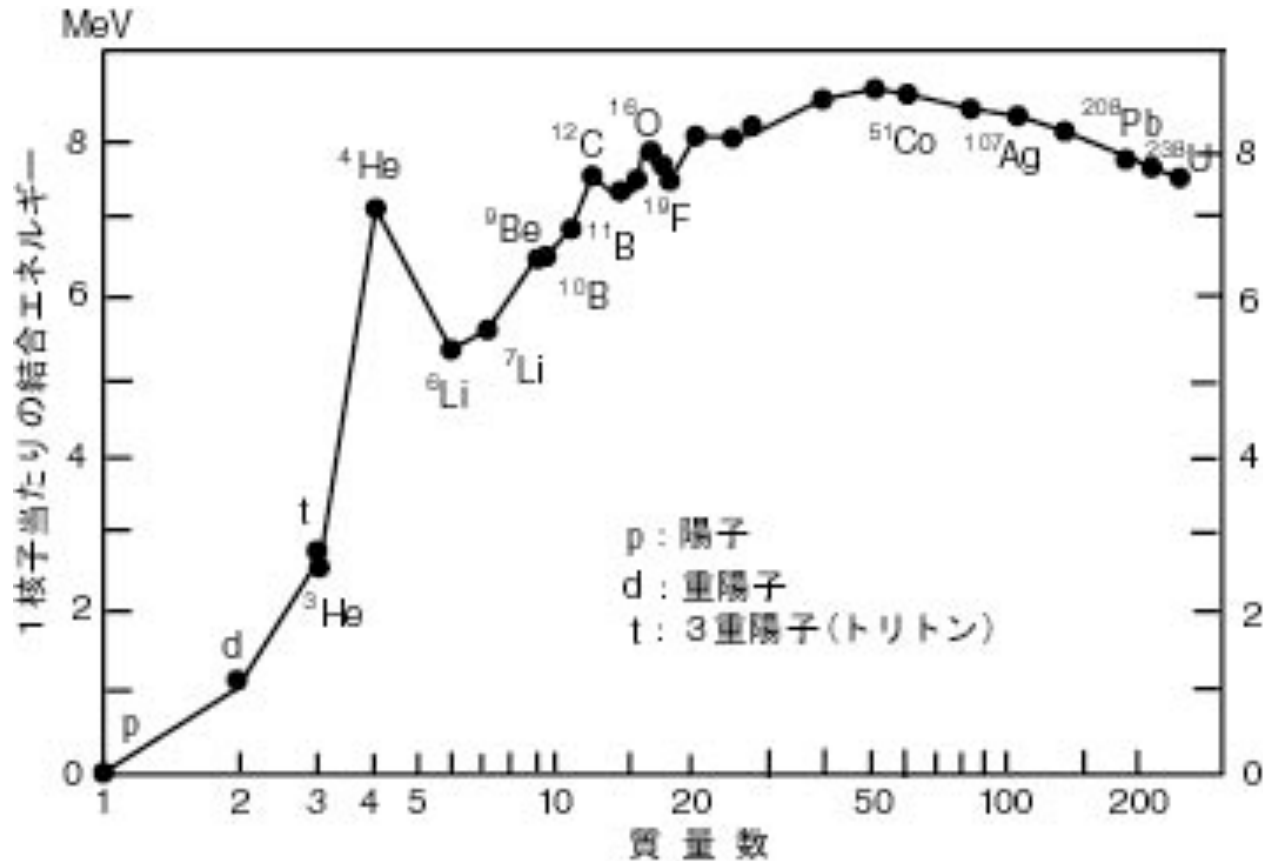
## 重力崩壊型超新星



- コア進化の後に、中心に鉄の芯
- 中性子星を残す場合とBHを残す場合
- 外層は爆発で吹き飛ぶ

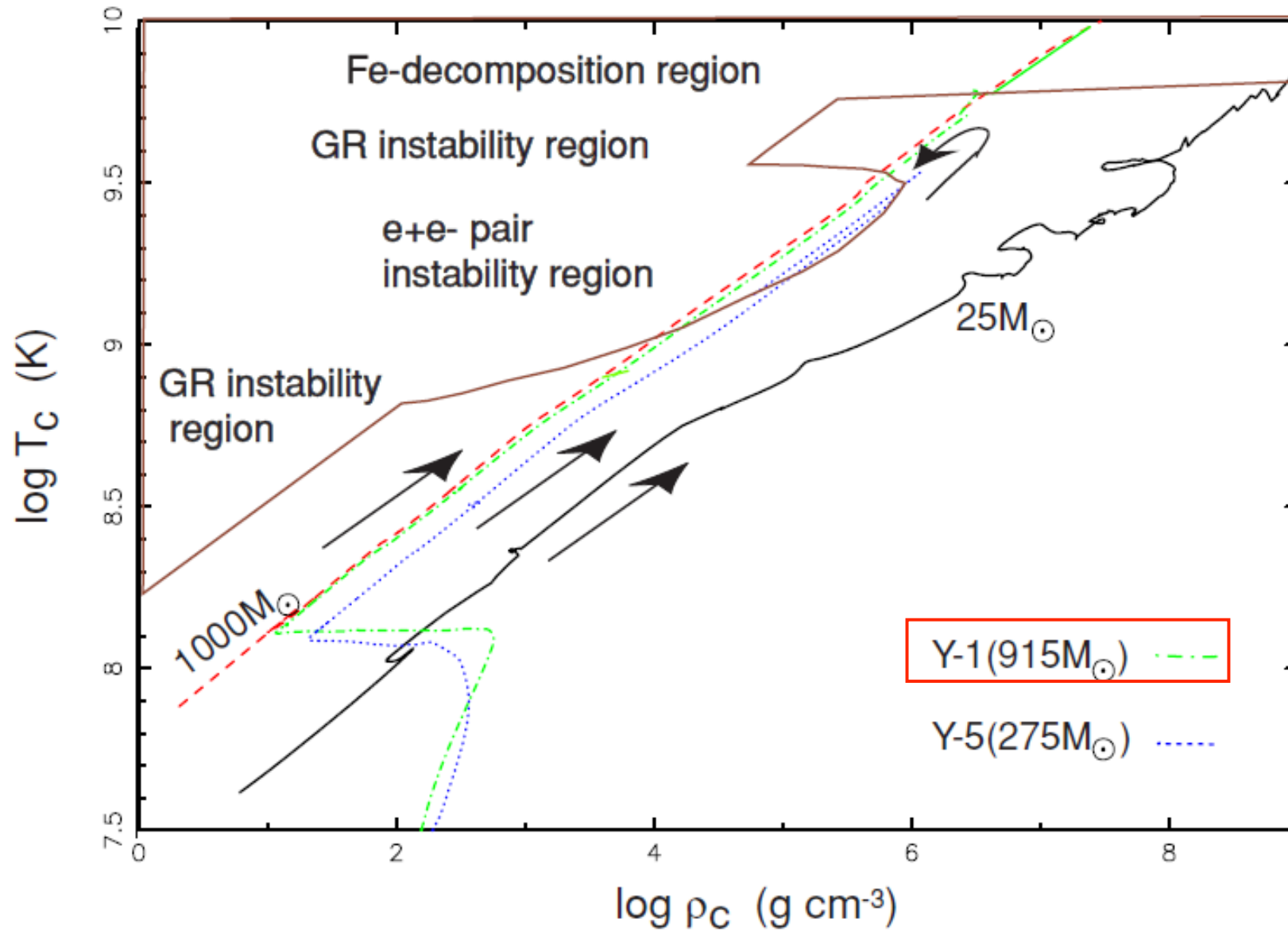
# Nuclear binding energy

$$m_i = Zm_p + Nm_n - E_B/c^2$$

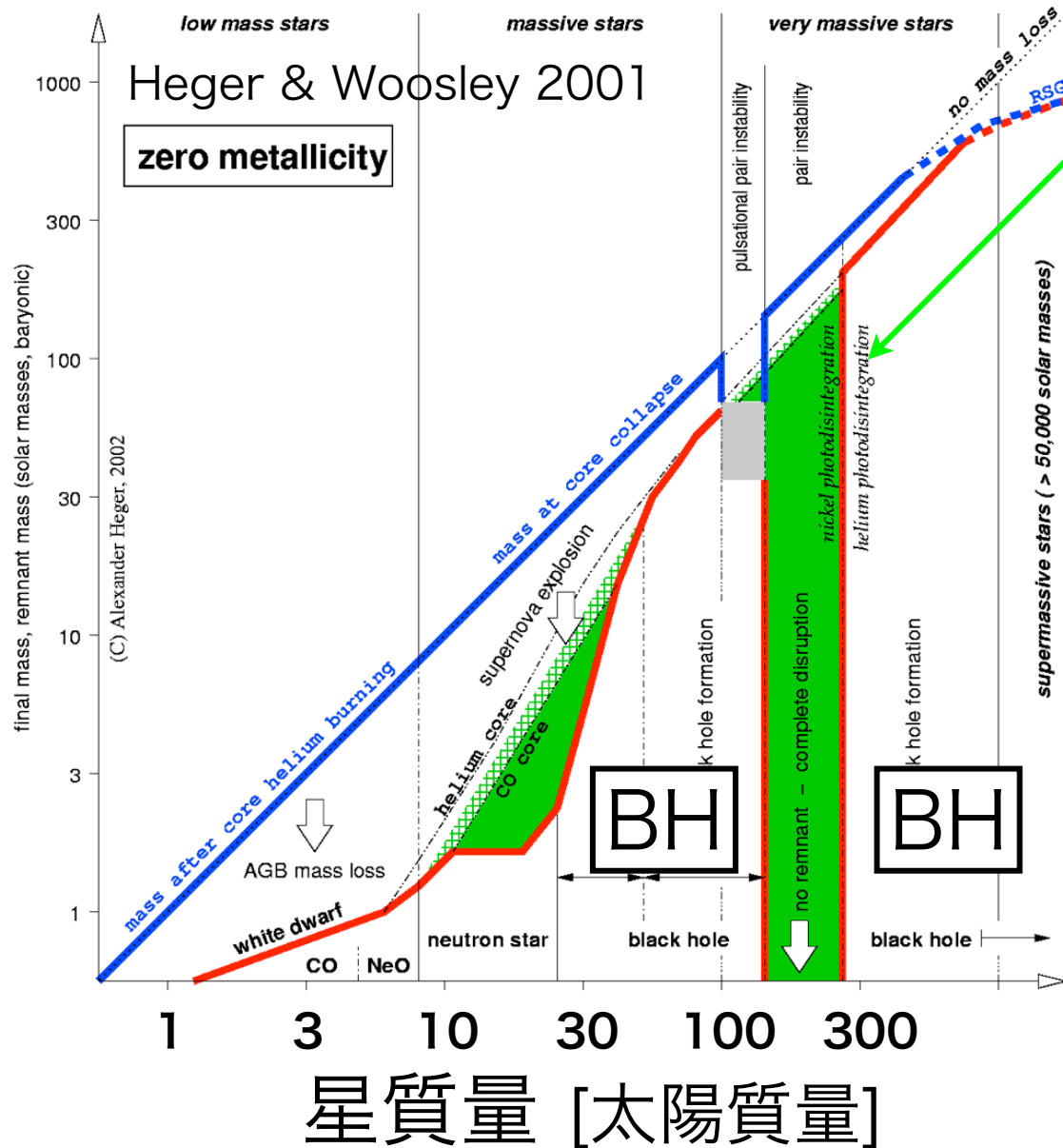




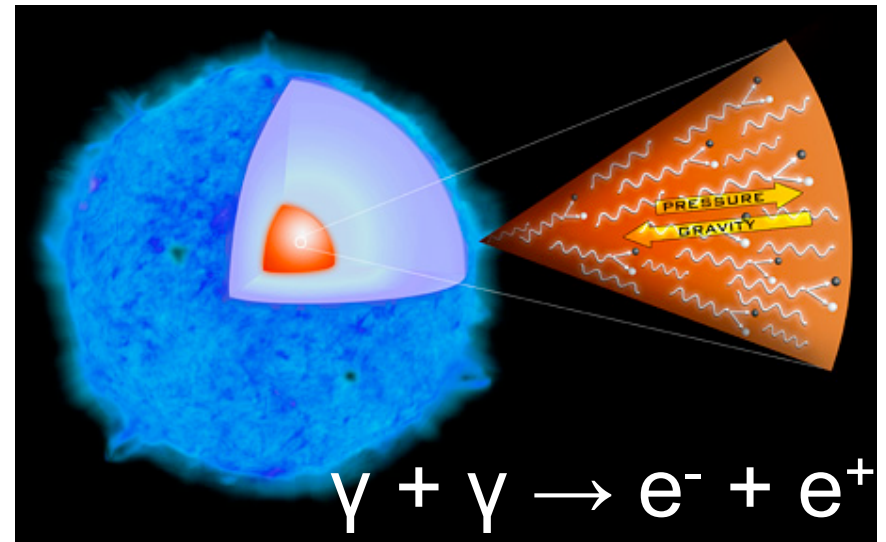
# コアの進化



# 大質量星の最期

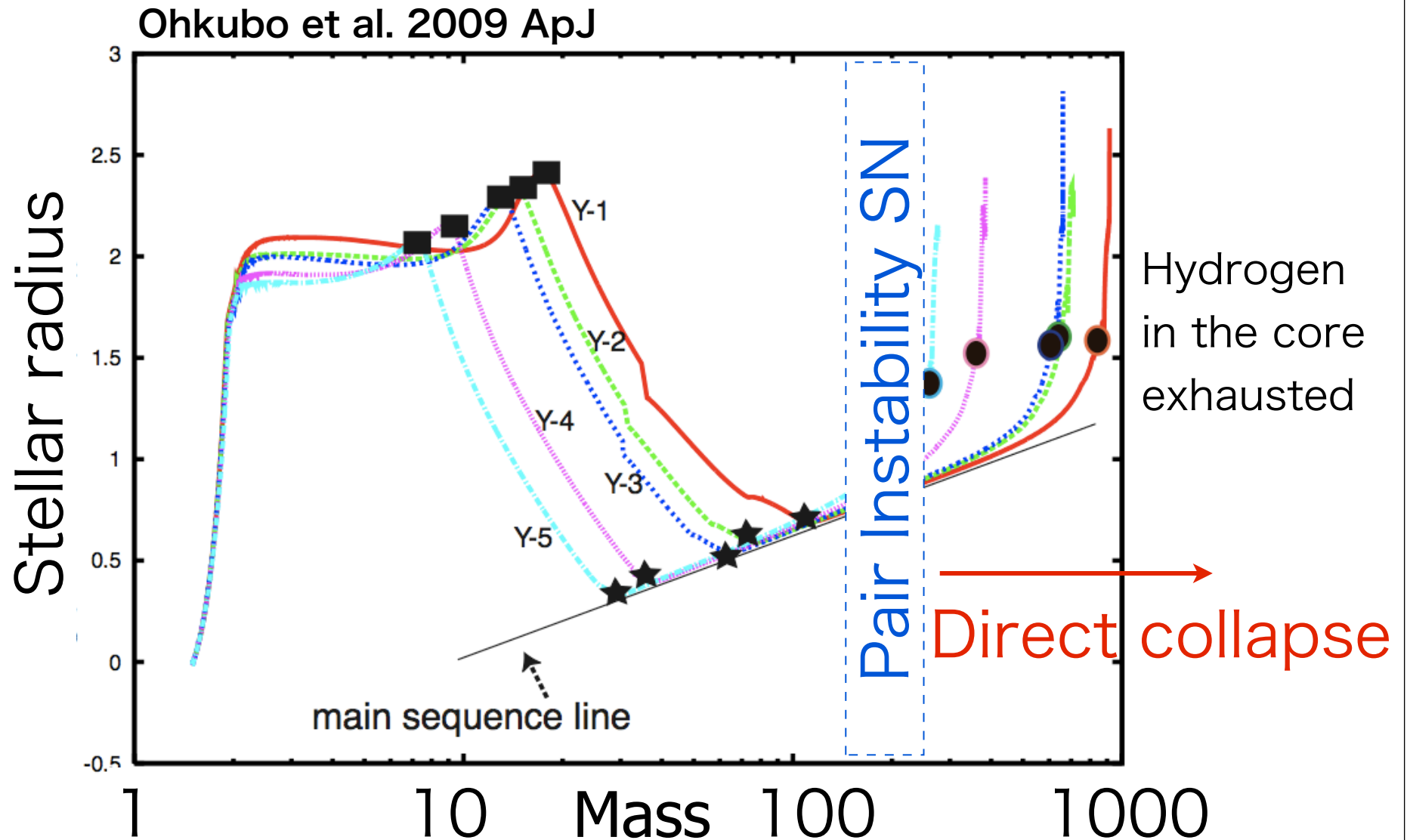


対生成不安定型超新星

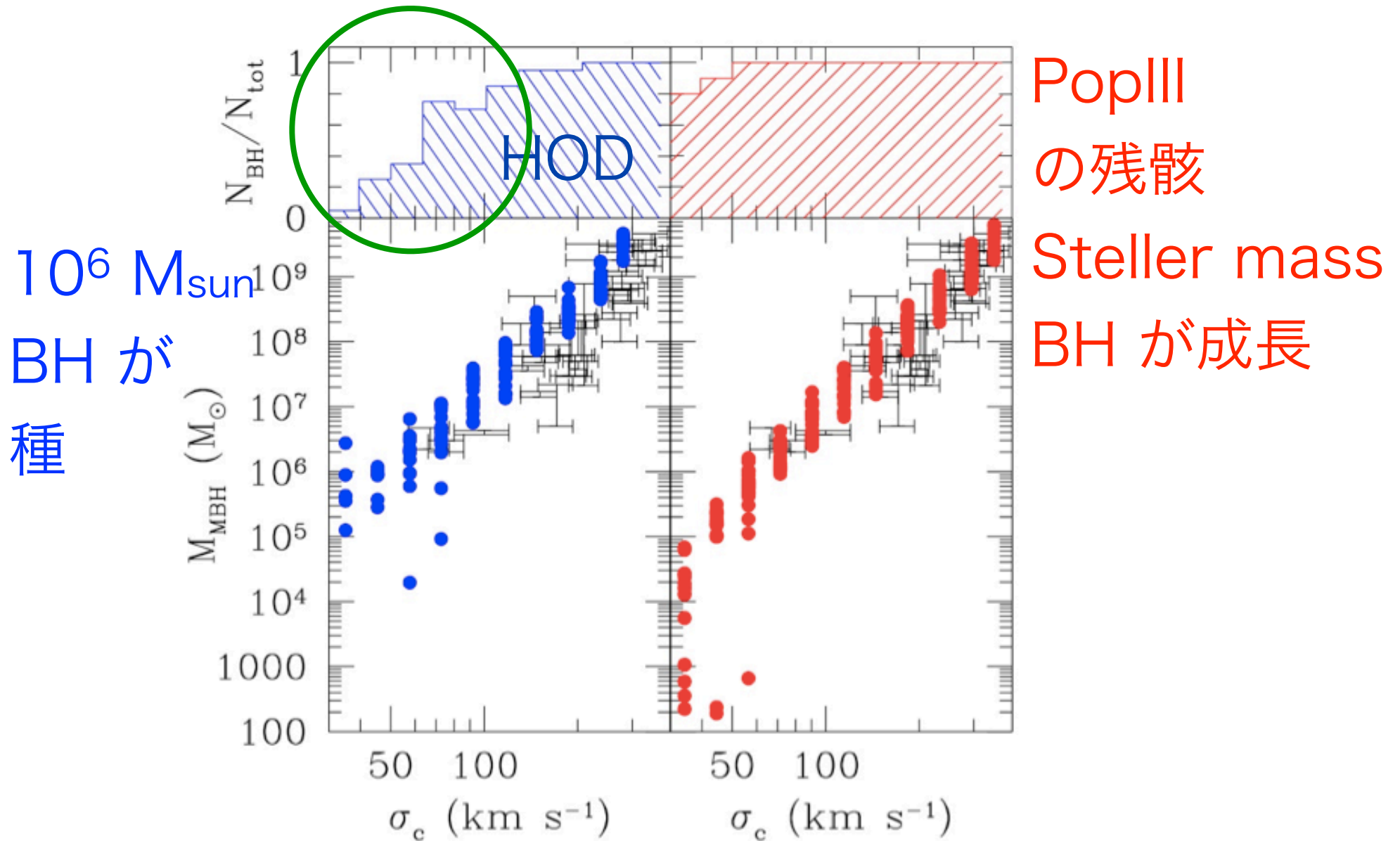


- 星は木っ端みじん
- 大量の重元素をばらまく
- 理論的には50年前から示唆されていた。

# SMS by accretion



# ブラックホールの種問題



Barth et al. 2010

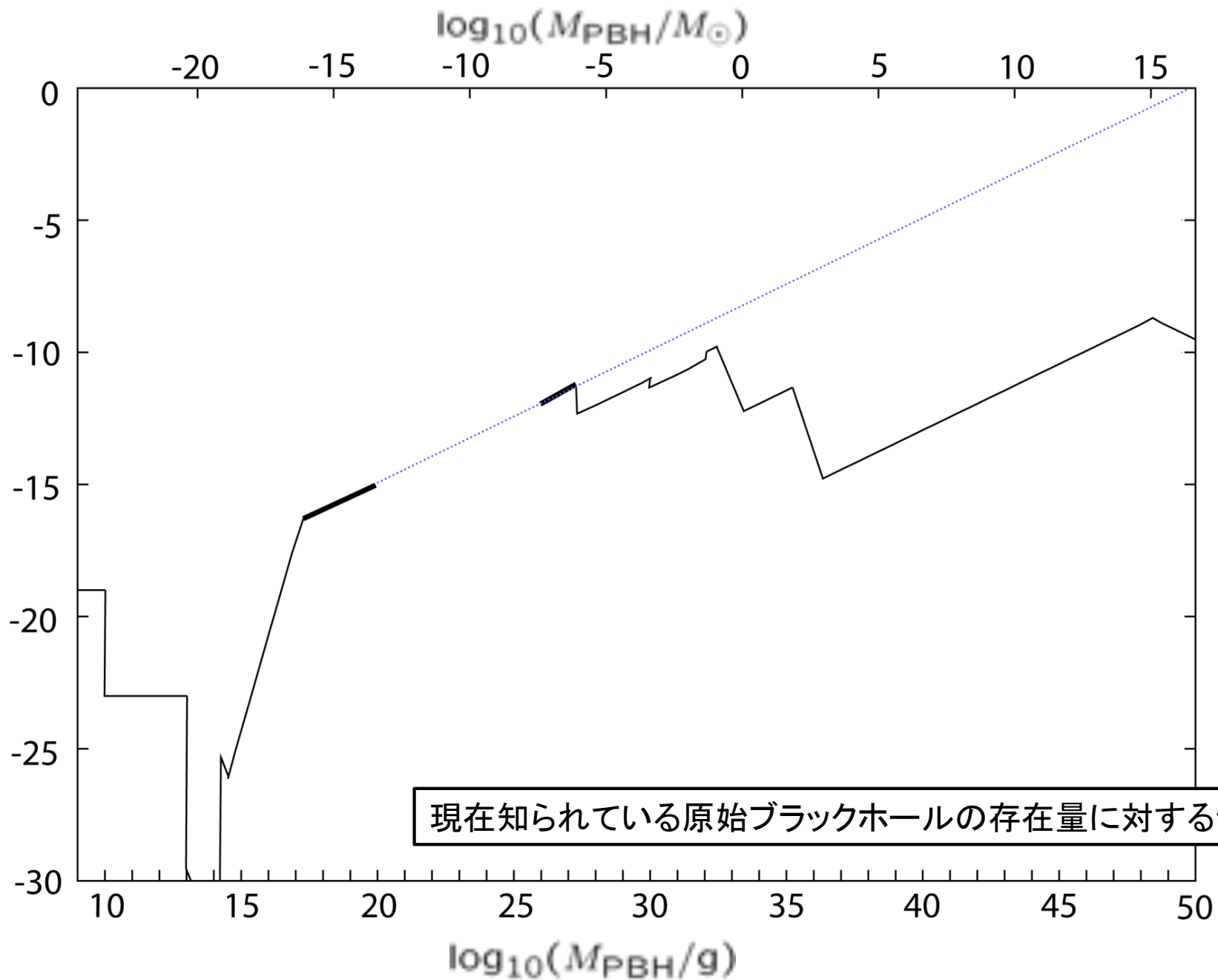
# 原始ブラックホール

宇宙初期(元素合成などより以前)に、原始密度揺らぎがなんらかの機構で大振幅となり、過密度領域形成を経て重力崩壊を起こす。

生成時の条件による、ほぼどのような質量でも生成可能。しかし観測的には現在の宇宙での存在量に様々な制限がある。

(Josan, Green, Malik '09, Carr, Kohri, Sendouda, & Yokoyama '09)

形成時に原始ブラックホールの全エネルギーに占める割合



現在知られている原始ブラックホールの存在量に対する制限