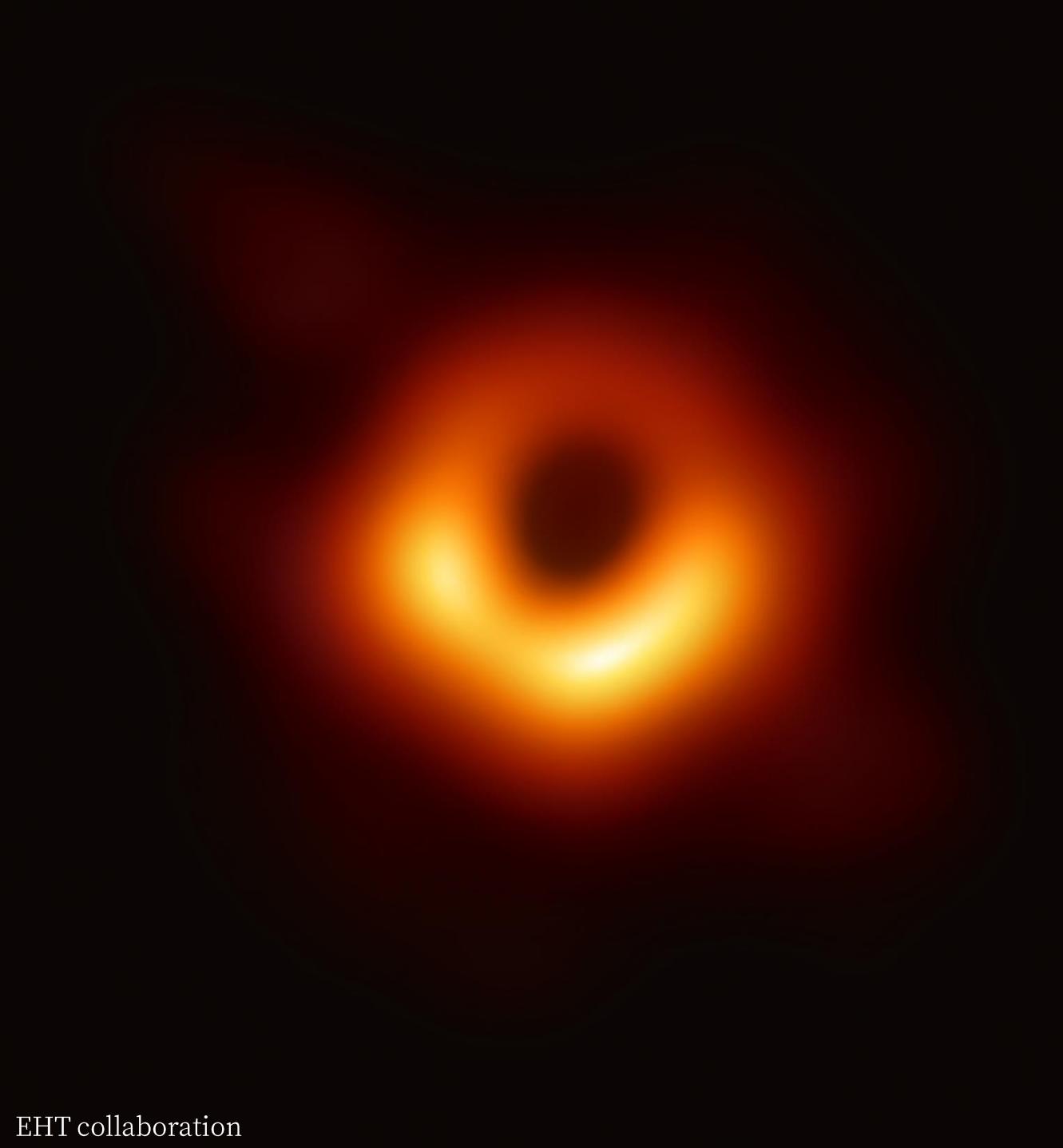


# 在事件視界望遠鏡之前 人們如何 觀測黑洞

2022.05.04 竹女天文社課



EHT collaboration



ALMA



SMA



JCMT



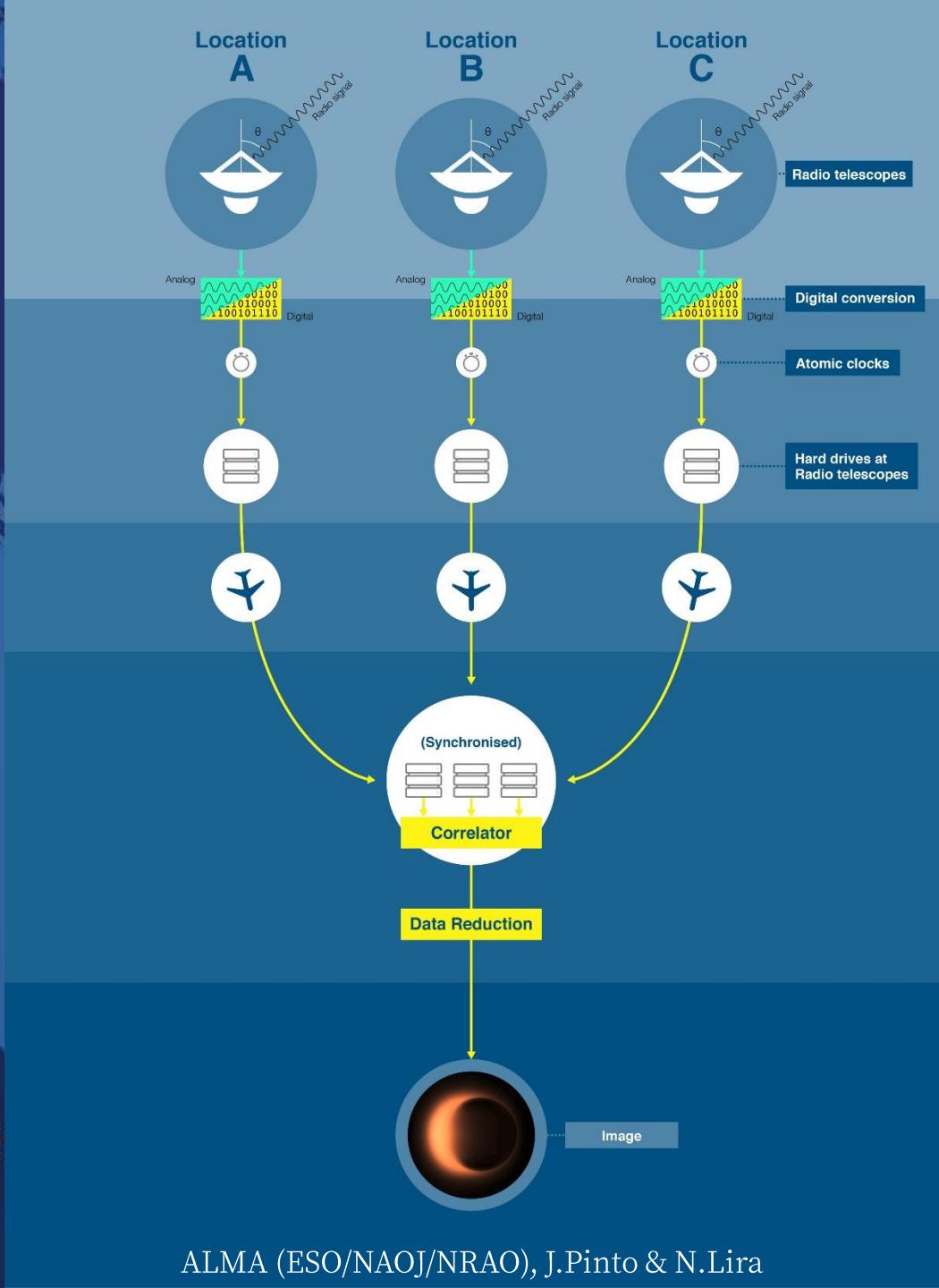
IRAM 30 m



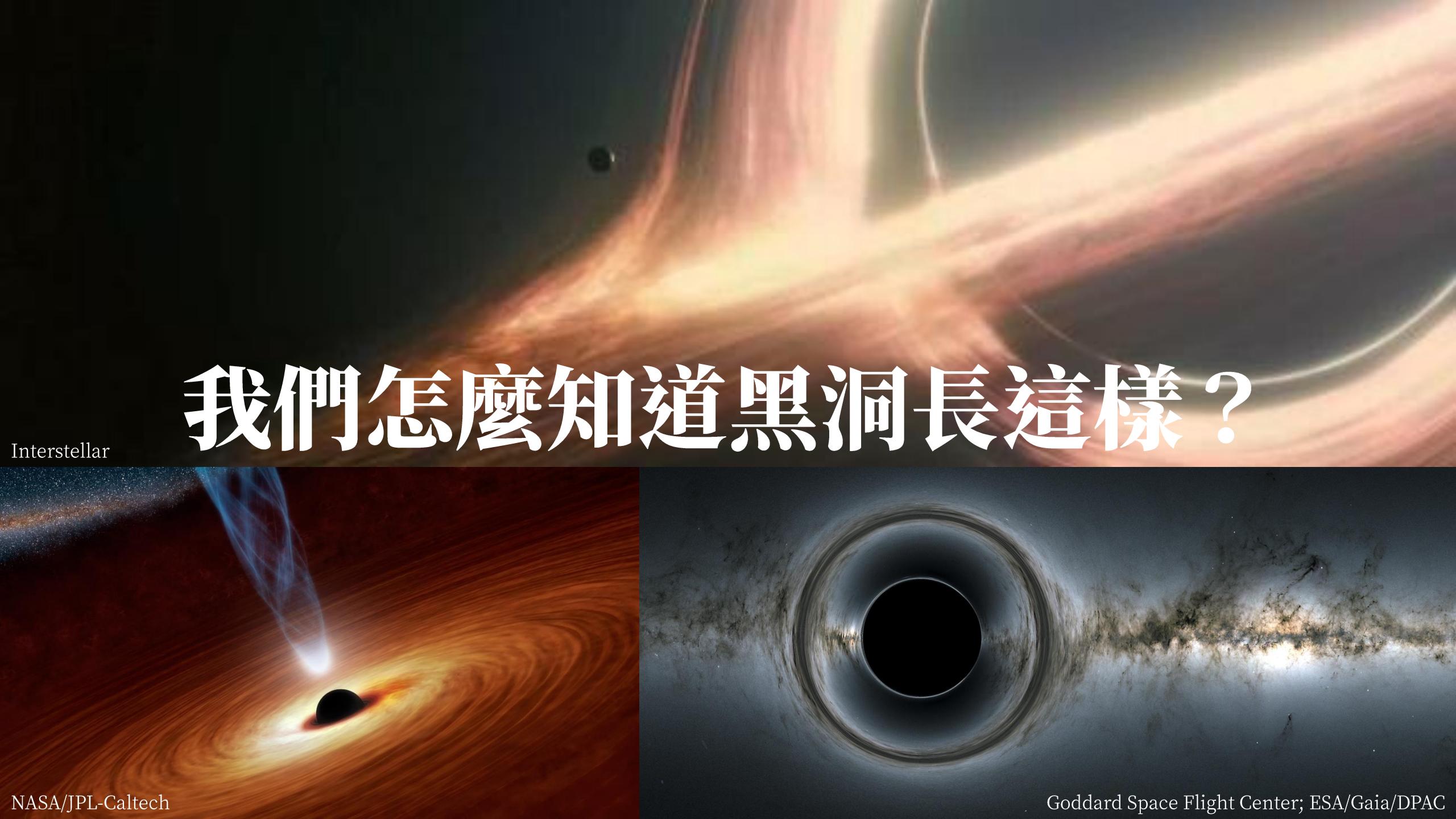
LMT



NRAO



ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), J.Pinto & N.Lira

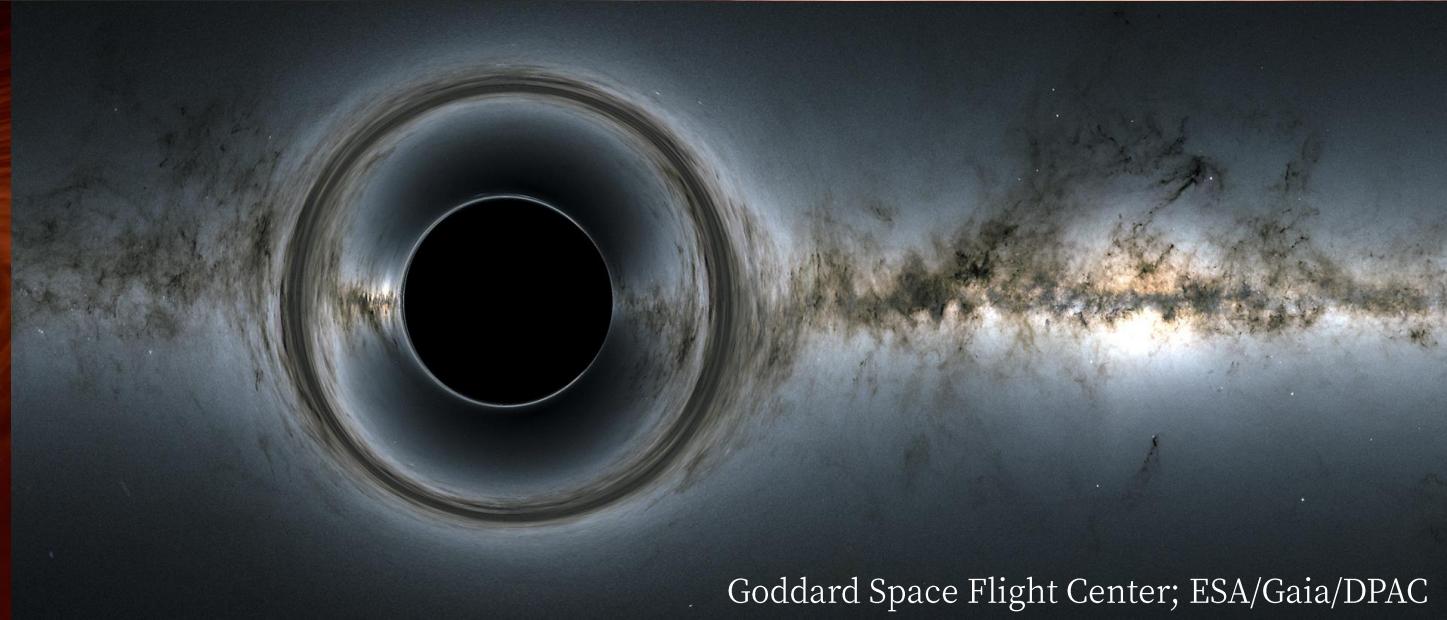


# 我們怎麼知道黑洞長這樣？

Interstellar



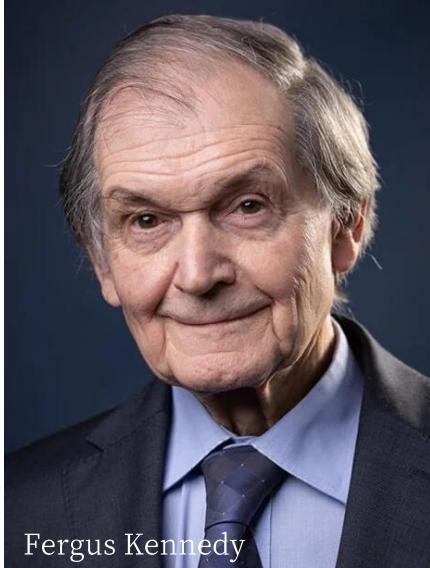
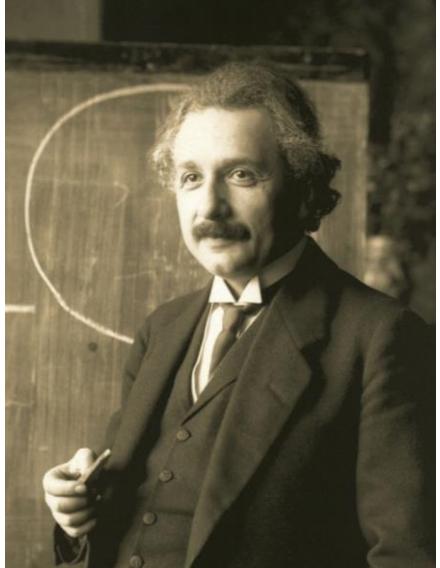
NASA/JPL-Caltech



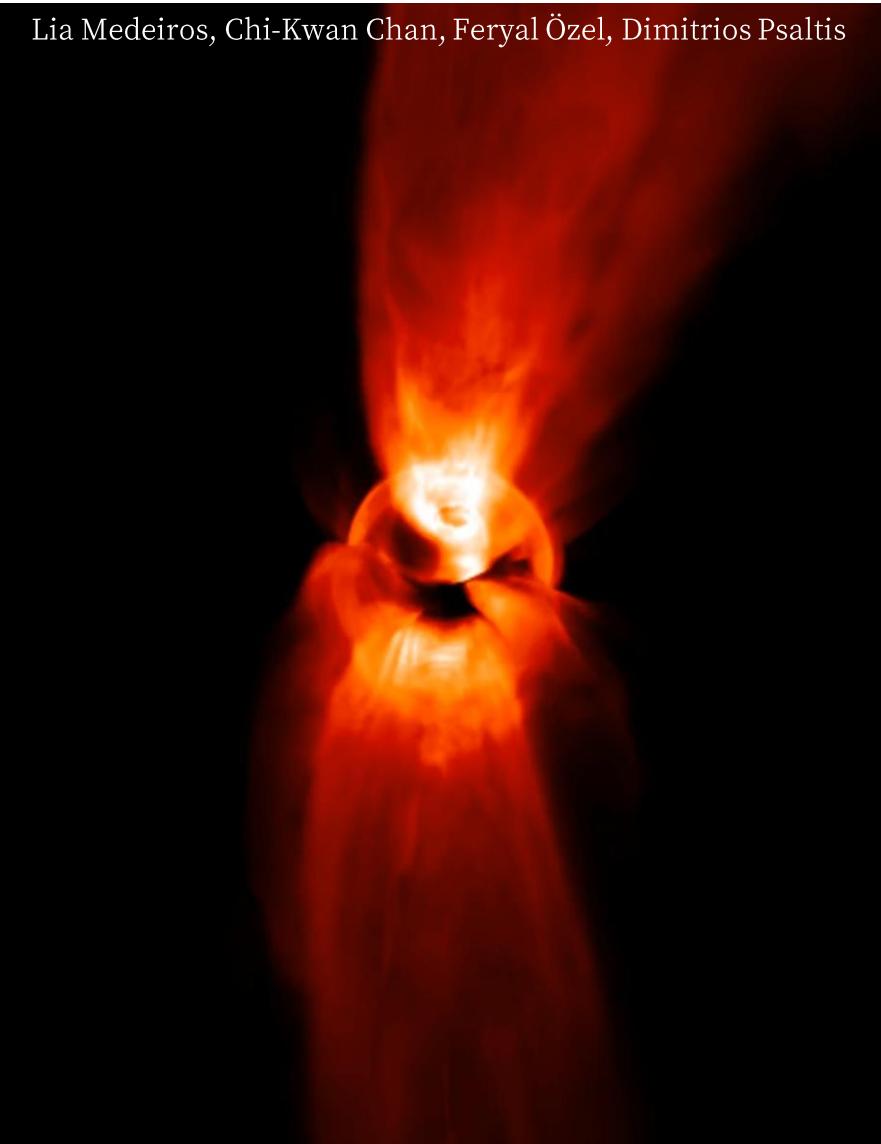
Goddard Space Flight Center; ESA/Gaia/DPAC

# 20世紀的黑洞理論發展

- 1915：愛因斯坦提出廣義相對論，時空與重力的新框架
- 1916：史瓦希計算出黑洞的數學模型
- 1965：潘羅斯證明黑洞能自然形成（2020諾貝爾物理獎）
- 1980～：電腦模擬



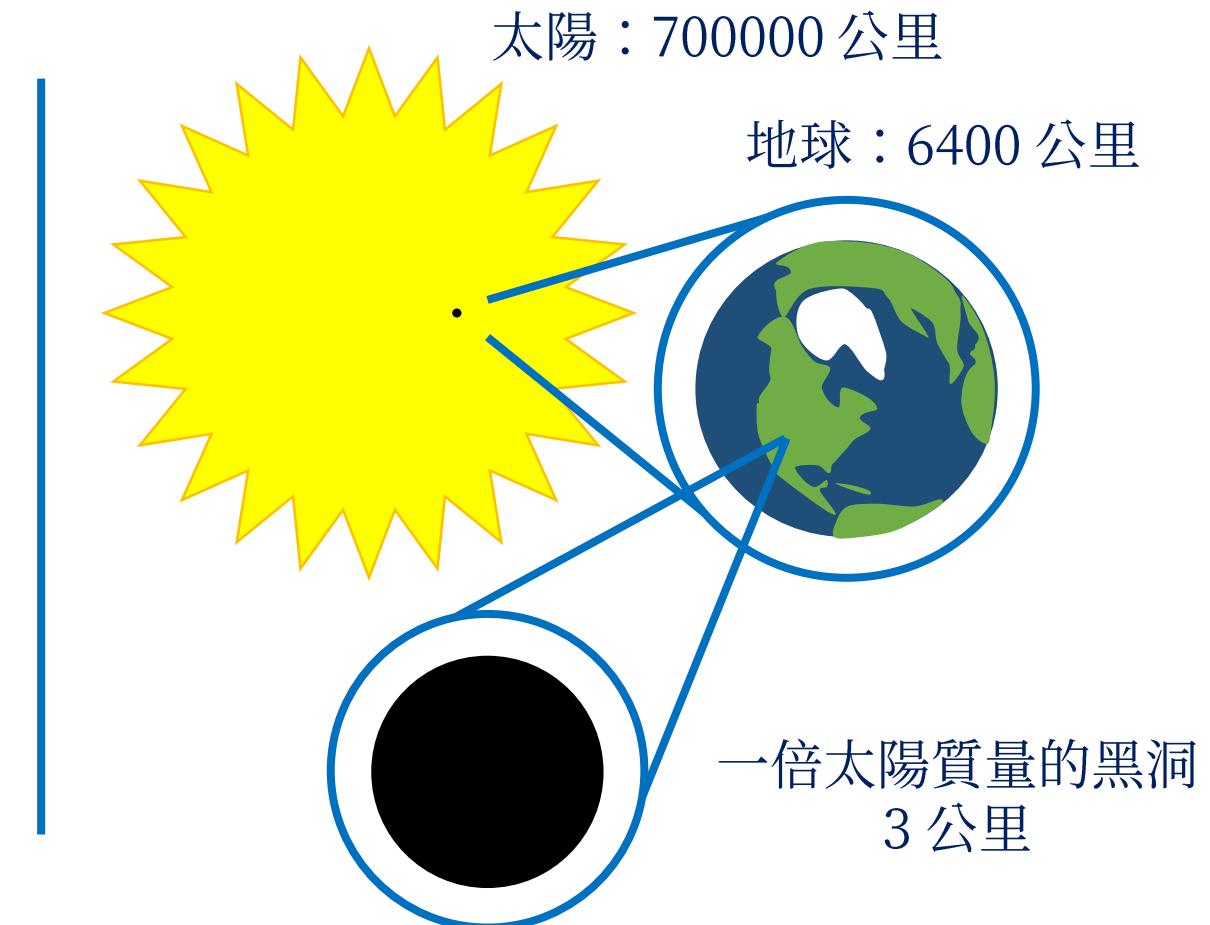
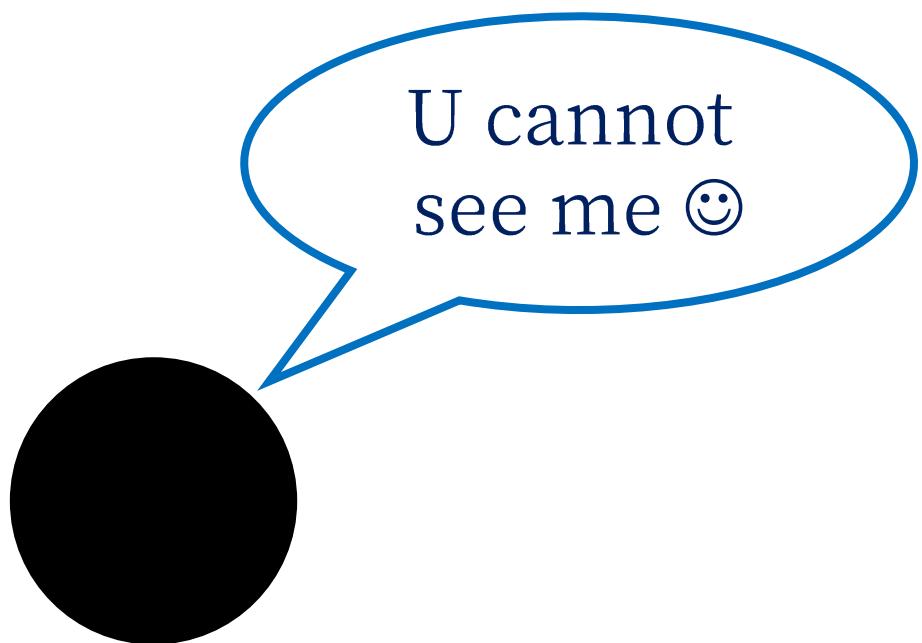
Fergus Kennedy



# 只要會算就可以了嗎？

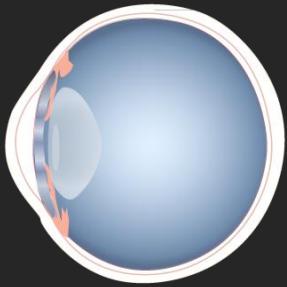
No！理論發展需要觀測證據的支持！

# 觀測黑洞困難重重：很暗、很小



# 黑洞有多小？

肉眼  
MK1 eyeball



DBCLS

1 角分

地面望遠鏡  
G.B.T.



ESO/José Francisco Salgado

1 角秒

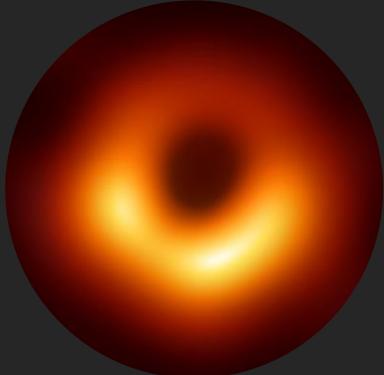
太空望遠鏡  
S.B.T



European Space Agency

40 毫角秒

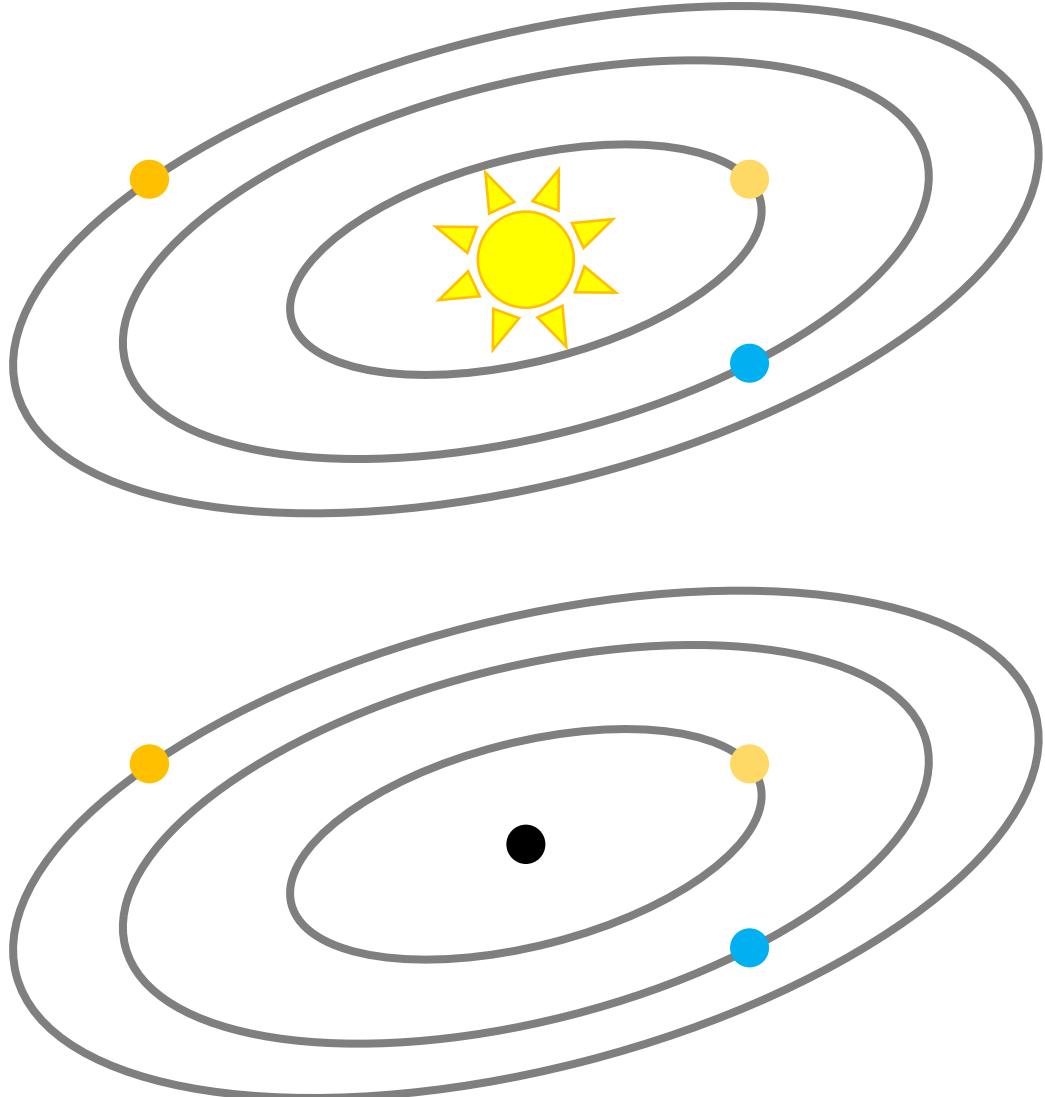
黑洞  
M87\*



50 微角秒

一直到 2019 年，人類的觀測解析度  
才首次達到能夠直接觀測黑洞的水準

那過去數十年、在事件視界望遠鏡之前  
人們是怎樣研究黑洞的呢？



## 會發生什麼事？

什麼都不會發生。

在遙遠的距離上，

黑洞的重力跟恆星等

我們熟悉的其他星體是完全一樣的

只有在很靠近黑洞的事件視界時

廣義相對論的奇怪現象才會顯著



Reinhard Genzel  
歐洲團隊



Andrea Ghez  
美國團隊

An aerial photograph of the Very Large Telescope (VLT) complex in Chile's Atacama Desert. The image shows four large telescope domes in the foreground, each with its light collector doors open, illuminated by the warm light of the setting sun. Behind them, a network of smaller buildings and a road lead towards a range of mountains under a clear sky.

# Reinhard Genzel Very Large Telescopes

G.Hüdepohl (atacamaphoto.com)/ESO



Andrea M. Ghez  
**Keck Observatory**

Robert Linsdell

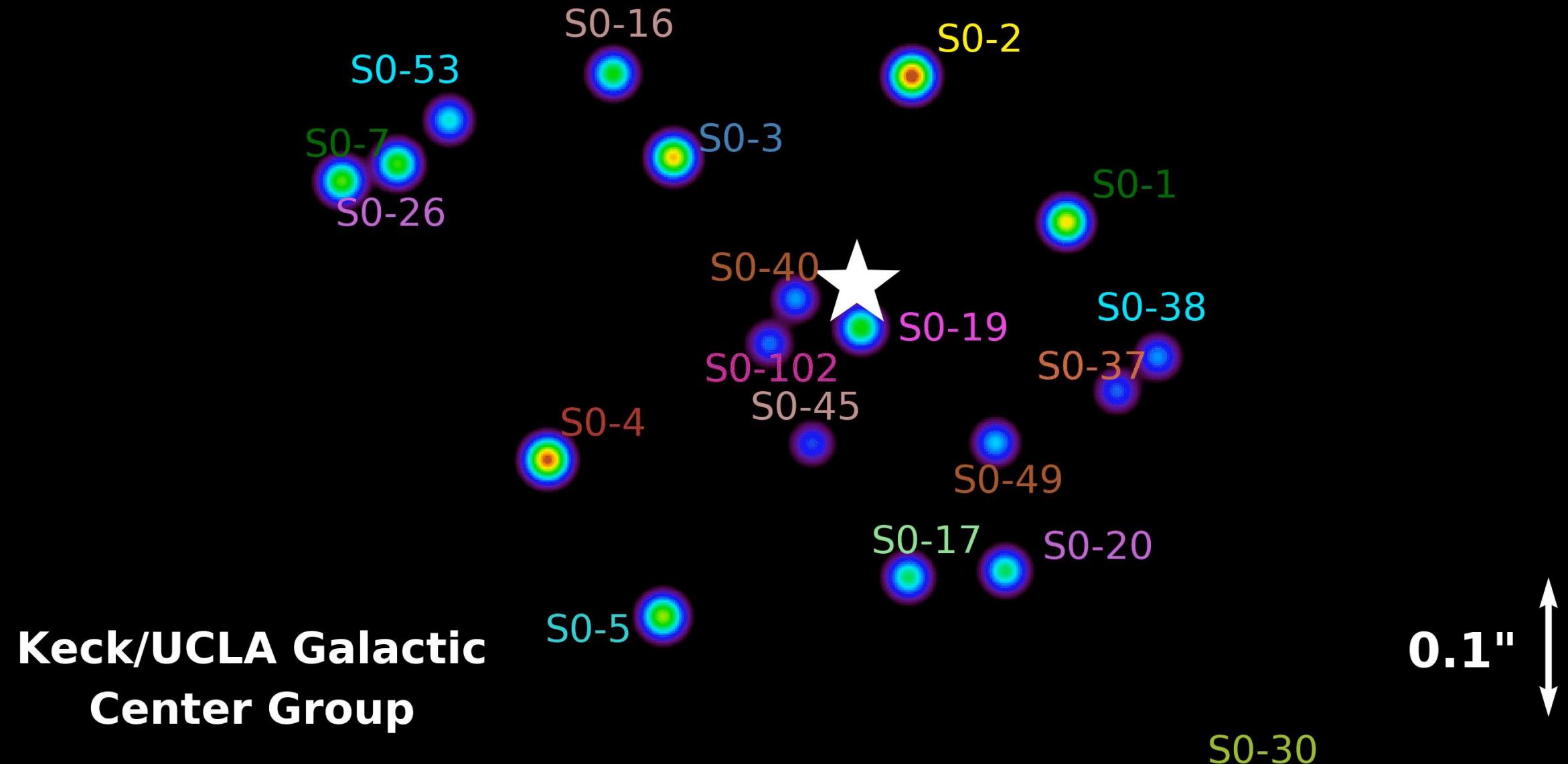


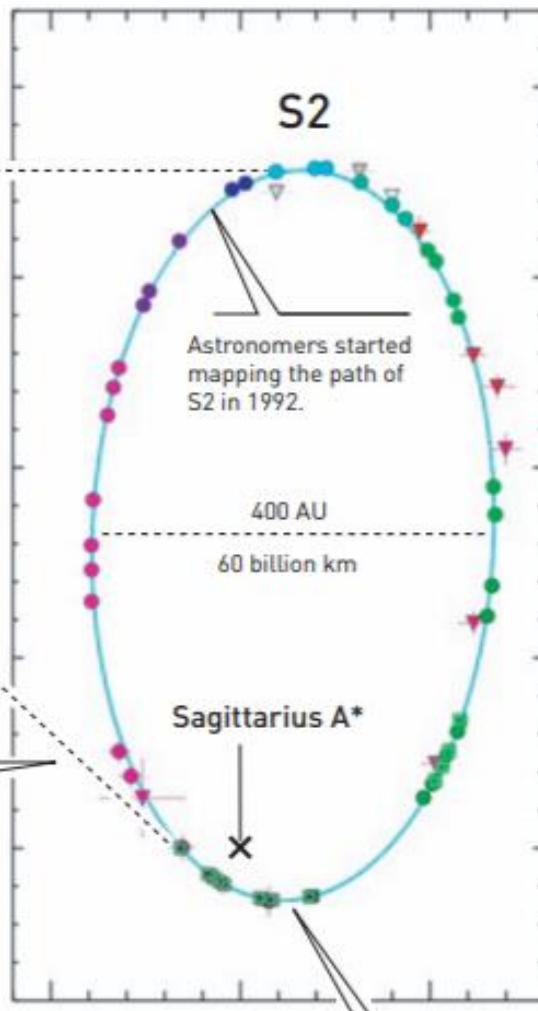
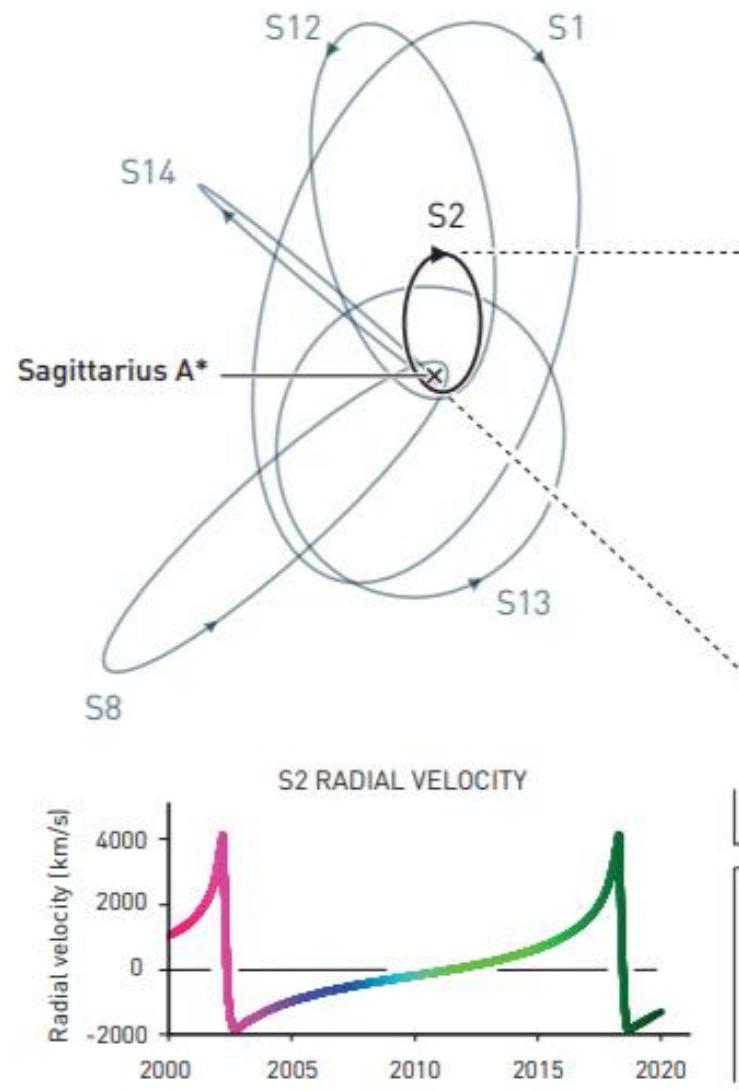
Galactic Center  
銀河系中心



An-Ting Hsu

**1995.5**





恆星的運動 (S0-2)



銀河系中心

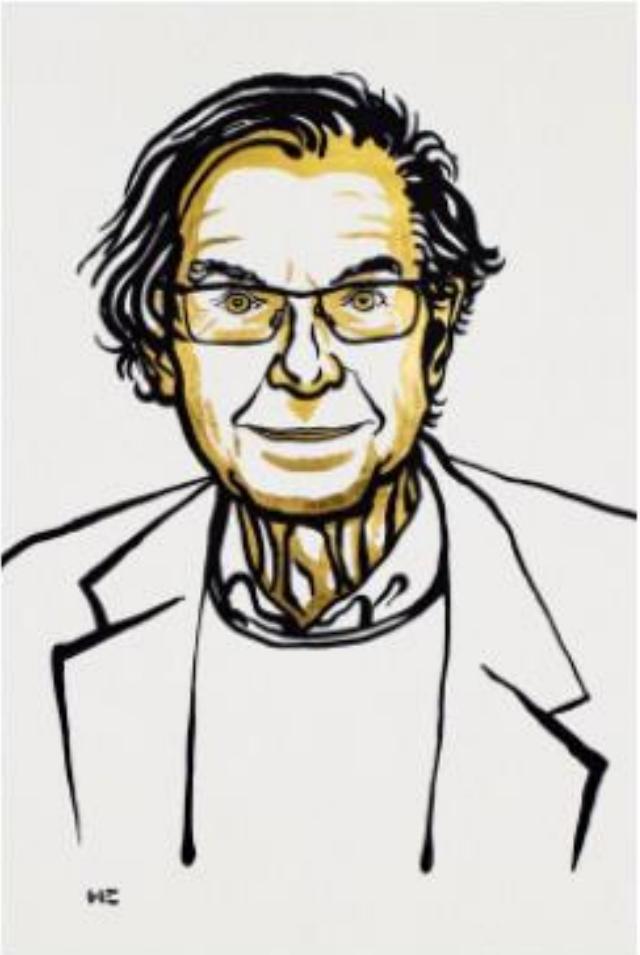
半徑 125 天文單位的區域內  
存在 400 萬太陽質量的天體



唯一合理的解釋：  
銀河中心有一顆黑洞 Sgr A\*



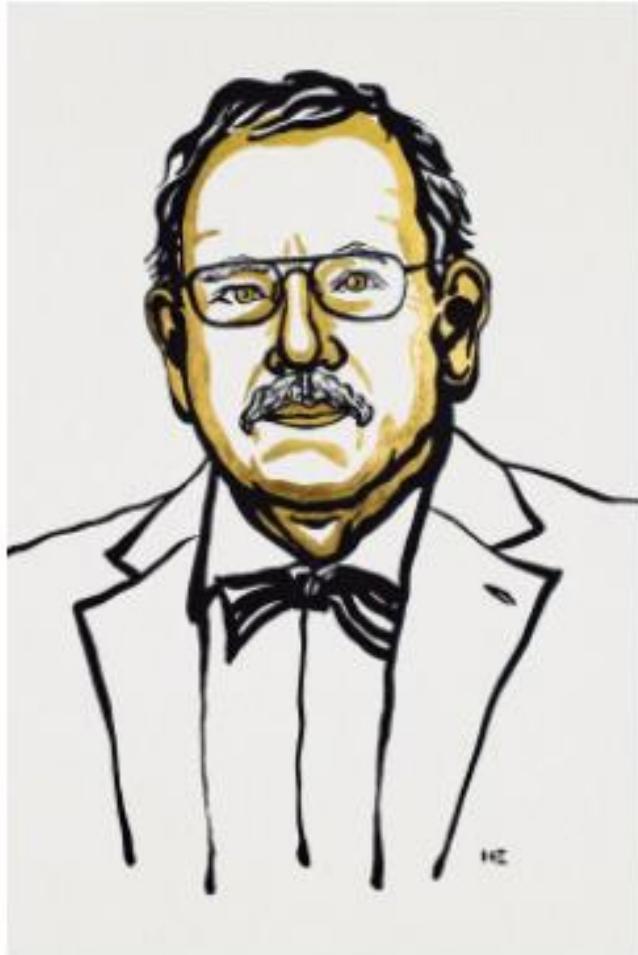
Nobel Prize!!



© Nobel Media. III. Niklas  
Elmehed.

## Roger Penrose

Prize share: 1/2



© Nobel Media. III. Niklas  
Elmehed.

## Reinhard Genzel

Prize share: 1/4



© Nobel Media. III. Niklas  
Elmehed.

## Andrea Ghez

Prize share: 1/4

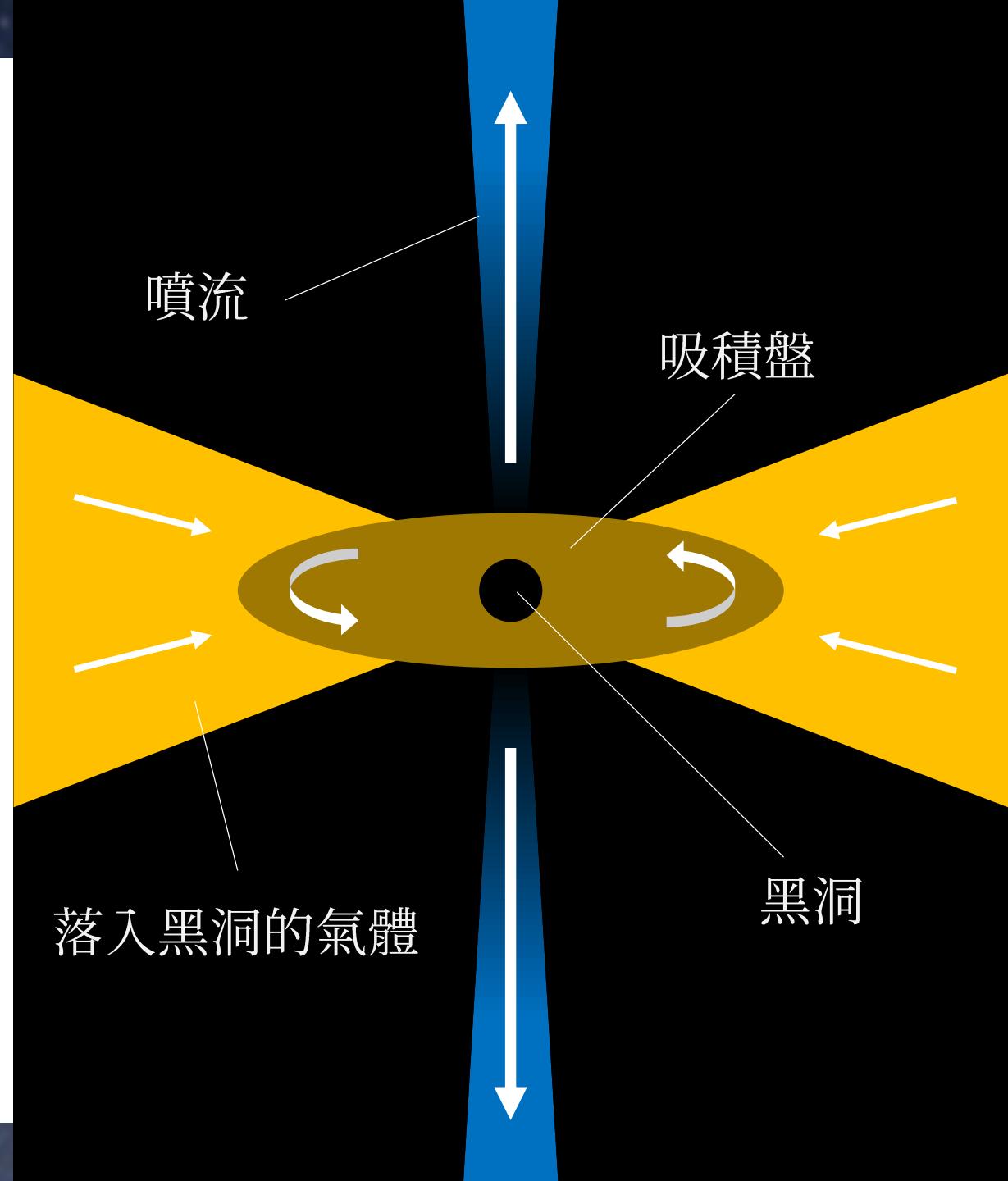
## 方法的困難點

- 需要極高的解析度（毫角秒等級）
- 需要事先知道哪裡可能有黑洞
- Keck 和 VLT 都是世界頂級的天文台  
不可能拿去在茫茫星海中緩緩搜尋
- 那，怎麼辦呢？



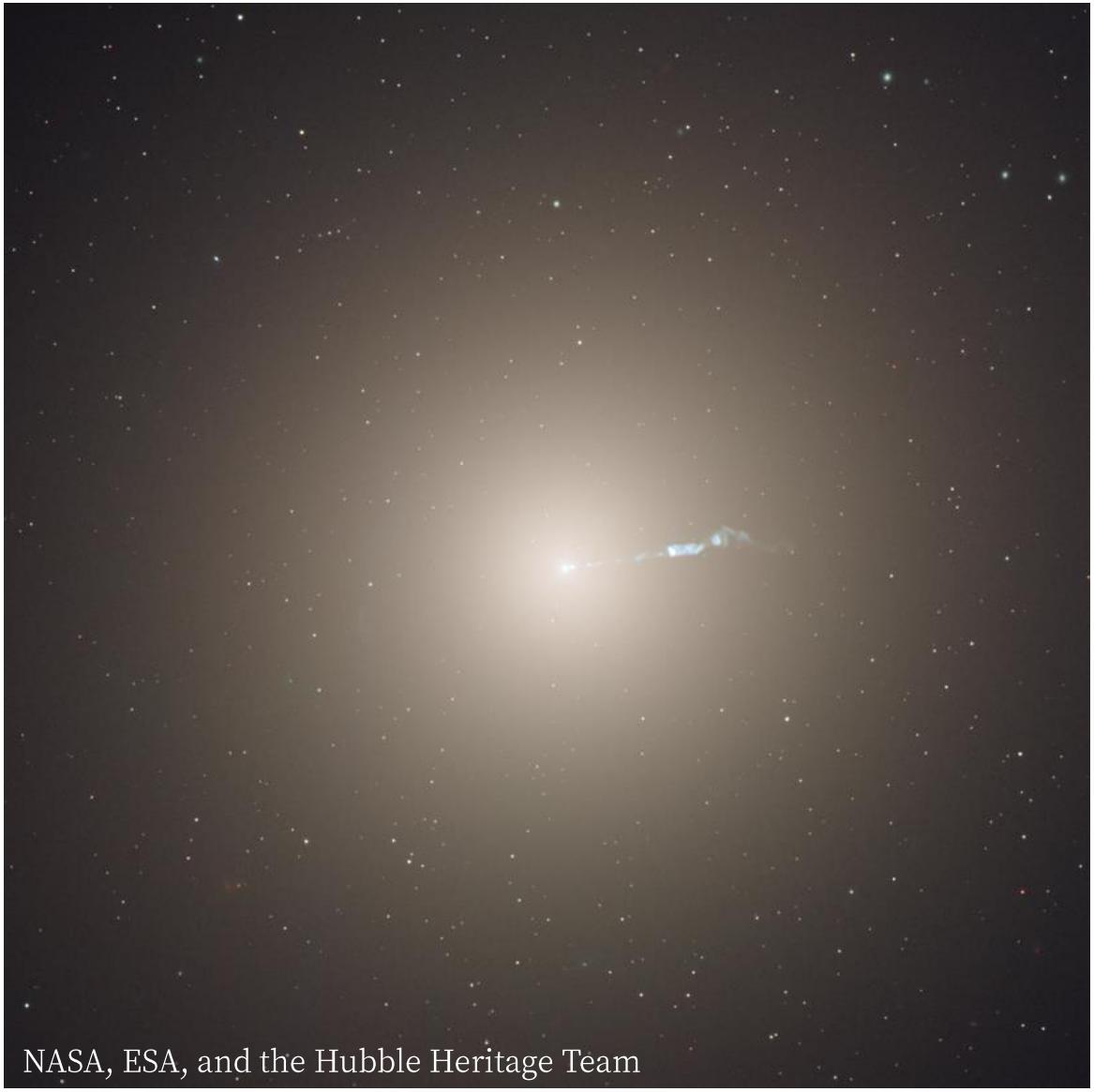
# 吃相糟糕的黑洞

- 孤身一人的黑洞幾乎無法探測
- 但當黑洞正在吃進物質時，卻能成為宇宙最明亮的天體！
- 在物質落入黑洞的過程中重力位能將會以光和熱散發出去質能轉換效率比核融合高上十倍
- 這些輻射，就可以被我們觀測到！



# 恆星質量黑洞：X 射線雙星

恒星质量黑洞：X 射线双星

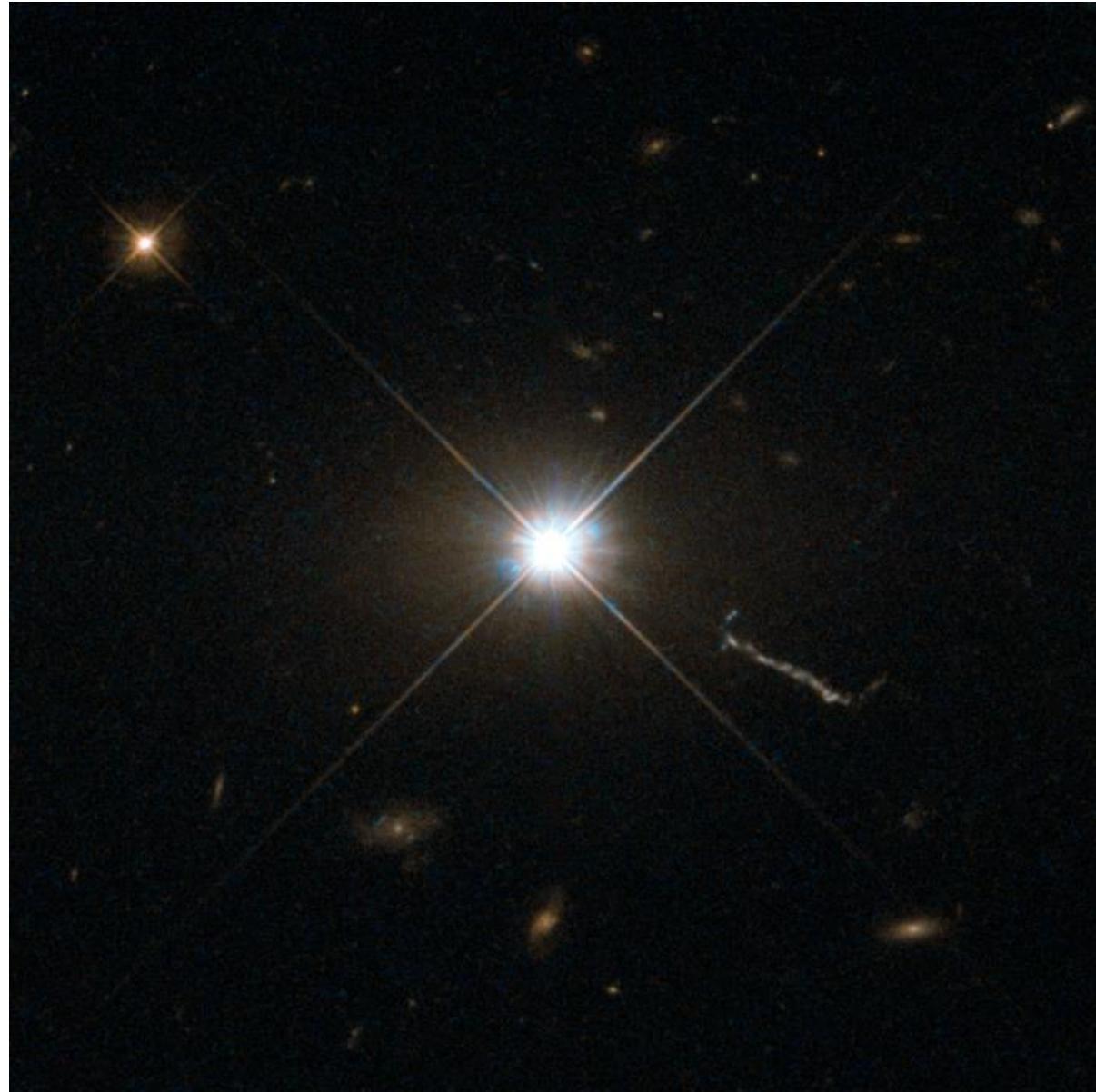
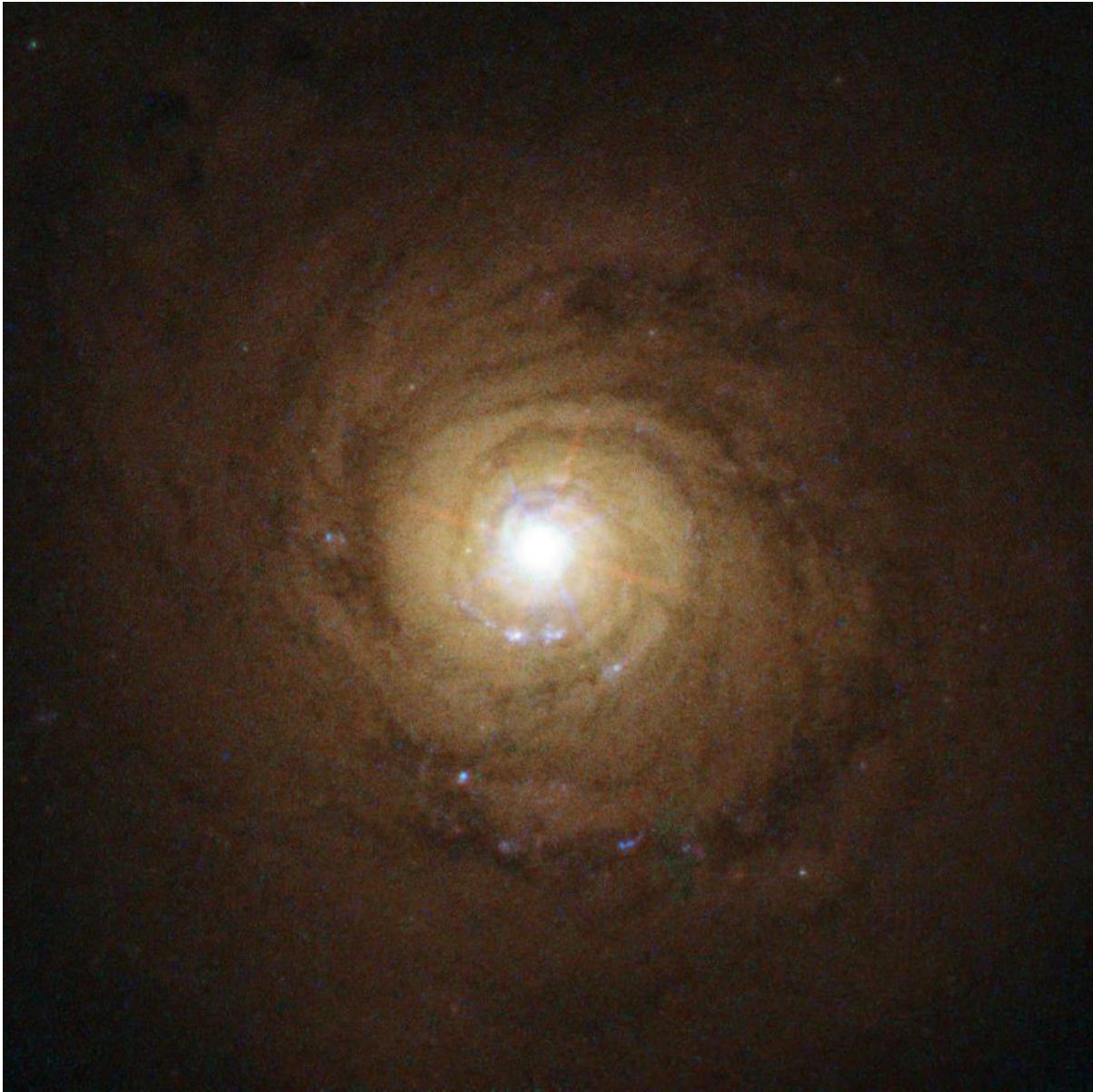


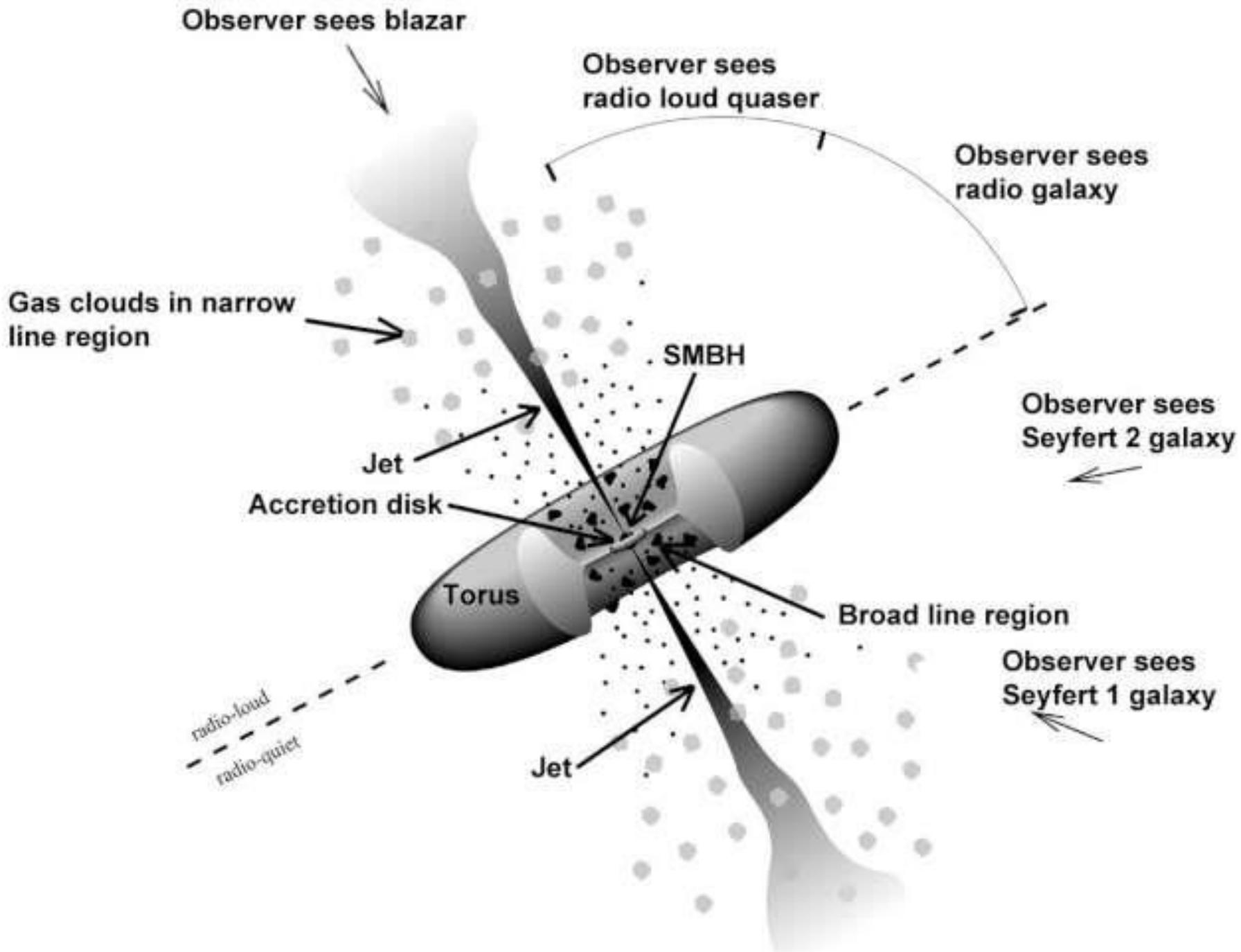
NASA, ESA, and the Hubble Heritage Team



Multi-wavelength image

NASA/CXC/SAO/Rolf Olsen/JPL-Caltech/  
NRAO/AUI/NSF/Univ.Hertfordshire/M.Hardcastle



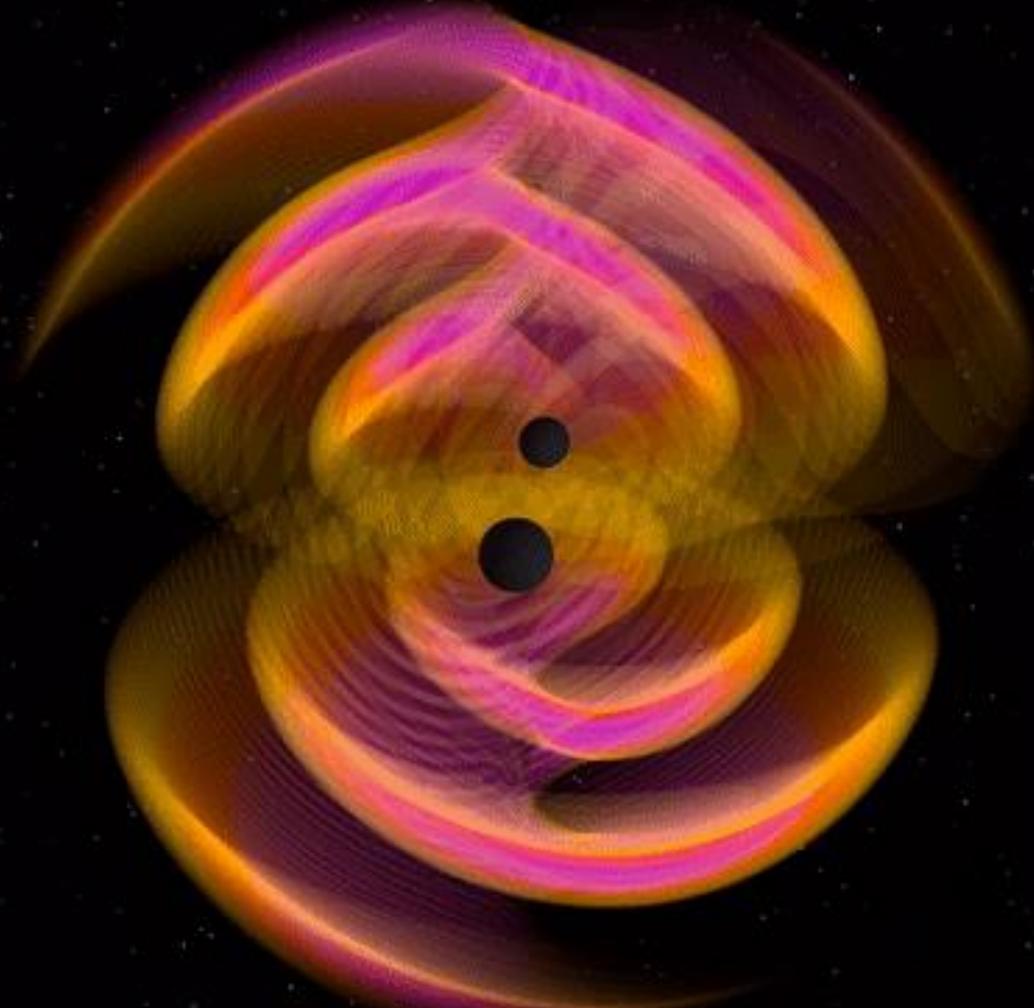




# 只要它在進食 黑洞並不黑

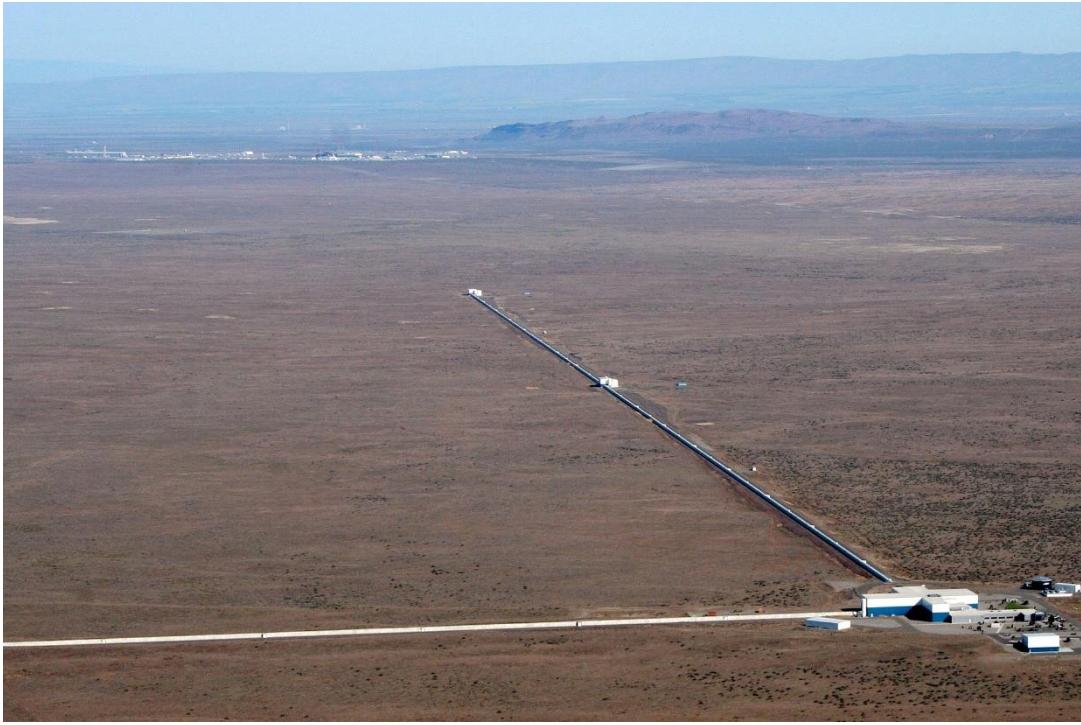
舉例而言  
類星體的光度  
可以是整個銀河系  
總亮度的十萬倍

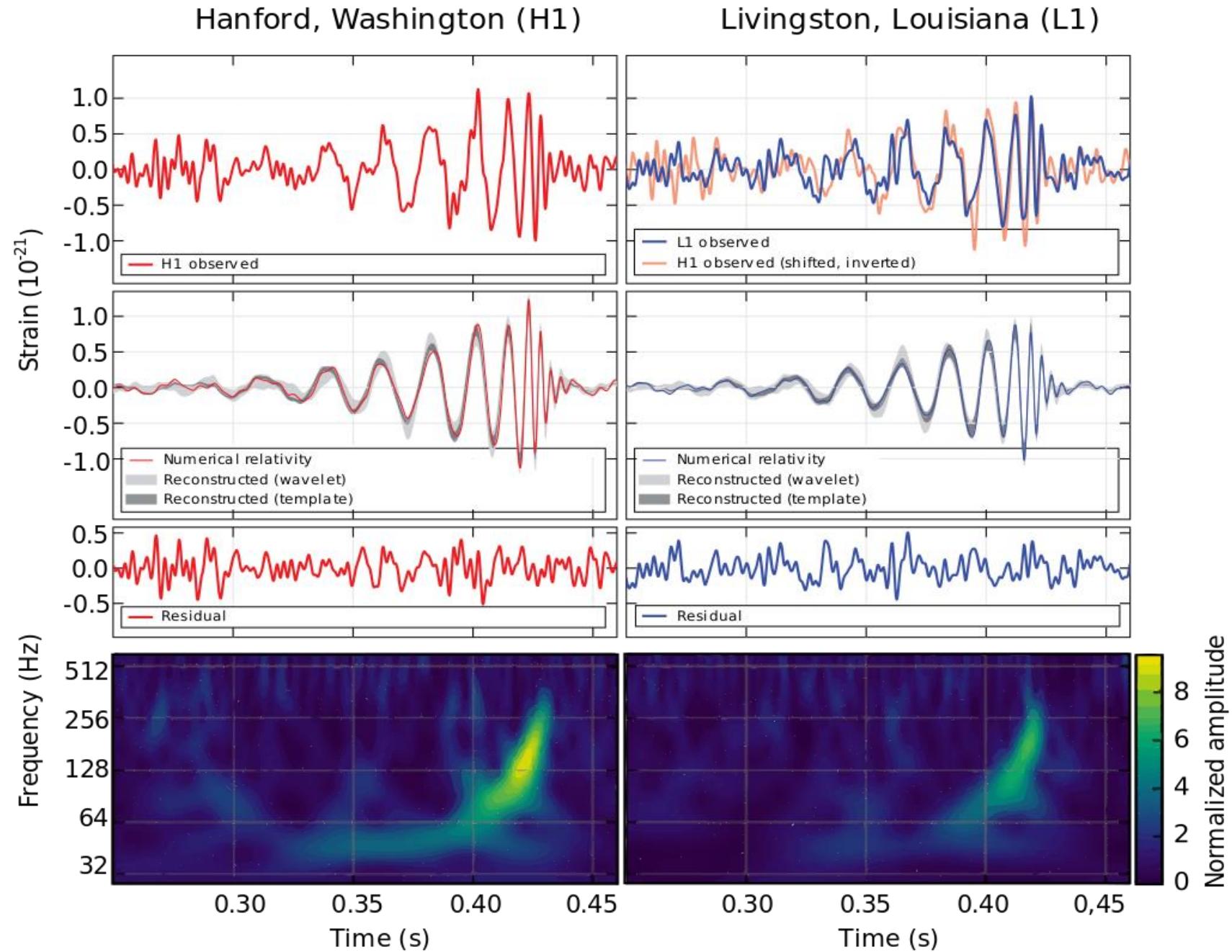
超越電磁波譜  
多信使觀測



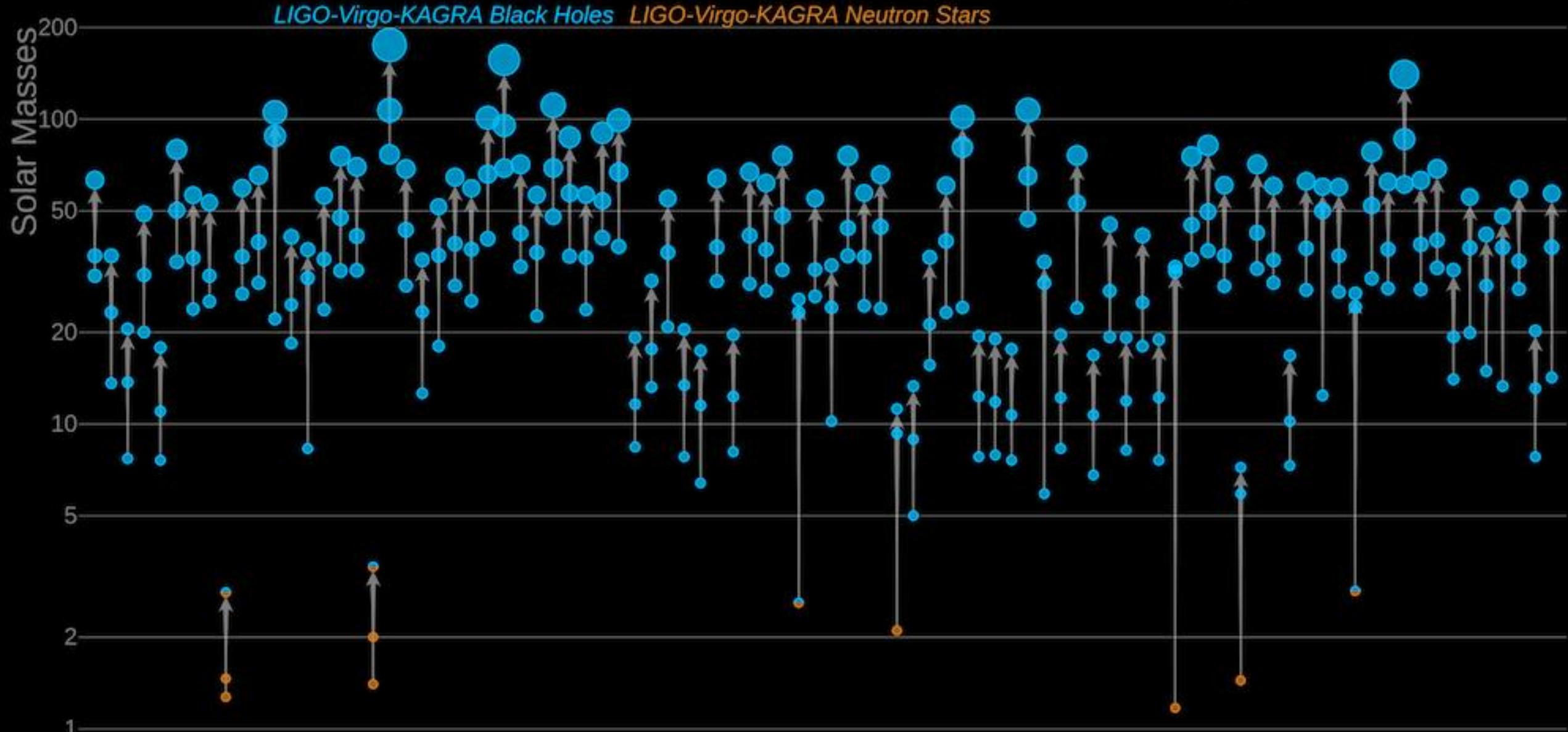
## 時空的漣漪：重力波

- 2015 首次成功探測  
2017 獲得諾貝爾獎
- 讓人類超越電磁波譜  
打開觀測宇宙的新窗口





# Masses in the Stellar Graveyard

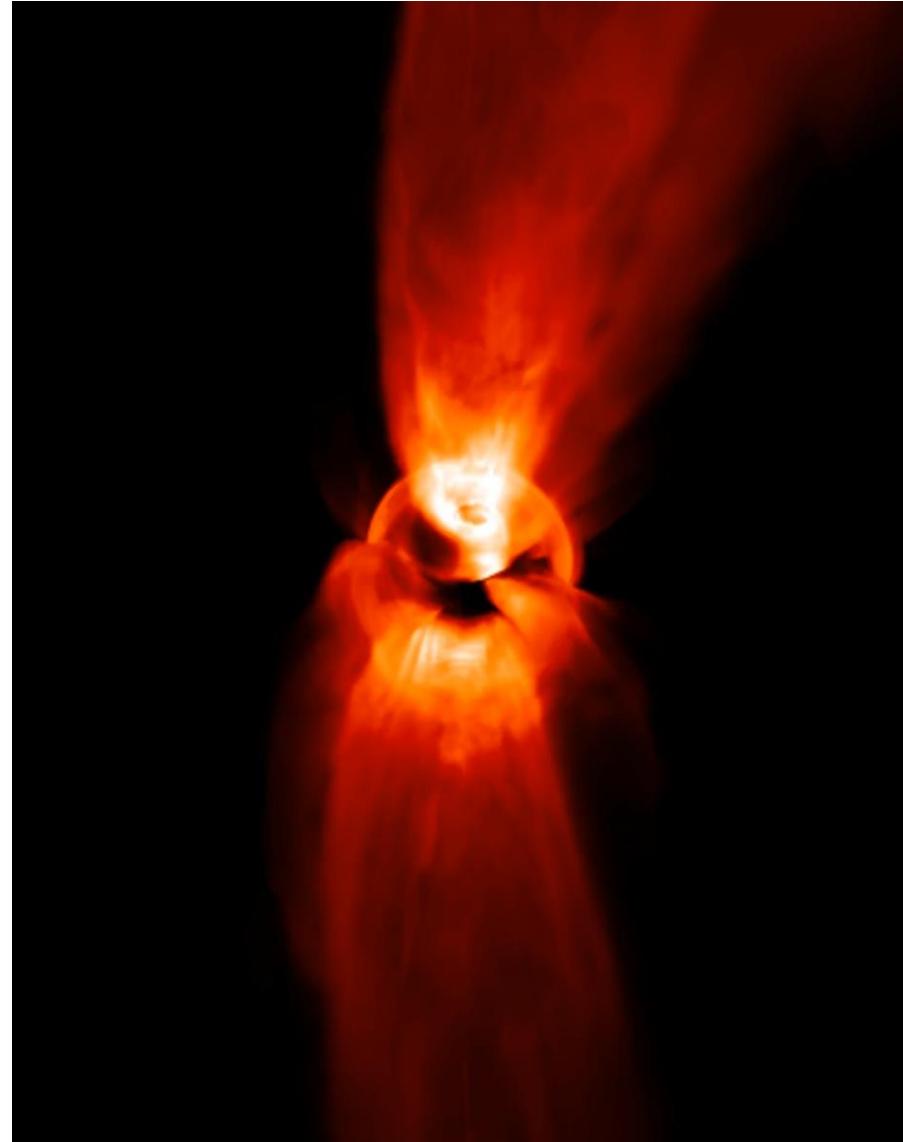


結語

# 觀測黑洞的漫漫長路

- 黑洞是宇宙中最迷人的天體之一
- 又暗又小的黑洞是相當難以觀測的目標
- 觀測黑洞旁天體的運行是觀測黑洞的重要方式
- 觀測黑洞進食時發出的光也同樣重要
- 重力波為我們打開了觀測黑洞的全新窗口
- 事件視界望遠鏡的超高解析力

將能讓我們繼續更仔細的研究黑洞！





〈在事件視界望遠鏡之前，人們怎麼觀測黑洞？〉  
《科學月刊》2020一月號。邵思齊。



〈狩獵隱身巨獸：天文學家發現沉默的恆星質量黑洞？〉  
「泛科學」2021三月。林彥興。



〈活躍黑洞的炙熱遺跡：費米泡泡〉  
「泛科學」2022四月。林彥興。

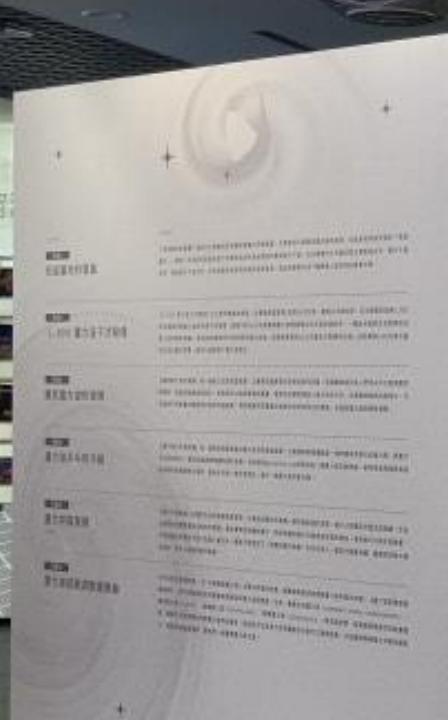
# COSMIC RIPPLES

ASTRONOMY AND ART FESTIVAL 『X』宇宙藝術節



日期: 2022.04.08 - 09.31 wed.

時間: 2022.04.18 MON - 05.08 SUN



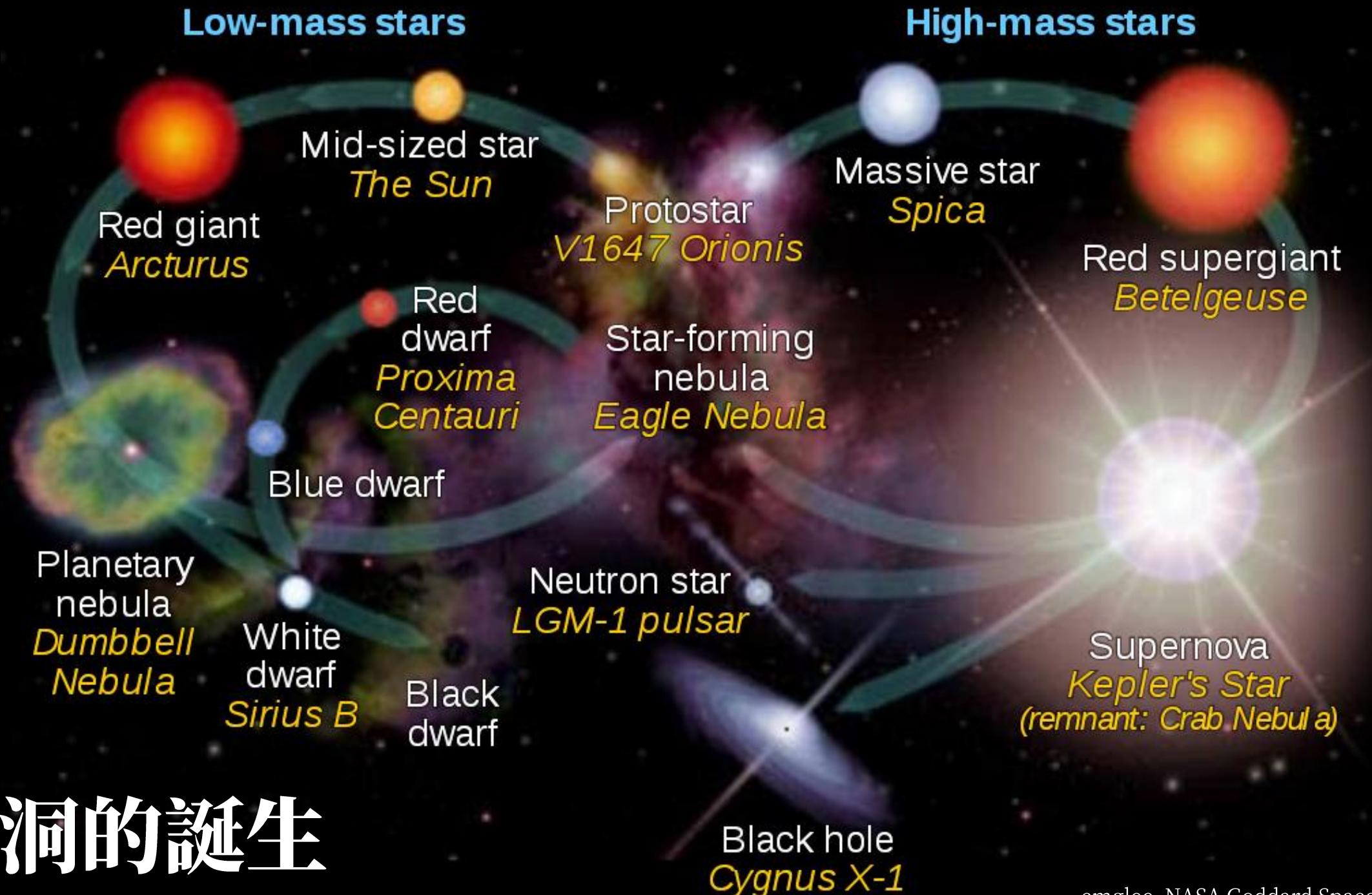
浩瀚宇宙



# MEDIA ADVISORY



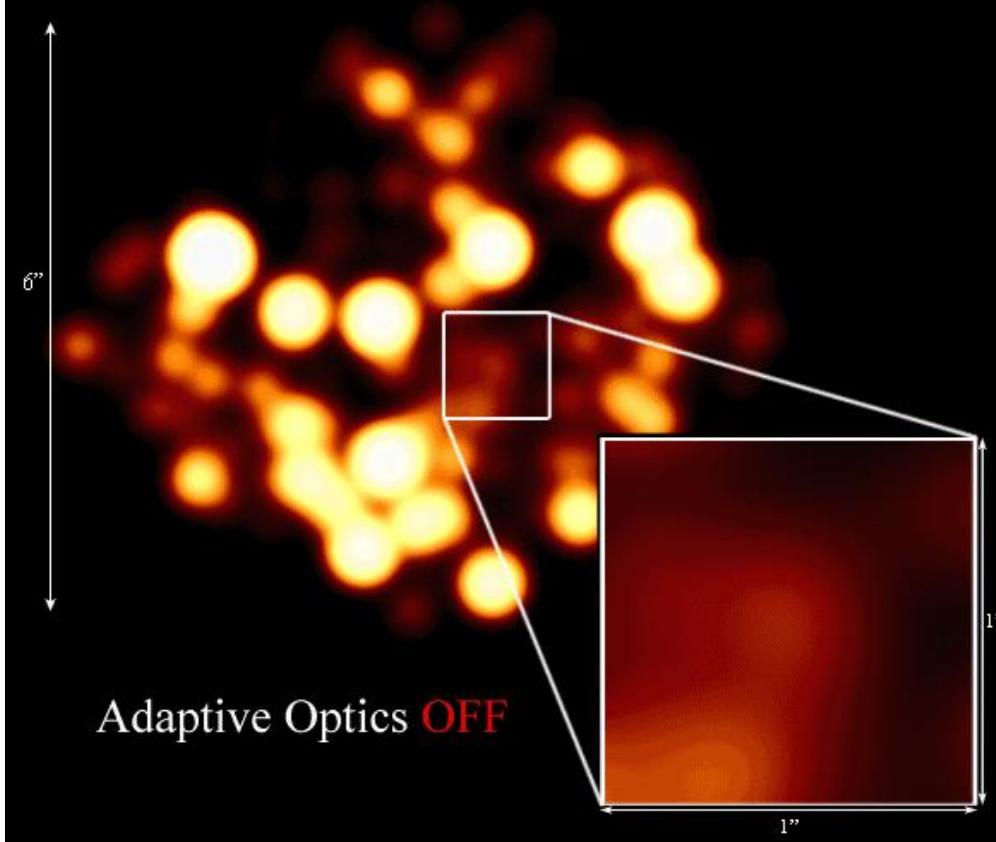
5/12 21:00 UTC+8 事件視界望遠鏡團隊將宣布  
**對銀河系中心的突破性觀測結果**



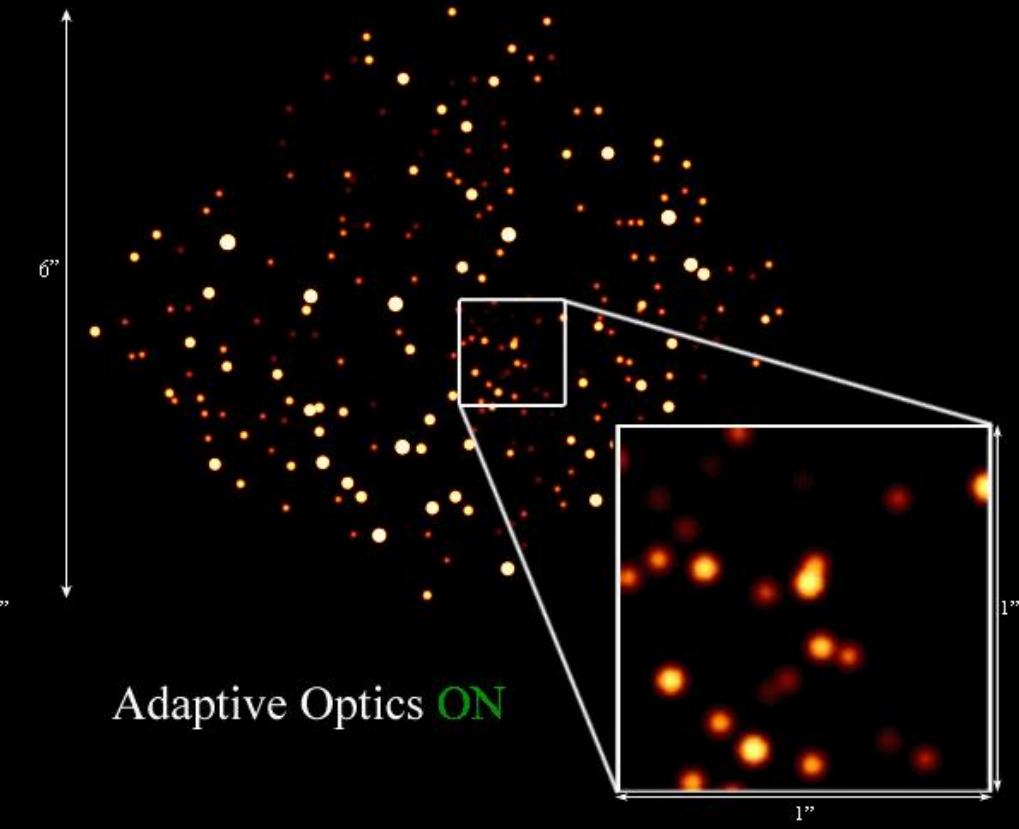
黑洞的誕生

UCLA Galactic Center Group

The Galactic Center at 2.2 microns



The Galactic Center at 2.2 microns



自適應光學 / 調適光學 Adaptive Optics