

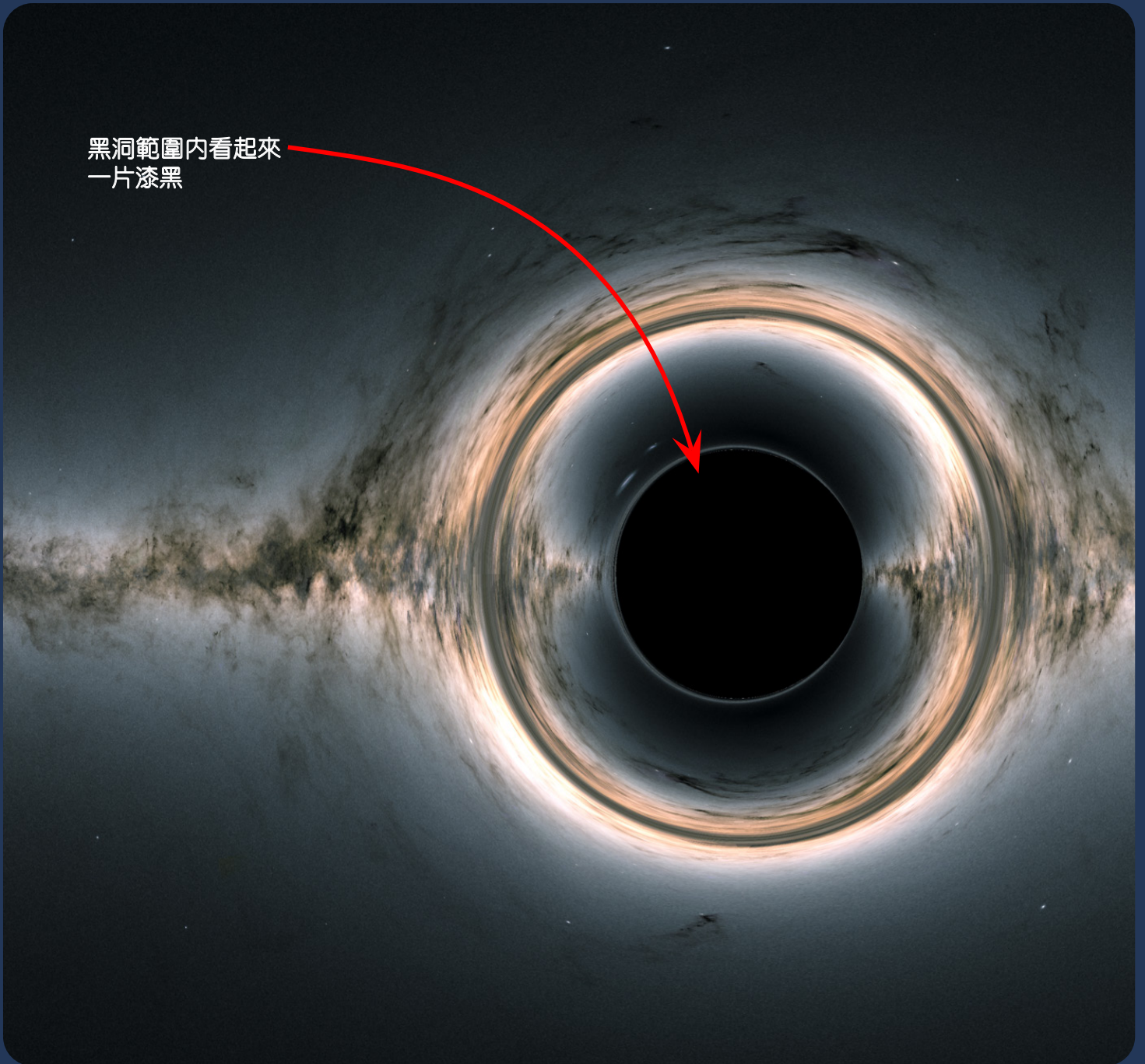


看見看不見的黑洞

黑洞 (Black Hole) 這個詞語雖然有個「洞」字，但它實際上並不是一個物理上的「洞」。之所以會這樣稱呼，是因為它強大的引力連光都無法逃脫，使得那個區域看起來一片漆黑，彷彿深不見底的「洞」。

文／蔡安理

黑洞範圍內看起來
一片漆黑



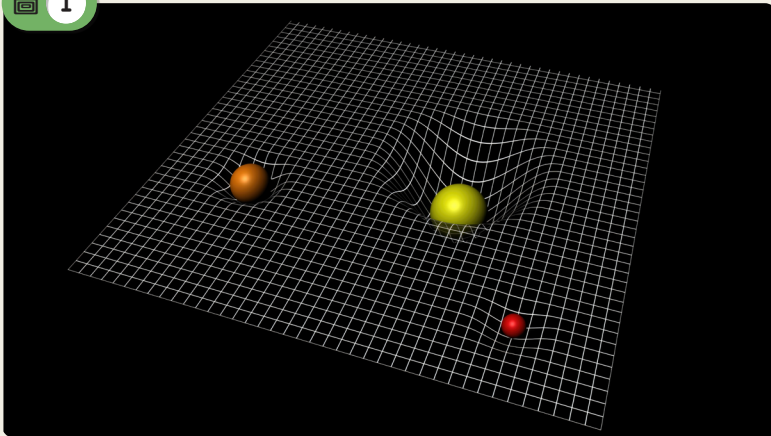
黑洞強大引力不但讓光無法逃脫，也會彎曲經過黑洞附近的光線，如同此模擬示意圖所展現，黑洞彎曲後方銀河系射向我們的光線，呈現出奇特的景象。圖片來源：NASA

根據牛頓力學的萬有引力概念，黑洞是一個質量極大的天體，其產生的引力強到連光都無法逃脫。而愛因斯坦的廣義相對論則提供了更精確的解釋：任何具有質量的天體都會造成時空扭曲。質量越大，扭曲的程度就越大，如圖1。黑洞則是一個質量極其龐大且高度緻密的天體，它所造成的時空扭曲程度大到連光的行進路徑都被徹底彎曲。當光線無法到達我們的眼睛時，我們自然就什麼也看不見，因此該區域看起來就是一片漆黑。

星系中心的超大質量黑洞

目前普遍認為，所有星系中心都存在一個超大質量黑洞，我們的銀河系也不例外。超大質量黑洞與恆星質量黑洞的形成機制與規模都不同。恆星質量黑洞是由大質量恆星在演化末期坍縮形成，質量通常約為數個太陽質量；而超大質量黑洞的形成機制目前仍是天文學界重要的研究課題之一，超大質量黑洞的質量可高達太陽質量的數百萬，甚至數十億倍以上。

圖 1



時空扭曲概念圖，扭曲程度大小受到天體質量大小的影響。圖片來源：ESA

圖 2



合併中的兩個星系NGC 6050和IC 1179，星系合併是目前認為最有可能產生超大質量黑洞的方式之一。圖片來源：NASA/Hubble

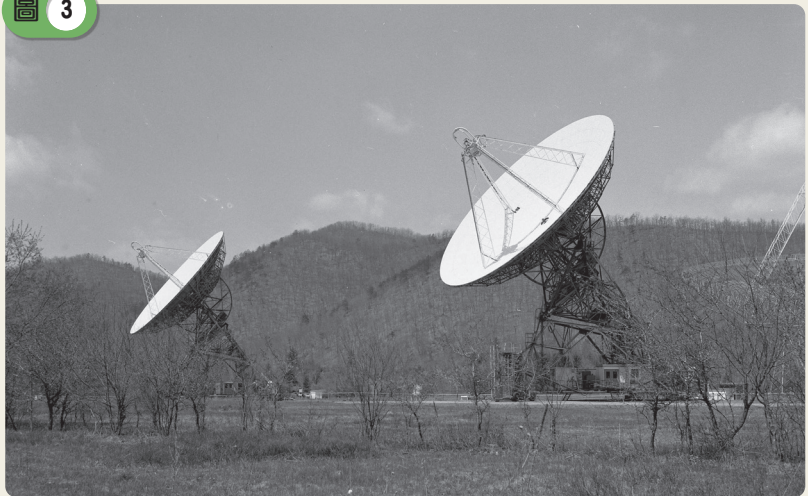
目前已知銀河中心的超大質量黑洞位於人馬座、蛇夫座和天蠍座之間，距離地球約8,000秒差距（約24,000至28,000光年）。

銀河中心黑洞的發現歷程

1974年，天文學家發現銀河系中心存在一個非常明亮的無線電波源，命名為人馬座A*（Sagittarius

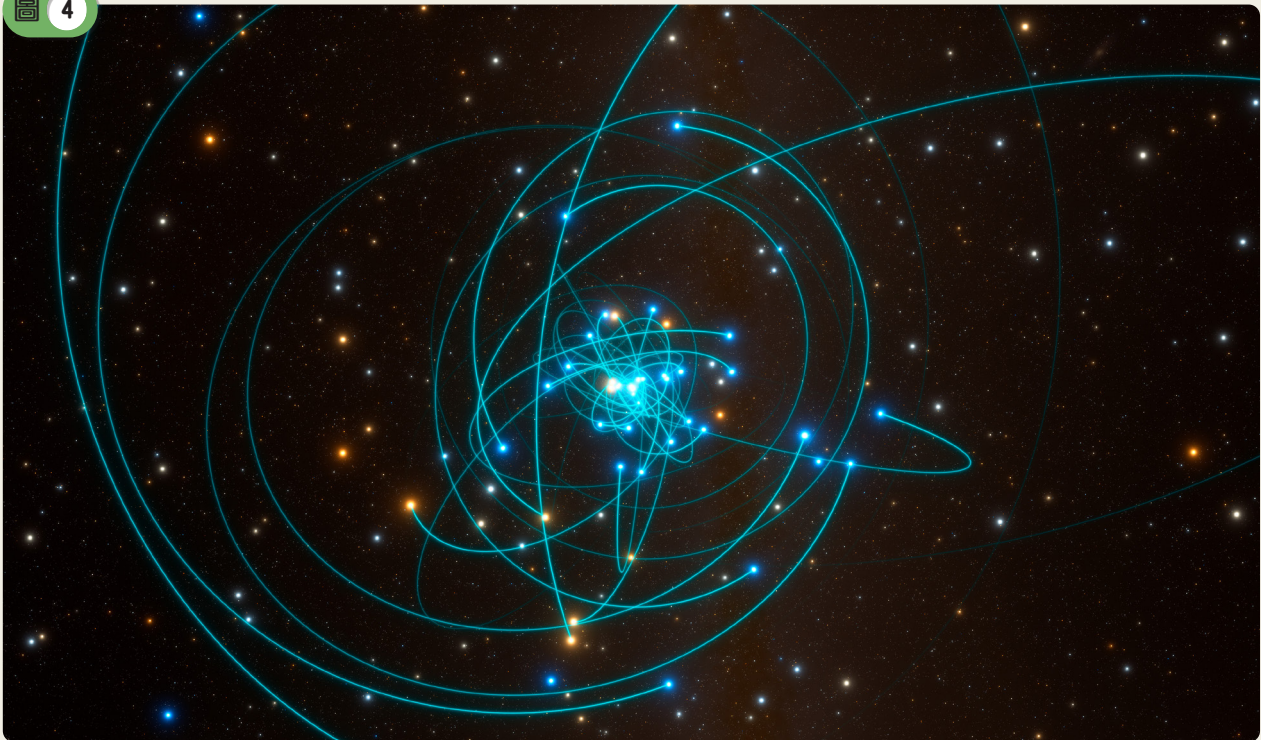
A*）。隨後，他們對人馬座A*附近的天體進行了長達十年的持續觀測，透過分析這些恆星的運動軌跡，推測它們圍繞著一個共同的質心運行。這個共同質心的質量約為400萬倍太陽質量。離共同質心最近的恆星，其距離人馬座A*約只有0.3個天文單位（AU），這個距離大約是水星到太陽的距離。在如此小的範圍內聚集如此巨大的質量，唯一的解釋就是存在一個超大質量黑洞。

圖 3



1960年代就已啓用的綠岸無線電波望遠鏡陣列（Green Bank Interferometer），不只是甚大無線電波望遠鏡陣列（Very Large Array）設計建造之前的測試平台。它本身就是功能齊全、技術先進的無線電干涉儀。而其中最引人注目的是，綠岸無線電波望遠鏡陣列（Green Bank Interferometer）發現了一個來自銀河系中心的強烈點狀無線電發射源。這個極為緻密的天體被命名為人馬座A*，後來被確認為是一個超大質量黑洞。影像來源：NRAO

圖 4

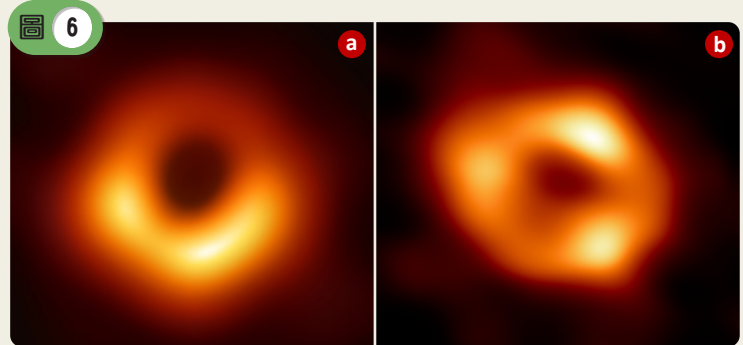


由歐洲南方天文臺的甚大望遠鏡（Very Large Telescope）和凱克望遠鏡（W. M. Keck Observatory）於2018年利用近紅外線波段，拍攝記錄銀河系核心附近的恆星動態，經計算分析軌道後，確認了銀河系核心的超大質量黑洞，而此項研究於2020年獲頒諾貝爾物理獎。圖片來源：ESO

這項推論早期並非基於黑洞的實際觀測影像，而是透過分析天體運動數據得出的結果。直到2019年，事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope, EHT）團隊，如圖5，才成功發表了人類史上第一張黑洞影像，如圖6 a。值得一提的是，臺灣的中央研究院天文及天文物理研究所（簡稱中研院天文所）也是 EHT 團隊的重要成員之一。EHT 本身並非單一望遠鏡，而是由全球多個無線電望遠鏡組成的陣列望遠鏡，其運作原理如同模擬一面直徑與地球相當的巨型望遠鏡，從而獲得足以解析遙遠黑洞的極高解析度。

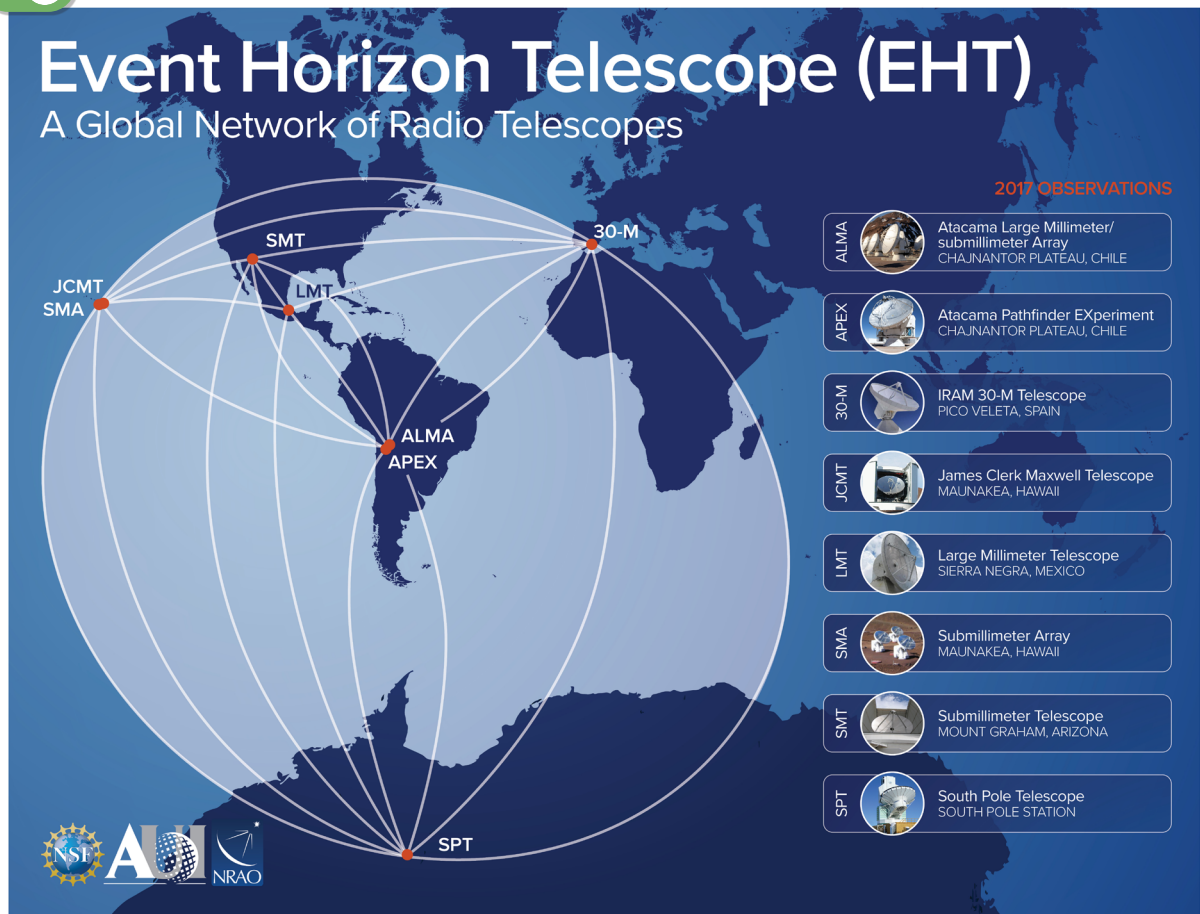
然而，2019年EHT團隊率先發表的人類史上第一張黑洞影像，並非銀

河系中心的超大質量黑洞，而是遙遠橢圓星系M87中心的超大質量黑洞M87*。這是因為儘管銀河系中心的黑洞離我們最近，但形成黑洞影像，僅能由EHT中來源穩定的夜間觀測數據產生，而人馬座A*的無線電發射源以分鐘為單位變化，導致觀測資料的分析難度較高。因此，EHT團隊選擇先處理並發布M87*的影像。直到2022年，EHT 團隊才正式公布了銀河系中心黑洞人馬座A*的影像，這成為人類史上公布的第二張黑洞影像，如圖6 b。



上圖中，a 為2019年發表，位於M87星系中心的超大質量黑洞M87*的影像，b 為2022年發表，位於銀河系中心的超大質量黑洞人馬座A*的影像。影像來源：ESO

圖 5



在以上示意圖中，標示出事件視界望遠鏡陣列，以及首度發表黑洞影像時參與的成員。此望遠鏡陣列是由全世界多個大型無線電望遠鏡所組成。圖片來源：ESO

M87*黑洞與人馬座A*黑洞的比較

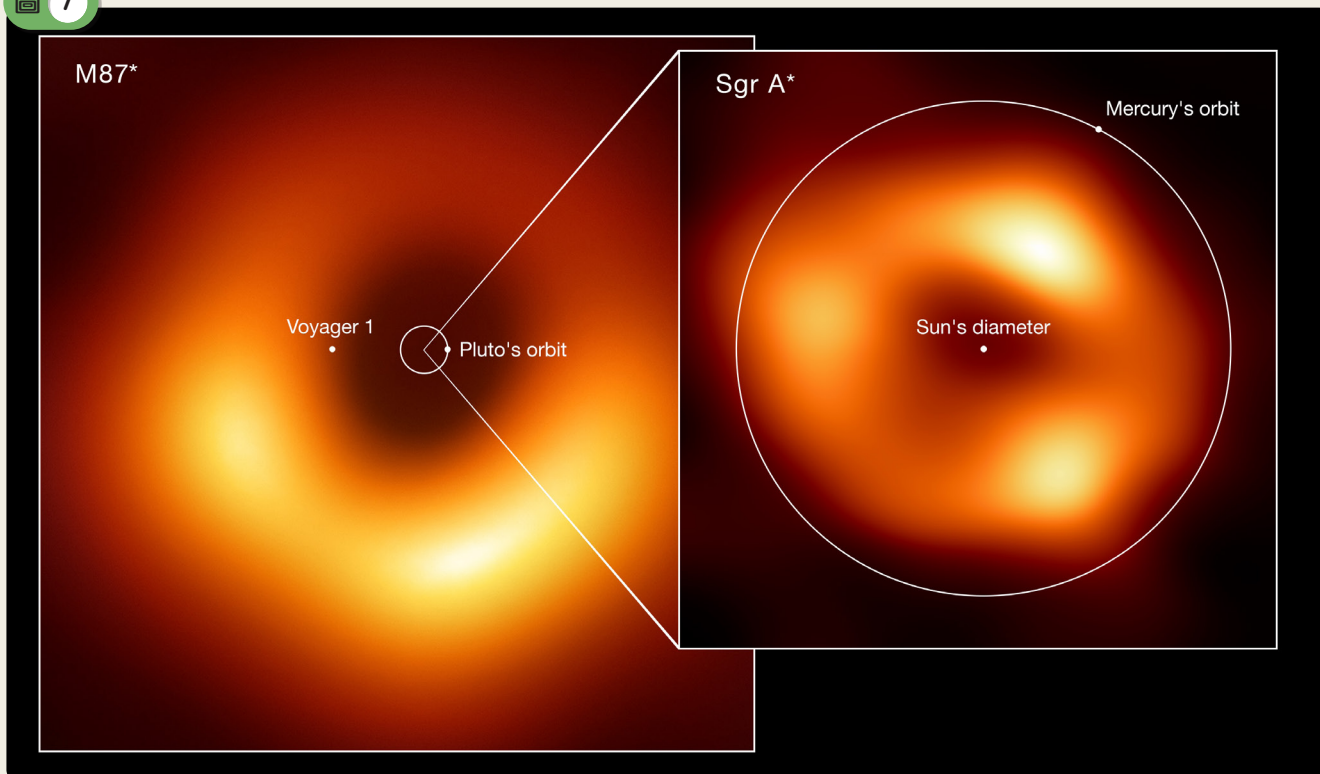
圖7呈現了這兩個黑洞的比較：左圖為M87*中心黑洞與冥王星軌道的相對大小，右圖則為人馬座A*與水星軌道的相對大小。雖然M87*的實際大小約是人馬座A*的2,000倍，但由於M87*的距離也約是人馬座A*的2,000倍，因此兩者在地球天空中觀測到的視大小（apparent size）大致相同。實際上，M87*的質量約為太陽的65億倍，而人馬座A*的質量則約為太陽的400萬倍。

結語

這些質量極其龐大的緻密天體，不僅是宇宙中最引人入勝的現象之一，更是驅動著我們對時空本質、物質極限以及宇宙起源的思考。隨著天文學家們透過事件視界望遠鏡（EHT）看到黑洞，從間接推論走向直接成像，我們正逐步揭開這些宇宙巨獸的神秘面紗。未來，對超大質量黑洞形成機制及其與星系共同演化的持續探索，將為我們理解廣闊宇宙提供更多關鍵線索。

蔡安理：臺灣天文研究聯盟/國立中央大學TARA科學家

圖 7



M87*黑洞與人馬座A*黑洞的比較圖。影像來源：ESO