

銀河星光動長空

夏夜找個遠離城市燈火的地方，只要抬頭仰望天空，常常能看到一條淡淡的乳白色光帶橫跨天際，猶如一片輕霧般的薄雲，靜靜蜿蜒於滿天繁星之間。這條光帶，自古以來被人們稱為「銀河」。在中國傳說裡，它是分隔牛郎與織女的天河；在西方，它被稱為Milky Way，像是白色乳汁噴灑到夜空形成的道路。然而這條看似寧靜的星光長河，其實並不是雲氣，而是由數千億顆恆星組成的巨大星系，也就是我們所居住的銀河系。當我們仰望這條星河時，看見的並不只是靜止的星光，而是整個星系盤中無數恆星在宇宙尺度下緩慢而持續的運動。

文／周美吟



攔砂壩上的銀河。攝影：林伯偉

銀河其實是銀河系結構在夜空中的視覺投影。銀河系是一個巨大的扁平盤狀星系，中央有個棒狀的核心區，外圍則延展出多條旋臂，太陽系就位在其中一條旋臂上，距離星系中心約2萬7,000光年。若把銀河系想像成一座巨大的不夜城，太陽系就像是位在城市邊緣的「近郊」。隨著地球繞太陽公轉，我們在不同季節的夜晚，視線會朝向這座城市的不同方向。在夏季的夜晚，從地球望向夜空正好朝向銀河系的核心區，視線會穿過大量彼此疊加的恆星與星際雲氣，就好像是站在郊區往繁華的市中心望去，因此夜空中便形成了一條璀璨、密集的星光長帶，也就是我們看到的壯觀夏季銀河。相反地，到了冬季，地球運行到太陽的另一側，夜晚的視線轉而朝向銀河系的邊緣。這就像是背對市中心往人煙稀少的城外荒野望去，由於視線前方的恆星數大量減少，冬季的銀河光帶自然就顯得稀疏且黯淡許多，如圖1。換句話說，我們在四季看到的銀河明暗變化，其實就是我們身處在星系盤面上，往內看與往外看所產生的自然視覺差異。

然而，直到二十世紀初，人類對這個「銀河系」的真實大小其實仍然所知甚少。當時天文學家雖然已經透過望遠鏡看見許多模糊的「螺旋星雲」，但沒有人確定它們究竟是銀河系內的天體，還是遙遠宇宙中的另一個世界。1920年，兩位著名天文學家在華盛頓史密松學會舉行了一場公開辯論，討論宇宙的尺度問題。這場辯論後來被稱為天文界的「大辯論」。

辯論的其中一方是哈佛大學的天文學家Harlow Shapley，他研究球狀星團在天空中的分布，發現它們並不是以太陽為中心，而是集中在天空某個特定方向，由此他推論銀河系的中心位於人馬座附近，而且銀河系的尺度遠比過去想像的大得多。這個結論的重要之處在於：太陽並不是銀河系的中心，人類所處的位置只是星系邊緣的一個普通角落。不過，Shapley同時也認為，當時望遠鏡中看到的那些「螺旋星雲」，例如秋天容易看到的仙女座「星雲」，其實只是銀河系內部的氣體與恆星結構，而

圖 1



冬季其實也可以看到銀河（圖中右下延伸到左上），但相比夏季銀河黯淡許多。圖中偏左側是黃道光，是太陽系內細小塵埃粒子散射太陽光所造成。影像名稱：黃道光、冬季銀河，攝影：陳宜婷

不是獨立的星系。換句話說，在他的觀點中，銀河系的規模雖然極其巨大，但它幾乎就是整個宇宙的全部。

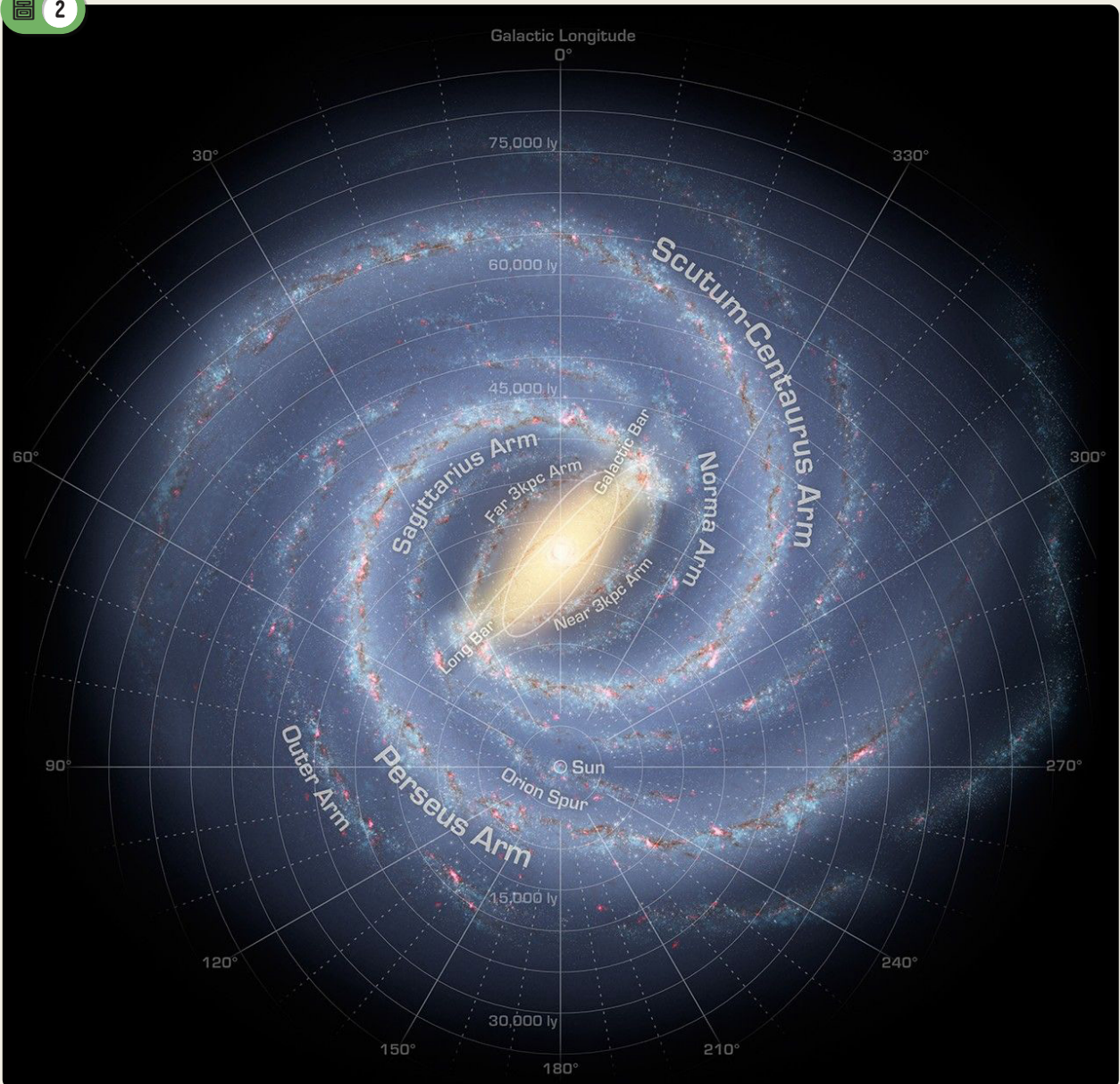
另一位辯論者是加州理工學院的天文學家Heber Curtis。他主張那些螺旋星雲其實是像銀河系一樣的獨立星系，只是距離極其遙遠，因此看起來模糊而微小。如果這個想法正確，宇宙中將不只有一個銀河系，而是存在無數類似的「島宇宙」。

這場辯論當時並沒有立刻分出勝負，但幾年後，天文學家Edwin Hubble利用造父變星測量了仙

女座「星雲」的距離，證明它遠遠超出銀河系的範圍，應該稱為仙女座「星系」。這項發現改變了人類對宇宙的認識：宇宙並不是只有一個銀河系，而是充滿了無數星系，我們的銀河系只是其中之一。

如今我們知道，銀河系的直徑大約10萬光年，包含數千億顆恆星，以及大量氣體、塵埃與看不見的暗物質。從外觀上看，它是一個典型的螺旋盤狀星系，如圖2：中央有隆起的核球，外圍則是一個旋轉的星系盤，盤中分布著明亮的旋臂。這些旋臂並不是固定不動的結構，而是在星系旋轉與重力作用下形成的密度波，恆星與氣體在其中不斷進出。

圖 2



插畫家筆下的銀河系示意圖。圖片來源：NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)

銀河系在宇宙中並不孤獨。在距離我們約1,000萬光年的範圍內，還有一群彼此受到重力束縛的星系，形成所謂的「本星系群」。其中最大的兩個成員是銀河系與仙女座星系，周圍環繞著數十個規模較小的矮星系（dwarf galaxies），是伴隨著這兩個大星系的衛星星系。

在南半球的夜空中，肉眼甚至可以看到其中兩個最著名的銀河系衛星星系：大麥哲倫雲與小麥哲倫雲。它們看起來像兩片朦朧的雲，但其實各自都是包含數十億顆恆星的矮星系。天文學家發現，這兩個星系以及與銀河系之間存在著長長的氣體結構，稱為「麥哲倫流」，顯示它們正在彼此拉扯。

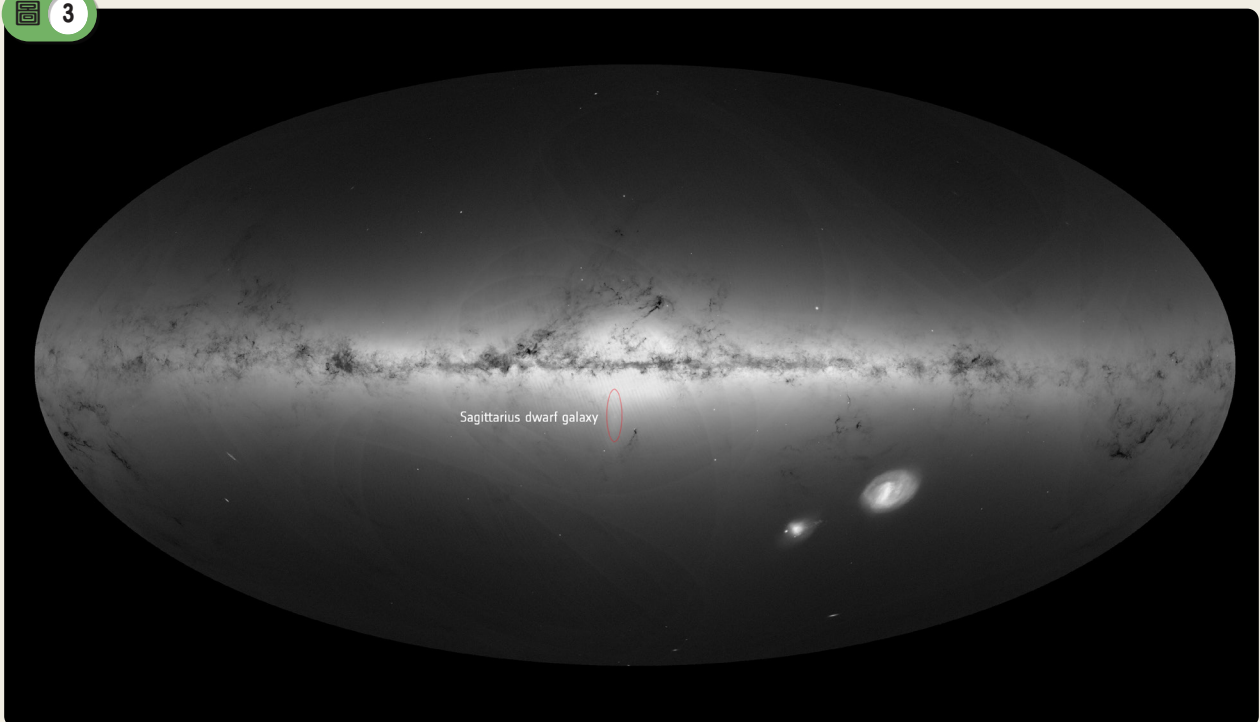
更有趣的是，在銀河系的外圍還散布著許多暗淡的衛星星系。當這些小星系逐漸接近銀河系時，強大的潮汐引力會將它們一點一滴地撕裂，原本束縛其中的恆星被拉離母體，沿著軌道延展成細長的恆星流，最終逐漸融入銀河系之中。筆者的博士研究，正是透過光譜分析這些恆星流的化學指紋，發現它們與銀河系原生恆星在元素比例上存在細微但關鍵的差異，進而證實這些恆星並非誕生於銀河系，而是來自曾被其潮汐力撕裂並併入的矮星系，如圖3。換句話說，

銀河系其實是在不斷吞併較小的星系中逐漸成長。星系的形成與演化，往往就是在不停地碰撞與融合中進行。這樣的命運同樣也在等待著我們的銀河系——天文學家推測，在大約40億年後，仙女座星系將逐漸接近，與銀河系展開一場持續數十億年的邂逅，最終合併成一個巨大的橢圓星系，如圖4。

如果把視線轉向銀河系的中心，則會看到另一種更為激烈的天體舞動。銀河系中心位於人馬座方向，由於那裡充滿塵埃與氣體，可見光難以穿透，因此天文學家必須利用紅外線與電波來觀測。透過長時間的精密觀測，科學家發現銀河中心附近的恆星運動速度極快，有些恆星甚至在十幾年內就能繞中心一圈，如圖5。

這些恆星的軌道提供了關鍵線索。根據它們的運動速度與軌道形狀，天文學家推算在銀河中心必定存在一個質量約為400萬個太陽的巨大天體，而且它被壓縮在極小的空間之中。唯一合理的解釋，就是那裡存在一個超大質量黑洞，被稱為人馬座A*。長期追蹤研究銀河系中心恆星軌道運動的兩位天文學家，Andrea Ghez和Reinhard Genzel，也因此獲得2020年的諾貝爾物理學獎。

圖 3



蓋婭（Gaia）任務於2014到2016年期間觀測到的全天恆星密度圖。圖中右下方兩個小星系就是大小麥哲倫雲，而銀河系中心下方還有一個細長的結構，是正在被銀河系吞併的人馬座矮星系殘骸。影像來源：ESA/Gaia/DPAC

4

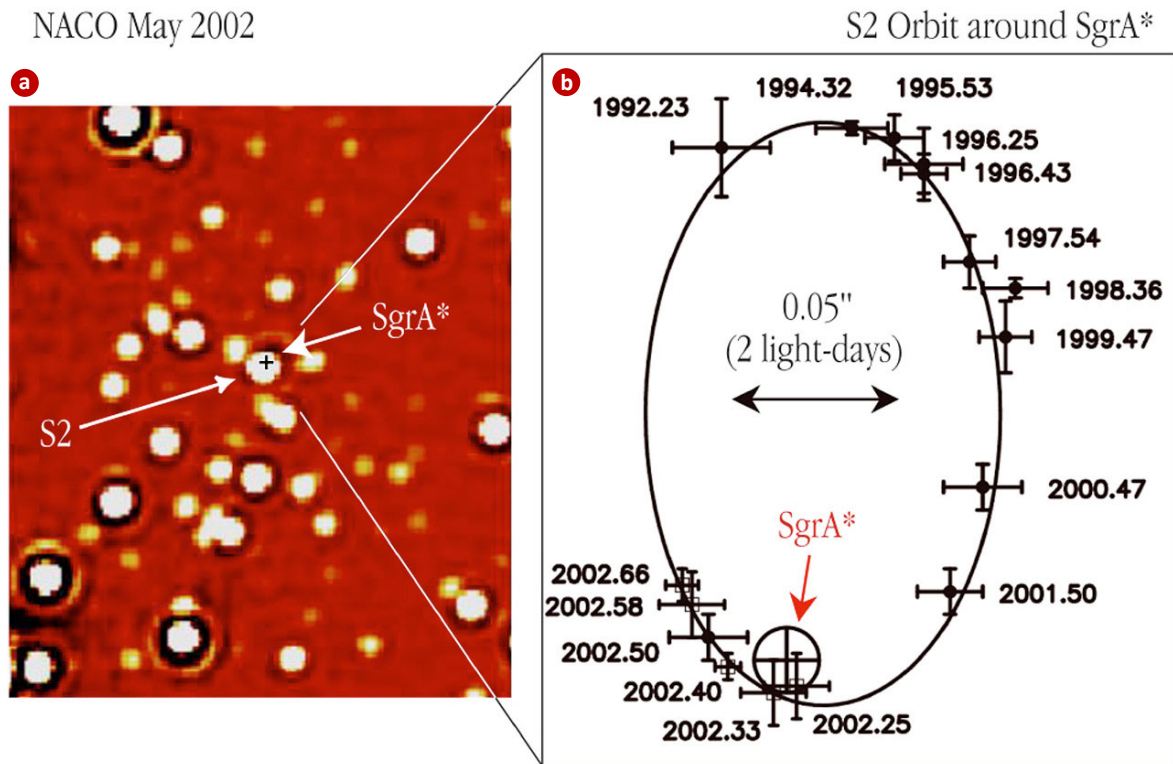


Illustration Sequence of the Milky Way and Andromeda Galaxy Colliding

NASA, ESA, Z. Levay and R. van der Marel (STScI), T. Hallas, and A. Mellinger ■ STScI-PRC12-20b

這組模擬圖片展示了我們銀河系與鄰近的仙女座星系預計合併的景象。時間順序為 **a** (現在在地球看到的情景)、**b** (20億年後) 到 **h** (70億年後)。圖片來源：NASA; ESA; Z. Levay and R. van der Marel, STScI; T. Hallas, and A. Mellinger

圖 5



a 是2002年觀測到的紅外線影像，標示出銀河系中心的電波源人馬座A*（後被證實為黑洞）。**b** 則是1992年至2002年間觀測到的S2恆星軌道，可以看到這顆恆星是環繞著人馬座A*運行。圖片、影像來源：ESO

多年來，天文學家只能透過諸如觀測恆星或雲氣運動這種間接方法來研究黑洞，卻始終無法直接看到它的樣貌。直到近年，臺灣也有參與的「事件視界望遠鏡（Event Horizon Telescope，簡稱EHT）」國際合作計畫，改變了這種情況。這個計畫把分布在世界各地的電波望遠鏡連接起來，利用特長基線干涉（Very Long Baseline Interferometry，簡稱VLBI）技術，使整個地球等效於一座巨型望遠鏡，解析度足以觀測黑洞附近極其細微的結構。

2019年，EHT首次公布了M87星系中心黑洞的影像。三年後的2022年，科學家又公布了銀河系中心黑洞，也就是人馬座A*的影像，如圖6。這張照片呈現出一圈明亮的環狀結構，中間則是黑洞投下的陰影。那是人類第一次直接「看見」自己星系中心的黑洞，也再次驗證了愛因斯坦廣義相對論對黑

洞的預測。值得一提的是，相較於處理M87星系中心黑洞的影像，人馬座A*的資料分析其實更加困難。由於它距離我們較近，周圍結構在短時間內便劇烈變動，使影像重建更具挑戰。或許正如古人所言：「只緣身在此山中」——越是身處其間，反而越難一窺全貌。

從夏夜肉眼可見的銀河，到電波望遠鏡拍攝的黑洞影像，人類在短短一個世紀內逐漸揭開了銀河系的面貌。我們知道它的大小、結構，也知道它在宇宙中的鄰居，更看見了中心潛藏的巨大黑洞。然而這些發現同時也提醒我們：銀河系並不是一個靜止不變的世界。在銀河系的內部，黑洞的重力讓附近的恆星與氣體高速旋轉；在外圍，矮星系被潮汐力撕裂，化為恆星流逐漸融入銀河系之中；而在更遙遠的未來，銀河系甚至可能與仙女座星系相遇導

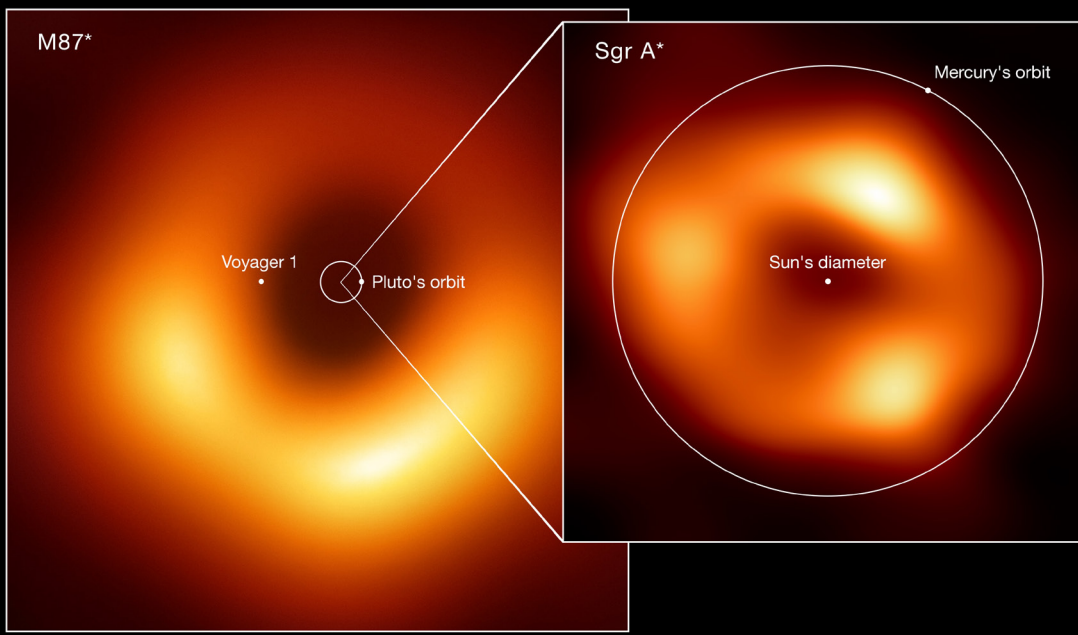
致最終合併。整個星系都在宇宙的時間尺度上或快或慢地持續演化著。

《易經》提到：「天行健，君子以自強不息。」宇宙從來不是靜止的舞台，而是一場永不停歇的運行。從星雲凝聚為恆星，如圖7，到星系彼此交會，再到黑洞牽動萬物的軌

道，一切都在變化與演進之中。當我們再次抬頭望向那條橫跨天際的銀河時，也許會發現：那看似靜靜流淌的星光，其實正如世間萬物一般，在漫長歲月裡持續前行。銀河不息，而我們亦身在其中。

周美吟：中研院天文所EPO辦公室經理

圖 6



M87星系中心黑洞（左）和銀河系中心黑洞（右）的大小比較示意圖。儘管前者質量遠大於後者，但因距離更遙遠，兩者在天空中的視角大小其實相差不多，都恰好位於事件視界望遠鏡（EHT）所能解析的範圍內。影像來源：EHT collaboration

圖 7



阿塔卡馬大型毫米及次毫米波陣列（ALMA）拍攝到的銀河系中心分子區，橫跨約650光年的分子氣體分布影像，可以了解氣體如何在銀河系中心極端混亂的環境中凝聚成恆星。影像來源：ALMA (ESO/NAOJ/NRAO) /S. Longmore et al. Background:ESO/D. Minniti et al.