



銀河編年史 星塵旅者的歸途

在晴朗無光害的夜晚，你是否曾抬頭看見一條橫跨天際的乳白色光帶？那就是銀河。但你看到的，其實不是一條真正的「河」，而是我們身處其中的巨大星系，也就是銀河系，從盤面內部觀看所呈現出的視覺效果。人類對銀河的理解，並不是一開始就正確的。從早期的想像與神話，到近代透過望遠鏡與科學觀測逐步修正，我們花了數百年的時間，才拼湊出這個龐大結構的真實樣貌，而這段探索歷程，本身就像是一場跨越世代的宇宙解謎。

文／段皓元



自主學習故事架構設定在西元3026年，你是一名星際時代的觀察員，在銀河邊緣一座殘破的深空檔案館中甦醒。人類文明曾經歷一場名為「大靜默」的災難，許多關於家園的位置與紀錄早已遺失。你的任務，是與AI助手一同修復這些資料，找回人類在宇宙中的座標。

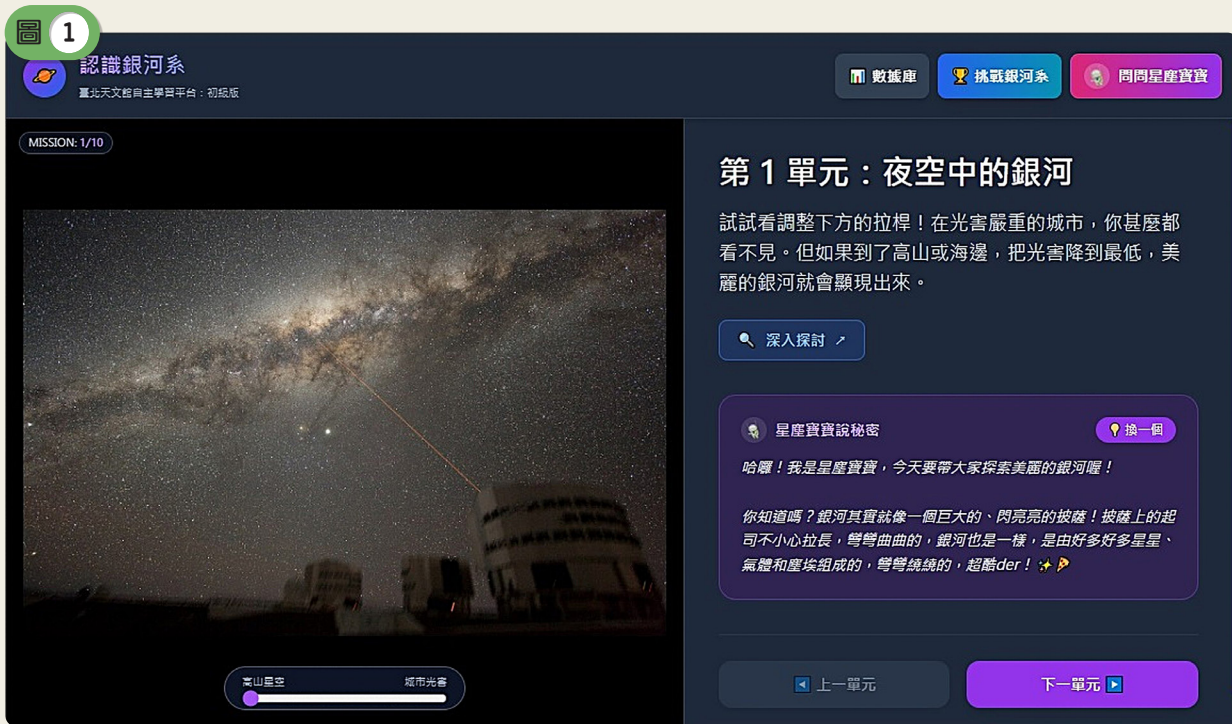
臺北天文館推出的自主學習單元《銀河編年史：星塵旅者的歸途》，正是以這樣的科學探索過程為核心，結合科幻故事與天文知識，設計出一套可邊閱讀、邊思考，甚至直接互動的學習體驗。故事設定在西元3026年，你是一名星際時代的觀察員，在銀河邊緣一座殘破的深空檔案館中甦醒。人

類文明曾經歷一場名為「大靜默」的災難，許多關於家園的位置與紀錄早已遺失。你的任務，是與AI助手一同修復這些資料，找回人類在宇宙中的座標。在這段過程中，你不只是閱讀故事，而是隨著線索一步步推理我們所在的位置，理解銀河系的形貌，以及天文學家如何從有限的觀測資料中重建整個星系。

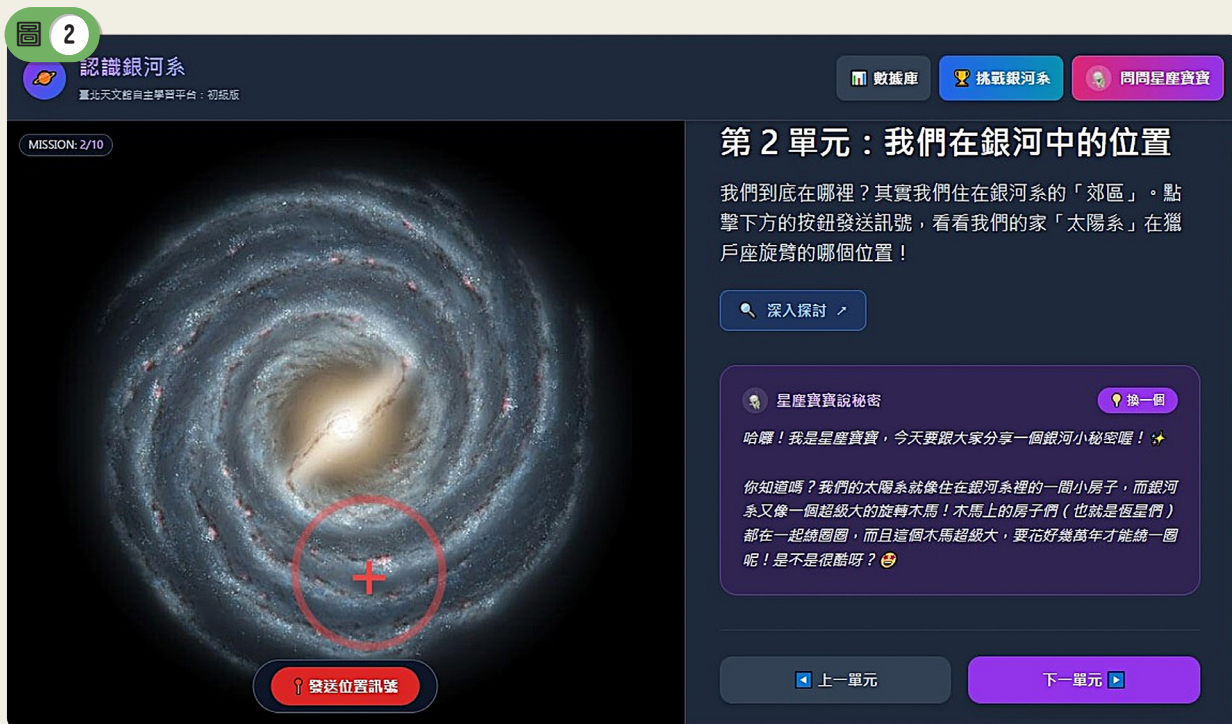


與傳統教材最大的不同，在於這套學習設計導入了互動式AI助手。讀者可以透過「挑戰銀河系」進行問題探索，或是使用「問問星塵寶寶」即時提問，讓學習不再只是單向閱讀，而是轉變為對話與探索的過程。這樣的設計呼應了近年人工智慧在教

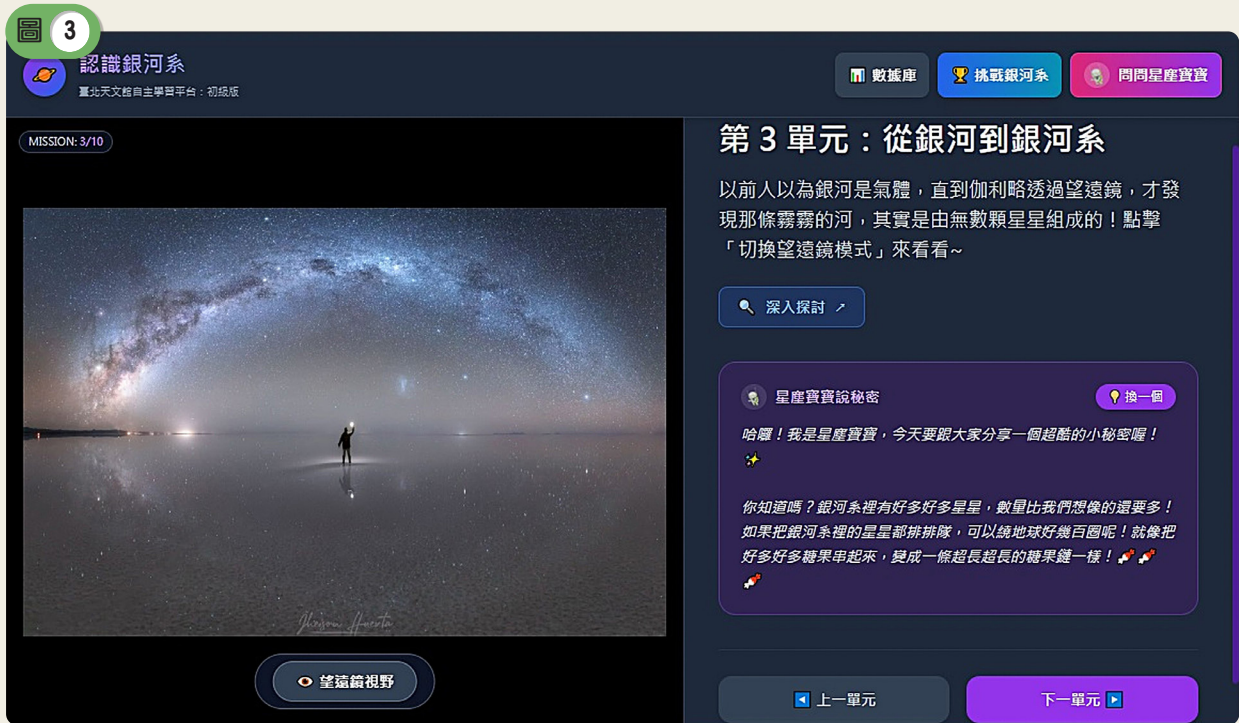
育與科學領域的發展，透過即時回饋與互動提問，能有效降低理解門檻，並提升學習動機，使抽象的天文概念轉化為可以一步步拆解與理解的問題，也讓每一位讀者，都能擁有屬於自己的銀河導航系統，如圖1~圖4。



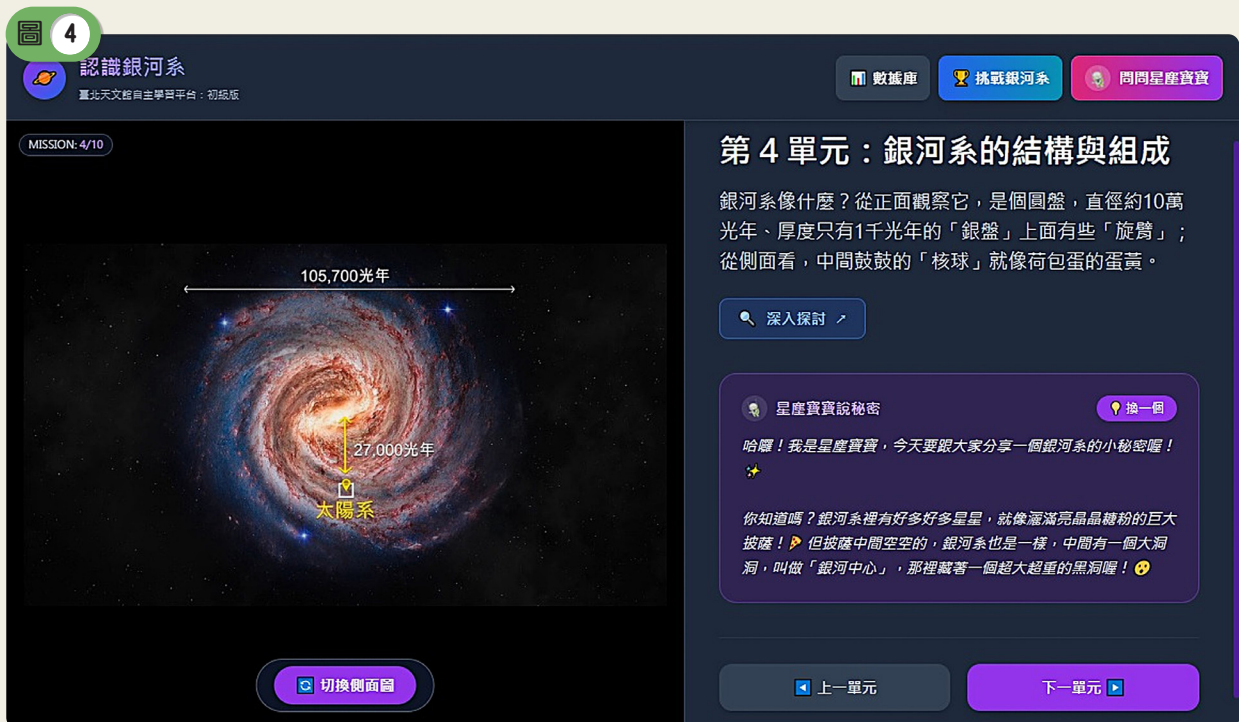
第1單元的網頁頁面配置。



第2單元的網頁頁面配置。



第3單元的網頁頁面配置。



第4單元的網頁頁面配置。

這份教材以「銀河與銀河系」為主題，適合對天文有興趣的學生與一般讀者，設計上特別強調從觀察出發。讀者將從夜空中肉眼可見的銀河開始，逐步延伸到銀河系的三維結構與尺度，建立完整的概念，而

不需要先具備艱深的物理或數學背景。教材共規劃十個單元，內容可依興趣自由選讀，不需依固定順序完成，每一單元都圍繞一個核心問題，引導讀者理解天文學家如何從零碎線索中拼湊出銀河的樣貌。

第1單元：夜空中的銀河

第2單元：我們在銀河中的位置

第3單元：從銀河到銀河系

第4單元：銀河系的結構與組成

第5單元：銀河系的地圖是怎麼畫出來的

第6單元：銀河系的螺旋臂

第7單元：銀河系中心的黑洞——人馬座A*

第8單元：暗物質與銀河的隱形骨架

第9單元：銀河系並不孤單

第10單元：銀河系的過去、現在與可預期的未來

在科學內容上，教材也特別呈現人類認識銀河系的過程與修正。例如18世紀的威廉·赫歇爾曾透過恆星計數描繪銀河結構，但因未能考慮星際塵埃對觀測的影響，而誤以為太陽位於銀河中心。隨著20世紀觀測技術的進步，天文學家結合球狀星團分布、造父變星距離測量，以及無線電與紅外線觀測，逐步釐清銀河系的真實樣貌，並確認太陽位於距銀心約2.6萬光年的銀河盤中，處在獵戶座支臂附近，如圖5。為了穿透塵埃對可見光的阻擋，科學家利用氫原子的21公分譜線進

圖 5

銀河與銀河系

第3單元：從銀河到銀河系

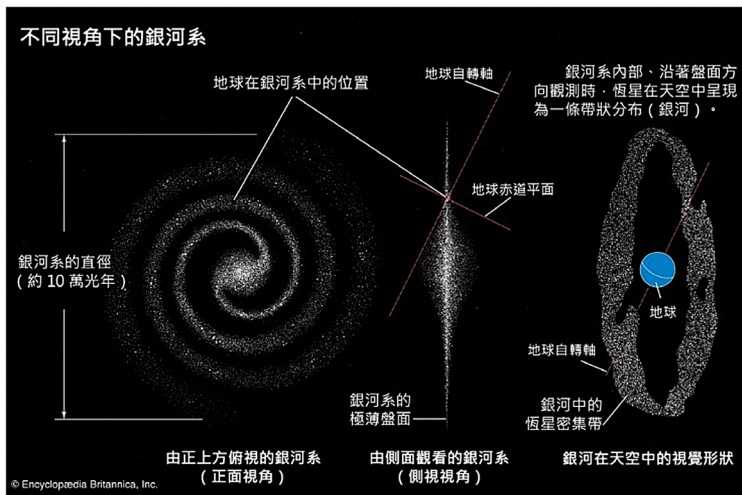
我們身在其中所看到的螺旋星系樣貌

前一篇〈我們在銀河中的位置〉，我們確認太陽並不位於銀河的中心，而只是銀河中眾多恆星之一。當我們不再把自己放在核心位置，接下來就要思考：我們身處其中的銀河，整體而言究竟是一個什麼樣的天體結構？

自18世紀以來，隨著望遠鏡觀測的引入，以及對恆星分布與距離的研究逐步展開，人類逐漸確認，太陽並不位於銀河的中心，而只是銀河中眾多恆星之一。當太陽不再被視為這個結構的核心之後，觀測的重點也隨之轉移，人們開始嘗試從整體角度理解這條橫跨夜空的光帶本身，思考它的結構形態、空間尺度，以及夜空中所見的銀河究竟只是整體的一部分，還是代表了全部。經過19世紀以來一連串觀測結果的累積、修正，以及對銀河整體結構模型的反覆建構，天文學家逐步形成今日的理解：這條夜空中的銀河，實際上是一個由恆星、星際氣體與塵埃共同組成的巨大天體系統，在現代天文學中被稱為「銀河系」。銀河系是一個螺旋星系，其直徑約為10萬光年，包含約4000億顆恆星；太陽只是其中一顆中等質量的恆星，位於距離銀河中心約2.6萬光年的位置，而我們在夜空中所看到的「銀河」，正是這個結構從內部被觀測時所呈現出的視覺投影。

若能從銀河系的上方俯視，銀河系外觀呈現為典型的螺旋星系，恆星與星際氣體與塵埃並非隨機分布，而是沿著彎曲的螺旋形態向外延伸，形成多條螺旋臂。這些區域富含氣體與塵埃，是新恆星誕生的主要場所。然而，若改從側面觀察，銀河所呈現出的立體結構則截然不同，其主體是一個極度扁平的盤狀結構，大多數恆星與星際物質集中於此，盤面的直徑遠大於厚度，比例差異極為顯著。若以日常尺度來想像，將整個銀河系縮小放置於一張大書桌上，其盤面直徑可接近一公尺（對應於約10萬光年的實際尺度），而厚度僅有數毫米（在實際尺度上約對應於數百到上千光年的厚度），呈現出極端扁平形態；在盤面中央，則存在一個相對較小但明顯隆起的核心區域，在相同縮小尺度下約相當於手掌大小，恆星密度顯著提高。整體再向外延伸，銀河系並未就此結束，包圍在盤面與核心之外的銀暈，其尺度將遠遠超出桌面的範圍，可擴展到整個房間甚至更大的空間之中，其中恆星分布極為稀疏，卻在立體上包圍了整個銀河。在這樣的縮尺模型中，太陽的位置則位於書桌上距離中央核心約四分之一半徑處，並不靠近中心。

理解了這樣的立體結構之後，也就能回頭理解夜空中所見的銀河本身。所謂的「銀河」，並不是一個位於遙遠太空、可供我們從外部觀看的天體，而是人類身處銀河系內部，沿著盤面方向觀測自身所看到的景象。當我們從地球仰望夜空時，所見的那條淡白色帶狀結構，正是盤面中大量恆星在特定方向上高度集中後的視覺投影；在這些方向上，恆星數量極多，星光在視覺上層層疊加，形成連續分布的亮帶。另一方面，盤面中的星際塵埃會吸收或散射部分背景星光，造成肉眼可見的暗帶，使銀河呈現出明暗交錯的樣貌。這些暗區並非銀河結構的中斷，而是我們身在其中、受限於觀測視角所產生的結果。



圖說：不同視角下的銀河系示意圖。左圖為由正上方俯視銀河系的樣貌，顯示其整體為一個直徑約10萬光年的螺旋星系，太陽位於盤面中距離中心約四分之一半徑的位置；中圖為側面觀察銀河系，可見其主體為極度扁平的盤狀結構；右圖則示意人類從銀河系內部、沿著盤面方向觀測時，盤面中大量恆星在天空中所呈現的帶狀分布，也就是夜空中所見的「銀河」。(圖中銀河系結構、盤面的厚度與立體比例，皆為示意繪製，未按實際比例呈現。)

第3單元的部分學習內容。

行無線電觀測，再透過都卜勒效應分析氣體運動，重建出銀河系旋臂的三維結構。

在更極端的環境中，銀河中心隱藏著人馬座A*這樣的超大質量黑洞，其存在是透過周圍恆星的高速運動間接推論而來。而在更大尺度上，銀河外圍恆星的運動則顯示，可見物質所提供的重力不足以維繫整個星系結構，這也成為暗物質存在的重要證據，如圖6。當視野再往外延伸，會發現銀河系並非孤立存在，而是本星系群的一員，其中仙女座星系正逐漸接近我們，未來數十億年內兩者將發生交互作用並最終合併，顯示星系本身也是持續演化的宇宙結構。

《銀河編年史》將這些看似遙遠且抽象的概念，轉化為一段可以親身參與的探索歷程。透過故事情境與AI互動的結合，學習不再只是記住結論，而是理解知識如何被建立出來。當你完成這段旅程，也許會發現，我們在宇宙中的位置並沒有因此變得更重要，但卻變得更清楚了，而這正是天文學帶給人的一種深刻而長久的收穫。

段皓元：臺北市立天文科學教育館

銀河與銀河系

圖 6

第7單元：銀河系中心的黑洞：人馬座A*

銀河系核心的極端質量集中體

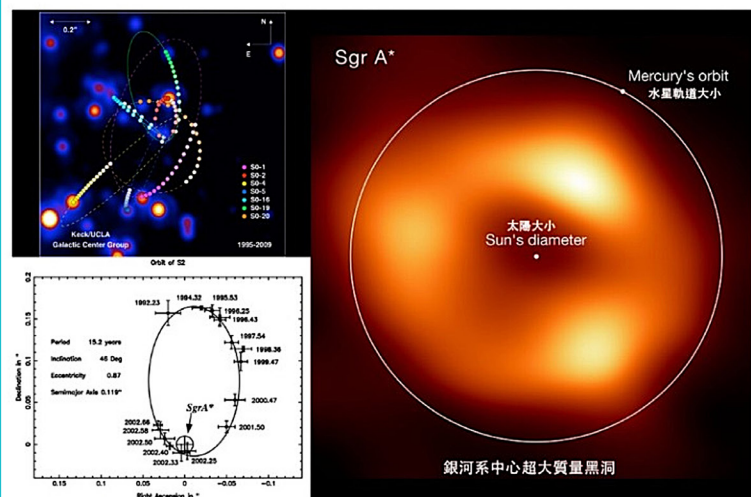
前一篇〈銀河系的螺旋臂〉，我們看見螺旋臂勾勒出銀河盤面的主要樣貌，接下來，讓我們把視線一路向內，看看銀河系最核心的區域。

銀河系的中心，存在一個質量約為太陽 430 萬倍的超大質量黑洞。這個天體位於銀河中心質量高度集中的區域，是銀河核心結構中的關鍵成分。在距離中心極近的尺度內，它對周圍恆星的運動具有決定性的影響；然而，對於位於銀河盤面大部分區域的恆星而言，包括太陽在內，這個黑洞的直接引力效應幾乎可以忽略。換言之，人馬座A*在銀河中並非「支配一切」的存在，而是在空間尺度上影響範圍高度受限的中心天體。

這個銀河中心黑洞被命名為人馬座A*，其存在並非來自理論推測，而是由多項彼此獨立、且相互一致的觀測證據所確認。從地球望去，銀河中心方向正好位於星際塵埃極為密集的区域，可見光幾乎完全被遮蔽，使人馬座A*無法以傳統光學方式直接觀測。真正揭露其存在的關鍵，來自紅外線與電波觀測，使天文學家得以穿透塵埃，直接研究銀河核心區域的動態行為，並辨識出該處存在一個高度集中的質量來源。

最具決定性的證據，來自對銀河中心附近恆星運動的長期追蹤。透過高解析度的紅外線觀測，天文學家發現，多顆恆星以極高速度繞行同一個看不見的中心天體，其運動軌道在數十年的觀測時間內呈現出完整而可測的繞行行為，並精確符合重力定律。由這些恆星的軌道形狀與速度，可以推算出該中心天體的質量約為太陽的 430 萬倍，且必須被限制在一個遠小於太陽系尺度的空間範圍內。這樣的質量與體積組合，排除了任何已知天體類型，只能以超大質量黑洞來解釋。這項成果在 2020 年獲得國際學界的高度肯定，當年的諾貝爾物理學獎頒予 Reinhard Genzel 與 Andrea Ghez，表彰他們分別領導的研究團隊，透過長期精密追蹤銀河中心恆星的運動，提供了銀河核心存在超大質量黑洞的直接觀測證據。這也是人類首次在自身所屬的星系中，藉由恆星動力學明確驗證黑洞的存在。

除了恆星運動所揭示的質量證據之外，人馬座A*也能在電波與次毫米波段被觀測到。不過，這些訊號並非來自黑洞本身，而是源於黑洞附近吸積物質在強重力與磁場條件下所產生的次毫米波連續輻射，主要來自極接近事件視界的吸積區域。正是這些連續輻射，使人類得以透過由全球多座電波天文臺組成的事件視界望遠鏡陣列，在事件視界尺度上解析人馬座A*周圍的結構，並取得銀河中心黑洞的首張影像。這項成果使人類同時擁有兩種彼此獨立的關鍵證據：一方面是來自恆星運動的精確動力學測量，另一方面則是來自事件視界尺度的直接成像，從不同觀測層面共同確認了銀河中心黑洞的真實存在。



圖說：這張圖呈現人類確認銀河系中心超大質量黑洞「人馬座A*」的關鍵觀測歷程。左側兩張影像皆來自對銀河中心附近恆星運動的長期紅外線觀測。左上圖代表由 Andrea Ghez 領導的美國加州大學洛杉磯分校團隊，利用夏威夷凱克望遠鏡追蹤多顆恆星在銀河中心附近的高速運動，顯示它們繞行同一個看不見但極為集中的質量來源。左下圖代表由 Reinhard Genzel 領導的歐洲南方天文臺團隊，使用甚大望遠鏡 (VLT) 精確測量恆星 S2 的完整繞行軌道，透過其速度與軌道形狀推算出銀河中心存在一個質量約為太陽四百多萬倍、且被限制在極小空間中的集中質量體。這兩個彼此獨立、方法不同的研究成果，構成

第7單元的部分學習內容。