

# 臺北星空

Taipei Skylight No.130 2026.03

## 月食冷知識—關於月食令人驚訝的事實 新月夜裡，看見月球的「鈉斑」

手機拍星空 I Android手機篇

日本特有星座

恆星光譜的秘密（下）

新研究指出準衛星Kamo'oailewa更可能來自小行星帶  
為美國第一顆衛星注入能量的化學家—瑪麗·謝爾曼·摩根

一顆黑點，測出太陽有多遠：從金星凌日量測地日距離

死與新生—宇宙的生命輪迴



影像名稱：雲中的紅月  
攝影：歐震

刊名：臺北星空期刊  
GPN：4811300001  
中華民國87年10月1日創刊  
中華民國115年3月1日出版  
刊期頻率：雙月刊  
本刊刊載於臺北天文館網站

發行人 陳岸立

發行委員 林修美、吳志剛  
林琦峯、陳俊良  
吳昆臻、謝翔宇  
溫淑宜、李麗卿  
卞欣婷、鄭伊宸

編審委員 陶蕃麟、黃麗君  
張彩鳳、顧德生

總編輯 石中達

編輯 蔡承穎、吳昆臻  
段皓元

美術編輯 蔡承穎

封面設計 蔡承穎

出版機關 臺北市立天文科學教育館

地址 臺北市士林區基河路363號  
電話 (02) 2831-4551  
傳真 (02) 2831-4405  
網址 <https://tam.gov.taipei>

中華民國行政院新聞局出版事業登記證  
局版北字第2466號

## 目次

總編輯的話 編輯部 ..... 1

天文館活動布告欄 編輯部 ..... 2

新知與天象 王彥翔、王庭萱 ..... 3

夏威夷夜空中的「擺動碎片」  
新研究指出準衛星Kamo'oa lewa更可能來自小行星帶 林建爭 ..... 10

月食冷知識  
關於月食令人驚訝的事實 陶蕃麟 ..... 14

新月夜裡，看見月球的「鈉斑」 許湊謙 ..... 26

謎樣星宿  
日本特有星座 歐陽亮 ..... 34

天文展品導覽  
恆星光譜的秘密（下） 許晉翊 ..... 42

天文學教室  
一顆黑點，測出太陽有多遠：從金星凌日量測地日距離 黃雋恒、段皓元 ..... 46

女性天文學家  
為美國第一顆衛星注入能量的化學家—瑪麗·謝爾曼·摩根 劉淑雯、黃譯平 ..... 52

天文攝影實戰教學  
手機拍星空 I Android手機篇 吳昆臻 ..... 58

天體映象  
死與新生—宇宙的生命輪迴 謝翔宇 ..... 66

美星映象館 彙整/吳昆臻 ..... 67

## 總編輯的話

本期《臺北星空》從太陽系邊陲的小天體談起，也帶領讀者穿梭歷史、文化與觀測實作，讓宇宙不再遙遠，而是貼近我們的夜空與生活。

天文新聞專題〈新研究指出準衛星Kamo'oalewa更可能來自小行星帶〉回顧這顆與地球共舞的小天體身世之謎，它曾被認為是月球撞擊後拋出的碎片，如今動力學模擬與軌道分析提出新證據，挑戰「月球起源說」，讓科學推理的辯證過程躍於紙上。〈月食冷知識—關於月食令人驚訝的事實〉則破解「每半年一次」的常見迷思，從沙羅系列談到半影月全食，帶你重新認識熟悉卻常被誤解的月食現象。

當夜空中的明月轉為新月，〈新月夜裡，看見月球的「鈉斑」〉揭示月球外氣層中鈉原子如何在太陽輻射壓推動下形成壯觀鈉尾，並在特定幾何排列下於天球投影成「鈉斑」，讓冷寂月球展現動態的一面。在歷史與文化面向上，〈日本特有星座〉帶我們走入江戶時代的星圖，看見星空如何被賦予在地意義；〈恆星光譜的秘密（下）〉則從氦的發現與哈佛女計算員談起，說明人類如何透過光譜「讀懂」恆星的溫度與組成。

在天文學教室中，〈從金星凌日量測地日距離〉重現十八世紀跨地域觀測的壯闊場景，描繪一顆黑點如何為太陽系定下尺度；〈為美國第一顆衛星注入能量的化學家—瑪麗·謝爾曼·摩根〉則刻畫女性科學家在太空競賽中的關鍵角色。喜愛實作的讀者，也別錯過〈手機拍星空 I Android手機篇〉，教你善用手机功能與穩定架設技巧，將繁星收入掌中。

這一期，《臺北星空》邀請你在科學與人文交織之間，重新仰望頭頂那片恆久而變動的

天空。

### 臺北星空 臺北天文館期刊

### 投稿需知

- 本刊歡迎各界人士投稿並提出指教，投稿內容請寄至：tsaijulien@gmail.com。
- 本刊對來稿有刪改權，如作者不願稿件被刪改，請註明。
- 文稿請自行影印留底，投稿文字、圖表、圖片與照片，均不退件。
- 文章一經採用，將刊登於臺北天文館網站。並請同意授權全本刊登於政府出版品相關宣傳網站，如「臺北市政府出版品主題網」、「國家圖書館—臺灣期刊論文索引系統」。
- 投稿「美星映象館」，請提供相關攝影資料，系列照片三張以下每張以單張計價，三張以上不論張數均以三張計價。
- 本刊文字及圖片，未經同意，不得轉載。

### 新專欄徵稿中，歡迎投稿！

專欄名稱	性質	說明	投稿字數	投稿圖片
天文教育	天文科普教育	1. 歡迎各級現職及退休教師投稿。 2. 天文教學分享、課程設計等天文教育相關主題。	1,500字以內	3張以內

# 天文館活動布告欄 三、四月活動訊息

表中所列項目之辦理情形可能依實際狀況調整，以  
官網公布資訊為主。

天象直播	月全食直播	3/3 (二)									
夜間觀測室 開放	第二觀測室 (觀賞天象/星體)	3/3 (二) (月全食)	3/7 (六) (木星)	3/14 (六) (木星)	3/21 (六) (昴宿星團)	3/28 (六) (月亮)	4/4 (六) (木星)	4/11 (六) (昴宿雙星)	4/18 (六) (木星)	4/25 (六) (月亮)	
特展	2026跨年藝術特展「光的問質」	~3/1 (日)									
	月全食海報展	~3/3 (二)									
	「銀河不可思議之旅」特展	3/31 ~ (二)	10/11 (日)								
特展活動	特展短講活動	4/19 (日)									
	特展假日親子活動	4/29 (三)									
劇場	宇宙劇場 19:00/19:30 免費星象節目	3/7 (六)	3/14 (六)	3/21 (六)	4/4 (六)	4/11 (六)	4/18 (六)				
	宇宙劇場 19:00~19:40 星空下的宇宙紀事	3/28 (六)	4/25 (六)								
	宇宙劇場 09:00/09:25 放映免費動畫短片	4/3 (五)	~ 4/6 (一)								
	立體劇場 09:00/09:40/10:20 放映免費動畫短片	4/3 (五)	~ 4/6 (一)								
館內營隊	天文親子營	3/14 (六)	3/15 (日)	3/22 (日)	4/12 (日)	4/19 (日)					
	樂齡談天	3/27 (五)									
	夜訪天文館	3/28 (六)	4/25 (六)								
館內活動	月全食活動	3/3 (二)									
	天文魔法小書包	3/7 (六)	3/21 (六)								
	星姊妹說故事	3/14 (六)	3/28 (六)	4/11 (六)	4/25 (六)						
	宇宙尋寶地圖	3/15 (日)	3/29 (日)								
	天文與生活科技無人機STEAM活動 (誰是火星殖民競賽最後贏家)	4/3 (五)	4/4 (六)								
	兒童月活動	4/3 (五)	4/4 (六)	4/5 (日)	4/6 (一)	4/11 (六)	4/12 (日)	4/18 (六)	4/19 (日)	4/25 (六)	4/26 (日)
	星塵寶寶快閃活動	4/3 (五)	4/4 (六)	4/5 (日)	4/6 (一)	4/12 (日)	4/19 (日)	4/26 (日)			
	劇場小遊戲兌換活動	4/11 (六)	4/12 (日)	4/18 (六)	4/19 (日)	4/25 (六)	4/26 (日)				
	手機闖關活動	4/30 (四)									
課程與講座	月全食專題演講 (3月3日月全食，血月再現)	3/1 (日)									
	非正規教育課程 (諾貝爾獎裡的天文)	3/7 (六)	3/14 (六)	3/21 (六)	3/28 (六)	4/11 (六)	4/18 (六)	4/25 (六)			
	專家演講 (主題) (演講者)			3/8 (日) (當人工智慧遇上宇宙：打造次世代「智慧衛星」的新藍圖) (林映岑)				4/26 (日) (我們不孤單！尋找另一個家) (蔡尚旻)			
	教師天文研習	3/28 (六)									
	幼教天文師資培育	4/18 (六)									



經過八年觀測確認參宿四擁有伴星

哈伯解開藍掉隊星的謎團

太陽爆發近三十年最劇烈的閃焰序列之一

毅力號完成首次由AI規劃的行駛任務

新研究認為泰坦沒有全球地下海洋

一顆可能很亮的掠日彗星被發現

史上首例「醫療撤離」，太空人提早返抵地球

福衛八號齊柏林衛星取像成功

系外行星探測器潘朵拉升空

令科學家感到驚訝的雙尾行星

奇特的含碳檸檬狀行星

三、四月即將迎來的重量級天象是3月3日的月全食，在臺灣可以看見本影食階段的所有過程。月球在17:50升起時恰好進入初虧，全食階段從19:04至20:03歷時59分鐘，是臺灣今年唯一可見的月食。

行星動態方面，3月9日06:11發生金星合土星，兩星相距僅 $1.0^\circ$ 。4月4日水星西大距，水星亮度約0.2等，於日出時刻05:43的仰角約 $16^\circ$ 。4月20日同天出現火星合水星、水星合土星，前後數日日出前可以看見三星共聚於東方低空。4月23至25日金星經過昴宿星團，於24日最為靠近，此時金星亮度達-3.9等，昴宿星團亮度1.6等，日落後可朝向西北西方天空以肉眼或望遠鏡欣賞。

在一等亮星合月方面，3月2日有軒轅十四合月，發生時兩星僅相距 $0.38^\circ$ ，用肉眼即可輕鬆欣賞。

於4月中下旬出現的四月天琴座流星雨是已知最古老的流星雨之一，今年活躍期在4月14日至4月30日，預計於23日凌晨達極大期。天琴座流星雨預期的ZHR值約為18，屬中小型流星雨，但今年幾乎不受月光干擾，是追流星的絕佳時機。



**3/2 軒轅十四合月** 南 $0.38^\circ$

**3/3 月全食**



**3/9 金星合土星** 北 $1.0^\circ$

**3/20 春分**

**3/23 月球接近昴宿星團** 相距約 $1.0^\circ$

**4/4 水星西大距** 距角 $27.8^\circ$ ，0.2等



**4/20 火星合水星、水星合土星**

**4/23 四月天琴座流星雨極大期** ZHR~18



**4/23~4/25 金星接近昴宿星團** 相距約 $3.5^\circ$

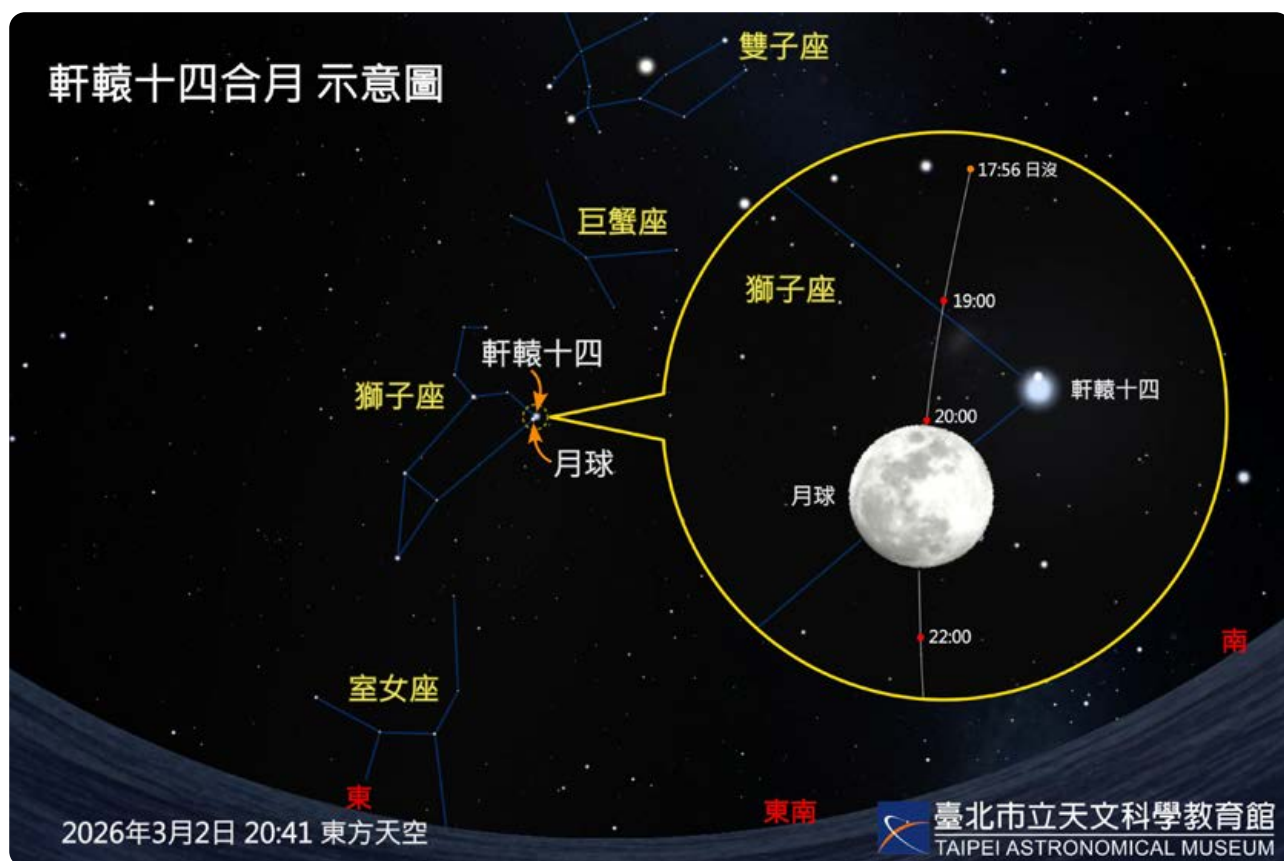


## 三、四月天象焦點

3/2 (一)

軒轅十四合月

3月2日20:41發生軒轅十四合月，合月發生時軒轅十四與月球相距僅 $0.38^\circ$ ，當日月齡為13.0。軒轅十四為獅子座第一亮星，亮度達1.3等，在當天暮光漸暗後，可於東方天空見到藍白色軒轅十四與月球相互靠近，並於19:30左右達最接近的位置。



3/3 (二)

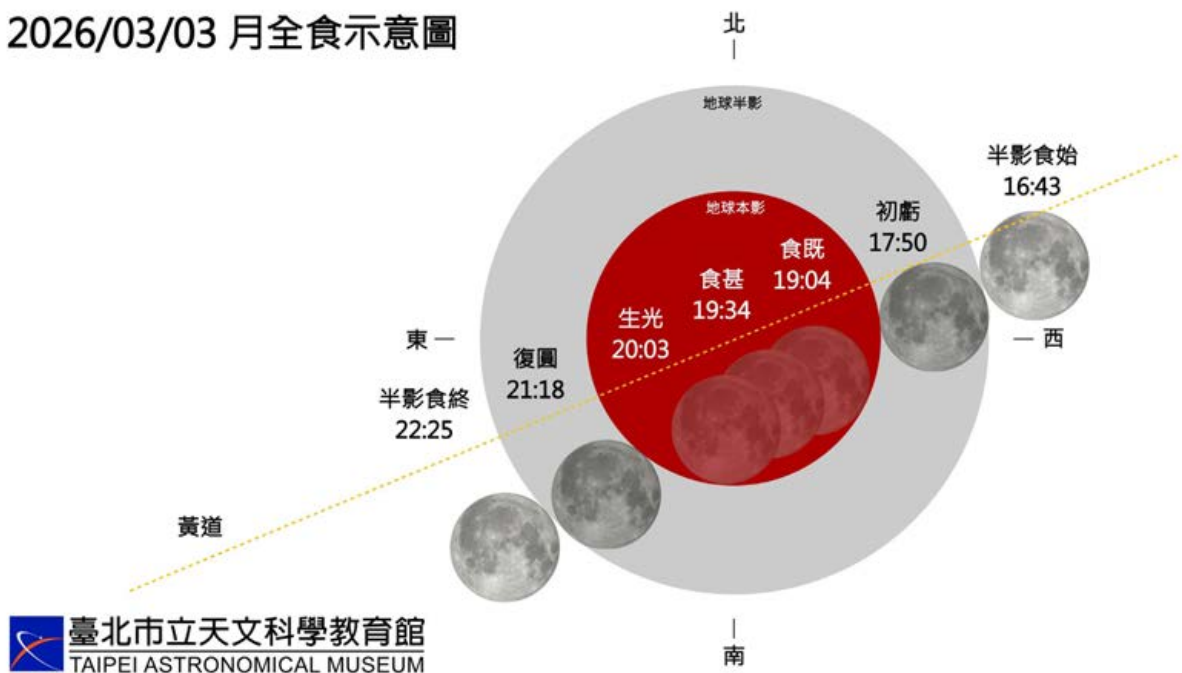
月全食

臺灣可見本影食階段的所有過程。半影食始 16:43、初虧（月出）17:50、食既19:04、食甚19:34、生光20:03、復圓21:18、半影食終 22:25，全程共歷時5小時42分鐘，本影食歷時3小時28分鐘，全食約59.4分鐘，月食發生時月球位於獅子座，地心所見最大食分為1.156，北美洲西部、亞洲、大洋洲部分地區，日本本州及北海道全程可見。其中在19:04食既至20:03生光的全食階段，月球通過地球本影的偏南側，月面整個呈現紅色，但月球北端的紅色將比南端的暗且深。由於本次月全食月出時月食已開始發生，又稱為「月出帶食」。

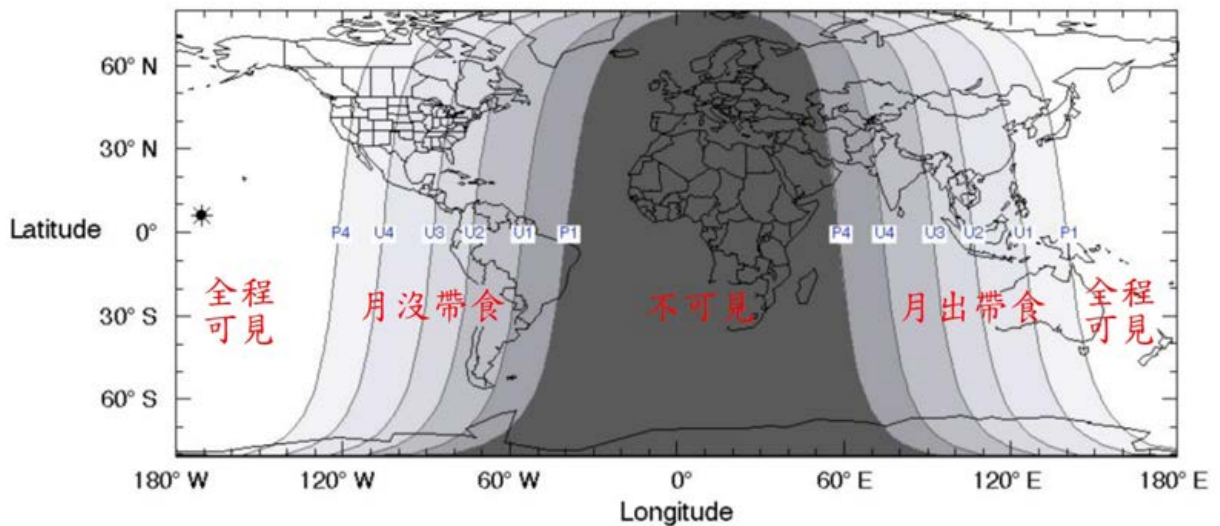
3/3 (二)

月全食

2026/03/03 月全食示意圖



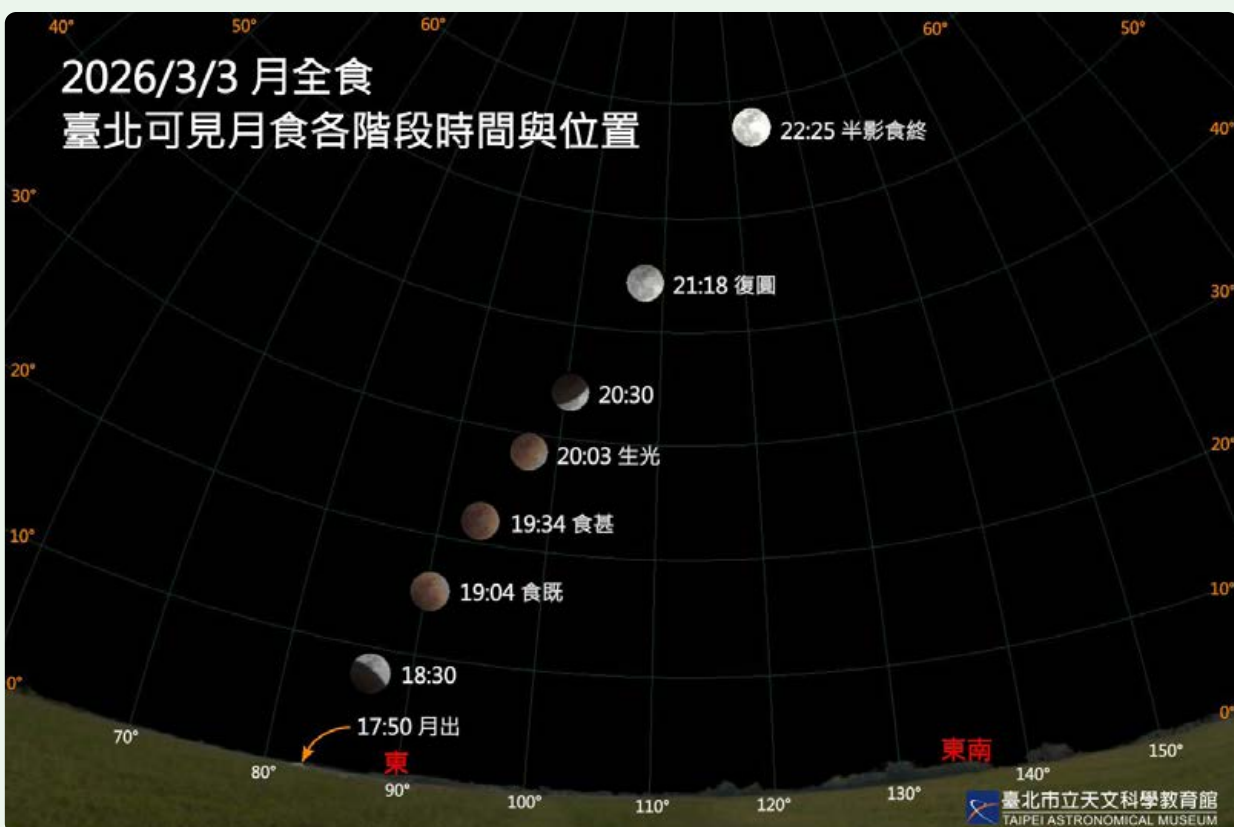
2026/03/03 月全食 全球可見狀況區域圖





### 3/3 (二)

### 月全食



本次月全食發生的詳細過程與時間位置

食象	時間	臺北 (天文館)		說明
		仰角 (°)	方位角 (°)	
半影食始	16:42.8	-15.0°	74.9°	月球邊緣與地球半影接觸，不易察覺。
初虧	17:49.7	-0.2°	82.5°	月球邊緣與地球本影接觸，本影食開始。
月出	17:50.0	0.0°	82.6°	
食既	19:03.9	15.4°	90.3°	月球恰好完全進入地球本影，全食開始。
食甚	19:33.6	21.9°	93.6°	月球最接近地影中心的時刻。
生光	20:03.3	28.3°	97.1°	月球恰好開始離開地球本影，全食結束。
復圓	21:17.5	44.2°	107.8°	月球邊緣完全離開地球本影，本影食結束。
半影食終	22:24.6	57.6°	123.1°	月球邊緣完全離開地球半影，不易察覺。

備註：

1. 日沒時間 17:57
2. 民用暮光終 18:20 — 太陽在地平面下6度，開始感覺天色暗下。
3. 航海暮光終 18:46 — 太陽在地平面下12度，天空明顯昏暗，但尚有殘餘暮光。
4. 天文暮光終 19:13 — 太陽在地平面下18度，暮光完全消逝，天色全暗。

3/9 (一)

金星合土星

3月9日06:11發生金星合土星，兩星相距僅 $1.0^\circ$ 。當日金星亮度-3.9等，土星1.0等，位於雙魚座。在前後數日的日落時，可在傍晚的西方低空見到兩星並列的景象。



3/23 (一)

月球接近昴宿星團

月球於3月23日經過昴宿星團附近，當天日落後暮光漸暗時，可見月球與明亮的昴宿星團聯袂現身於西方天空。此時月相接近眉月，昴宿星團亮度1.6等，兩天體相距僅約 $1.0^\circ$ ，可於當日入夜後，用肉眼或雙筒望遠鏡欣賞昴宿星團與眉月相互近靠的美景。





## 4/4 (六)

## 水星西大距

今年共發生3次水星西大距，其中4月4日為今年第一次。水星西大距發生於06:34，發生時與太陽距角 $27.8^\circ$ ，在日出時刻05:43的仰角約為 $16^\circ$ ，水星的亮度達0.2等。在水星西大距發生的前後數日，都能在日出前的東方低空找到這顆明亮的行星。



## 4/20 (一)

## 火星合水星、水星合土星

在4月20日同一天發生火星合水星、水星合土星的天象。08:02發生火星合水星、16:04水星合土星，當日火星亮度1.2等，水星-0.2等，土星0.9等，位於鯨魚座，三星相聚於僅約 $2^\circ$ 範圍內。前後數日的日出前，都能在東方低空欣賞到三星聚集的美麗景象。



4/23 (四)

四月天琴座流星雨極大

四月天琴座流星雨是歷史上最早且持續有觀察紀錄的流星雨，觀測紀錄可追溯至西元前687年，今年活躍期在4月14日至4月30日，預計在23日凌晨達極大期，預估ZHR約為18。22日夜間，流星雨輻射點約於20:45自東北方升起，而到了約23:45，月亮便已落入地平線下，觀賞條件佳。



4月23日 (四) ~ 25日 (六) 金星接近昴宿星團

金星於4月23日至25日經過昴宿星團附近，於24日最靠近，此時金星亮度-3.9等，昴宿星團亮度1.6等，暮光漸暗後於西北西方天空，可用肉眼或雙筒望遠鏡欣賞金星接近昴宿星團的美景。



夏威夷夜空中的「擺動碎片」

## 新研究指出準衛星Kamo'oailewa更可能來自小行星帶

在地球與太陽的軌道上，有一顆直徑僅約40至100公尺的小天體正與我們共舞。它就是(469219) Kamo'oailewa（前身代號2016 HO<sub>3</sub>）。這顆小行星與我們有著深厚的淵源，它是由泛星計畫（Pan-STARRS）利用位於夏威夷哈雷阿卡拉山（Haleakala）的PS1望遠鏡，如下圖，於2016年4月27日首次發現的。

文／林建爭



泛星計畫望遠鏡。影像來源：The PS1 Science Consortium

它的名字Kamo'oailewa，源自於夏威夷創世頌歌《庫木利波》（Kumulipo），意指「在天空中獨自擺動的碎片」。這個名字精準地描述了它的軌道特性：它是一顆地球的「準衛星」（quasi-satellite），目前已知地球的準衛星有8顆。雖然它

實際上繞著太陽公轉，但從地球的角度看，它就像是在跳著馬蹄形的舞步，始終在地球周圍盤旋，是目前已知最穩定的一顆準衛星。然而，這顆不起眼的小石頭，最近卻引發了天文學界一場關於其「身世」的激烈辯論。

## 它是「月球碎片」？

過去幾年，Kamo‘oalewa，如圖1，被認為是天文學界最浪漫的故事主角之一。2021年，亞利桑那大學（University of Arizona）的研究團隊在BBC的報導中，揭開了一個令人意想不到的真相。

Kamo‘oalewa行蹤隱密，由於軌道特殊且體積小，每年僅有四月的數週能透過地球上最強大的望遠鏡窺見其蹤跡。他們利用大雙筒望遠鏡（Large Binocular Telescope）觀測解析Kamo‘oalewa光譜時，發現它呈現一種特殊的紅色，這與一般來自小行星帶的S型或C型小行星截然不同。更令人驚訝的是，它的光譜特徵竟然與阿波羅任務帶回的月球矽酸鹽岩石樣本高度吻合，顯示它可能起源於月球，並且認為它的出處是月球背面布魯諾（Giordano Bruno）隕石坑。

也因此這項證據指向一個推論：Kamo‘oalewa極可能是數百萬年前，月球經歷一次劇烈撞擊後被拋入太空的碎片，幾經流浪最終被地球吸引，成為我們忠實的伴侶。這項「月球起源說」，讓這顆小行星不再只是冰冷的石頭，而被視為月球「流落在外的骨肉」。

## 動力學模擬的結果

然而，科學的進步往往來自於對主流觀點的挑戰。2026年初發表於天文期刊《天文與天文物理學報》（A&A）的一篇新研究，給這個浪漫的「月球起源說」帶來了現實的衝擊。

這篇由Fenucci等人發表的論文主張：判定小行星的起源，不能僅憑「長相」（光譜特徵）定案，更須考量「機率」（動力學演化）。研究團隊透過

圖 1



地球「準月球」Kamo‘oalewa的藝術家想像圖。圖片來源：Addy Graham/University of Arizona

數值模擬重現了太陽系數百萬年的演化歷史，針對 Kamo'oailewa 這類特殊軌道天體的兩種可能起源，進行了嚴謹的機率計算：

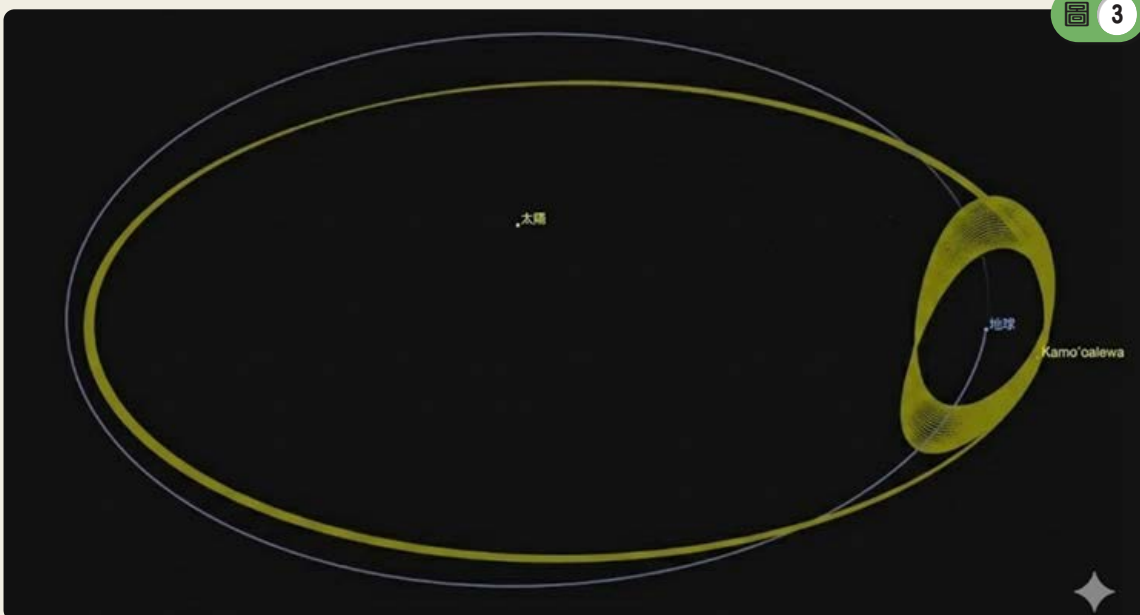
①**月球撞擊說 (Lunar Origin)**：要將岩石從月球表面撞飛，如圖2，且其速度與角度必須精確到剛好被地球捕獲進入準衛星軌道，在動力學上是極小機率事件。模擬顯示，透過此機制產生類似天體的期望值僅為0.042顆。

②**小行星帶遷徙說 (Main Belt Origin)**：來自火星與木星之間的主小行星帶天體，透過雅科夫斯基效應 (Yarkovsky effect) 與地球引力共振，一路「遷徙」至地球附近，如圖3。模擬顯示，由此機制產生類似天體的期望值可達1.23顆。

模擬結果表示，從動力學的角度來看，Kamo'oailewa 來自小行星帶的可能性比來自月球的可能性高約30倍。



一個巨大的天體撞擊月球表面時，飛濺出無數碎片，其中 Kamo'oailewa 被地球捕獲的想像圖。圖片來源：Google/Nano Banana Pro 生成



Kamo'oailewa 的軌道示意圖。圖片來源：Wiki+Google/Nano Banana Pro 修正

## 為何它長得像月球？

如果新研究認為它來自遙遠的小行星帶，那要如何解釋它那酷似月球的光譜呢？

Fenucci的研究團隊提出了另一種解釋：Kamo‘oalewa處於非常特殊的近地軌道環境中，可能經歷了與普通小行星不同的太空風化（space weathering）過程，改變了它的表面顏色。此外，它也可能本身就屬於主小行星帶中較為特殊的成分（例如富含橄欖石的A型小行星），只是剛好「撞臉」月球岩石。

## 等待「天問二號」

幸運的是，我們不需要猜測太久。中國的「天問二號」探測任務，如圖4，已於2025年5月29日發射，經過大約1年飛行後抵達Kamo‘oalewa附近，其首要科學目標就是登陸Kamo‘oalewa進行採樣，並將

樣本送回地球。

屆時，透過實驗室精密的同位素分析，我們就能確定這顆由泛星計畫發現的「擺動碎片」，究竟是月球流落在外的骨肉，還是遠道而來的小行星。無論結果如何，這都將是行星科學的一次重大勝利。

### 參考資料：

<https://www.arxiv.org/abs/2601.08923>

<https://www.bbc.com/zhongwen/simp/science-59331905>

[https://en.wikipedia.org/wiki/469219\\_Kamo%CA%BB%oalewa](https://en.wikipedia.org/wiki/469219_Kamo%CA%BB%oalewa)

### YouTube 相關影片：

Newly Discovered Asteroid Is ‘Quasi-Satellite’ Of Earth  
<https://www.youtube.com/watch?v=gE4Stj3Gu9w>

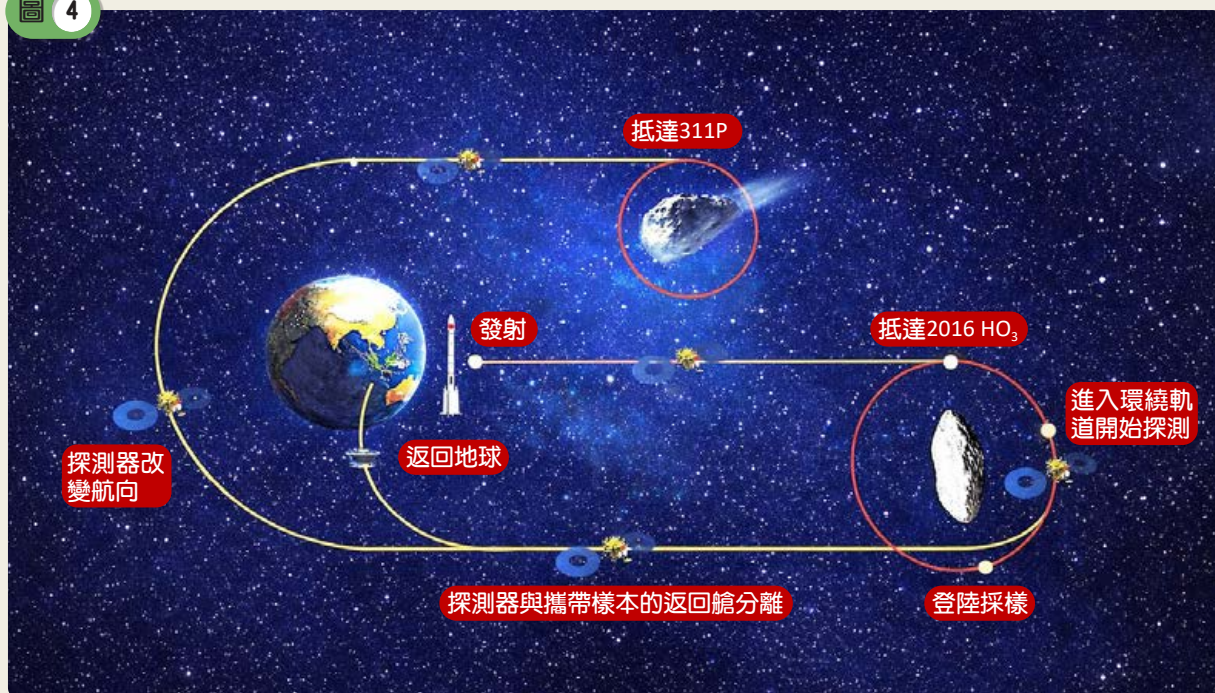
Quasi-satellite Size Comparison (2022)  
<https://www.youtube.com/watch?v=6zJr8Y9yKiY>

NASA Shocks Scientists: 2025 PN7 Is Now Orbiting With Earth  
<https://www.youtube.com/watch?v=yonyZWREjbU>

林建爭：美國夏威夷大學天文研所泛星計畫博士後研究員

王品方：美國夏威夷專案文物修復師 校稿

圖 4



中國天問二號任務示意圖。

月食冷知識

# 關於月食令人驚訝的事實

文／陶蕃麟

仔細看115年3月3日從地平線升起的滿月，當它完全出現之際，您應該會注意到她的左下方缺了一小角，並隨著時間與高度的增加，這個缺角越來越大，終至完全消失，然後蹦出磚紅色的滿月。我們當然知道這是繼去年9月7～8日的月全食之後，再一次觀賞到難得一見的天象：無需熬夜就幾乎能全程觀賞的月全食。

當你觀看並享受收穫滿滿的月全食時，你可知道月食有許多不為人知的冷知識。首先，你知道月食有幾種嗎？月食多久會發生一次？想必多數人的答案都是月食有三種，月全食、月偏食、和半影月食，每隔六個月才會發生一次。但事實並非如此。首先，我們來探討月食多久發生一次的問題。



2025月全食與藍帶。攝影：林聖翰

## 月食多久發生一次？

在21世紀共有230次月食，其中87次半影食（37.8%），58次偏食（25.2%）和85次全食（37.0%）。算下來平均每5.2個月就會發生一次月食。因此，月食發生的間隔不會是單純的6個朔望月。通常是我們熟知的每隔6個月發生一次，但也有僅相隔一個月和五個月的。最近的例子就發生在明年，在2月、7月和8月都會發生月食，不過都是裸眼不易觀賞的半影月食。而以地球表面的固定位置來看，平均每個地點可以看到40至45次月全食，

也就是平均約每2.3年可以看到一次。與此形成對比的是，從固定位置觀賞日全食，平均每375年才能看見一次。造成巨大差距的原因很簡單。要看到日全食，你必須幸運地位於月球本影的路徑上，如圖1，這個陰影雖然可以延伸近萬公里，但直徑不會超過270公里，因此每次日全食僅占地表面積萬分之一的地區可以看見，如圖2。相較之下，月全食的能見範圍可達地球一半以上，讓數十億人得以參與這場月球盛會，如圖3。此外，在這100年中，有76年發生兩次月食，18年發生3次月食，6年發生四次月食。

圖 1



日食發生時，投影在地表的本影面積非常小，因此只有狹長的帶狀區域可見。但是當月全食發生時，幾乎地球上的夜側區域均可見。圖片來源：Space.com

### ECLIPSE VISIBILITY

In a total solar eclipse, the moon's shadow passes directly over only a narrow strip on the Earth's surface. Observers in a larger area can see the sun partially eclipsed. This diagram of the total solar eclipse of Nov. 13, 2012 shows the path of totality passing over the southern Pacific Ocean. (CREDIT: FRED ESPENAK / NASA)

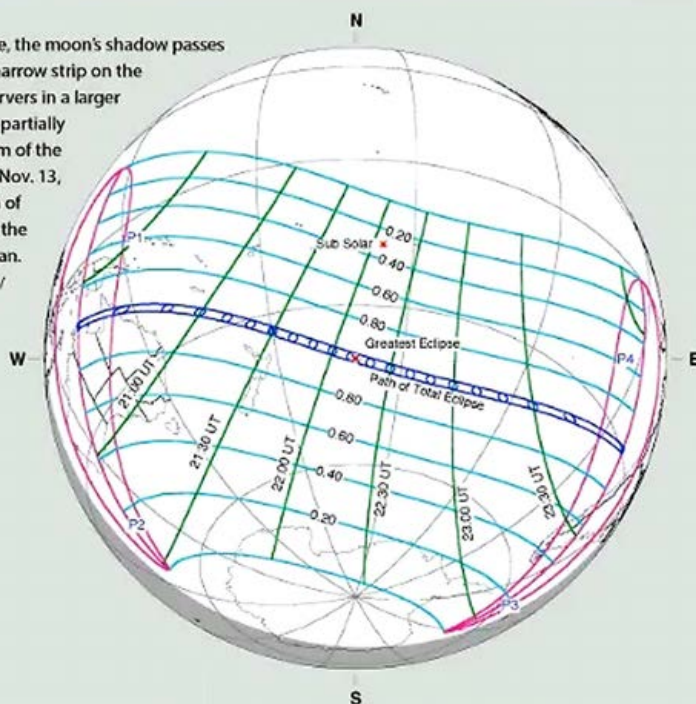
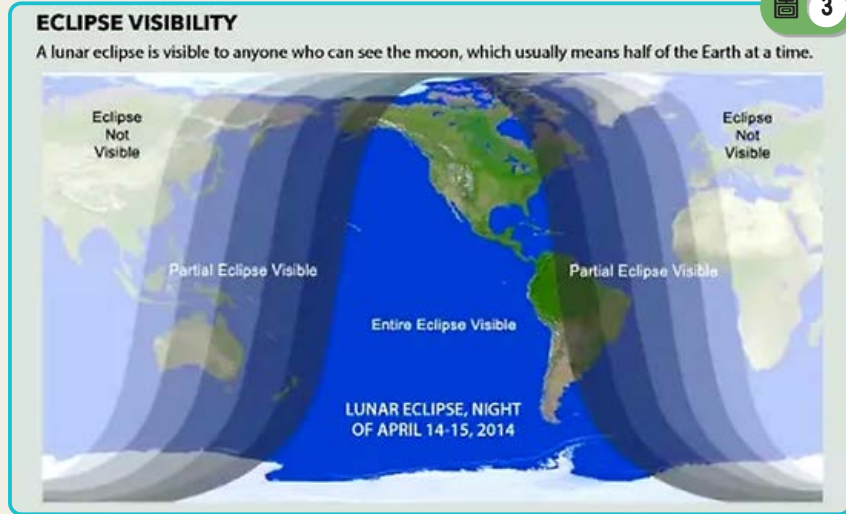


圖 2

日全食發生時，月球投影在地表的陰影，從生成到消失期間的移動路徑長可延伸近數萬公里，但是陰影本身直徑不會超過270公里，可見範圍非常小。圖片來源：Space.com

圖 3



月全食發生時，整顆月球都會進入地球的陰影之中，因此在全球的夜側區域，也就是將近半個地球的範圍內皆可見。圖片來源：Space.com

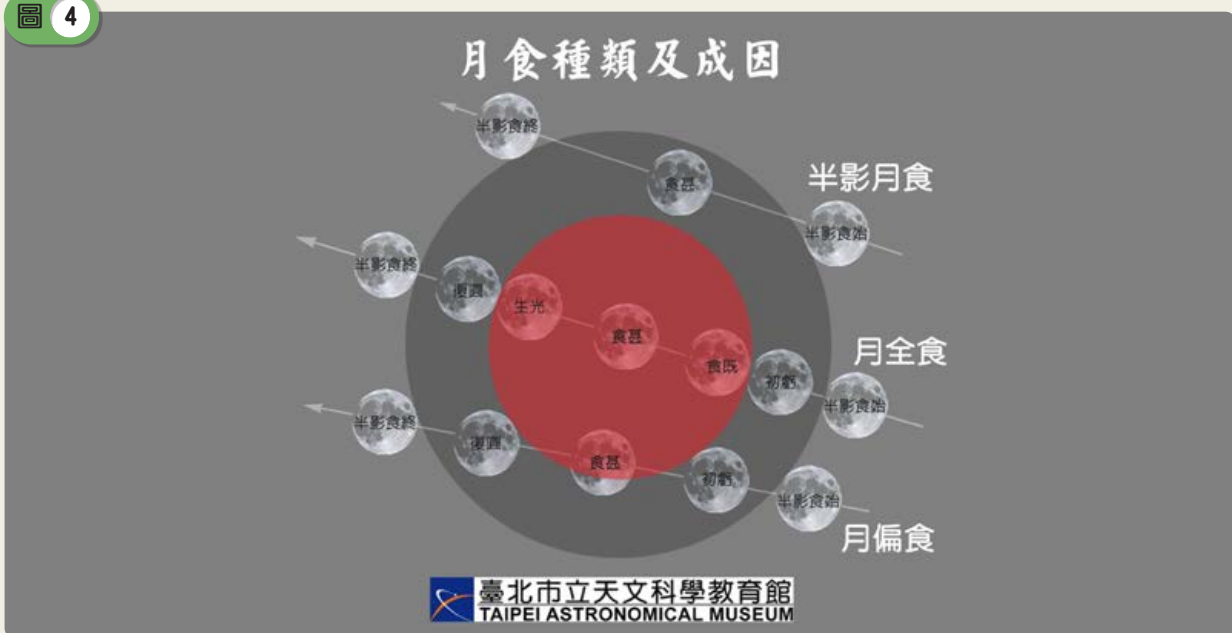
## 月食有幾種？

這個問題看似簡單，大家都會回答有3種：全食、偏食和半影食，如圖4。這是因為這三種月食都很常見，而有一種月食非常罕見，這是在多數的沙羅系列中都不會出現的半影月全食。這種食的月球路徑全程只經過地影的半影區而未接觸到本影區。而且，如果有通常也只會出現一次；但凡事都有例外，第19沙羅系列就有多達8次的半影月全食，32和132系列有7次，58、95和114系列也有6次。雖然罕見，在天文館的月食圖說中呈現的半影

月食就是第4種的月食：半影月全食。在3月3日這次月全食所屬的133沙羅系列中，71次食的第7次，即在1665年7月27日的食，就是該系列中唯一的一次半影月全食。

雖然說半影月全食非常罕見，但每個世紀仍可能發生9次之多，當然也有不發生半影月全食的世紀。在21世紀，會發生7次半影月全食。時間分別是2006年3月14日、2017年2月11日、2053年8月29日、2066年12月31日、2070年4月25日、2082年8月8日、與2085年1月10日。

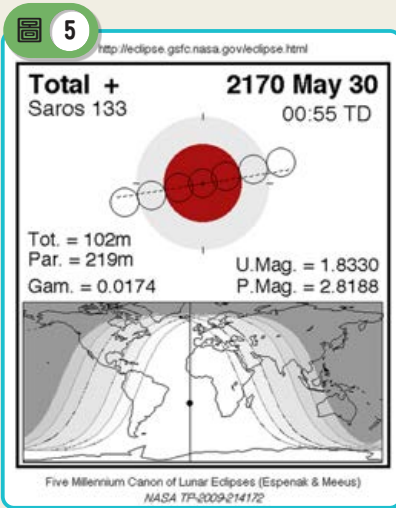
圖 4



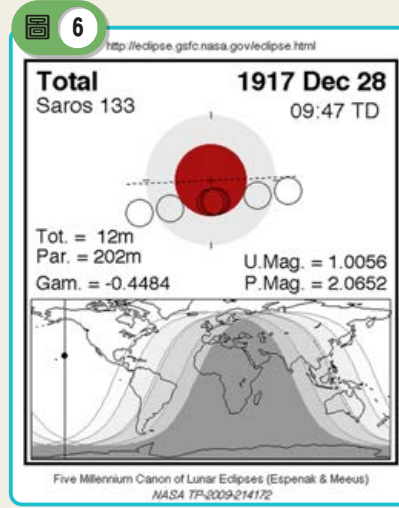
月食類型的圖解。

# 月食之最有幾種？

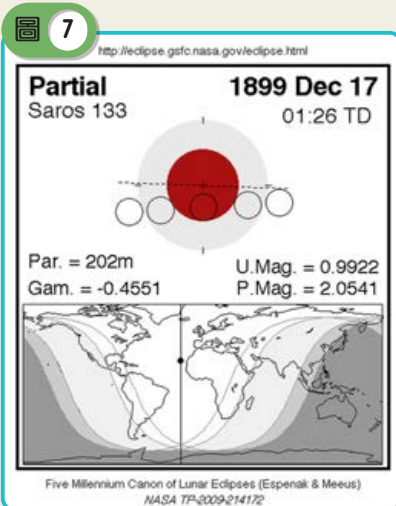
仍然以133沙羅系列為例，可以列出六種：



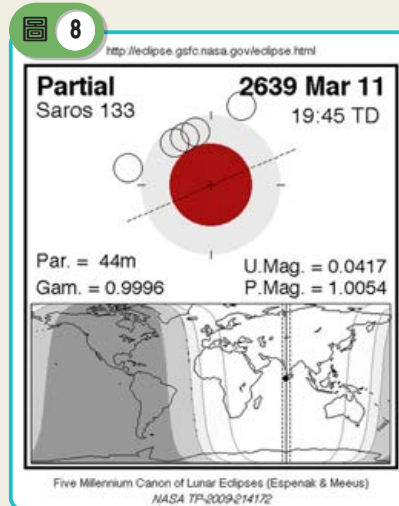
①最長的月全食：  
2170年5月30日，全食時間1h41m41s。



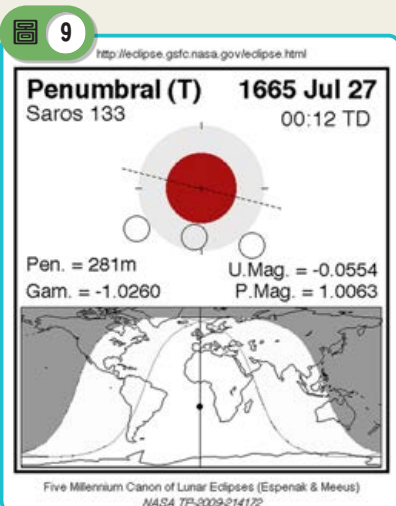
②最短的月全食：  
1917年12月28日，全食時間只有11m57s。



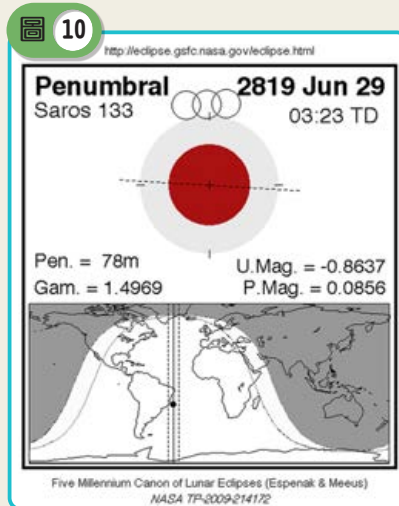
③最長的月偏食：  
1899年12月17日，偏食時間長達3h22m02s，食分：0.99216，幾乎是月全食的程度。



④最短的月偏食：  
2639年3月11日，偏食時間仍有44m10s，食分則僅有0.04165。



⑤最長的半影食：  
1665年7月27日，半影食的時間為4h41m05s，全程只經過半影區，是罕見的半影月全食。



⑥最短的半影食：  
2819年6月29日，半影食的時間為1h18m10s。

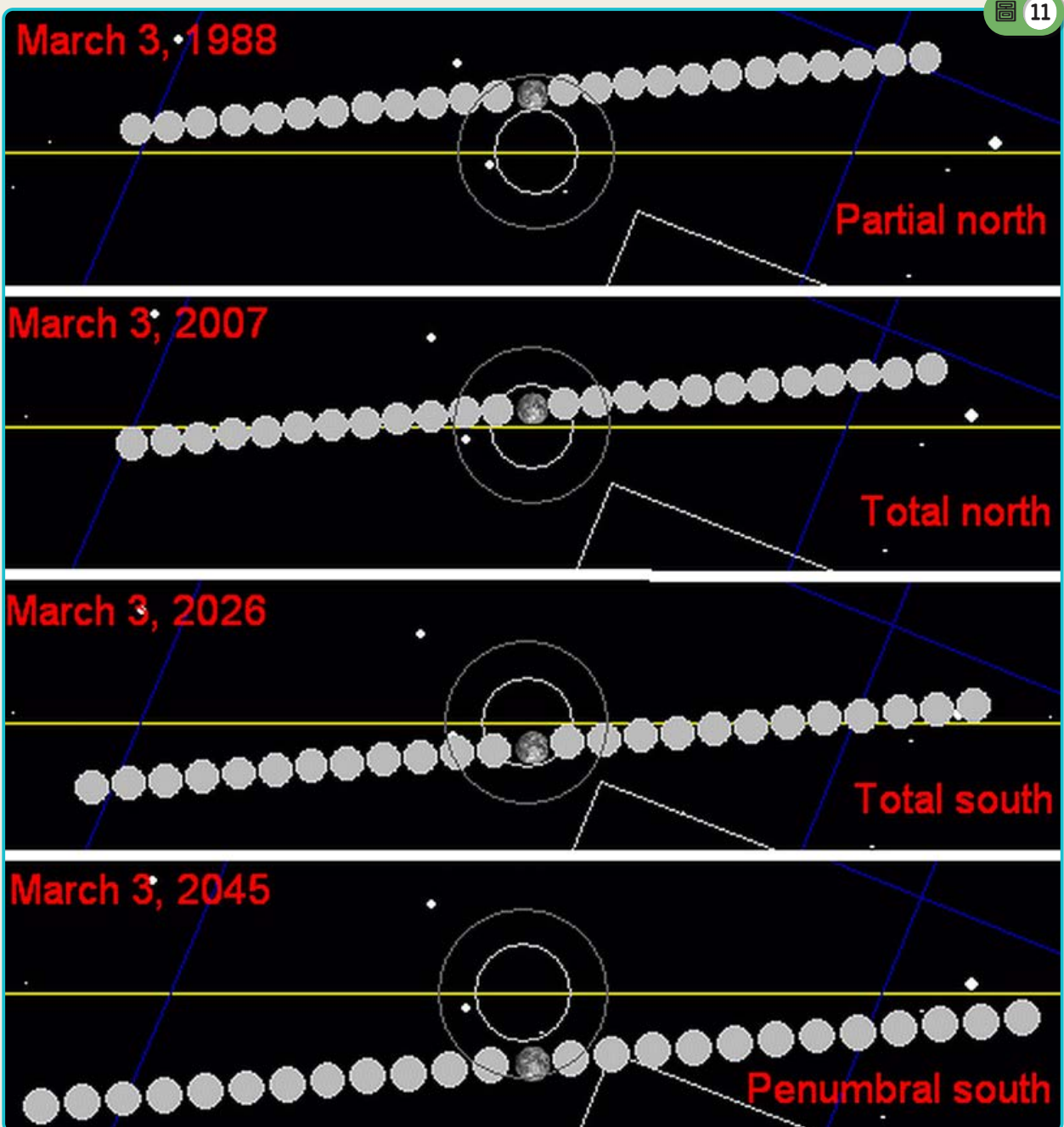
## 同月同日發生的月食 默冬章

有些人知道每19年農曆的日期會與陽曆的日期再度重合，這是所謂的默冬章。對於月食也是一樣，每隔19年會在同月日發生。例如，在1988年、2007年、2026年以及2045年的3月3日都發生了月食，如圖11。

## 熱衝擊波！

通常，隨著月球的自轉，灑落在月球表面的陽光慢慢地移轉，進入夜晚的月球表面溫度下降是漸進的。但月食進行時，原本照射在月球表面的陽光，很快地就被地球阻斷，月表的溫度下降就會非常快速。在1971年的月食期間，阿波羅任務留在月球上的儀器監測了溫度的變化。阿波羅12號在登陸

圖 11



默冬章的月食範例。圖片來源：維基百科

的風暴洋，測得月球表面的溫度從攝氏75.7度降至零下102.1度，在不到30分鐘的時間裡就變化了攝氏177.8度。阿波羅14號在登陸的弗拉·毛羅高地（毛羅修士高地）從攝氏67.8度降至零下102度，降低了攝氏169.8度。當地球的影子掃過月球地貌時，月球表面的溫度會急劇下降。事實上，這種變化所產生的「熱衝擊」可能導致月球岩石崩解，並促使氣體從月球內部逸出。

## 全食期間的「熱點」

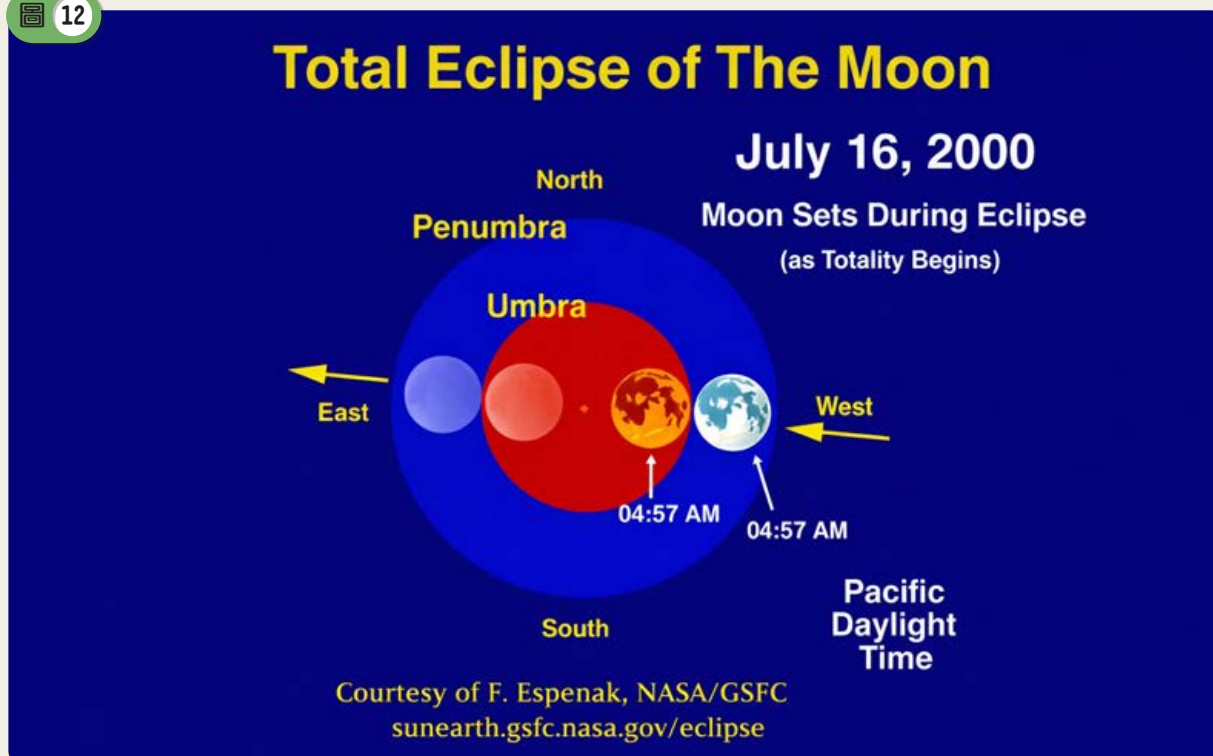
有趣的是，紅外線影像揭示了月球表面數百個「熱點」，以及比周圍環境更溫暖的大面積區域。對一些著名隕石坑（如第谷隕石坑）的掃描顯示，熱釋放模式主要由儲存的太陽熱能產生，而非月球內部的熱量；而其它隕石坑如加森迪隕石坑則呈現出內部熱源應有的熱行為。雖然這個現象已經被研究超過50年，並提出了多種理論來解釋，但沒有人能確定為什麼在月球完全浸沒於地球黑暗陰影中時會出現這些熱點。

## 最長的月食

月食的全食階段最長可以持續的時間為106分鐘。當月球穿過地球陰影中時，根據克卜勒的行星第二定律，月球若正處於或非常接近遠地點，它的移動速度越慢，而且它的中心距（ $\gamma$ ），也就是月球中心與地影中心（不是地心）的距離越小，全食持續的時間越長。

此外，最長的全食通常發生在北半球的夏季，當地球接近遠日點時。因為當地球位於軌道的遠日點時，地球的影子比在近日點時稍大些，導致月食的時間更長。2000年7月16日的月全食，在太平洋、東亞及澳洲可見，是有紀錄以來最長的月食之一，持續了106分25秒，如圖12。1859年8月13日的月食，全食持續時間還比它長了3秒。根據比利時天文學家讓·米厄斯（Jean Meeus）於2002年由Willmann-Bell圖書公司出版的《Mathematical Astronomy Morsels II》所述，要直到4753年8月19日才會有更長的，持續106分35秒的全食。133沙羅系的全食時間最長的是2170年05月30日的月全食，全食時間持續101.7分鐘；比極限值少約5分鐘，算已經相當接近極限了。

圖 12



2000年7月16日的月全食示意圖，顯示月心幾乎通過地球本影的正中央。圖片來源：NASA

## 月全食能預示時間的終結嗎？

近年來，主流媒體開始討論一個新詞彙來形容月全食：「血月」。

這個詞來自一本由一位牧師撰寫的書，他聲稱從2014年4月開始，連續四次月全食與猶太節日同時發生，每次相隔6次滿月，而且期間都沒有月偏食。他宣稱這是末日的預兆。這種月食系列稱為月食四重奏（咒），隨時間變化很大。比利時天文學家讓·米厄指出，法國國王路易十四在位時根本沒有這種天象，但從1909年到2156年卻有16次。在兩千年期間，有25次月食四重奏是在3月16日至5月15日之間開始，這意味著歷史上還有其他時期月食四重奏與猶太節日同時發生，但卻沒有發生任何異常！因此，「血月預言」不過是一個謬誤，應該與審判日將於2011年5月21日發生的荒謬預測一同歸檔。

在21世紀，共有8次月食四重奏（即連續4次月全食）。分別是2003~2004、2014~2015、2032~2033、2043~2044、2050~2051、2061~2062、2072~2073、與2090~2091。我們剛經歷了2014~2015年的那次，如圖13、圖14，當時的輿論也是一片譁然，但一切如常，並未發生任何異常的事件。

世界時的2014年的4月15日、10月8日，如圖13。2015年的4月4日、9月28日，如圖14，連續在2年內發生4次月全食。  
圖片來源：NASA

圖 13

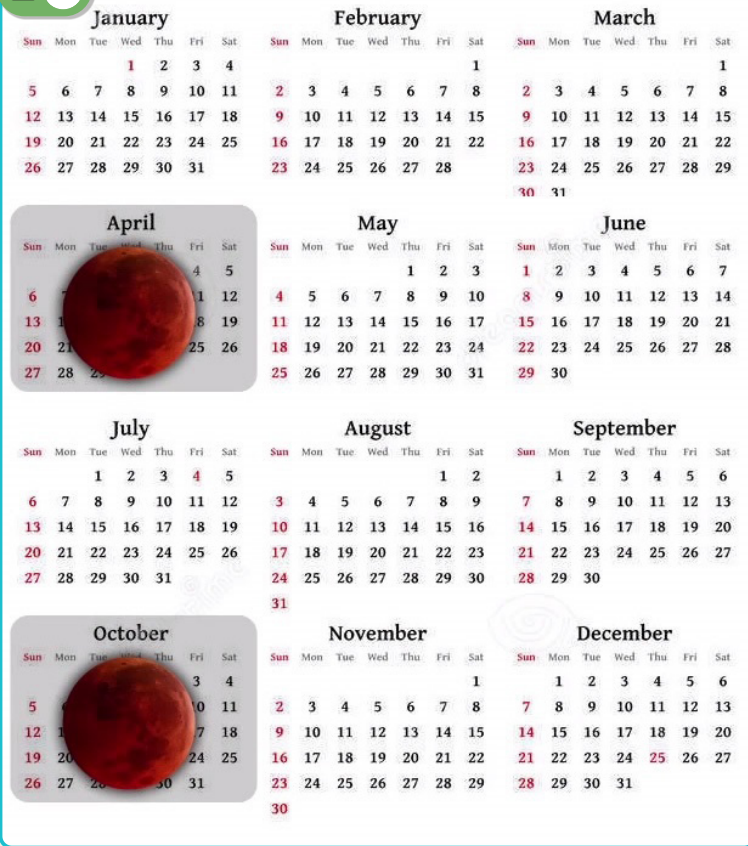
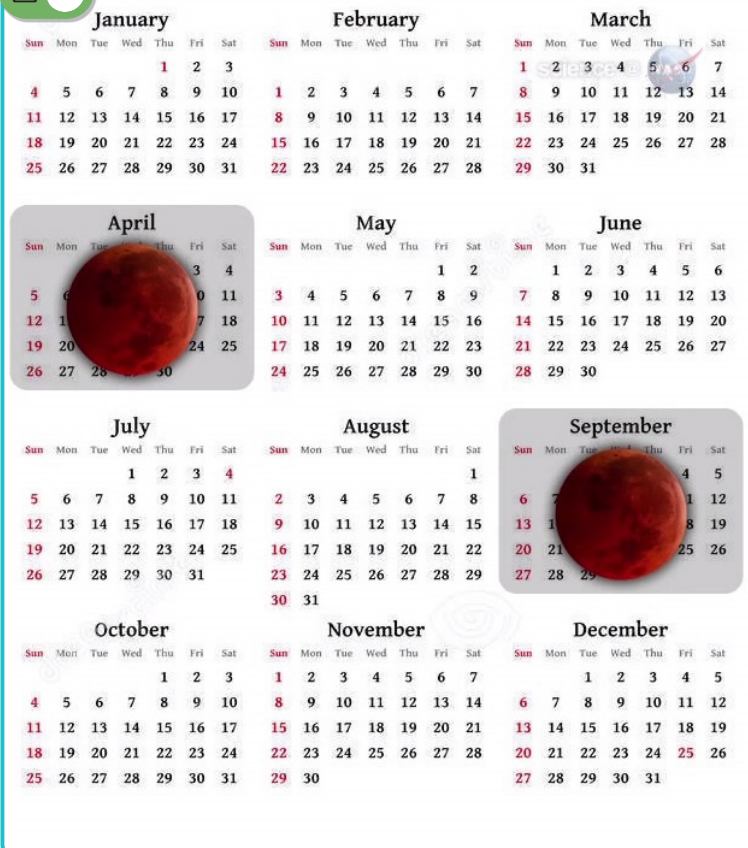


圖 14



## 一顆不同顏色的月球

在月全食期間，月球並不會完全消失，而通常是呈現暗紅色。但我們是否能將每一次月全食都稱為「血月」？答案是不一定！每次月全食期間的月球實際上會呈現何種色澤，在事前實在是不得而知。全食中的月球之所以仍可見，是因為陽光會被在地球邊緣的大氣層散射和折射。

完全被遮蔽的月球顏色和亮度取決於全球氣候狀況，以及懸浮在空氣中的塵埃量。地球大氣晴朗時，月食通常較為明亮。但如果過去幾年有一次大型火山爆發，就會將塵埃粒子注入平流層，那麼接續的月食會非常黑暗，如圖15、圖16。

有些月食呈現深灰黑色，以致月亮幾乎消失在視線中，我們可以稱之為「炭灰月球」嗎？或者發出微弱的棕色光暈，那是否可以稱為「巧克力月球」？在某些月食過程，它會發出明亮的橘色光芒，就像一枚全新的銅板，好比「古銅月」。那麼，當即將到來的月全食，為什麼我們聽不到月亮變成炭灰色、巧克力色或古銅色的聲音呢？

大概是因為「血」這個詞更具誘惑性，有些人用來試圖喚起和挑起恐懼（同時也為了賣更多書）。而「血月」其實是在月全食的階段，因為地球大氣層散射了大部分藍光，並將紅光折射到月球表面。換句話說，你看到的紅光是此刻地球上所有日出與日落地區共同投射在月面上的結果，如圖17。

圖 15



因火山爆發升入平流層的火山灰微塵，讓月全食的色調變得黯淡。圖片來源：NASA

圖 16



將月全食色調由灰暗至明亮分為5等級的丹戎量表。圖片來源：NASA

圖 17



月全食的月球通常會呈現紅色，是因為藍光最容易被地球大氣層中的塵埃顆粒散射，而紅光能穿透大氣層滲入地影中。

## 奇異的日月同現（並存）

當太陽和被食的月球同時被觀測時，我們就有難得一見的滿月與太陽同時可見的「日月同現」異象。由於月食發生時，這兩個天體會在天球上方幾乎相反的地點出現。雖然地球正好位於太陽與被食的月球之間，理論上在天空中同時看到兩者是不可

能的，但因為光線在地球大氣中的折射，可以使兩者看起來比其真實幾何位置高約0.5度。當然，這只能在日落前或日出後短暫發生，是可遇而不可求的。

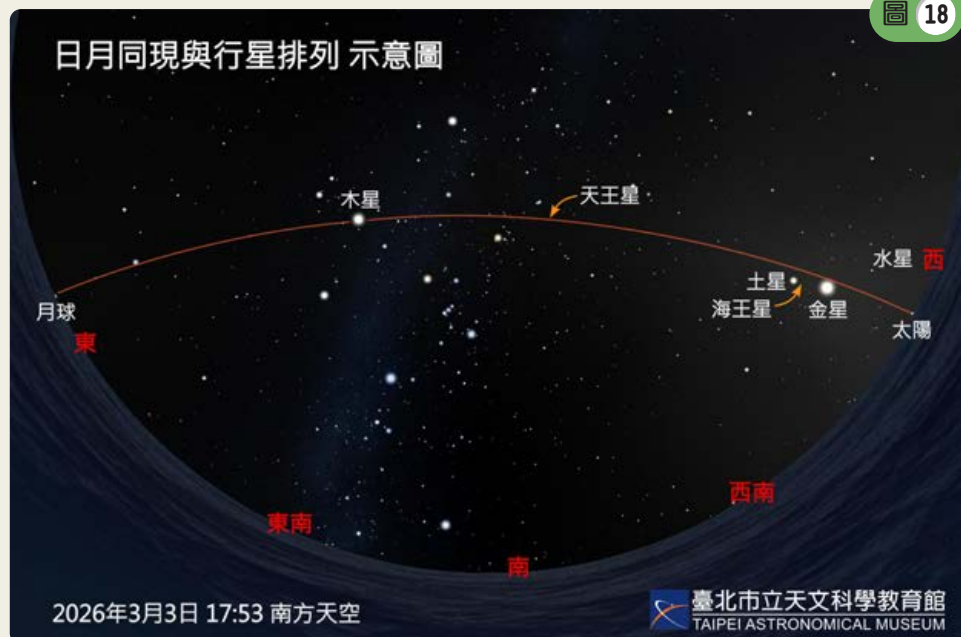
3月3日的日沒時刻是17:57，月出時刻是17:50！這意味著我們有機會看見滿月和太陽同時出現在天際，如圖18。

圖 18

電腦軟體演示3月3日將出現短暫的「日月同現」天象。因太陽眩光影響，實際上無法看到太陽本身，因此模擬圖已將大氣天光去除。另外絕對要注意：不可直視太陽，否則會讓眼睛受傷！

雖然另有行星排列，但是因天光影響實際上無法看見，模擬圖已將大氣的天光去除，顯示當天傍晚水星、金星、海王星、天王星、木星的排列位置。

底圖來源：stellarium



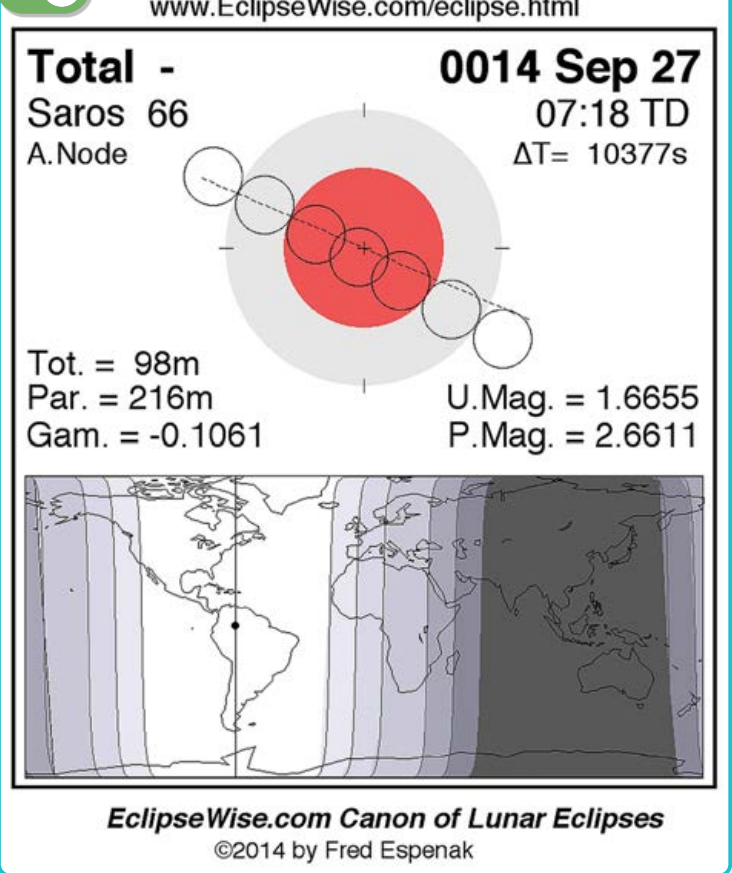
## 影響羅馬帝國的月全食 西元14年9月27日的月全食

潘諾尼亞（拉丁語：Pannonia）是中歐的一個歷史地名，大致相當於今日匈牙利西部、奧地利東部、斯洛維尼亞、克羅埃西亞、波赫和塞爾維亞北部（伏伊伏丁那），如圖19。約在西元前35年至前14年被羅馬人征服，並劃為一個行省。在得知奧古斯都於西元14年8月19日逝世的消息後，由於潘諾尼亞和日耳曼的羅馬軍團未獲得奧古斯都承諾的獎金與福利，因此趁機提出爭取福利的要求。他們要求退役、提高待

遇、減輕勞役負擔，還指控長官的欺凌。當地軍官與軍團統帥無法制止，加上繼任的羅馬皇帝提比略沒有明確回應他們的訴求，因此軍團顯現叛變跡象，當地的軍心浮躁不安，企圖脫離羅馬的統治。提比略派他的兒子與義子率小股部隊前往平亂。他們聯合各營區的百夫長，當9月27日發生月全食時，如圖20，讓對这天象一無所知的士兵產生恐慌，並藉機揪出活躍與鼓譟的士兵予以誅殺，迅速地收平這場騷動；潘諾尼亞也再次派遣使者臣服於羅馬的統治。直到西元433年羅馬軍團撤出，並被割讓給匈人帝國（西元370~469年）君王阿提拉之後，潘諾尼亞行省才不再存在。



圖 20



西元14年9月27日的月全食。圖上方的圖示描繪了月球相對於地球陰影與半影的路徑。下方顯示可見月食各種不同階段的區域。圖片來源：NASA

## 拯救哥倫布的月全食 1504年3月1日的月全食

哥倫布航行前往發現新大陸之旅時，他帶著以拉丁化名雷吉奧蒙塔努斯（Regiomontanus）聞名，偉大的德國天文學家約翰內斯·米勒·馮·柯尼希斯貝格（德語：Johannes Müller von Königsberg，1436年6月6日～1476年7月6日）所著的年鑑。這本年曆涵蓋著1475年至1506年的天象，列出了即將到來的月食。

1502年5月9日，是哥倫布第四次也是最後一次航行，他率領約150人，搭乘四艘船從西班牙的卡迪斯出發，如圖21。1503年6月30日僅存的兩艘船在牙買加島（Jamaica）靠岸時擱淺。島上的原住民阿拉瓦克人接納了哥倫布和所有船員，並為他們提供糧食與飲水。但由於有水手欺詐原住民，盜竊了他們的物品。他因此與原住民發生衝突，彼此間關係

緊張。於是原住民停止供應生活必需的糧食與水，使他面臨糧食短缺的困境。但哥倫布從雷吉奧蒙塔努斯的年鑑中得知，在當地的1504年2月29日晚間，月球升起後不久會發生月全食，因此他威脅當地人，宣稱：「神對他們不提供援助感到憤怒，屆時將收走月球的光。」。

當晚，隨著月食的進行，滿月逐漸消失，月光也越來越黯淡，最終成為血紅色。驚恐的原住民於是同意如果他能將月球帶回來，就繼續幫助哥倫布。由於他知道月全食何時結束，因此哥倫布告訴當地人月球何時會重新出現。從那之後，當地人就對哥倫布有求必應，再也不敢違逆，如圖22。

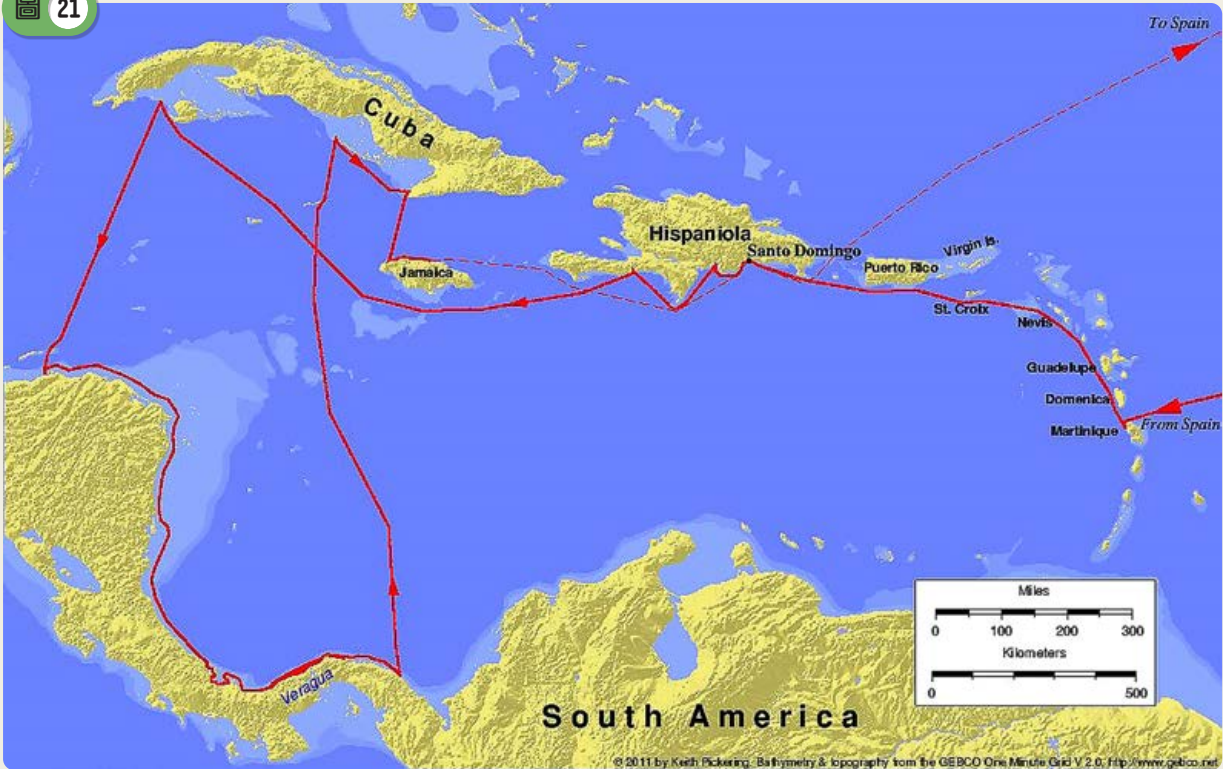
哥倫布事實上是個幸運兒。首先，因為在當時還沒有精確的航海鐘，不能掌握確實的時間，因而沒有方法精確地計算向西航行了多遠的距離，也就是不能精確地確定地理經度。因此當船在牙買加擱淺時，他以為已經到了中國，而不是發現了美洲這個新大陸。

其次，他又誤解了年鑑上給出的時刻是紐倫堡當地月食的食甚（食最大，也就是食過程的中點）的時刻，並不是初虧的時間。因此，他推算的月食時刻與在中

國發生的時間差了約2.5小時，但卻陰錯陽差地符合牙買加當地發生的時刻。兩個錯誤互抵，反倒讓他誤打誤撞的預測了月全食的發生，讓他度過了危機。

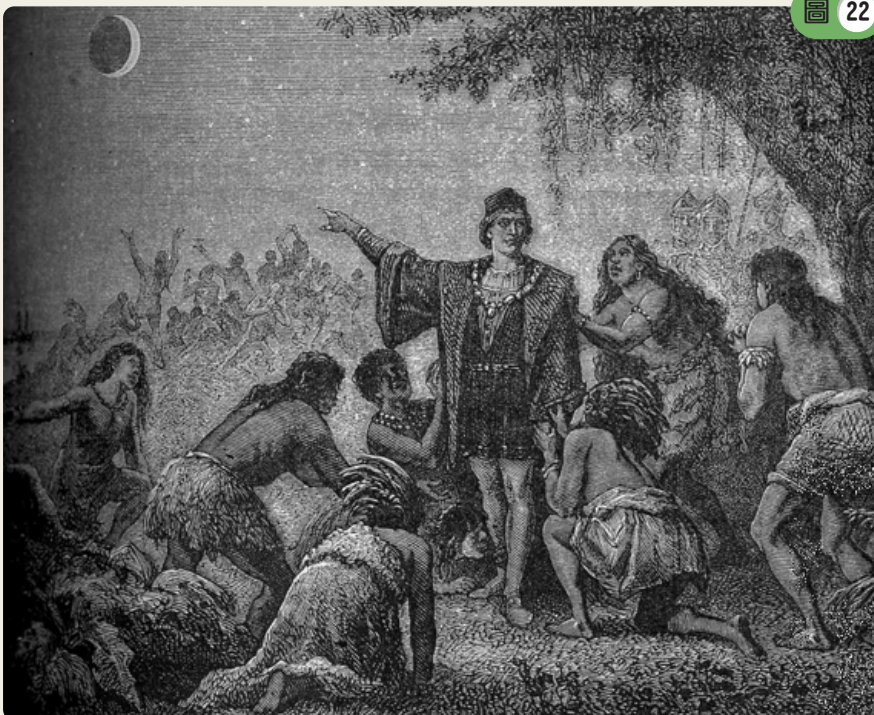
陶蕃麟：臺北市立天文科學教育館展示組組長退休

圖 21



哥倫布第4次航行的路線圖。圖片來源：維基百科

圖 22

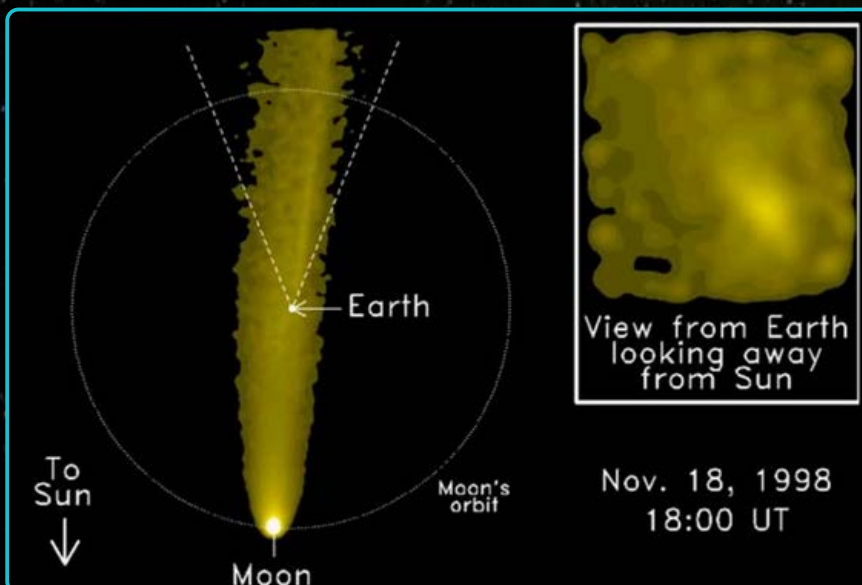
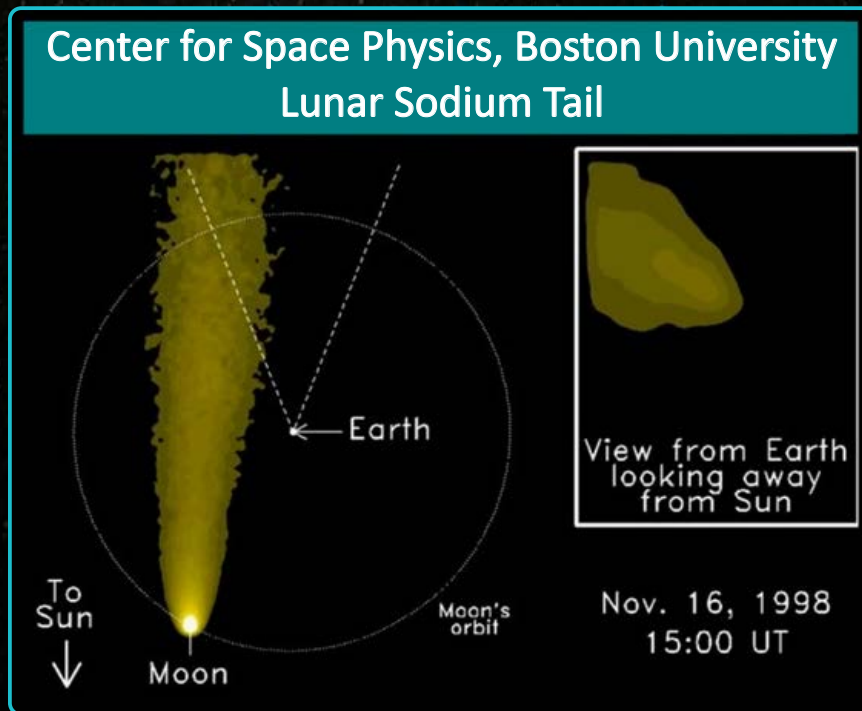


哥倫布以月全食收服牙買加島上的原住民。圖片來源：維基百科

# 新月夜裡，看見月球的「鈉斑」

文／許湊謙

我們知道，不同於地球，月球是個冰冷、佈滿隕石坑的天體；但事實上，月球並不是完全死寂的世界，月球表面存在著一層極為稀薄的氣體環境，其中的成分包含「鈉」。這些鈉原子並不像地球大氣那樣被牢牢束縛在月球周圍，而是不斷被釋放、推離、甚至被帶走，形成一條看不見、卻真實存在的「尾巴」，如同彗星一般。當這條鈉尾在日、地、月連成一線時的投影，從地球看去，便會形成一個亮度集中的區域，稱為「月球鈉斑 (lunar sodium spot)」。



鈉斑形成原因的連續圖解。影像來源：<https://sirius.bu.edu/moontail/>

## 月球不是沒有大氣，而是「抓不住」它

我們習慣說月球沒有大氣，是因為它缺乏像地球那樣厚實的大氣層，但月球其實擁有一層稱為「外氣層 (exosphere)」的氣體環境，如圖1。差別在於地球的大氣由重力牢牢束縛，且氣體分子頻繁碰撞；而月球的重力較弱、氣體稀薄，外氣層中的原子、分子彼此之間幾乎不會碰撞，每個粒子都像獨立運動的。這使得月球外氣層對外在的變動反應較靈敏：太陽輻射的強弱、太陽風的變化，甚至微流星體通量的增加，都可能在短時間內改變外氣層的組成與分佈。

在月球外氣層中，存在多種原子與分子，包括鈉、鉀、氦與氫等。其中，鈉原子具有一組非常強烈、且位於可見光波段的雙線譜線，稱為「鈉D線」，波長在589.0與589.6奈米，大約是黃光的區間。

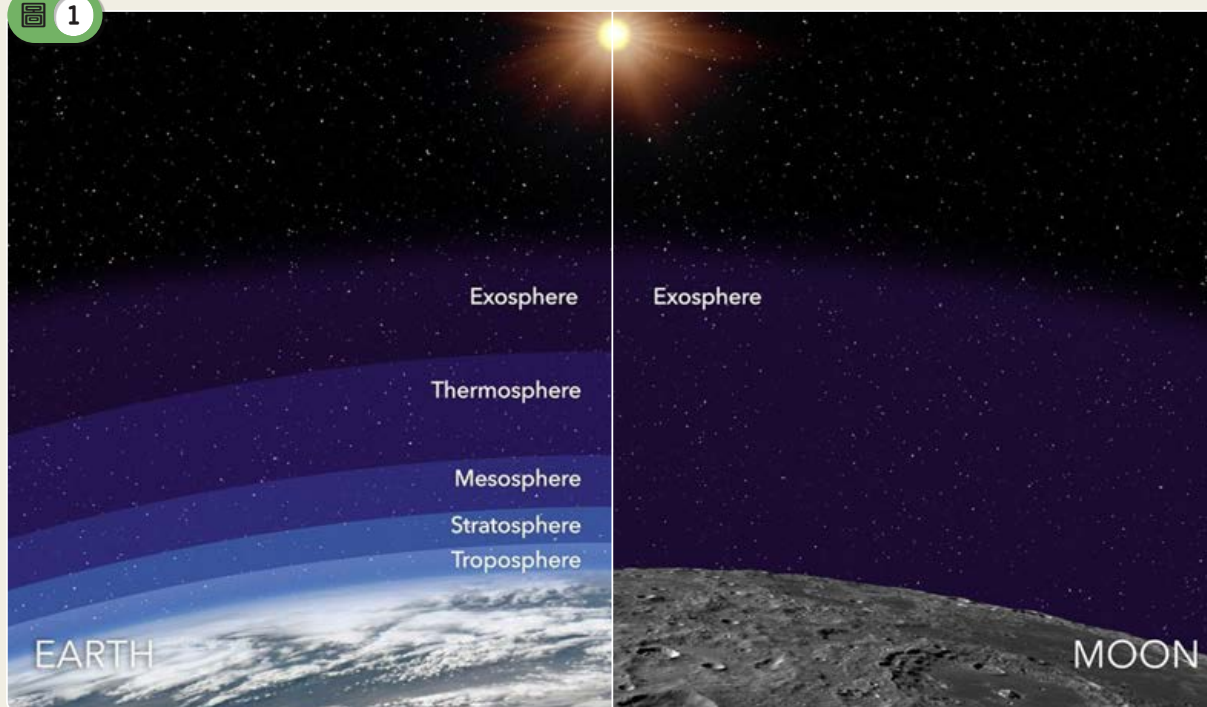
月球的鈉並不是憑空出現的，而是來自它的表面，主要機制有三種。當太陽光照射到月球，強烈

的紫外線讓一些鈉原子獲得足夠能量而逃離表面，這個過程稱為「光子激發脫附 (photon-stimulated desorption)」。同時，來自太陽風的高速帶電粒子，也會撞擊月球表面，把鈉原子「打」出來，稱為離子濺射 (ion sputtering)；第三種則是微流星體汽化 (micrometeorite impact vaporization)，高速星際塵埃撞擊時產生的瞬間高溫，能汽化表面物質並釋放鈉原子。這些機制同時作用，使得月球表面不斷補充新的鈉原子進入外氣層。

## 太陽輻射，不只是照亮月球

在日常生活中，我們認為光沒有重量，但在物理上，由於光的波粒二象性，光子攜帶動量；當大量光子不斷撞擊原子時，就會產生動量轉移對原子施加推力，這便是所謂的「輻射壓」。對多數原子而言，這種推力微不足道，但對鈉原子來說，由於它們能有效吸收太陽光中特定波長的光子，輻射壓的影響便會變得顯著。當鈉原子離開月球表面後，它們的運動逐漸由月球重力主導，轉為受太陽輻射壓推動，慢慢被「吹」向反太陽方向，形成一條達數十萬公里的鈉尾。

圖 1



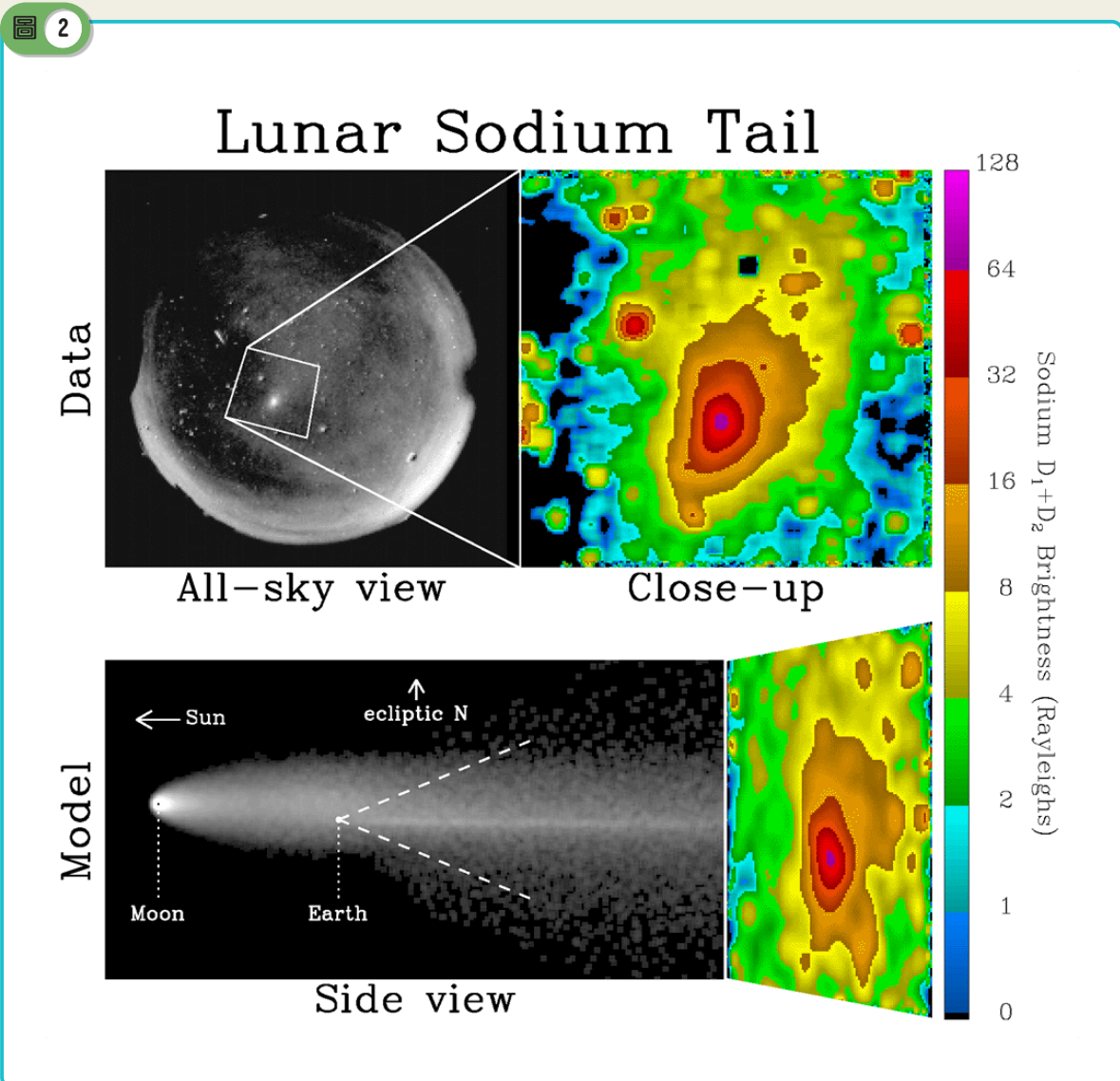
地球的大氣共分為5層，由低至高分別為：對流層、平流層、中氣層、熱氣層、外氣層，而月球僅擁有一層非常稀薄的外氣層大氣，圖中僅顯示地球與月球的大氣分層種類，大氣各分層厚度與天體大小未依實際比例繪製。圖片來源：NASA

## 為什麼觀測的是鈉斑，不是鈉尾？

由於月球的鈉發射強度不像水星強烈，而且月球是地球的衛星，距離地球只有0.002天文單位，用地面上的望遠鏡觀測，一方面是視角尺度太廣，難以用一般視野的儀器捕捉；另一方面是鈉分散到視線空間上的範圍變大、密度變小，導致儀器看上去的亮度變得微弱，因此在月地系統難以用「第三者」的視角去觀測月球鈉尾。

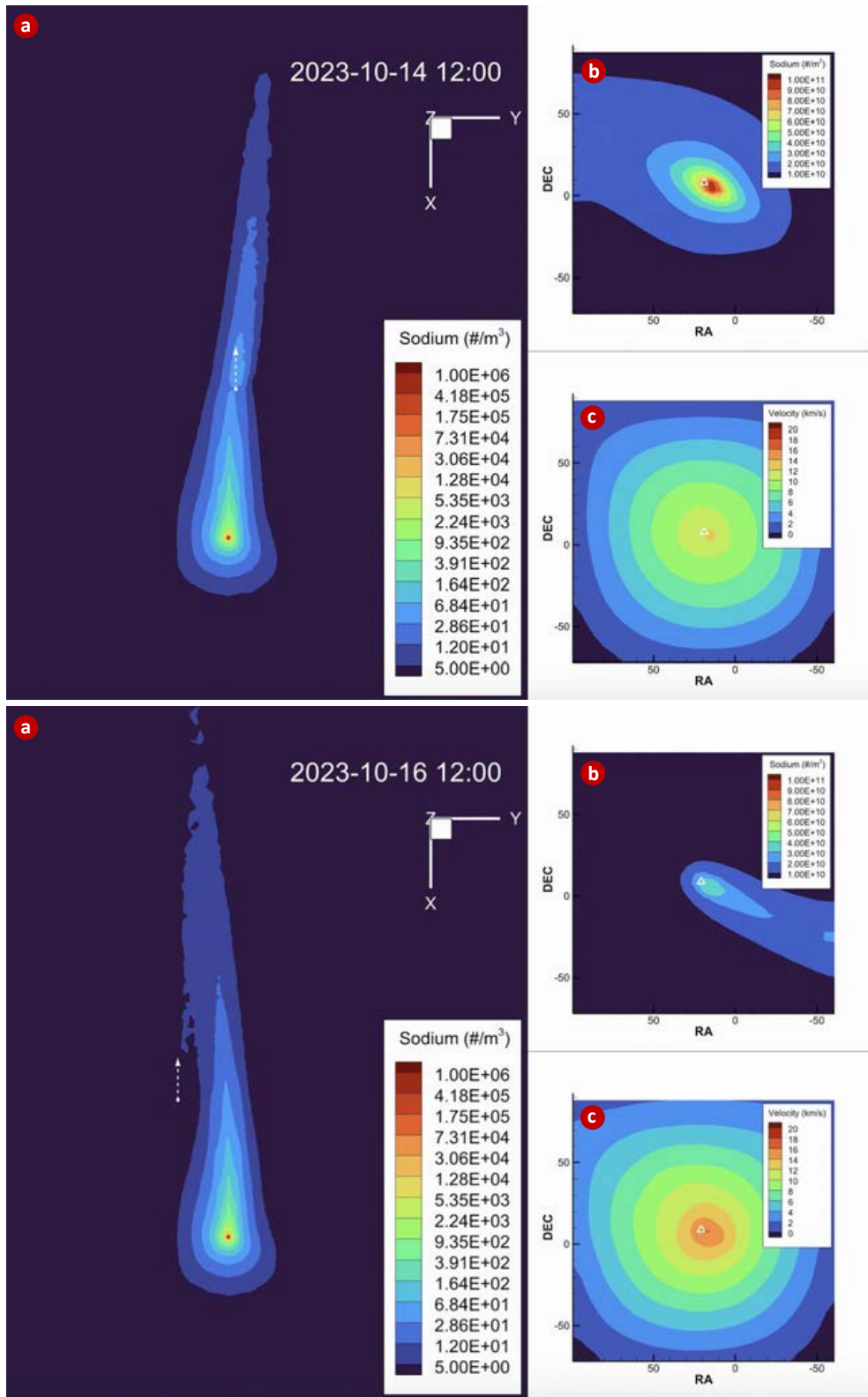
## 為什麼鈉斑只在新月出現？

在新月時，太陽、月球與地球幾乎排列成一直線。此時，地球正好位於鈉尾的延伸方向上，所以當我們沿著日、月、地連線方向觀測，視線方向的鈉原子數量疊加，我們能看到投影在反太陽方向的「鈉斑」，如圖2。換句話說，我們並不是直接看到鈉尾本身，而是看到它在天球上的投影濃縮。當月相稍微改變，觀測方向偏離鈉尾軸線，鈉尾也會因為地球引力扭曲，這種疊加效果立刻減弱，鈉斑也迅速消失，如圖3。這也是為什麼即使在理論上，鈉尾一直存在，但我們在地球上真正「看得到」的機會卻非常有限。



月球鈉尾的觀測影像及模型。新月時，地球位於月球鈉尾中軸線附近，由於沿視線方向的鈉原子疊加效應，從地球往太陽反方向可以觀測到月球鈉斑。影像來源：<https://sirius.bu.edu/moontail/>

3



月球鈉尾與鈉斑的數值模擬結果。上、下兩組圖分別對應模擬2023年10月14日與2023年10月16日。**a** 顯示月球反太陽方向的鈉原子空間分佈（以密度表示）；**b** 為模擬結果在天球座標中的投影，顯示鈉斑在天空中的分佈形態；**c** 為對應區域的速度分佈，反映鈉原子運動。隨著月球—地球—太陽相對位置的改變，鈉尾形態與天球投影位置亦隨之變化。影像來源：國立中央大學天文研究所

## 另一條鈉尾： 水星給我們的啟發

其實，在研究月球鈉斑之前，科學家早已在太陽系另一個天體看過更為壯觀的「鈉尾」——水星。

水星距離太陽更近，表面溫度極端、太陽輻射強烈，也幾乎沒有傳統意義上的大氣。早在1980年代，科學家便利用地面望遠鏡，在水星的光譜中發現強烈的鈉發射訊號，並確認水星反太陽方向存在一條長達數百萬公里的鈉尾，如圖4。這條鈉尾的存

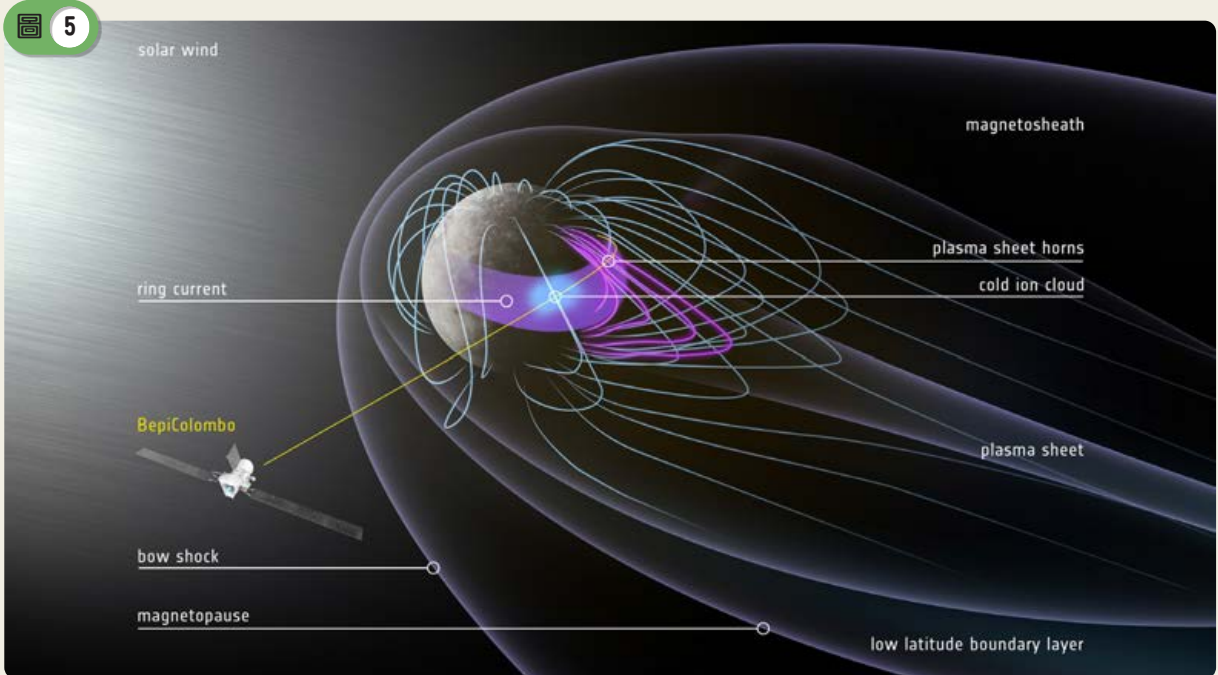
在，成為理解「無大氣天體（airless bodies）如何與太陽互動」的重要里程碑。

水星與月球的鈉尾，形成機制在本質上相當類似：鈉原子從表面釋放後，受到太陽輻射壓推動，逐漸被帶往反太陽方向。然而，兩者之間仍存在差異：水星的引力較強、表面溫度變化劇烈，且部分鈉的釋放與行星磁層及太陽風交互作用密切相關，如圖5、圖6，水星的偶極場（dipole）會影響鈉外氣層；相較之下，月球的磁場是局部性的結構，其鈉外氣層更直接反映太陽輻射與微流星體的撞擊效應，亦會受到地球引力的影響。

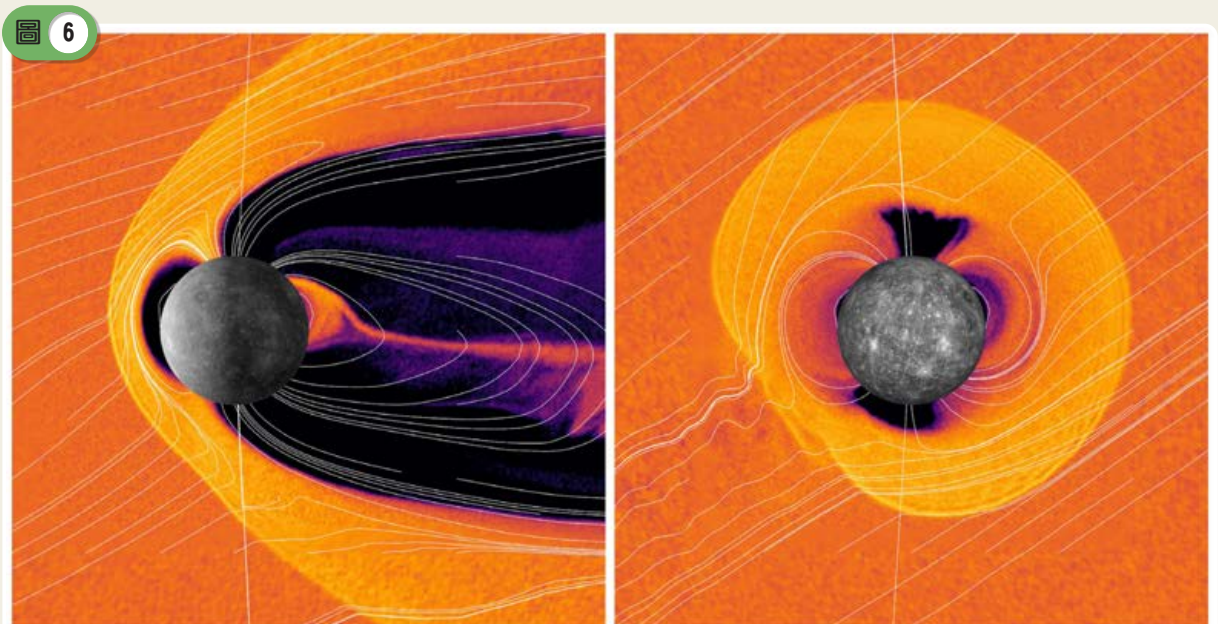
圖 4



水星鈉尾與昴宿星團。鈉的發射線在黃光波段，因此可以看到水星發出強烈的黃光，其可以用專門的鈉濾鏡拍攝。影像來源：  
Sebastian Voltmer <https://voltmer.de/>



貝皮可倫坡號 (BepiColombo) 探測器於2023年6月19日第三次掠過水星，穿越了弓形震波、磁層頂與低緯邊界層 (LLBL)，並在通過夜側 (night side) 的時間測量冷離子、重離子、稀薄的電漿結構與赤道附近的環電流，揭示水星磁層中擁有活躍的電漿交互作用。圖片來源：ESA



水星周遭區域看來似乎空無一物，但其實充滿著各種中性與帶電粒子。由於水星自身帶有磁場，在強烈太陽風擠壓下，壓力平衡的介面形成一個圓弧面，為「磁層頂」，整體形成背向太陽延伸的磁層。也因為水星靠近太陽，承受著高強度且多變的太陽風，但其磁場強度僅約為地球的1%，導致水星的磁層體積小且變化劇烈。電腦模擬結果顯示，在水星公轉軌道處典型的太陽風強度下，磁層中的帶電粒子密度可區分為高密度（黃色標示）與低密度（紫色、黑色標示）區域，磁力線則以白色線條呈現。如模擬圖所顯示，與地球磁層類似，來自太陽風的帶電粒子容易在極尖區 (polar cusp) 進入水星磁層轟擊水星表面，可能使該處產生較多鈉原子，為水星表面-外氣層物質交換的重要途徑，這也是鈉外氣層在水星和月球之間較有差異之處。未來，當歐洲太空總署 (ESA)、日本宇宙航空研究開發機構 (JAXA) 的探測器貝皮可倫坡號 (BepiColombo) 預計於2026年底進入環繞水星軌道後，將以前所未有的高解析度探測水星的磁層構造。影像來源：ESA

## 在鹿林天文臺，等一個新月

與水星不同，月球是地球的衛星，距離地球非常近，鈉斑在天空中看起來非常大，直徑約達3度（月球本身的視直徑大小約0.5度，水星則只有幾角秒）。這意味著傳統天文望遠鏡的視野往往太小，無法一次涵蓋整個結構；同時，鈉斑本身是極為微弱的散射光源，又在可見光範圍內，很容易被大氣散射與光害淹沒。

因此，從地面觀測月球鈉斑，並不是「把望遠鏡指向月亮」這麼簡單，而是一項需要在光學設計、濾鏡選擇、追蹤方式與資料處理上精心規劃的任務。這也解釋了為什麼即使在全球天文社群中，成功觀測月球鈉斑的案例仍然不多。

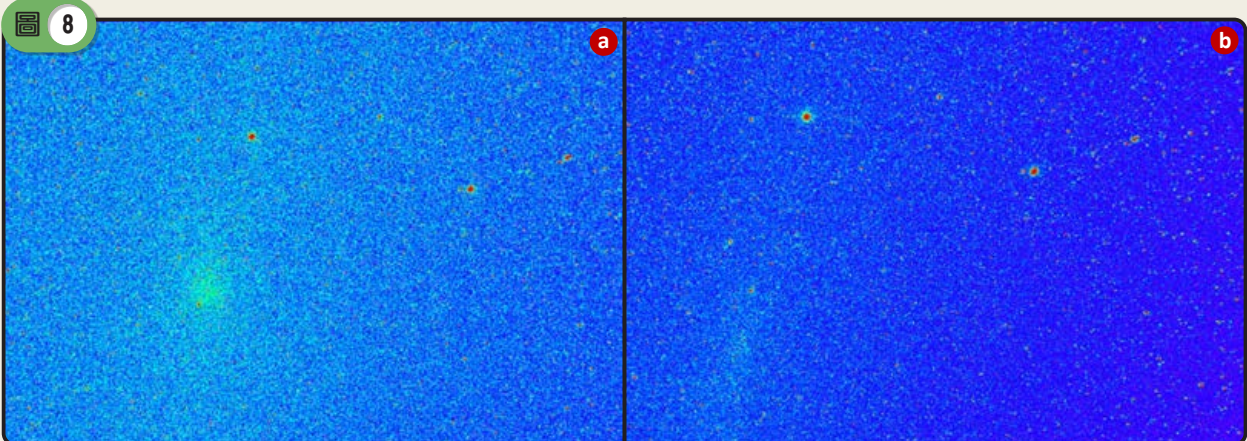
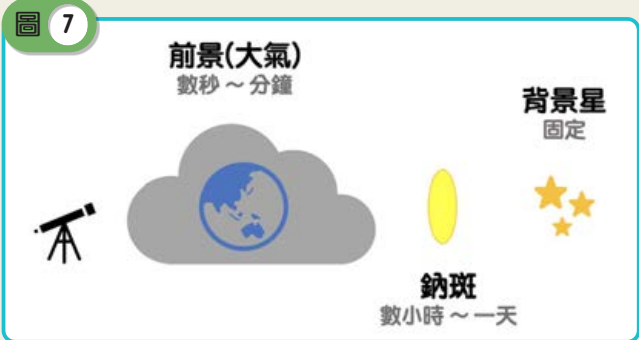
1998年，波士頓大學團隊用全天相機（all-sky camera）捕捉到鈉斑；起初，我們也使用全天相機，希望能以全天視野直接拍下鈉斑，然而，由於全天相機無法追蹤，曝光時間一拉長，滿天的星點便會拖成星軌，反而淹沒了微弱的鈉訊號。於是我

們改變策略，重新設計了一套專為觀測月球鈉斑的系統。這套系統結合了廣角鏡頭的寬廣視野與赤道儀的追蹤能力，能在長時間內穩定對準同一個座標曝光，讓微弱的光子一點一滴累積起來。

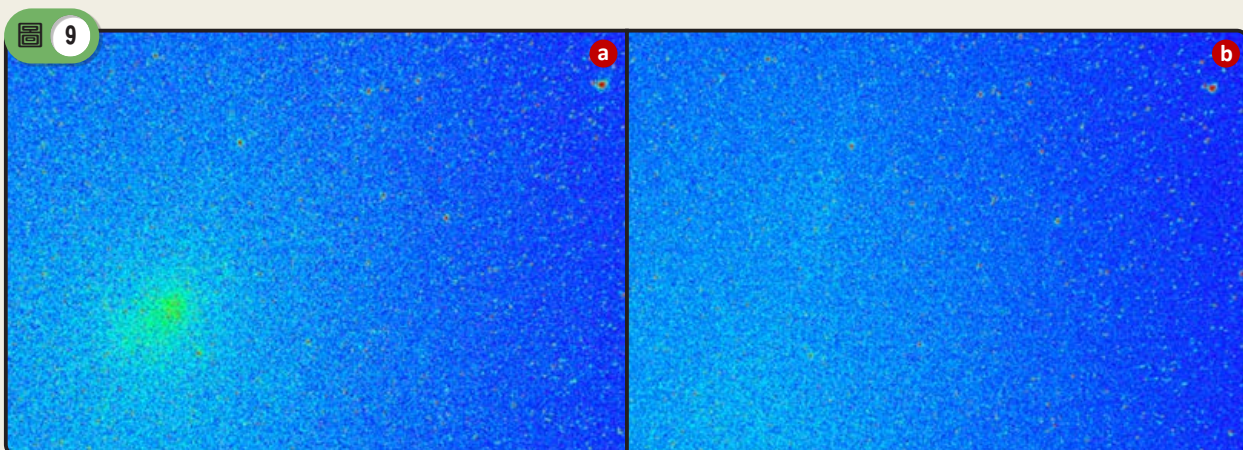
而真正的挑戰還在拍攝之後——確認這不是大氣、光害或儀器造成的假象。首先，亮斑出現的位置，正好落在理論預測的「地球影子方向」（也就是天球上太陽的反方向），與模擬結果一致。其次，排除前景和背景：鈉斑的變化時間尺度長達數小時，慢於大氣訊號的快速變動，能夠排除前景天氣變化影響；另背景恆星在影像中始終固定不動，若該亮斑在不同日期呈現明顯變化，且不隨恆星背景共同移動，則可排除其為背景天體的可能性，如圖7。

終於，我們在2025年2月28日的新月夜晚，影像中出現了一個緩慢變化、卻穩定存在的亮斑。隔天再拍攝時，這個亮斑已明顯變淡並位移，如圖8；而在下個月的新月觀測中，同樣的現象再次重現，如圖9。所有證據都指向同一個結論：我們真的拍到了月球的鈉斑。

月球鈉斑與前景大氣、背景恆星的比較示意圖。地面觀測時，望遠鏡所接收到的光訊號同時包含來自地球大氣的前景散射、月球鈉斑，以及遙遠恆星的背景光。前景大氣結構隨時間快速變化，其特徵時間尺度約為數秒至數分鐘；背景恆星位置固定，長時間不會變動；而月球鈉斑的亮度與形狀變化則發生在數小時至一天的時間尺度上。透過分析時間尺度上的差異，可有效區分鈉斑訊號與大氣或背景天體的影響。



2025年2月新月期間觀測影像。a 為2025年2月28日新月當天的觀測結果，可見影像左下方出現一個亮度集中的區域，對應於月球鈉斑的位置；b 為新月後一天2025年3月1日所拍攝的影像，相較於新月當天，鈉斑結構明顯變得較為瀰散，且其位置亦出現輕微位移。影像來源：國立中央大學天文研究所



2025年3月新月觀測影像。如同2月的觀測，**a**為2025年3月29日新月當天的觀測結果，同樣可見影像左下方出現一個亮度集中的區域，對應於月球鈉斑的位置；**b**為新月前一天2025年3月28日所拍攝的影像。影像來源：國立中央大學天文研究所

## 從鈉斑看見月球的「呼吸」

月球鈉斑的觀測價值，並不僅止於「我們看到了什麼」，而在於「它告訴我們什麼」。在沒有濃厚大氣保護的天體上，表面與太空環境之間的物質交換並非穩定不變的，而是隨著外在環境變動。鈉外氣層正是這種變化最直接、也最敏感的指標之一。

當太陽活動增強、太陽風壓力上升時，鈉原子的釋放效率、空間分佈都可能產生可觀測的改變；反之，在太陽活動較為平靜的時期，鈉斑的亮度與範圍也可能隨之縮小。換句話說，月球鈉斑不只是月球自身的現象，而是一個能即時回應太陽風的「太空天氣感測」。

在太空探測任務高度發展的今日，或許會有個疑惑：既然能派遣探測器前往月球，為何還要花力氣進行困難的地面觀測？事實上，兩者扮演的角色截然不同。太空探測器能提供局部、近距離、高精度的測量，但其時間跨度往往受限於任務設計與軌道配置，也耗費大量成本；地面觀測則能在不同於太空任務的尺度上持續進行，捕捉外氣層隨太陽活動週期變化的長期趨勢。對於像鈉斑這類只在特定

幾何條件下短暫出現的現象而言，地面觀測反而具有彈性與覆蓋性。

此外，地面觀測所發展出的技術，也往往能反饋到其他天體的研究中。月球鈉斑的觀測策略，便與水星鈉尾、彗尾，甚至部分系外行星的氣體研究相互呼應。這也是為什麼一直以來，水星與月球外氣層是行星科學中連結「地面觀測」、「太空任務」與「太陽物理」的重要橋樑。而這種長期連續觀測，正是理解外氣層動態變化所不可或缺的關鍵。

## 新月夜，並非一無所有

新月的夜晚，看似月亮從天空中消失，然而，正是在這樣的時刻，月球隱秘的一面，才得以被揭示。鈉斑提醒我們，即使在看似靜止、無生命的天體上，仍存在著持續進行的物理過程，無聲地回應著來自太陽的能量。

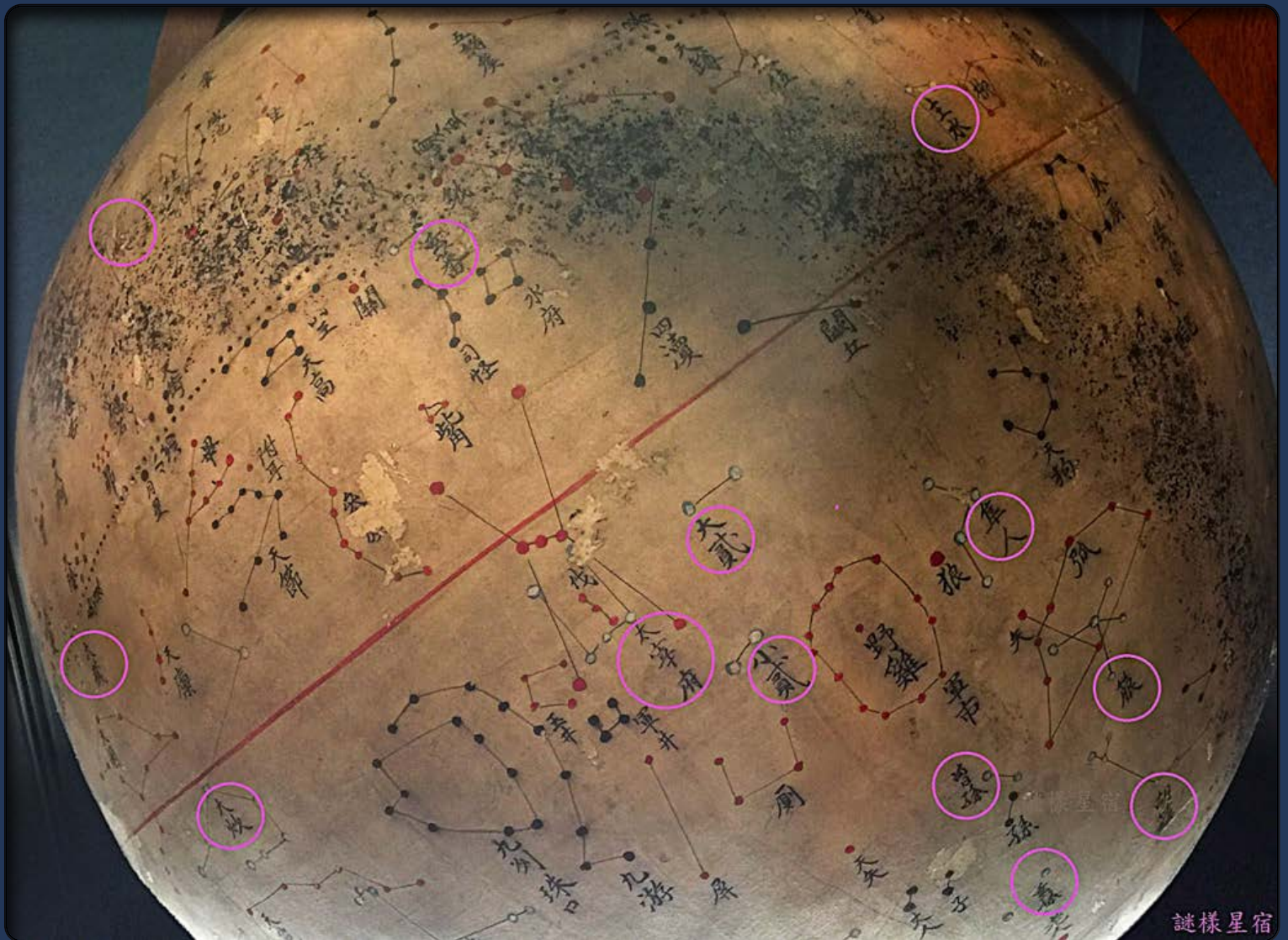
透過這些微弱的光，我們不只是看見月球的「尾巴」，更看見了整個太陽系中，無大氣天體如何與太空環境互動的真實樣貌。而這些知識，正是人類在重新走向月球、走向更遠的行星之前，必須理解的重要一課。

許濠謙：國立中央大學天文研究所 博士候選人

## 日本特有星座

西洋人喜愛**星座DIY**，東洋竟然也愛？在某些日本古星圖裡，暗藏了頗具日本風格的星名，例如：專門處理怪力亂神的古天文機構「**陰陽寮**」、電影《天地明察》刻意特寫的星官「**御息所**」、還有京都三大祭典中「**葵祭**」的亮點「**齋宮**」也被化為星座。更有趣的是「曾孫」、「玄孫」跟在傳統星官「子」、「孫」之後，形成多代同堂的溫馨畫面，如下圖。是誰用星點連線開創了如此別具特色的格局呢？

文／歐陽亮



澀川春海於西元1697年製作的紙張子製天球儀，在傳統星官之間繪製了日本特有星座，如紫色圓框標示，其中「曾孫」與「玄孫」位於右下角「子」、「孫」、「老人」附近，而左上角之「天鏡」已斑駁不清。影像來源：2025年筆者攝於日本東京國立科學博物館

## 創新由來

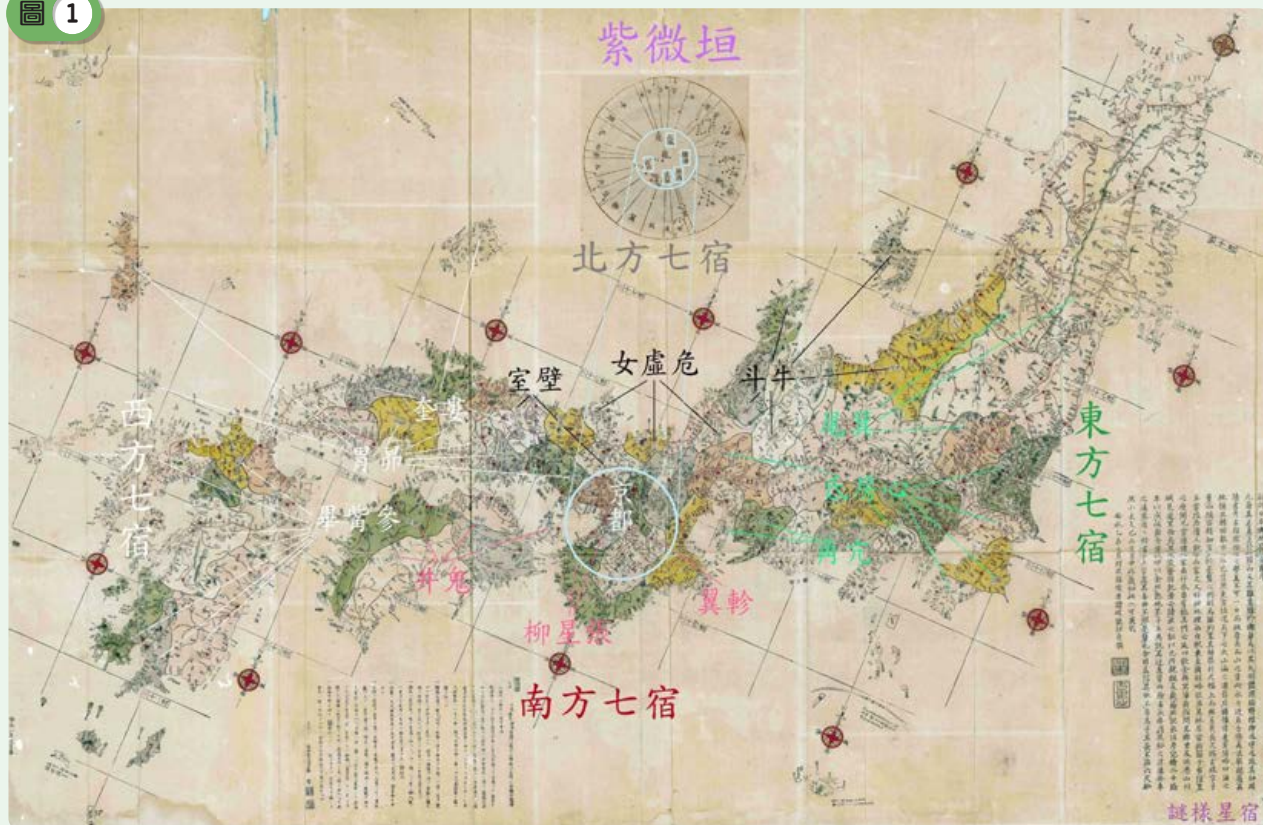
原本單純美麗的天文星象，在上古時期加入占卜的思想後，從中原流傳到西夏、越南、朝鮮、琉球與日本等周邊國家，部份遺留下來的星圖，讓我們得以窺見上古星座原始面貌。不過其中想到自創星座的，似乎只有日本。

若觀察早期的日本星圖，例如龜虎古墳、高松塚古墳、格子月進圖等，星官皆與中國相同，只有少許連線略有不同。到了江戶時代中期，出現了幕府御用天文學家澀川春海（日文：渋川春海），他在曆法上的努力，改變了當時依賴元明曆法的態度，而這種自立的精神，也延伸到占星的想法上。

由於星空是全世界都看得到的，澀川春海也許對於占星分野只對應中國而不列入周邊民族感到困惑，並意識到天空異象應為一種提醒或警示，只是沒有人整理出各地區對應關係，於是特意將占星分野從中國地名改為日本古代令制國名，在1677年制定出《天文分野之圖》，以應用於日本。其中紫微垣對應到天皇所在的京都畿內各國（現在的關西地區），從這裡作為中心，再向四個方向劃分其餘地區，如圖1。

只不過，此圖分野不包括北海道，因為當時北海道還處於原住民阿伊努族與日本本土移民相互衝突的時期，有點類似臺灣原住民在明末清初之際與漢人移民的情勢，因此北海道和臺灣一開始都未納入分野。從這裡即可看出，占星分野的「人為」成份有多高。

圖 1



日本特有的天文分野，將紫微垣與二十八宿分別對應至古代令制國，筆者依《天文瓊統》卷五至卷十二之記載標註於地圖中，其中壹岐、對馬兩島的劃分與《天文分野之圖》不同。底圖來源：1779年出版之「日本輿地路程全圖」，日本國立天文臺三鷹圖書室。紫微垣圖則取自澀川春海《天文分野之圖》右下小圖。

而江戶時代初期正值滿族入主中原，日韓等國有人認為華夏已淪為蠻夷，只剩他們能繼承大明國的文化正統，也許澀川春海就因此反應到星占分野上了？不過，他的原意也許只是想嘗試用方位來對應天與地，因為他還曾加碼列出分野要如何對應到全球，如圖2，這種想法比較類似上古兩河流域與古埃及「分野亦對應至周邊各國」的觀念。

其實除了日本，用局部地域來對應星象的分野體系還有其他例子：在敦煌石窟發現的寫本Pelliot chinois 3288《西秦五州占》為當地民間編寫的占星著作，它將五大行星分別對應到河西走廊五個地區：武威、張掖、酒泉、敦煌、晉昌<sup>2</sup>，如圖3，這與澀川春海將分野對應至日本各地的想法有著異曲同工之妙。

圖 3



敦煌寫本Pelliot chinois 3288《西秦五州占》將五大行星對應到河西走廊五個地區，但內文雜抄了左右兩種對應，彼此並不相同。影像來源：國際敦煌項目 IDP

圖 2



《天文瓊統》卷五至卷十二也將天文分野對應到全球各地：南方七宿之中，分別以井鬼對應至印度、柳星張對應至清朝（圖中紅色區域）、翼軫對應至南方假想大陸「墨瓦蠟泥加」；東方七宿則對應至珊瑚樹島與北美一部份；北方七宿對應至美洲；西方七宿對應至歐洲、非洲與中東；紫微垣對應至北極。至於日本則不在其中。影像來源：澀川春海於西元1695年製作之日本最古老的地球儀，筆者攝於日本東京國立科學博物館，2025年



另外湯母位在天乳近處，方便餵養工作；天蠶設置於織女身旁，委託織女照顧。不過也有從字面無法看出意思的「腹赤」，它在《天文瓊統》中是指一種用來進獻之鱒魚，所以放在相關的天江和魚這兩個星官附近，如圖5。

還有松竹在天苑和天園之間，相互點綴；天帆在天船上方，如同揚起船帆；大膳與內膳就在天廚左右，可隨時烹煮；至於御息所原指天皇休息場所或妃子與宮女，在《天文瓊統》卷十三則說明是太子之妻，因此放在北極星官的太子之旁。

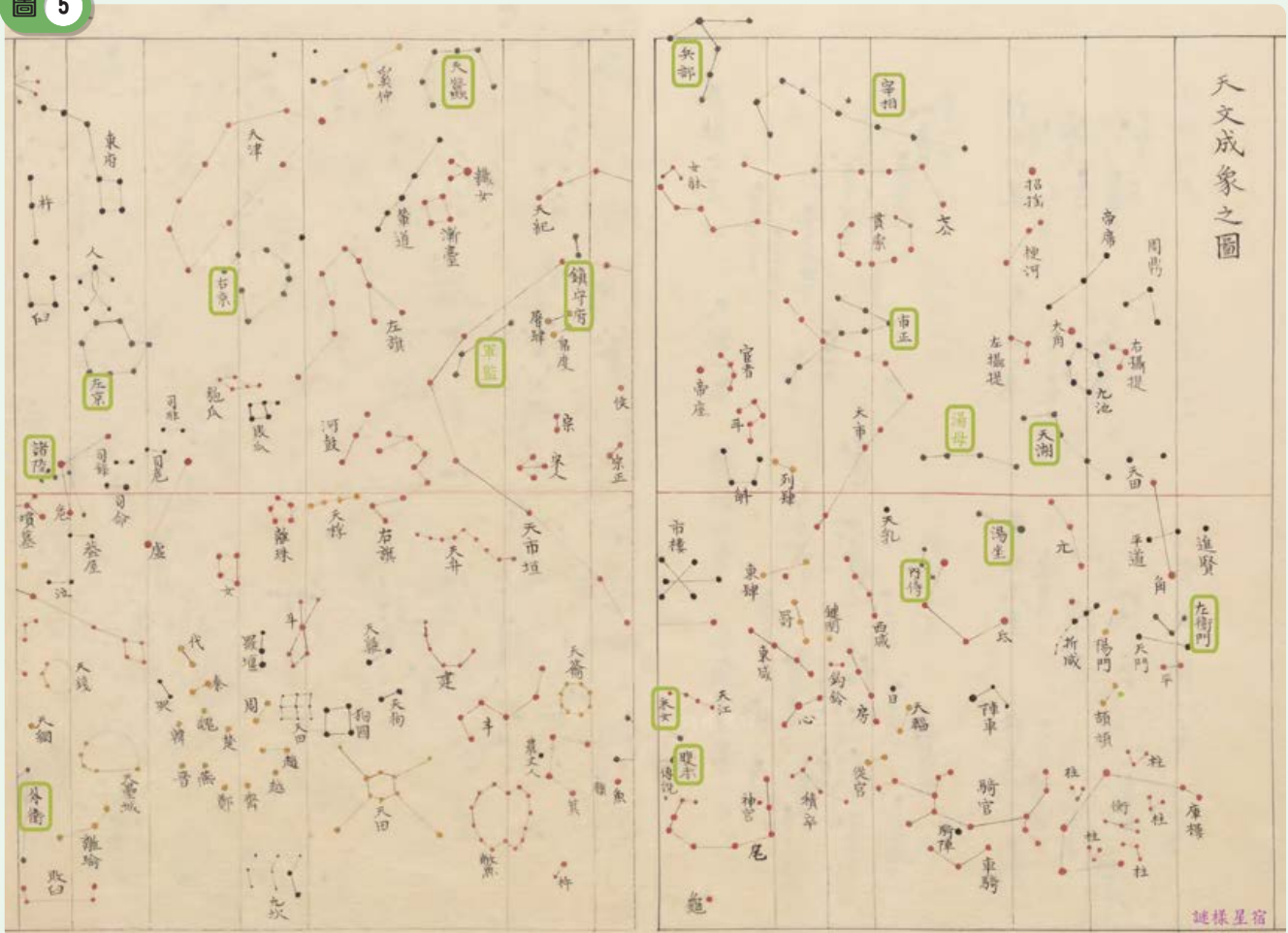
其他如大將、兵部、左京、右京、太宰府、大貳、小貳、隼人等名稱，則是日本宮廷或公職官位。在東京科學博物館以《天文成象圖》為背景的紀念幣上，就有自創的「式部」、「治部」等七個星官，如圖6，對日本文化有興趣的話可以對照《天文成象圖》來尋找它們在星空中的位置。

澀川春海在測量時還曾使用望遠鏡，觀察到昴宿、鬼宿與銀河內有眾多小星，且有些星官與南極星官無法分辨，或已遷徙。他的記載與徐光啓以望遠鏡看到的結果相似，只是時間相差數十年。

這些新星座與傳統星名密切融合，剛好與西洋星座DIY的互別苗頭成為明顯對比。不過古人常以傳統為固有標準，不可輕易改變，為什麼他想新增星官呢？澀川春海的解釋為「世遠時移，在於天之氣衰。星絕則於地應焉者亦衰矣，千變萬化。而古所未之有星，今明大所見，此古未備者，今盛之應可知矣哉。」<sup>7</sup>表示星辰從古至今是有生有滅的。

但這並非他發現了現代物理才確認的恆星壽命有限，只是因為有些星未曾被記錄與採用而已。不過這誤解相較於現代有些人認定只憑科學計算就能得到古天文記錄結果而不值得討論、或研究時不經查證就盲目照抄書籍、以及隨意引用年代錯誤的星圖等危險思

圖 5



《天文瓊統》卷十四收錄之「天文成象圖」東方七宿至北方七宿部份，可見湯母、天蠶、腹赤等十多個日本特有星官，其中湯母、軍監漏寫星官名，由筆者補記。影像來源：日本國立公文書館

緒，他早在幾百年前就突破了傳統的占星束縛與星光永恆的想法，走出一條自己的路。

那麼澀川春海是否也自創星官占辭呢？在《天文瓊統》卷十三寫著：「天帆不見渡海不安」、「陰陽寮吉凶同靈臺」、「市正暗而不見市法不正」、「腹赤占同魚星」、「天蠶吉凶同織女」、「雅樂不明樂廢」，就是他仿倣傳統而寫的個人創作。其中許多吉凶同於傳統星官，意即在新星官內出現異象，會有相似的占星意義。

《天文瓊統》卷十四則有許多星圖與實測數據，例如不易見到的**器府三十二星**仍記有兩星、南門則僅見一星。但此卷內的《天文成象圖》版本與單張星圖則有所差異：漏寫礪石、湯母，將天淵寫成天田，車肆寫成東肆，車府寫成東府，且將礪石四星與天街相連。而八魁、鉄鑽、九坎則多畫出不可見星所連之形狀。不過在單張星圖的另一版本也可見

日本東京國立科學博物館發行的天文望遠鏡紀念幣，背景則為《天文成象圖》之紫微垣，其中的日本星官「式部」與「治部」位於右側，「東宮傳」與「御息所」位於左下。筆者攝。

圖 6



到器府的不可見星，但十七顆星卻排成扁長形，如圖7，與傳統陣列形相差甚遠，十分特別，也許是繪製時考慮到其他星已超過圖面，因此未將三十二顆全部畫出。

## 沒落時刻

然而世事難料，這次創新並沒有得到進一步的發展，因為清代《儀象考成》的「增星」傳入之後，與澀川春海的新創星座部份重疊卻又大不相同，讓日本特有星座逐漸被棄用。1813年《星座之圖》仍有澀川所創星官，只是不見其名，如圖8。到了1849年製作的《分野星圖》雖然邊線上仍保有日本地名分野，然而圖中只畫了《儀象考成》的增星，已無自創星座蹤影。

之後西洋知識又強力傳入，日本就在明治維新之後廢棄中式星座，改用西洋星座了。不過在翻譯時，仍保留了少許東方原有概念，例如天鵝座之漢字記為天鵝，如圖9，似乎殘留著七夕故事的遙遠印象。

雖然現在這些星座已無人能識，但日本仍很擅長將傳統與外來文化巧妙融合成獨特而平衡的風貌，藉

以喚起大眾曾有的古天文記憶。例如動漫作品《夢幻遊戲》（ふしぎ遊戯）就以四象二十八星宿做為故事基礎元素來展開，從古典中發揮想像，十分令人驚豔。澀川春海若能穿越時空看到這部作品，應該也會很喜歡吧！

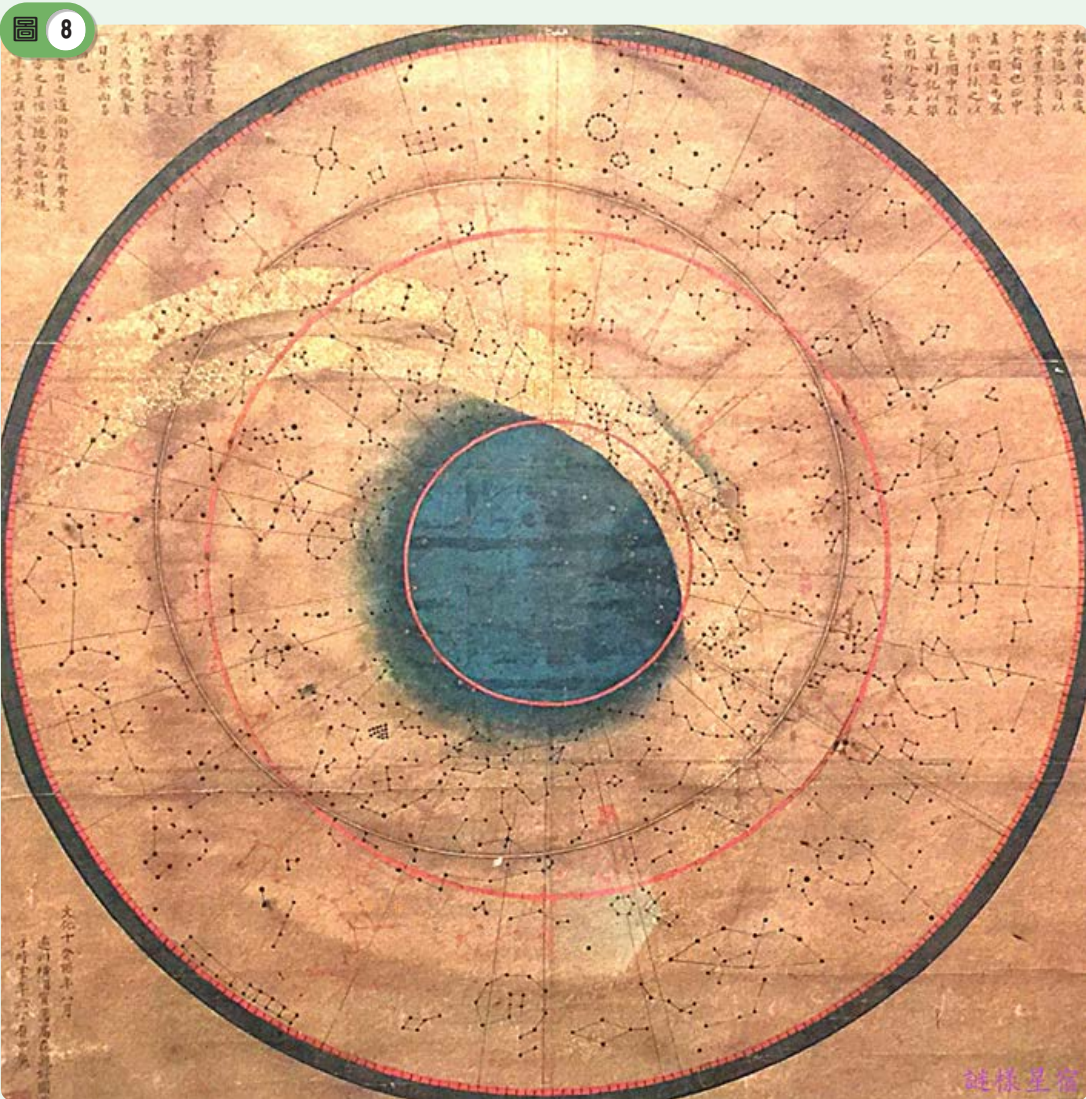
### 附註：

1. 大崎正次《中國星座的歷史》，雄山閣，2023版，頁271提到此圖含有疑似陰陽道自創的星名與編號，但皆為星官內的個別星名，並無新創的星官。
2. 黃正建《敦煌占卜文書與唐五代占卜研究》，學苑出版社，2001，頁41、201。
3. 潘鼎《中國恆星觀測史》，上海學林出版社，2009，頁518。
4. 日本國立天文臺的貴重資料展示室以及島島一彥〈保井春海之天文圖屏風〉大阪市立科學館研究報告 30, 21-32 (2020) 記載為1698年，而潘鼎《中國恆星觀測史》頁517則寫為1702年，此年春海改姓澀川。
5. 《天文瓊統》卷14之星官度數圖亦寫「皆不見」但紫微垣圖中則未寫。此星官在《天象列次分野之圖》、《格子月進圖》位於三台與北斗斗杓間，在《新儀象法要》、《蘇州石刻天文圖》與潘鼎宋代復原圖則縮小接近斗杓的璇璣連線，在明末《崇禎曆書》中卻消失，清代又大幅位移至三台以南，近似宋代復原圖之內平，在《天文成象圖》則為新星官「宮內」的位置。
6. 臺北天文館邱國光前館長基於清代星官編著之中西對照《天文星圖》，曾特地加入這兩個日本星官，其位置很接近《天文瓊統》所繪。
7. 澀川春海《天文瓊統》卷十三，頁17。

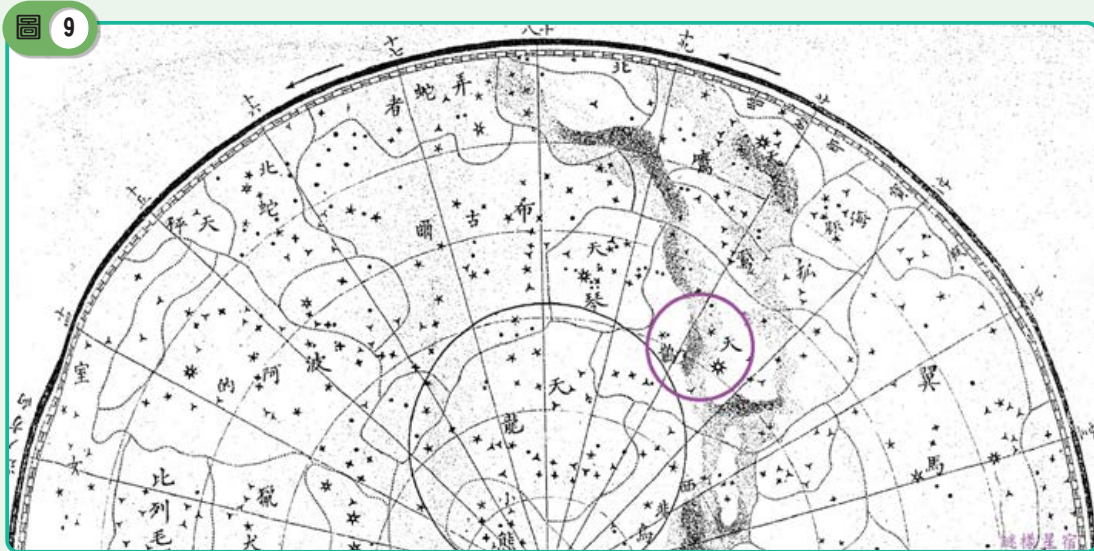
歐陽亮：天文愛好者，曾獲2001年尊親天文獎第二等一行獎，於2009全球天文年特展擔任解說員。  
部落格：「謎樣星宿」— <https://liangouystar.blogspot.com/>



《天文成象圖》大部份版本的器府只繪兩星，如圖 a 左下，但京都大學藏本則繪出十五顆不可見星，十七顆星排成扁長形，如圖 b 左下。



1813年《星座之圖》雖然繪有澀川春海的星宮，但未見星名。影像來源：筆者2025年攝於日本東京國立科學博物館

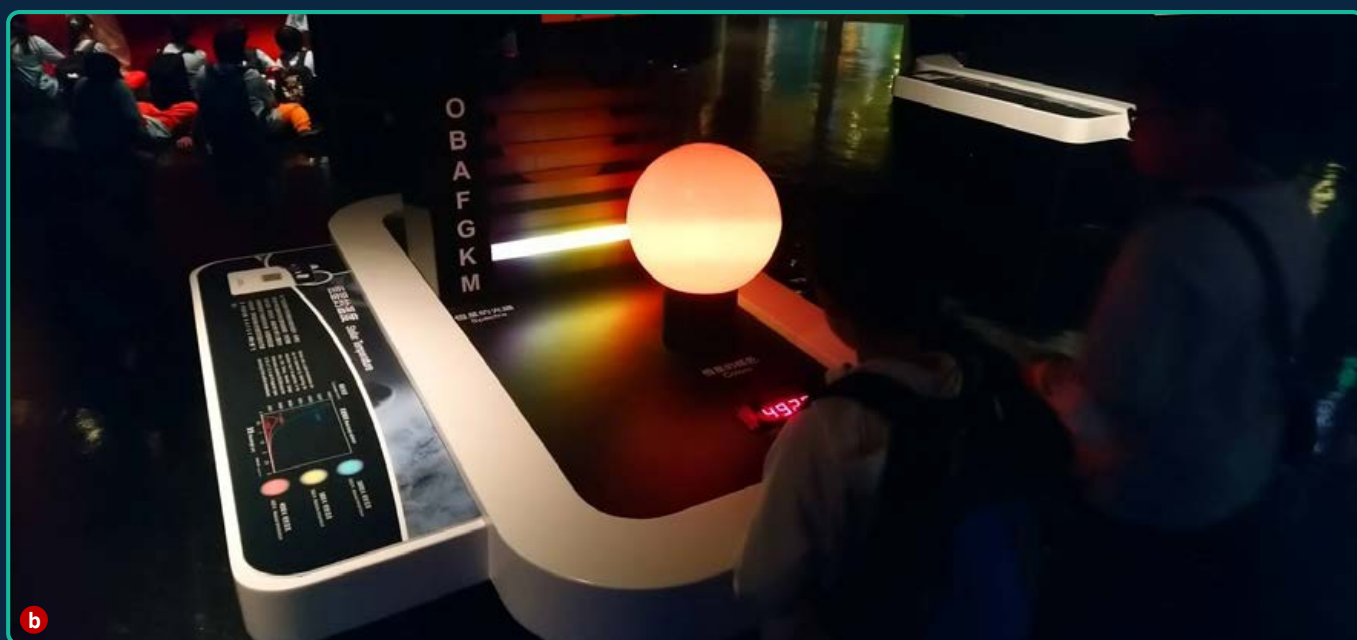


《洛氏天文學》作者為Joseph Norman Lockyer (ロッキヤー)，在日本文部省1879年譯本下冊頁184~185之西洋星圖中，其翻譯名稱與現今不一樣，如天鵝座被譯為天鵠座。圖片來源：日本國立國會圖書館

## 恆星光譜的秘密（下）

前篇光譜學的發展，讓天文學家不再只能「看」星星，更能「讀」星星。從一場預言準確的傳奇日食，到哈佛大學天文臺裡一群默默耕耘的女性研究者，她們如何從雜亂無章的光譜數據中，拼湊出恆星的秩序？而一位年輕女性的直覺，又是如何推翻當時的主流觀點，揭開恆星的組成真相？這段旅程的終點，將徹底翻轉我們對繁星的想像。

文／許晉翹



位於天文館二樓，介紹恆星光譜的展示品「恆星的溫度」，恆星表面溫度愈高，顏色就愈偏向白色、藍色，如圖 **a**。反之表面溫度愈低，顏色就愈偏向橘色、紅色，如圖 **b**。

## 太陽神的禮物 氦氣的預言

1868年8月18日，一場完美的日全食如期而至。這場日食最傳奇的地方在於，它的地點與時間是由暹羅國王拉瑪四世在兩年前就精確計算出來的，甚至比當時法國最頂尖的天文學家還要準確。拉瑪四世為了這場由暹羅皇室首次推動的科學觀測而染病過世，基於為科學的犧牲精神，天文學界後來將這一次日食定名為『暹羅王的日食』，泰國政府也追封他為泰國科學之父，如圖1。

正是在這場日食的觀測中，法國天文學家詹森與英國天文學家洛克耶，分別在印度與倫敦利用光譜儀對準了太陽，他們在光譜的黃色區塊中，發現了一條詭異的亮線。這條線的位置非常接近鈉，但卻不是鈉。洛克耶大膽斷言：這是一種地球上從未見過的新元素！他以希臘神話中的太陽神『赫利俄斯』（Helios）為它命名為Helium（氦），如圖2。

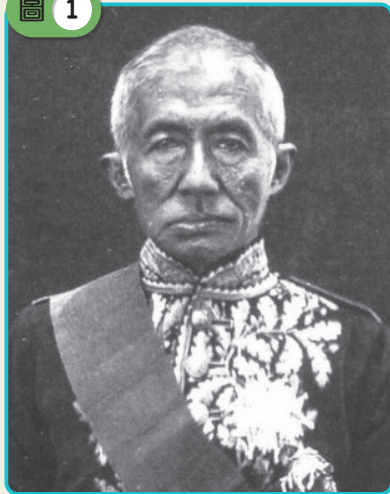
想像一下當時科學界的震驚：我們竟然在距離地球一億五千萬公里外的火球上，找到了一種當時認為在地球上不存在的物質。直到27年後的1895年，科學家才終於在地球的鈾礦石中找到了氦氣。氦的發現，證明了光譜學不只是化學工具，它更是一把開啓宇宙化學之門的鑰匙。它告訴我們：宇宙的組成法則在遠方與在腳下，竟然是完全一致的。

## 織星的女性 哈佛計算員與安妮·坎農

隨著攝影技術與光譜儀的結合，哈佛大學天文臺臺長愛德華·皮克林（Edward Pickering）收集了成千上萬張恆星光譜照片。然而，面對堆積如山的數據，他手下的男助手們卻進度緩慢，傳聞皮克林在一次憤怒中大喊：「我的家務女僕都做得比你們好！」

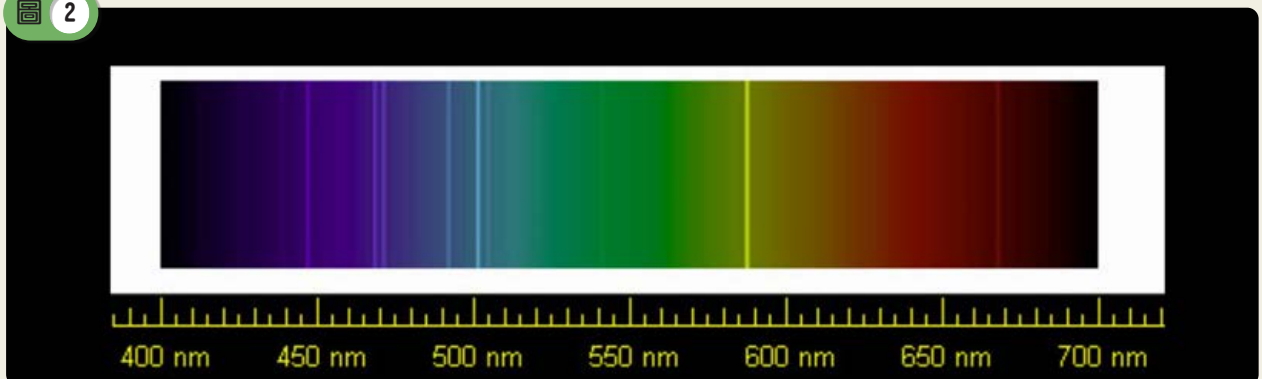
這不只是氣話，他真的雇用了他的女僕——威廉敏娜·佛萊明（Williamina Fleming）。佛萊明展現了驚人的天賦，她帶領著一群被稱為「哈佛計算員」的女性，開始了人類史上第一次大規模的恆星

圖 1



暹羅（泰國古名）國王拉瑪四世（1804～1868）。圖片來源：維基百科

圖 2



氦元素的發射譜線，可見發射強度最強一條譜線就落在黃色光區域。圖片來源：維基百科

分類。最初，她們採取最直覺的方法：依照光譜中「氫譜線」的強度，由強到弱排下去，簡單地給予A、B、C、D...的代號。然而，這套系統在數據增加後變得混亂。這時，故事的關鍵人物——安妮·坎農（Annie Jump Cannon）登場了，如圖3。

安妮·坎農患有嚴重的聽障，但這讓她更能專注於眼前的光譜。她憑藉敏銳的直覺，觀察譜線中電離氫與中性氫等元素的特徵，將混亂的代碼重新洗牌。這串看似無意義的字母序列OBAFGKM（由於沿用了舊分類代碼），後來才被證明決定光譜樣貌的關鍵因素是「溫度」。

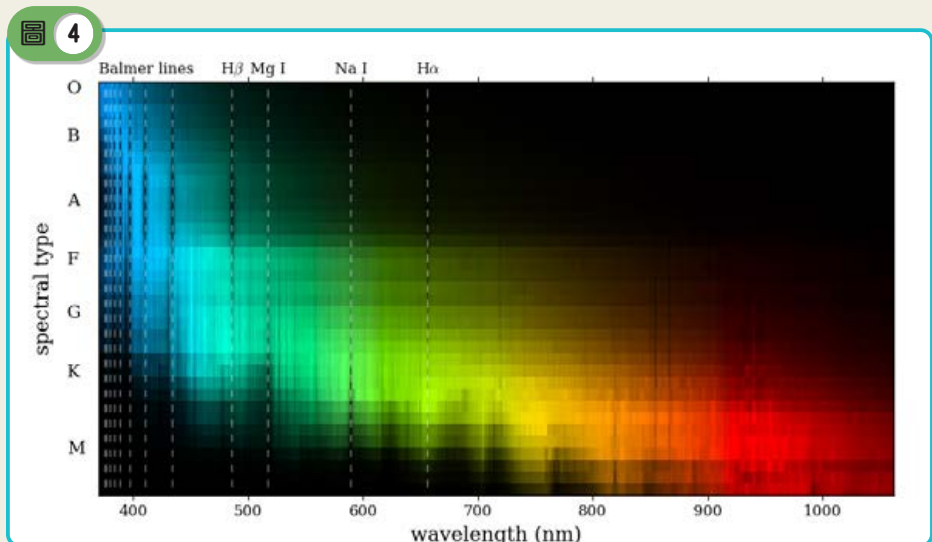
這串看似無意義的字母，代表了恆星從極熱（O

型，藍色）到極冷（M型，紅色）的序列。安妮的一生分類了超過35萬顆恆星，她被稱為「恆星分類的守護聖者」，這套分類法至今仍是天文學界的標準，如圖4。雖然科學家藉由光譜揭示恆星表面氣體的成分與狀態，直到20世紀初期，人們已可辨識恆星光譜中包含鐵、鈣、鈉等元素，但仍普遍認為恆星的化學組成應與地球類似，即主要為「鐵與其他金屬，氫與氦只是少量氣體」。

當安妮·坎農在哈佛天文臺的桌前專注觀測時，1923年，一位年輕的英國女性越過大西洋來到了這裡，她叫塞西莉亞·佩恩（Cecilia Payne），也將挖掘出那個足以動搖整個天文學界根基的秘密。



安妮·坎農在她的辦公室拍攝的照片。影像來源：Smithsonian Institution Archives



主序星假色光譜，圖中的每一橫列代表一種光譜類型，亮度對應於該波長下的光強度。由於可見光波段約落在380nm~750nm之間，因此圖中紅色部分代表的實際為紅外線波段。影像來源：維基百科

## 真理的堅持 塞西莉亞·佩恩

故事的最終章，屬於塞西莉亞·佩恩，如圖5，20世紀初的英國，女性即便在劍橋大學完成了所有學業，也無法獲得正式學位。為了追求科學真理，23歲的佩恩毅然橫越大西洋，來到了美國的哈佛大學，佩恩在那裡遇到了已經成名的安妮，兩人一見如故。安妮將自己累積數十年的光譜分類經驗傾囊相授，而佩恩則帶著當時最先進的原子物理學知識，準備在這些分類好的光譜中添加新的一筆。

1925年，25歲的佩恩發表了被譽為『天文學史上最卓越的博士論文』——《恆星大氣》。她運用了當時最新、最深奧的薩哈電離方程式，解開了困擾科學家已久的謎團：為什麼有些恆星光譜的線條那麼明顯？她得出了一個驚天動地的結論——**恆星幾乎完全是由氫和氦組成的**。

當時的天文學權威羅素看到論文後大為震驚，因為那時的人們相信恆星是由鐵、矽等重元素組成的，就像一顆燒紅的地球。在權威的壓力下，佩恩被迫在論文末尾寫下：『這個結論幾乎肯定是不真實的』(almost certainly not real)。

然而，真理是藏不住的。四年後，有其它的觀測證據證實她是正確的，羅素也大方承認了自己的錯誤，佩恩的發現讓我們明白，恆星不是遙遠的地球，而是宇宙中最原始、最純粹的氫氣熔爐。雖然她的學術之路充滿了性別歧視——她曾長期領著低薪、擔任沒有正式名分的教學工作。在女性主義高漲的1960年代，她的老師沙普利也積極為她開路，最終打破了天花板，成為哈佛大學文理學院史上第一位透過常規的晉升管道獲得正教授職位的女性，隨後更成為首位女性系主任。

今天，在我們天文館的圖書室裡，還收藏著她於1963年出版的教科書《恆星與星系演化》，如圖6。這不只是一本科學著作，更是

一位女性在寂靜的光譜中，對抗偏見、解鎖宇宙奧秘的生命見證。下次當你看著那七彩的光譜或彩虹時，請記得這群守望星空的女性科學家，是她們讓我們看懂了宇宙給我們的提示。

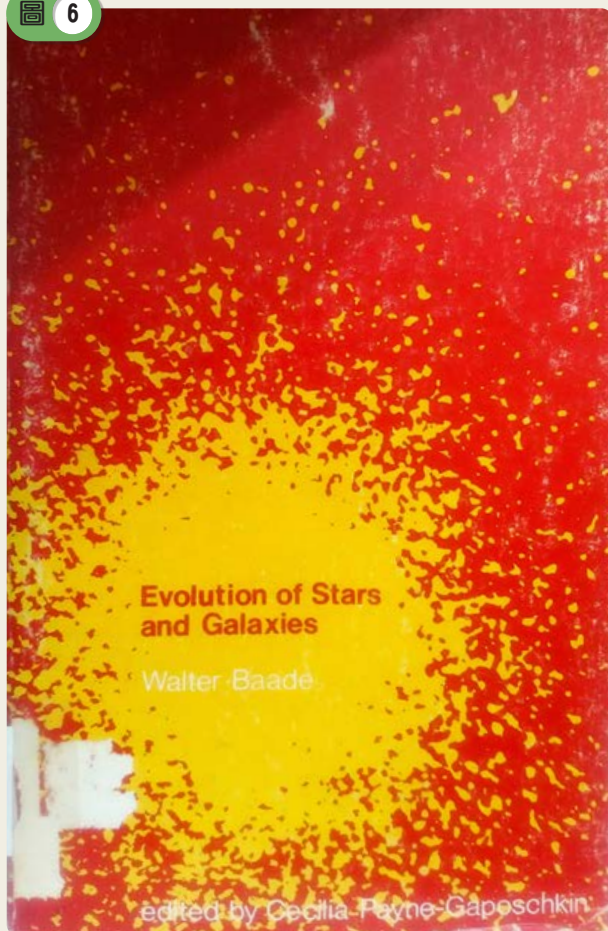
許晉翊：臺北市立天文科學教育館

圖 5



塞西莉亞·佩恩於哈佛大學天文臺拍攝的照片。影像來源：Smithsonian Institution Archives

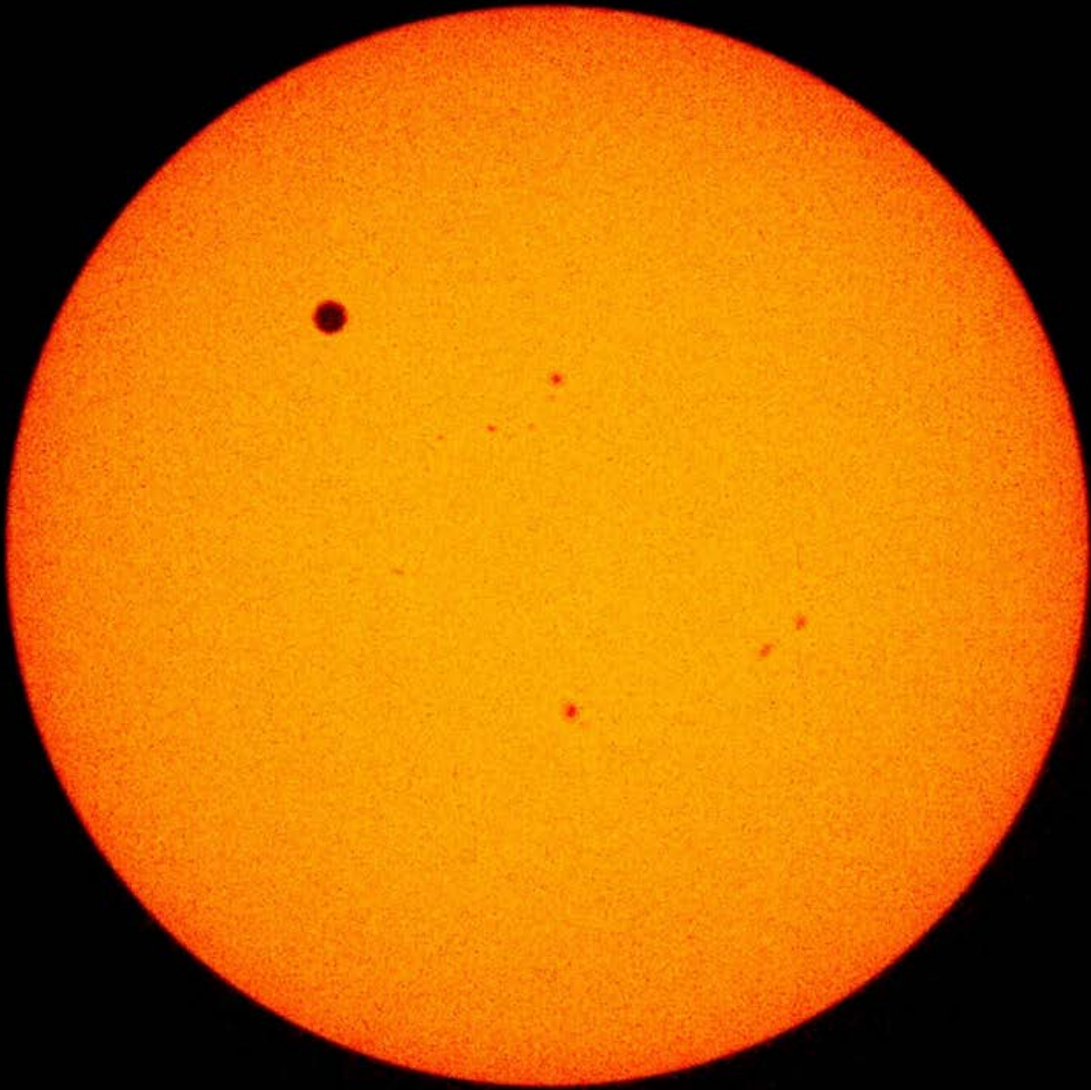
圖 6



《恆星與星系演化》原文書

在很長一段時間裡，人類一直在尋找一件看似基本、卻極其關鍵的答案：太陽到底距離地球有多遠？十七世紀以後，隨著太陽系結構逐漸被釐清，人類看似已經接近答案，卻也更清楚地意識到這個問題的棘手之處。棘手在於，地球到太陽的距離極為遙遠，根本無法直接量測，而任何試圖透過幾何方法推算的嘗試，都必須依賴極小的角度測量，使得微小的觀測誤差被放大成巨大的距離差異。

文／黃雋恆、段皓元

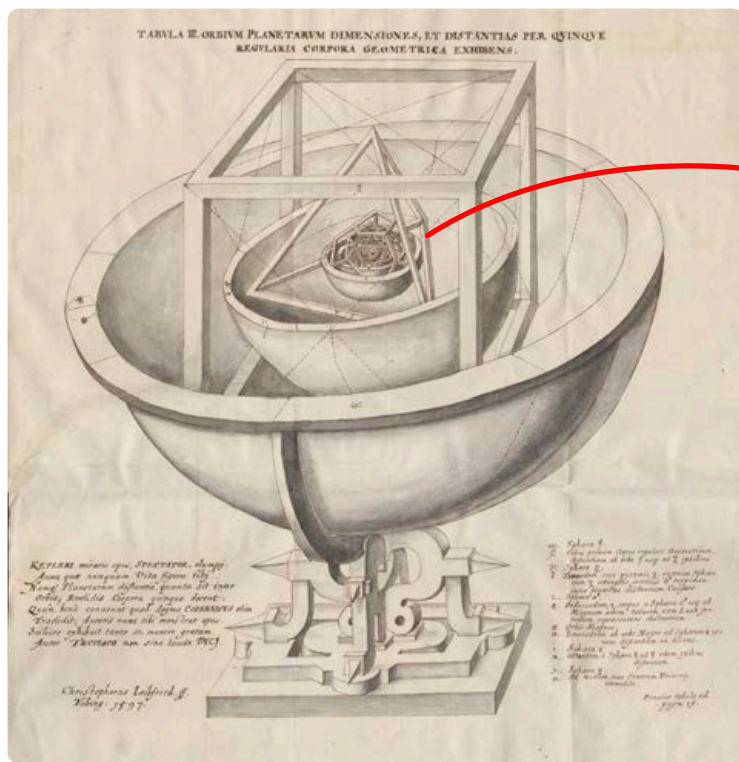


金星凌日影像。金星通過太陽盤面時，會在太陽表面形成可清楚辨識的黑色圓點。十八世紀天文學家正是利用這種天象，透過跨地域觀測與幾何方法，首次量測地球與太陽之間的距離。影像來源：NASA Earth Observatory

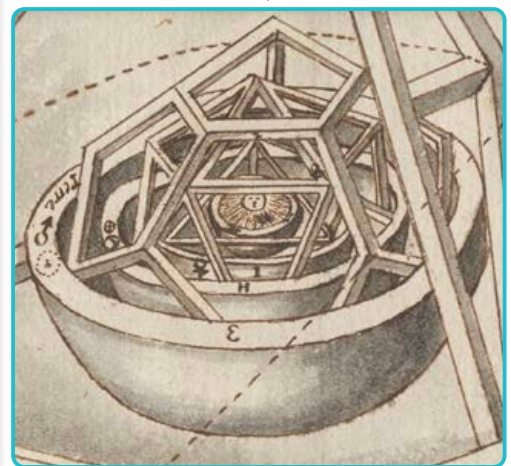
與此同時，克卜勒（Johannes Kepler）的行星運動定律揭示了行星繞太陽運行的數學規律，使行星之間距離的相對比例得以精確計算。於是，若把地球繞太陽的軌道半徑定為1，金星則約為0.72，火星約為1.52，一張比例正確的太陽系結構，終於浮現在人類眼前，如圖1。然而，這些比例所描繪的，只是行星軌道彼此之間如何排列，卻依然沒有回答那個最初、也是最根本的問題：地球到底離太陽有多遠？

一方面，除了人類本來的好奇心想知道太陽究竟離地球有多遠之外，這個距離一旦被量出來，行星之間的實際間距、太陽系的真實大小，乃至後續對恆星與銀河距離的測量，也都將隨之擁有明確的尺度基礎。正因如此，地球到太陽的距離不只是一個單一的天文數字，而是一把能把整個宇宙結構放到真實尺寸上的關鍵鑰匙。這個距離，後來被稱為天文單位（astronomical unit，記為au），也成了天文距離量測的第一塊基石。

圖 1



中央放大圖



這張出自克卜勒（Johannes Kepler）1596年著作《宇宙的奧秘》的經典插圖，具象化了他如何透過數學規律將太陽系的結構從混亂轉為秩序。他在16世紀末嘗試以嵌套的球殼與幾何體模型，證明行星軌道之間並非隨機排列，而是存在著嚴謹的幾何比例，也因此「行星距離相對比例得以被精確計算」。在此模型中，每一層軌道的間距都對應著行星間的數值關係，例如若以地球為1，金星約為0.72、火星約為1.52，使一張比例正確的太陽系藍圖終於浮現在世人眼前。然而，這張幾何架構雖然清晰地描繪了行星軌道彼此之間如何排列，卻仍只說明了行星間的相對位置，無法界定這套結構的絕對尺度，讓「地球到底離太陽有多遠」這個最根本的距離謎題，依然隱藏在這些精緻的數學規律之後。

這幅模型圖由外向內展示了當時已知的六大行星軌道，並透過五種正多面體填充其中的間隙。最外層的巨大球殼代表土星軌道，其內嵌套著一個正六面體（立方體），緊貼其內的球殼則是木星軌道；接著依序是嵌套在木星與火星軌道間的正四面體、火星與地球間的正十二面體、地球與金星間的正二十面體，以及最核心包覆著水星軌道的正八面體。克卜勒正是以此幾何構造，試圖解釋各行星軌道間距的比例規律，將當時人類所能觀測到的宇宙納入一個和諧的數學框架中。圖片來源：維基百科

## 哈雷的巧思： 利用金星凌日量測地球與太陽的距離

在極少數、可事先預測的特定日子裡，人們會注意到一個奇特的現象。如果你用安全的太陽濾光設備觀測太陽，會看到太陽圓盤上出現一顆非常小的黑點，緩慢地從一側走向另一側。那並不是太陽黑子，而是金星本身遮住太陽所形成的「剪影」。當金星剛好運行到地球與太陽之間，從地球視角看去它會通過太陽盤面，這個現象叫做「金星凌日」。

金星凌日稀有到什麼程度？它的出現有一個很特別的節奏：通常會成對出現，兩次相隔約8年，之後便要再等上一百年以上，才會迎來下一次。最近一次成對出現的金星凌日，發生在2004年與2012年，下一次則要等到二十二世紀。正因為發生間隔極長，這樣的天象在每個時代都只會被極少數人親眼見到。

十八世紀初，天文學家愛德蒙·哈雷（Edmond Halley），如圖2，提出了一個利用金星凌日來測量地球與太陽距離的方法。他正是那位成功預言哈雷彗星回歸的天文學家。哈雷的構想其實並不複雜：如果地球上相距遙遠的兩個地點同時觀測金星凌日，兩地所看到的金星在太陽盤面上走過的路徑，會出現細微差異，

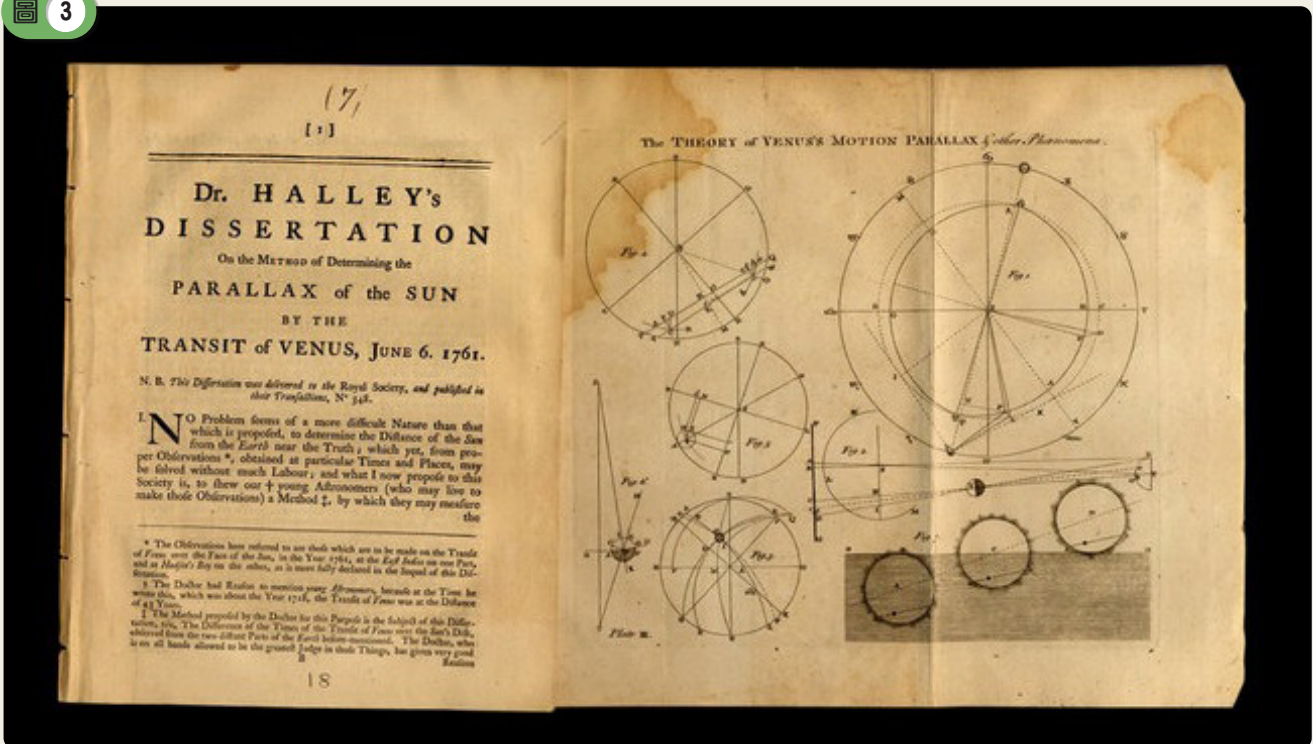
如圖3。這並不是因為金星改變了軌道，而是觀測者所處位置不同，導致視角不同。就像把手指伸到眼前，交替閉上一隻眼，手指相對背景的位置會左右移動一樣，這種因觀測位置不同而產生的視角差異，稱為「視差」。

圖 2



愛德蒙·哈雷（Edmond Halley, 1656—1742）肖像。哈雷於十八世紀初提出利用金星凌日觀測來量測地球與太陽距離的方法。雖然他本人未能等到實際觀測的時刻，但該方法於1761年與1769年金星凌日觀測中被實際運用。圖片來源：維基百科

圖 3



愛德蒙·哈雷於1716年提出利用金星凌日觀測測量太陽視差的方法。本圖為其原始論文中的示意圖，說明不同地點觀測金星凌日時所產生的路徑差異，並據此推算地球與太陽之間的距離。圖中展示了來自不同觀測位置的幾何關係，構成哈雷提出之金星凌日測距方法的核心概念。影像來源：維基百科

金星凌日提供了這樣的可能性。金星通過太陽盤面並非瞬間完成，而是持續好幾個小時。從金星第一次接觸太陽邊緣、完全進入太陽盤面，到最後從另一側離開，整個過程都對應到清楚而可辨識的時間點。由於不同地點的觀測者看到的金星路徑略有差異，金星穿越太陽盤面的總時間也會略有不同。相較於直接測量極小的角度，精確記錄這些關

鍵時刻通常更容易做到可靠，只要有穩定的時鐘與清楚的觀測紀錄，就能有效降低誤差。這種方法之所以可行，關鍵不在於金星本身，而在於它是在太陽盤面前移動；太陽提供了一個巨大、穩定且邊緣清楚的背景，使這些進入與離開的時刻能被不同地點的觀測者一致辨認，並直接加以比較，如圖4。

圖 4



由於金星凌日過程通常持續好幾個小時，且有巨大、邊緣清楚的太陽盤面做為對照背景，適合進行精確的觀測記錄。攝影：吳昆臻

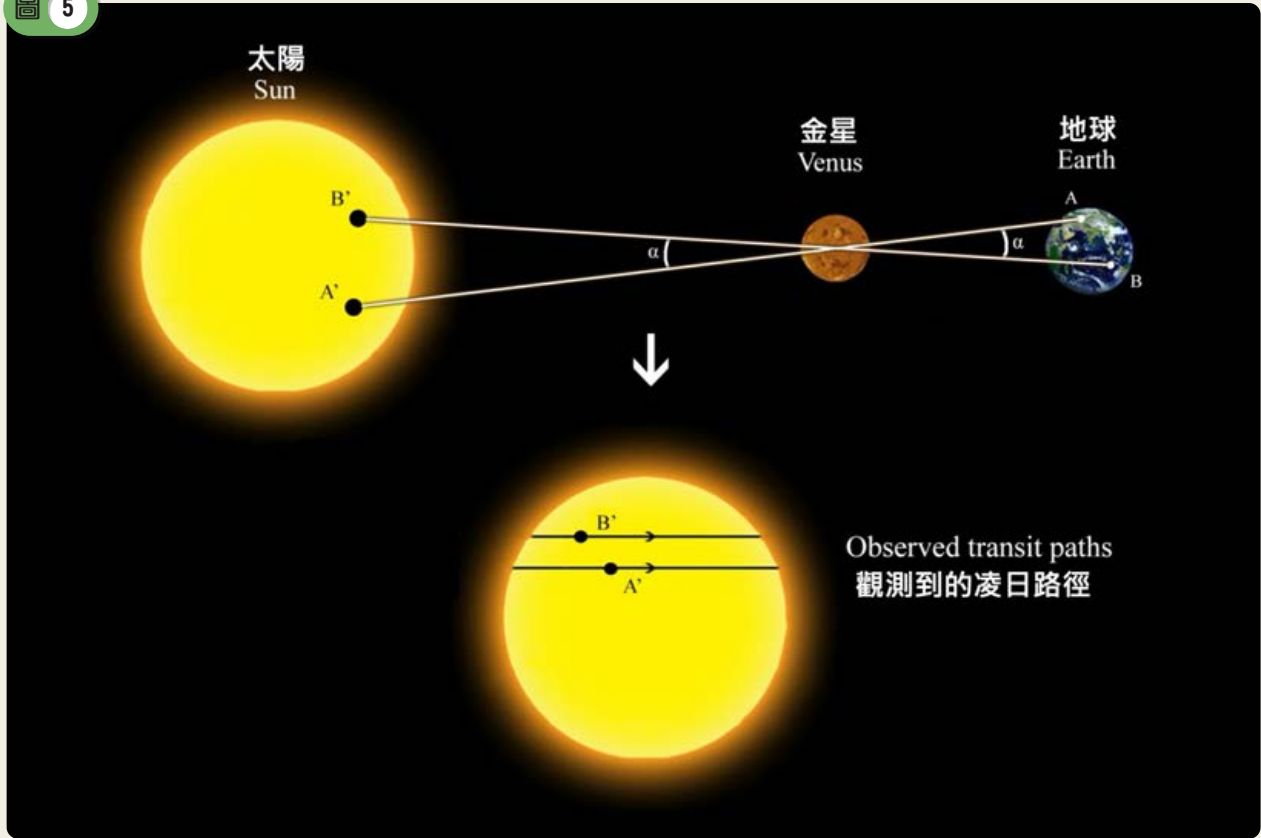
假設地球上兩個相距遙遠的觀測地點A與B，它們之間的距離是已知的。當兩地同時觀測金星凌日，由於觀測位置不同，看到的金星在太陽盤面上走過的路徑長短會略有差異。這種路徑差異雖然極其微小，但會反映在金星通過太陽盤面所需時間的長短上。有的觀測者會看到金星在盤面上停留得久一些，有的則較短。這些時間差，正是視角差在時間上的表現。因此，觀測者不需要測量金星在太陽表面偏移了多少角秒，只要比較不同地點所記錄的時間差，再結合地球上兩個觀測地點之間的實際距離，就能推算出對應的視差，進而反推出地球與金星之間的距離，如圖5。

需要強調的是，這套方法真正量到的，並不是地球到太陽的距離，而是地球到金星的距離。幸好，這

並不構成障礙，因為行星軌道之間的距離比例早已由克卜勒定律確立。以天文單位表示，地球繞太陽的軌道半長軸定為1，而金星約為0.72。當金星凌日發生時，金星正位在地球與太陽之間，因此地球到金星的距離約為1減去0.72，也就是0.28個天文單位。只要能將觀測中量到的地金距離對應到這個比例，地球到太陽的距離便能直接換算出來。

哈雷提出方法時，下一次金星凌日還要等好幾十年，他自己知道等不到。所以他留下了近乎遺囑式的呼籲，希望後世務必把握1761年與1769年這兩次金星凌日。結果這個呼籲真的改變了歷史。各國天文學家出發，遠赴全球各地架設望遠鏡，這幾乎是人類史上最早的大型國際科學協作之一。

圖 5



利用金星凌日測量地日距離的幾何原理示意圖。圖中右側的A與B代表地球上相距遙遠的兩個觀測地點。由於觀測者位置不同，兩地看向金星與太陽的視線方向略有差異，形成一個非常小的夾角 $\alpha$ ，稱為視差角。當金星通過太陽盤面時，這種視角差異不會表現為「金星位置的跳動」，而是表現為金星在太陽盤面上走過不同的路徑位置，分別標示為A'與B'。因此，從不同地點觀測，金星凌日的路徑在太陽盤面上會呈現出彼此平行、但略為錯開的軌跡。實際觀測中，天文學家並不直接測量這些微小的角度差，而是記錄金星從進入太陽邊緣到離開太陽邊緣所需的時間。由於路徑長短不同，金星穿越太陽盤面的總時間也會略有差異。這些時間差，正是視差在時間上的表現。只要結合地球上觀測點之間已知的距離，以及不同地點量測到的凌日時間差，就可以推算出地球與金星之間的距離。再利用行星軌道比例（例如金星與地球軌道半徑的已知比例），便能進一步換算出地球與太陽之間的距離。

## 當觀測遇上戰爭與天候： 一位觀測者的遭遇

當然，故事不會只停留在科學的浪漫之中。現實世界有戰爭、有極端氣候，也有各種難以預料的意外。十八世紀中葉，法國天文學家勒讓蒂（Guillaume Le Gentil），便成了這段金星凌日歷史中最令人唏噓的人物之一，如圖6。為了觀測1761年的金星凌日，他遠赴印度，卻恰逢戰爭爆發，最終只能滯留在海上，眼睜睜錯過觀測時刻。既然已經身在異鄉，他選擇留下來，等待八年後的下一次機會。然而，1769年真正迎來金星凌日時，壞天氣再次粉碎了他的努力，長年的準備在雲雨中化為烏有。更戲劇性的是，他返國途中一再延誤，離開法國長達十餘年。等到終於回到家鄉時，才發現財產、職位與家庭早已不復存在。勒讓蒂的經歷，常被用來提醒後人：科學史不只是一連串的成功紀錄，也是一段段與現實世界搏鬥的過程。

### 那最終有沒有成功呢？

有的。雖然許多觀測點因天候、戰爭或技術限制而未能取得理想資料，但來自世界各地的觀測結果仍然累積到足以進行分析的程度，使天文學家得

以首次對地球與太陽之間的距離做出量化估算，其精度以十八世紀的觀測條件而言已相當可觀。金星凌日讓天文學家第一次量出地日距離，並為太陽系建立起一個實際的距離尺度。從此，行星軌道之間的相對比例得以轉換為實際距離，而這一步，也成為後續各種天文距離測量方法得以發展的基礎，如圖7。

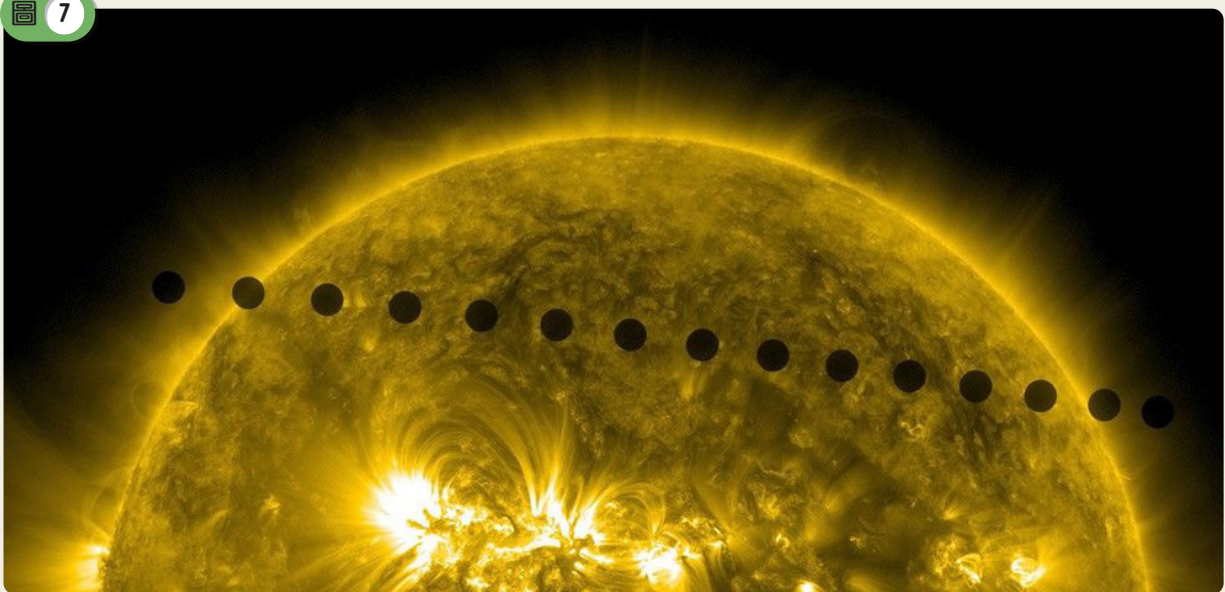
黃雋恒：淡江大學物理學系 學生  
段皓元：臺北市立天文科學教育館

圖 6



紀堯姆·勒讓蒂（Guillaume Le Gentil），十八世紀法國天文學家、法國科學院院士。曾嘗試自印度觀測1761年與1769年的金星凌日，以實踐哈雷提出的地日距離測量計畫，但因戰爭與天候因素未能成功。1935年，國際天文學聯合會將一座月球隕石坑命名為勒讓蒂環形山（Le Gentil）。圖片來源：維基百科

圖 7



金星凌日影像合成圖：同一次凌日過程中，金星在不同時間點的位置被疊合在同一張太陽影像上，呈現其穿越太陽盤面的路徑，並以多個波段呈現太陽大氣結構。此類凌日觀測曾被用來推算地球與太陽之間的距離。圖片來源：NASA/Solar Dynamics Observatory



女性天文學家

## 為美國第一顆衛星注入能量的化學家—瑪麗·謝爾曼·摩根

文／劉淑雯、黃譯平

當你滑著手機查看氣象預報，或透過Google Map尋找餐廳時，這些生活上便利的科技，其實都仰賴天空中環繞地球、肉眼看不見的人造衛星。那麼，這些人造衛星究竟是如何被送上太空呢？現今大家已能理解必須依賴「火箭」，就像一次性的太空電梯，將這精密的機器發射到太空。但是要讓一顆衛星成功繞行地球，並不只是「把它送上天」那麼簡單。真正的關鍵在於燃料系統能否穩定釋放能量，在極短時間內產生足夠推力，克服地心引力，並精準控制速度與方向；推力不足，衛星無法進入軌道，過大則可能偏離路徑甚至解體。



瑪麗·謝爾曼·摩根

### 發射升空的探險家1號衛星



在第二次世界大戰後的1950年代，正值美、蘇太空競賽的初期，美國的太空火箭研發受到引擎推力不足的困難所苦，無法將人造衛星推送至繞地軌道高度。而在1957年，蘇聯率先連續將史波尼克1號、2號衛星送上太空，讓美國已無多餘時間修改推進系統，所幸瑪麗·謝爾曼·摩根及時研發出高效率、推力強大的液態火箭燃料「海達因」(Hydine)，在不需修改推進系統的條件下，大幅提升火箭引擎的推力，並藉此於1958年將美國的第一顆衛星「探險家1號」(Explorer 1)順利送上繞地軌道，讓美國在接下來的太空競賽中逆轉情勢，因此被稱為「拯救美國的女孩」，並對於太空科技的發展做出重大貢獻。肖像來源：Patrick Murfin、底圖來源：NASA

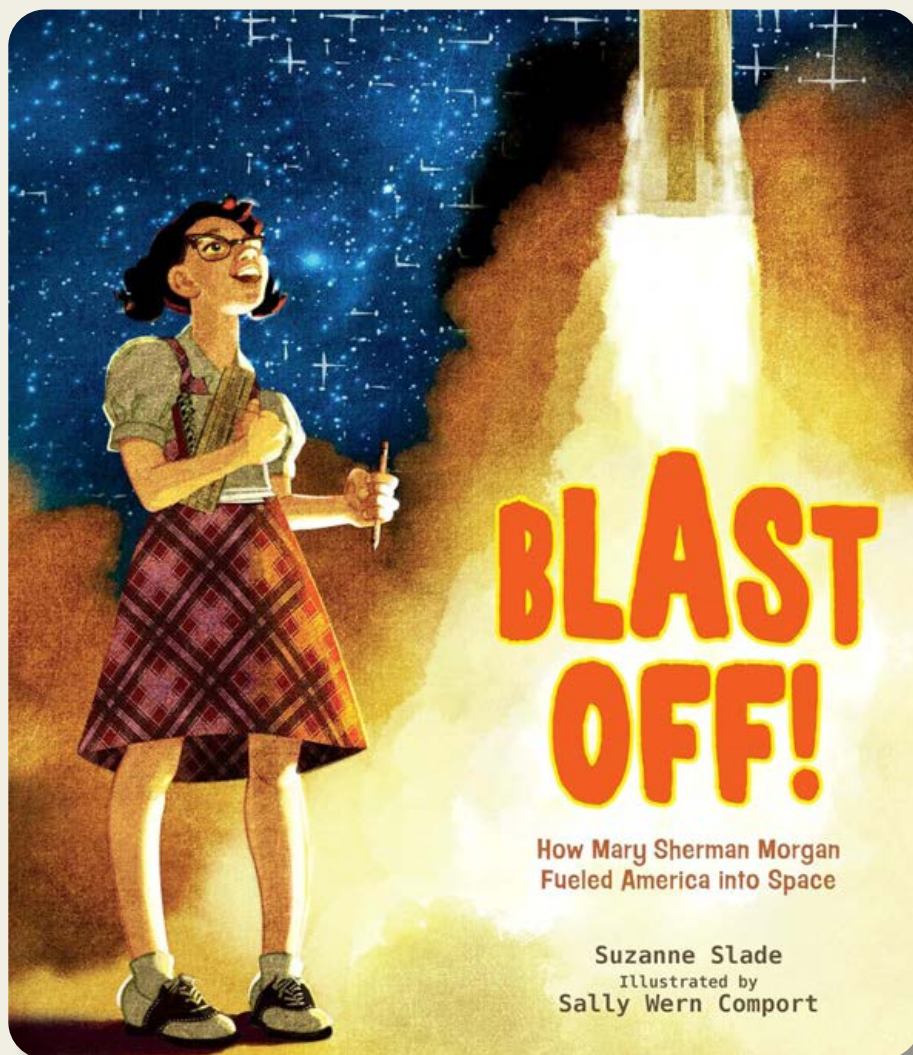
在1957年，蘇聯成功將世界第一顆人造衛星送入地球軌道，揭開了太空競賽的序幕。當時國際強權冷戰背景下，這項成就對美國而言不只是科技落後，更是國家顏面的重大挫敗，因此，美國迫切需要在最短時間內，成功發射自己的衛星。然而，當時火箭推力不足的問題很快浮現，若重新設計至少需要數年時間，「燃料」便成為必須突破的關鍵。

就在工程團隊一籌莫展之際，這個幾乎不可能完成的任務，最終竟由一位出身農家、沒有大學文憑的女性化學家完成。她的名字是瑪麗·謝爾曼·摩根（Mary Sherman Morgan, 1921~2004），

正是她的化學專業知識和精細計算，發明了液態燃料「Hydne」，為美國第一顆衛星「探險家1號（Explorer 1）」注入了足以突破地心引力的重要能量。

## 在爆炸中計算的化學家

《Blast Off! : How Mary Sherman Morgan Fueled America into Space》這本繪本描述科學家瑪麗·謝爾曼·摩根的故事。她出生於美國北達科他州一個貧困的農戶家庭，童年時每天必須負擔大量的農



務，直到8歲因社工發現和強制介入，父母才送她上學，開始接受正規教育。

雖然起步較晚，她卻迅速展現出對科學，尤其是化學的高度興趣和天賦，高中更以第一名的成績畢業。但即使成績優異，瑪麗仍未獲得家人支持繼續升學，她一邊辛苦打工存錢、一邊申請獎學金，終於進了大學，卻又再次因為經濟困難而被迫輟學。

此時世界正爆發二戰，大量男性投入戰場，工業生產急需補充人力。瑪麗因此進入學校附近的化學工廠工作，累積了處理高風險化學品的經驗。在戰後，當北美航空公司（North American Aviation，

簡稱NAA）開始招募火箭燃料研發人員，儘管瑪麗並不符合必須具備完整學歷的資格，憑藉亮眼的化學成績與紮實的實務經驗，最終獲得破格錄取。

在那個年代「科學是男人的事」，瑪麗卻是部門近九百名工程師中唯一的女性，她所參與的任務，是一項高度機密的火箭燃料研發計畫。

在無數次計算、調配與測試後，第一次點火卻以失敗告終，當團隊開始討論可能的責任歸屬時，瑪麗沒有為自己辯解，而是回到數字之中，重新檢視每一個假設與計算。最終，她成功調配出關鍵燃料，讓火箭突破大氣層，將人造衛星送上太空。

### 液態火箭燃料「海達因」

液態火箭燃料「海達因」（Hydyne），編碼為MAF-4，是一種由60%的偏二甲肼（UDMH）和40%的二乙炔三胺（DETA）組成的混合物，如圖1，由瑪麗·謝爾曼·摩根所帶領的團隊於1957年研發成功，並藉此利用朱諾1號火箭（Juno 1）成功發射了美國的第一顆衛星「探險家1號」（Explorer 1）。

當時在美國的前德國火箭科學家馮·布朗（Wernher Magnus Maximilian Freiherr von Braun）計算，若要以朱諾1號火箭載運探險者1號送上繞地軌道，仍缺少8%的推力。而液態火箭燃料「海達因」讓火箭引擎的推力增加12%，及時解決了載運火箭推力不足的問題。之後，瑪麗·謝爾曼·摩根進一步將海達因與液態氧以特定比例混合，研製出推力更強大的海達因-液態氧推進劑（Hydyne-LOX）。

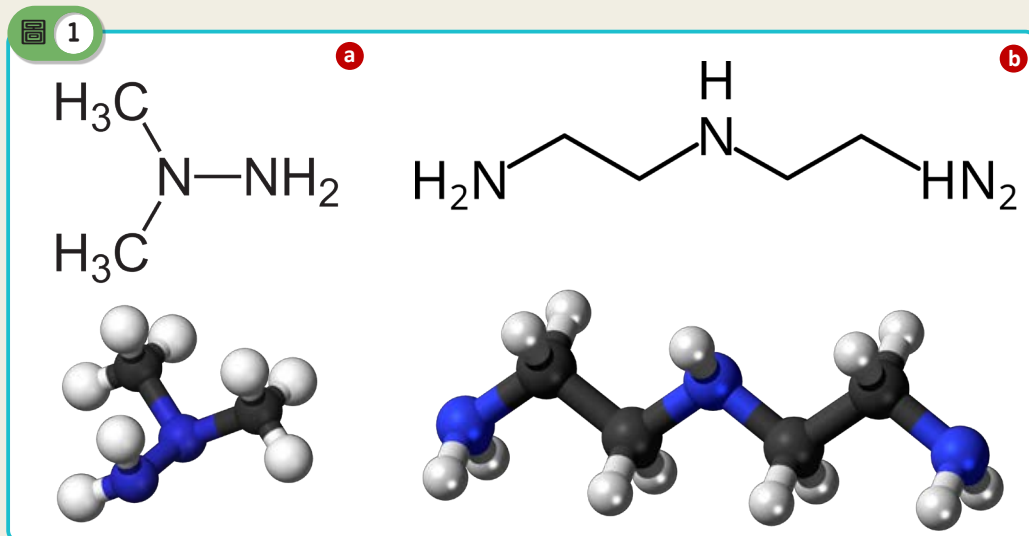


圖 1 a 為偏二甲肼（UDMH）、b 為二乙炔三胺（DETA）的分子結構式與立體構造示意圖。圖片來源：維基百科

## 瑪麗·謝爾曼·摩根對於太空、國防科技的貢獻

瑪麗·謝爾曼·摩根在太空與國防科技發展中佔有極為重要的地位。除了將美國第一顆衛星送上太空之外，「海達因」也應用於許多其他領域，例如首次將太空人送入繞地軌道的「水星計畫」，如圖2，以及美國首度成功研發的第一種中程戰略彈道飛彈「紅石飛彈」，如圖3。在發展初期，這些計畫均使用「海達因」與其他液態燃料混合的火箭推進劑。以上成就成為人類邁向太空的重要起點，如圖4。



圖 2 美國首次載人進入繞地軌道的「水星火箭」。影像來源：NASA



圖 3 1950年代同樣是美、蘇兩國進行軍備競賽的初期階段，此時美國成功研發出中程戰略彈道飛彈「紅石飛彈」，也採用了海達因與其他液態燃料的混合推進劑。影像來源：維基百科

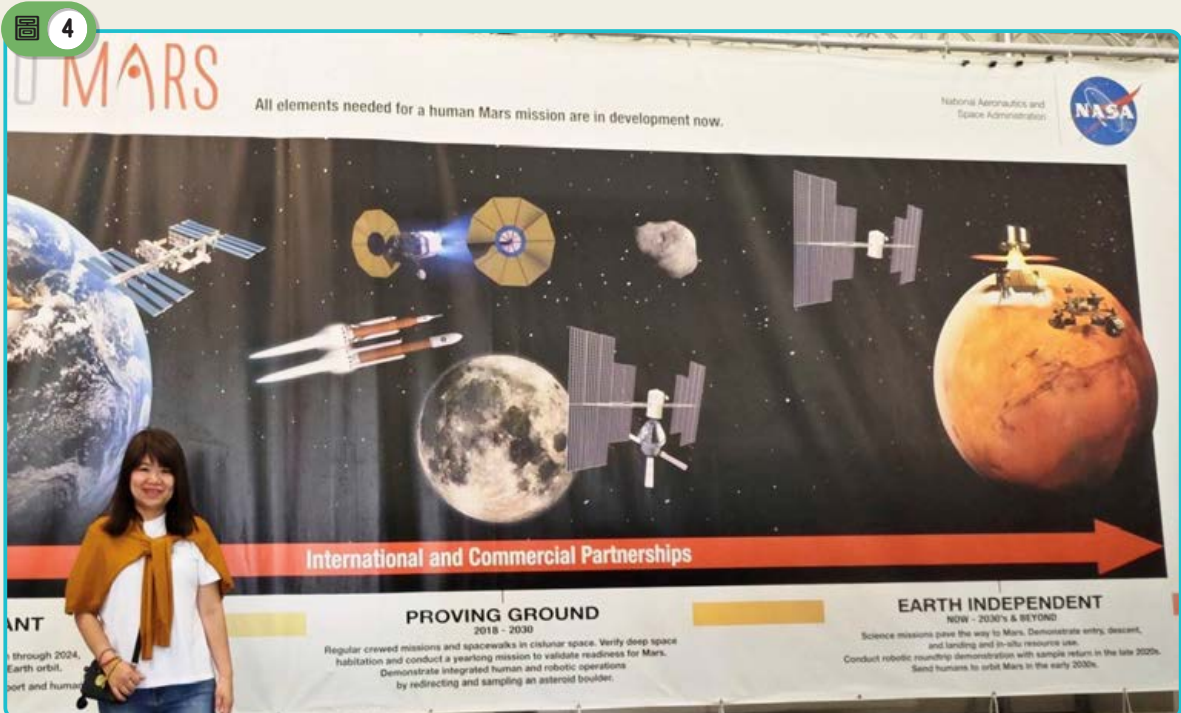


圖 4 從人造衛星、登月計畫到火星探索，摩根研製的火箭液態燃料技術正是這張藍圖的起點。作者於NASA攝影

## 困境與挑戰

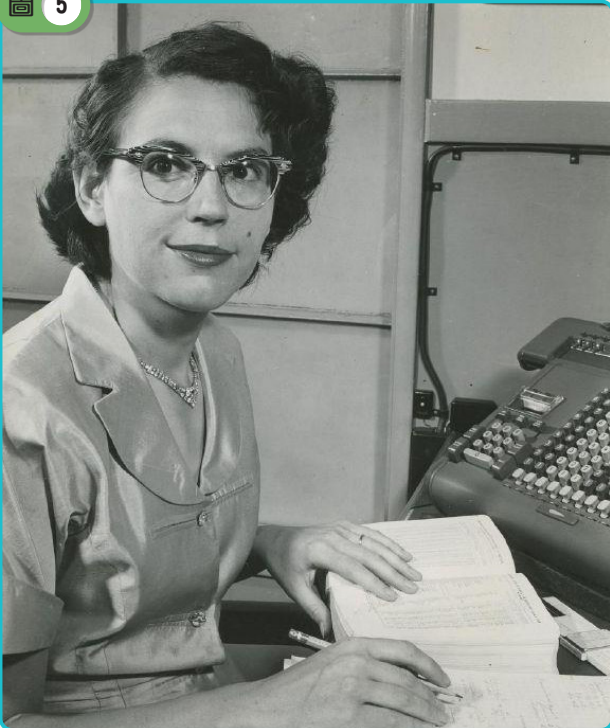
對當時的北美航空而言，「瑪麗」的存在，本身就是科學體制中的一種「例外」。她既沒有完整的學歷背景，又身處高度男性化的研究環境，卻被賦予國家使命的機密任務，如圖5、圖6。

在研發過程中，任何一次失誤，都可能引發質疑與輿論。她不僅必須在高度保密的狀態下承擔研究責任，還得在反覆試驗與高失敗風險中持續工

作。在這樣的條件下突破既有的燃料技術瓶頸，其困難程度，早已超出單純的科學問題。

當無數次的計算與測試，終於換來成功，瑪麗完成了幾乎不可能的任務。然而，在那場象徵榮耀的發射現場，卻沒有她的身影。那一刻，她無法站在控制中心，只能獨自坐在家中的電視機前，像一名「觀眾」，看著火箭劃破天空、升空而去。關鍵的貢獻完成了，歷史性的瞬間卻沒有為她預留位置，她只能在螢幕另一端，旁觀這一切的發生。

圖 5



在北美航空公司工作的瑪麗·謝爾曼·摩根。影像來源：Women Rock Science

圖 6



正在進行發射測試的中程戰略彈道飛彈「紅石飛彈」。影像來源：U.S. Army

## 共讀故事與思考

這本書讓我們認識了一位重要的幕後功臣，也帶給我們兩個可以深入思考的面向，從過去瑪麗的角度，尋找未來必備的真實力。

### 「實力」與「學歷」何者更重要

瑪麗雖然沒有完成大學學業，但她擁有解決問題的能力。這讓我們思考，在AI的時代，「獲取知識」變得輕而易舉，單純擁有知識的價值正在貶值。「學習如何學習」以及「如何解決問題」，才是現在的真實力。對學生來說，成績單上的分數將只是基本入場券，更重要的是如何將知識轉化為解決問題的燃料，才是更勝他人的關鍵。

### 「失敗」也是成功的燃料

科學實驗是充滿變數的過程，但瑪麗面對的不是普通的燒杯破裂，而是每一次點火都燃燒掉數百萬美元，甚至攸關國家顏面的巨大賭注。當第一次測試失敗時，瑪麗承受著各方壓力，而她心中恐懼的不是個人的議論，而是「大家會不會因為這次的爆炸，就此放棄了火箭計畫？」。強烈的信念，支持她繼續在數字中尋找答案，將眼前的廢墟，轉化為下一次升空的燃料。

## 提問與延伸討論

- ①如果像瑪麗一樣「整個部門只有自己一位女性，而且不受重視」，你將會有什麼感受？在這樣的情況下，你會選擇沉默、堅持，還是尋求改變？為什麼？
- ②在燃料測試失敗、甚至引發爆炸之後，是什麼力量讓瑪麗願意再次嘗試？
- ③為什麼如此關鍵的科學貢獻者，卻沒有出現在火箭發射的歷史現場？你覺得這與當時的性別角色、社會制度或期待有什麼關係？
- ④如果你是瑪麗身旁的人（例如同事、朋友、家人），當她被忽視、獨自承擔巨大壓力時，你可以實際做些什麼來支持她？

## 結語：她沒有造火箭，但她給了火箭飛向太空的關鍵力量

瑪麗·謝爾曼·摩根沒有站在鎂光燈下，卻在看不見的地方，為歷史注入了決定性的能量。她的故事提醒我們，偉大的成就，往往不是來自最顯眼的位置，而是來自那些默默承受風險、反覆計算、願意負責、具有真實力的人。

當我們仰望劃破天際的火箭尾焰時，也許更值得記住的，是那位曾獨自燃燒、卻改變軌道的化學家瑪麗·謝爾曼·摩根。

劉淑雯：臺北市立大學 退休教授 黃譯平：用繪本談SDGs，與國際教育接軌一書作者



天文攝影實戰教學

EASY 拍星空 50

## 手機拍星空 I Android手機篇

智慧型手機問世十餘年來，已成為生活中不可或缺的標準配備。手機相機不僅畫素越來越高，能記錄更多細節，且隨著長時間曝光能力與雜訊抑制等夜拍技術的進步突破，再加上搭配大光圈鏡頭，只要好好運用手機功能，就能輕易拍攝星空照片。〈EASY拍星空〉將分享手機拍攝星空的秘訣，本篇就從Android手機的實戰技巧開始介紹。

文／吳昆臻



善用手機的拍攝功能，就能輕鬆記錄眼前的星空美景。拍星空並不侷限於完全無光害的區域，即便身處都市，也能透過簡單的操作拍攝眼前的星空。

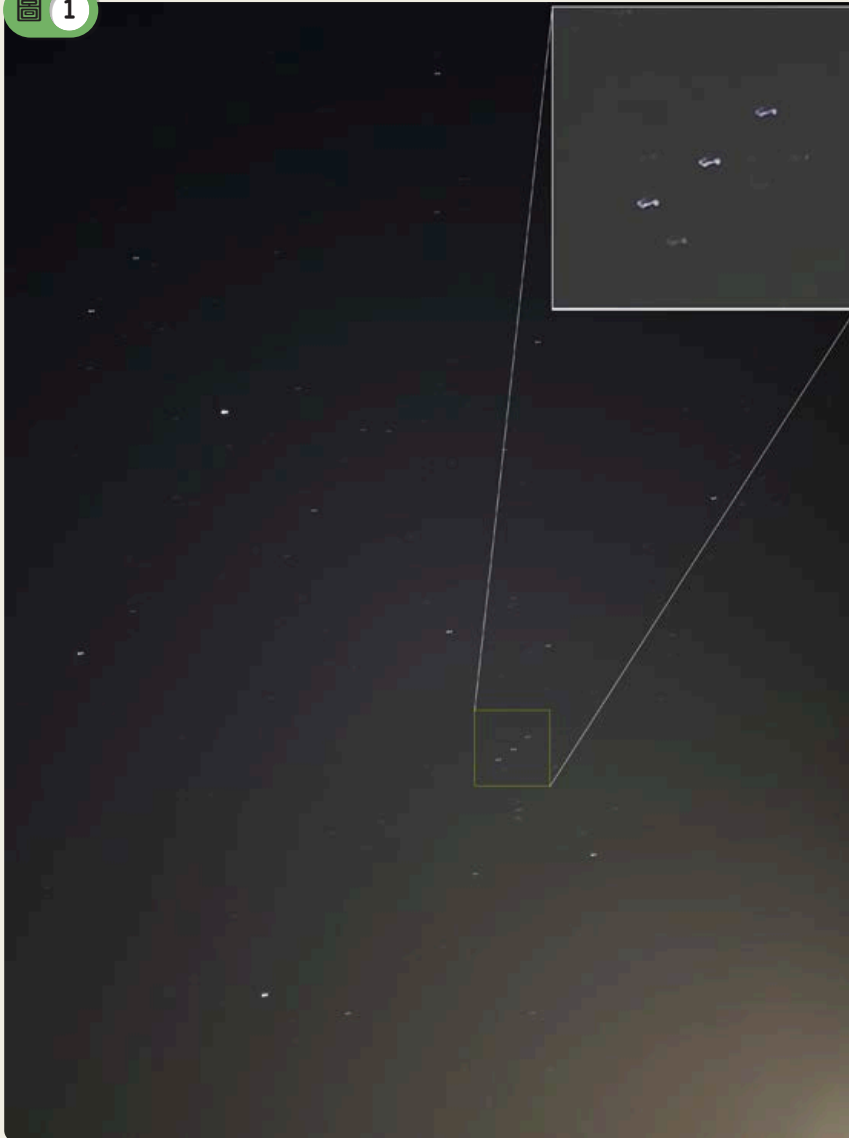
2026/2/14攝於宜蘭市

## 手機固定攝影拍星空

手機要拍星空，相機必須具備數秒甚至更長時間的曝光能力。市面較新的機型多有夜間模式，甚至能進行長時間曝光，透過正確的拍攝方式，便能記錄下眼前的繁星；而高階手機的單幅曝光時間甚至可達30秒，在無光害的環境下能累積更多光線，將肉眼不可見的微弱星光記錄呈現。

拍攝過程中，手機必須保持絕對靜止，若直接手持拍攝，極難保證拍攝期間完全不產生位移，放大檢視常會發現星點有拖線情況，如圖1。要確保拍攝過程中手機完全固定不動，必備工具為三腳架及手機夾座，將手機穩固架設，如圖2，也使相機能有足夠時間對星空進行對焦；此外，建議搭配藍牙遙控器（或利用手機觸控筆）來觸發快門，以徹底避免手指按壓螢幕瞬間造成的細微晃動。

圖 1



以手持方式拍攝星空的影像，雖可見到星星被拍下的情況，但放大檢視後，可見到星點因拍攝過程手持不穩呈現抖動現象。

圖 2



使用手機夾座即可將手機架設於三腳架上固定，確保拍攝過程手機是固定不晃動的，手機夾座與三腳架連結可參考〈EASY拍星空2〉示範影片片段。

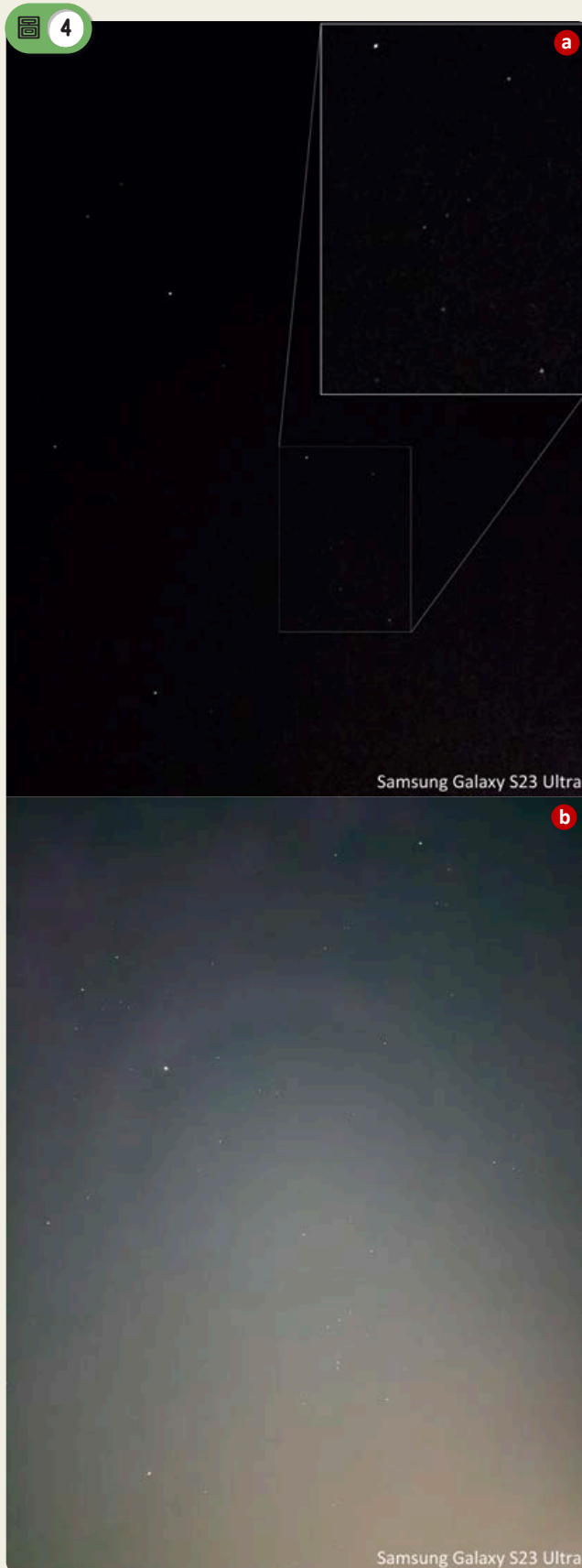
## Android手機拍星空 一般模式 & 夜間模式

拍攝任何場景皆須先對焦，拍星空時則需先確保相機對焦於星斗，亦即「無限遠」的位置。較新型照相手機具備較優異的感光能力，通常可直接針對星空對焦；當相機準確合焦時，螢幕上會見到較明亮的星星浮現，即可按下快門拍攝，如圖3，若無法自動對焦，則需改用手動方式設定，將另於後面章節介紹。

使用照相手機一般模式直接拍攝星空，影像會整體黑漆漆，僅能拍下螢幕預覽顯示的幾顆亮星，如圖4 a，在拍星空及微光環境下，部分相機會自動啟動「夜拍模式」，畫面邊緣會出現月亮符號，如圖3右下角圖示，攝得影像如圖4 b，或於點選「更



較新型手機感光能力較強，能自行對焦到無限遠，取景過程即可在螢幕上預覽2等以上亮星。



a 一般模式下拍星空，僅能拍較明亮的星星，影像整體偏暗。b 部分相機會有夜拍模式，攝得影像星空已清晰可見。

多」於選單中開啓「夜間」模式，如圖5。在昏暗環境下開啓此模式，系統會自動提高ISO並拍攝多幅短曝光影像並進行演算合成，攝得的影像已能將肉眼所見的星空情況拍攝下來，甚至可以拍到更多肉眼看不見的星星，如圖6；夜拍及夜間模式總曝光時間皆需數秒鐘，拍攝過程手機必須保持固定不動，直接手持影像中的星點會有如圖1抖動情況。



在相機中點選點選「更多」即可於選單中開啓「夜間」模式。



不同手機夜間模式拍攝的星空，**a** 為入門等級手機夜間模式最長曝光時間3秒，得到的影像整體偏暗，但已能將眼前可見星星拍攝下來；**b** 為高階手機夜間模式曝光累積6秒影像，不僅拍下更多肉眼不可見暗星，連同背景光害也記錄呈現。

## Android手機拍星空 專業模式

Android手機除使用夜間模式拍攝星空外，另外還具備「手動模式」或「專業模式」，如圖7，能針對拍攝需求自訂參數獲取比夜間模式更多的曝光，各參數控制設定如下，如圖8：

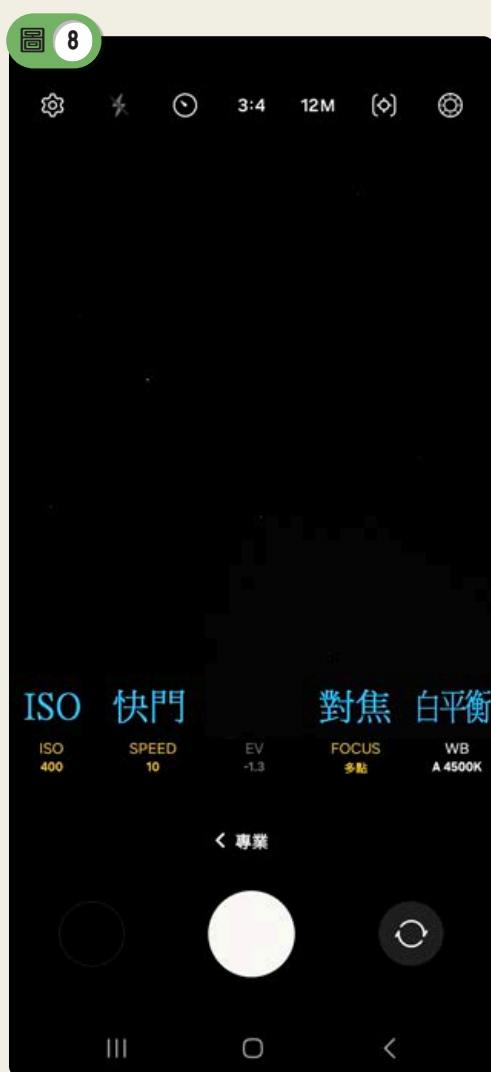
- ①**ISO（感光度）**：決定影像加亮的程度，數值越高影像越亮，但同時也會放大雜訊。拍攝時可先設定較高ISO以利於取景構圖，待其他參數設定完成後，再透過延長曝光時間並降低ISO，以獲取雜訊較低、品質更高的影像。
- ②**SPEED（快門）**：決定曝光時間。曝光越久可以

累積愈多光線，建議先從1至4秒拍起，節省等待時間，並以倍數增減（如2秒、4秒、8秒）來觀察亮度變化，待影像接近理想亮度後再進行其他調整。

- ③**Focus（對焦）**：決定相機對焦位置。若相機對焦能力強，可直接使用AF（自動對焦）針對星空對焦，合焦時螢幕可見亮星星點；若自動對焦困難，可點擊螢幕上的亮星或遠方燈火引導相機對焦，或改用MF（手動對焦）將亮星星點調至最細小、最銳利的狀態。
- ④**WB（白平衡）**：決定影像的色調，除可設AUTO（自動）由相機偵測決定外，在光源單純的環境下可將色溫設於4,800K左右，固定白平衡可使同一系列影像色調一致。



Android手機在相機中點擊開啓「更多」，即可開啓專業（手動）模式。



在專業模式中可設定ISO、SPEED、Focus、WB基本4個選項，初始可皆設於自動，再依需求調整參數。

## 專業模式設定步驟

### 步驟 1 預設自動

拍攝初期可先將各項參數設為自動，讓相機自動判斷環境設定參數。

### 步驟 2 確認對焦

若手機無法自動對焦，可改採手動對焦，將對焦位置固定在無限遠，以避免自動對焦在微光環境下失效或失誤。

### 步驟 3 調整影像亮度與取景構圖

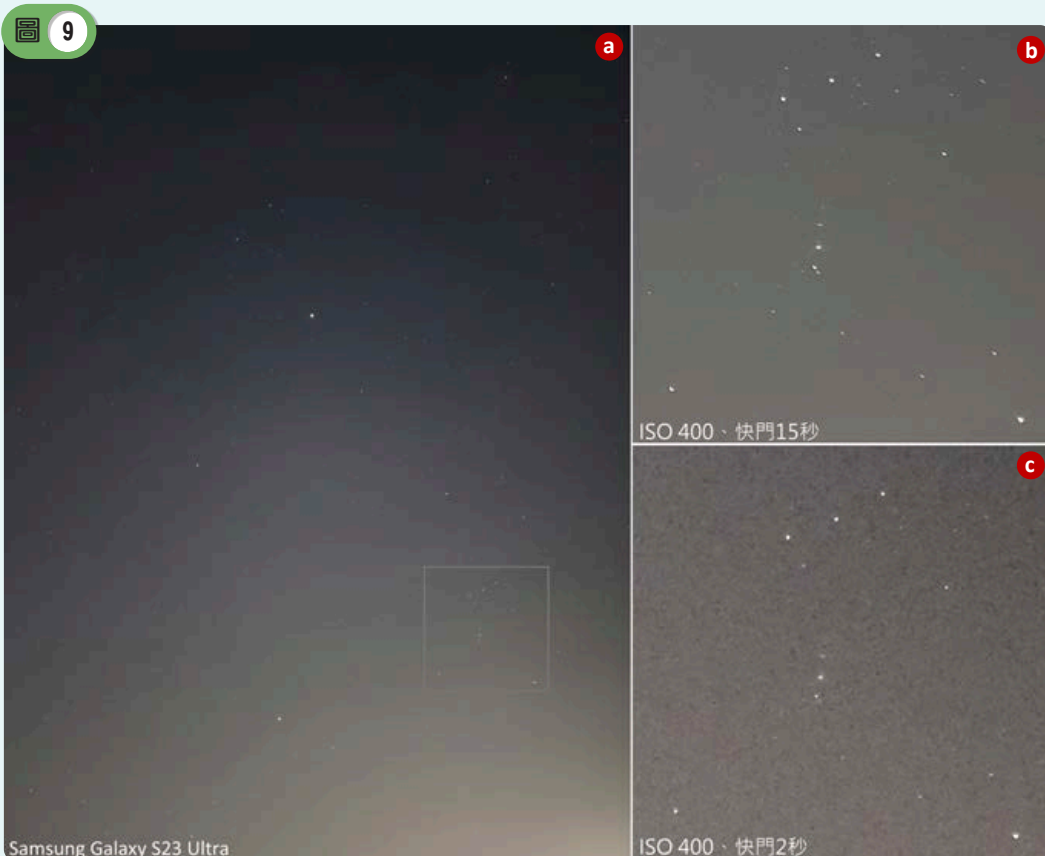
影像亮度由快門與ISO共同決定。原則上曝光愈久、ISO愈高，影像整體會愈亮，需將兩數值調至平衡點，使畫面不至於過亮或過暗。操作過程可先將ISO調整至最高，並搭配適當快門進行取景構圖。

### 步驟 4 確認星點情況與影像雜訊

調整至低ISO，並搭配適當長時間快門，完成試拍後放大檢視影像，確認星點是否有因長時間曝光與地球自轉而產生位移，若有可縮短曝光時間，同時提高ISO以保持影像亮度；ISO設定需注意影像背景雜訊是否偏高導致顆粒感重或影像細節降低，若各方面允許長時間曝光與低ISO中間是最佳選擇。

### 步驟 5 色調調整

檢視攝得影像色調是否偏移，若需調整可手動調整白平衡數值。



相同曝光程度、不同曝光參數拍攝比較：

**b**、**c** 為不同參數影像局部擷取放大情況，可明顯看出以低ISO較長時間曝光影像，**b** 在影像品質、暗星多寡、背景雜訊、細節均優於以高ISO短曝光的影像 **c**。

## 不同模式拍攝比較

前面我們介紹了Android手機相機三種不同的拍星空模式：一般模式、夜間模式（部分高階手機另有夜拍模式）以及專業模式。比較拍攝成品後可以發現，入門等級手機以專業模式拍攝，如圖10，能獲得最佳效果。高階手機的夜拍模式，圖4**b**，與夜間模式，如圖6**b**，雖都有不錯的表現，但與專業模式，如圖9相比，夜拍模式的背景有時會因後製過度產生不連續的色階情況；夜間模式也因單幅曝光較短且後製演算較多，犧牲了一些細節。

專業模式能更細膩地掌控影像亮度與細節，若有足夠時間調整拍攝參數，專業模式會是拍攝星空最佳選擇。此外，部分高階機種支援以Raw格式儲存檔案，如圖11，能保留原始拍攝數據，提供後續有後製需求的拍攝者更大的後製及影像調整空間，如圖12。

圖 10



入門等級手機以專業模式拍攝星空影像：

入門等級手機以專業模式拍攝，只要妥善設定拍攝參數，在有光害的環境下依然能忠實記錄下眼前的星空情況。

圖 11



設定Raw格式儲存：

支援Raw格式儲存的手機，可從「設定」進入「進階相片選項」中，開啓Raw格式儲存功能。

圖 12



Raw格式影像經後製處理效果：

本篇拍攝範例以冬季星空為主，各影像皆可見冬季大橢圓區域範圍內的主要星座及亮星，拍攝現場肉眼隱約可見3等星，手機拍攝影像最暗可記錄至近3等星。

## 手機拍星空題材

本篇示範影像均是在有光害的區域拍攝，相信只要掌握技巧，您的手機也能拍下眼前的星空；此外，金、木、水、火、土各行星皆相當明亮，即便在有光害的都市也能進行拍攝，如圖13，行星拍攝可參考先前教學專文：〈EASY拍星空29固定攝影拍金星〉、〈EASY拍星空30固定攝影拍水星〉及〈EASY拍星空31固定攝影拍火星、木星、土星〉；只要好好運用手機相機功能，手機也能對星空及天象進行多種觀測記錄。

本篇詳細介紹用Android手機拍星空操作及設

定，由於不同品牌及位階手機的拍攝模式與運算效果略有不同，建議讀者在使用時，不妨針對自己手機進行測試與比較，找出最適合該機種的拍攝方式；也不妨為手機添購專用夾座與三腳架，才能發揮手機最佳性能，拍下美麗的星空。〈EASY拍星空〉下一期將繼續介紹用iPhone手機拍攝星空及相關應用方式，敬請期待。

吳昆臻：臺北市立天文科學教育館



粉絲專頁：Kenboo 愛看星星的昆布

<https://www.facebook.com/AstroKenboo/>

圖 13



行星亮度較高，只要掌握其出現的方位與時間，使用手機也能輕鬆進行拍攝記錄。

# 死與新生—宇宙的生命輪迴

文／謝翔宇

位於畫面中央那團璀璨的發光星雲，一直被誤認為是恆星臨終前的嘆息，然而當天文學家使用甚大望遠鏡（Very Large Telescope，簡稱VLT）凝視它的細節時，才驚喜地發現畫面中名為Ve 7-27的天體，其實是顆年輕原始恆星，正噴射出充滿能量的絢爛噴流，彷彿新生兒充滿生命力的啼哭，響徹周遭的宇宙。

不過在恆星的生命當中，新生與死亡也是緊緊相依著的。畫面中央偏左那抹淡淡的黃綠色光暈，裡面藏有船帆座小超新星殘骸（Vela Junior supernova remnant）遺留的中子星。恆星死去的同時，在劇烈的爆炸中融合成無數元素，並拋撒向廣袤的星際空間。如今這些來自死亡恆星的星際雲氣，也同時包覆並孕育著Ve 7-27這顆新生的天體。

恆星的死亡與誕生，在這個距離我們4,500光年遠的宇宙深處同時發生。構成我們地球與人類的元素，也曾經歷過這樣星際的旅程，想一想這是多麼浪漫的事情！

網址：<https://www.eso.org/public/images/potw2604a/>



來源：ESO/J. Suherli et al.

# 美星映象館

Astronomical photo gallery

責任編輯／吳昆臻

## Sh2-308 海豚星雲 黃崑峯



▲ 時間：2025/12/21～2025/12/22

地點：南投縣仁愛鄉清境農場觀星園

儀器：Askar APO140望遠鏡、ZWO ASI6200MM冷卻相機、Antlia 3nm HO濾鏡、ZWO AM5赤道儀

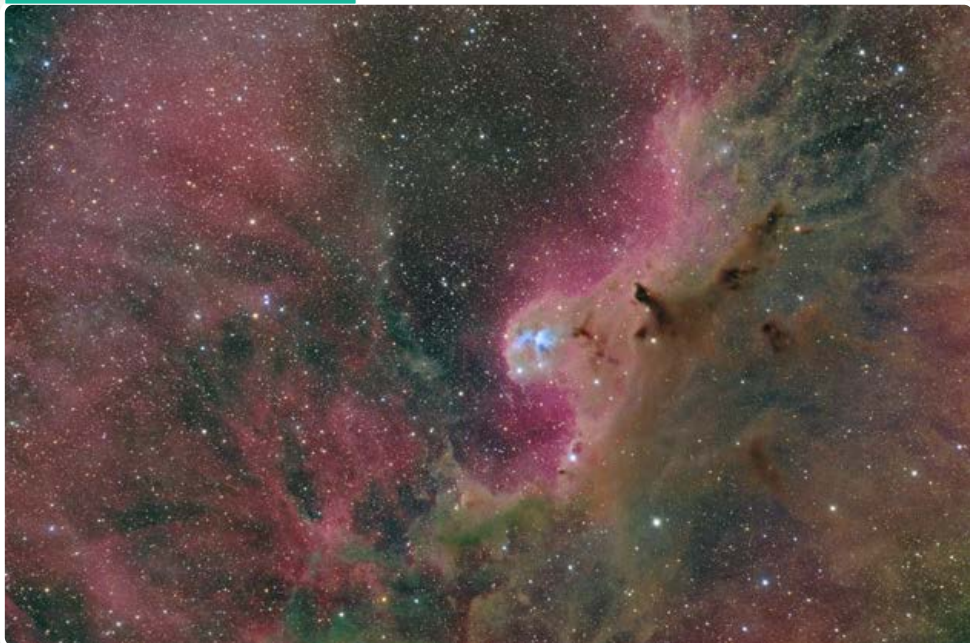
參數：H $\alpha$  5分鐘×21幅、O III 5分鐘×43幅，總曝光5.3小時

後製：Astro Pixel Processor、PixInsight

說明：Sh2-308是位於大犬座的沃夫-瑞葉星雲（Wolf-Rayet Nebula），由恆星演化末期拋出的氣體殼層被高能輻射激發而發光，外型酷似躍動的海豚。

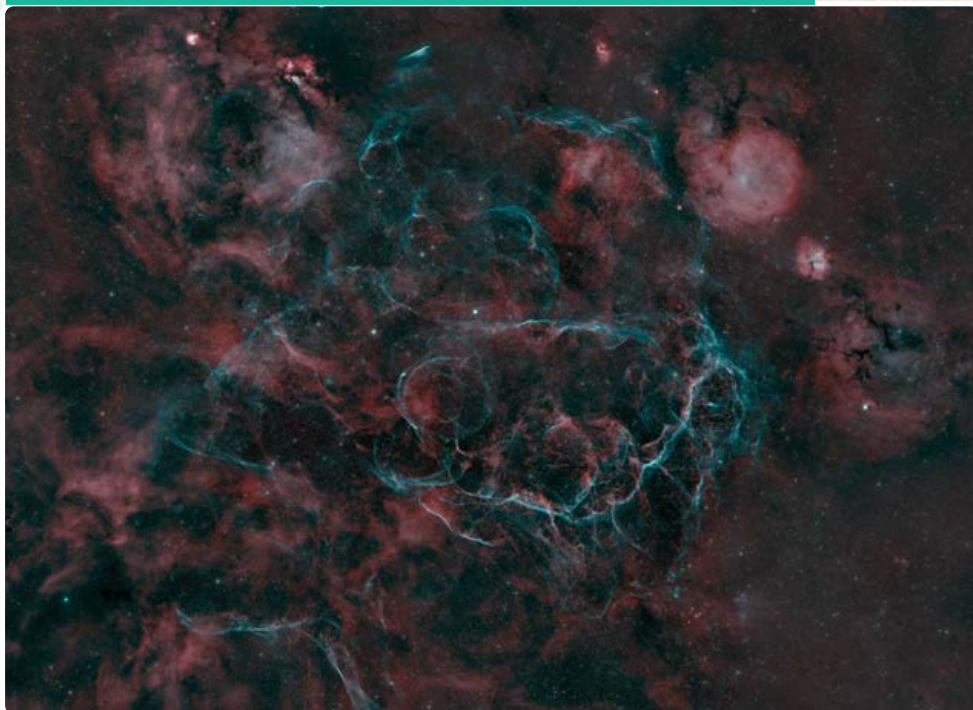
## Ced 51 鄭期元

- ▶ 時間：2025/12/16  
地點：新竹縣竹東鎮五指山停車場  
儀器：Celestron RASA8望遠鏡、ZWO ASI 2600MC Air冷卻相機、ZWO EAF Pro電調系統、ZWO AM5N赤道儀、ZWO IR/UV cut濾鏡  
參數：冷卻至0°C、單幅曝光300秒、BIN1，40幅疊合，總曝光3.3小時  
後製：PixInsight 1.9.3、RC Astro、Adobe Photoshop  
說明：Ced 51為反射星雲（中央藍色雲氣），位於獵戶座頭部區域，其光線主要來自星際塵埃對鄰近恆星光線的反射；周邊另散布著紅色的瀰散光暈，與反射塵埃及周邊雲氣共同構成細緻的層次。



## 時空的絲綢：船帆座超新星殘骸

馬宇慧



- ▲ 時間：2026/01/17~2026/01/21  
地點：澳洲西澳州伯斯近郊  
儀器：William Optics RedCat 51 WIFD望遠鏡、iOptron GEM28赤道儀、ZWO ASI 2600MC Duo冷卻相機  
參數：冷卻至-10°C、單幅曝光300秒，4×2馬賽克，410幅疊合，總曝光34.17小時  
後製：PixInsight  
說明：在南天銀河那片如絲綢般的紅與青綠之間，隱藏著恆星終結時最激烈的告白。這張影像捕捉了跨越數百光年的廣闊區域，其中最引人注目的，莫過於畫面中央那如同亂紗般的船帆座超新星殘骸（Vela SNR）。

SH2-278 楊中鼎



◀ 時間：2025/11/15、2025/11/22  
、2025/11/29

地點：新竹縣竹東鎮五指山

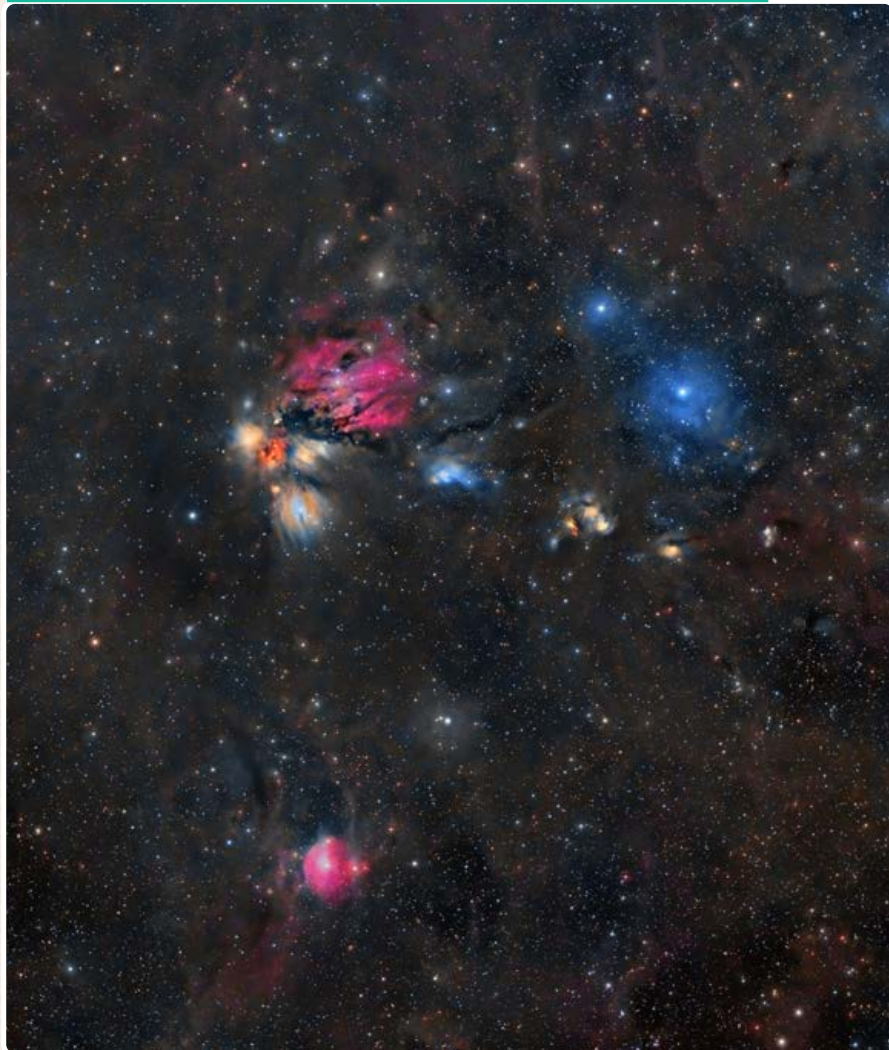
儀器：William Optics  
RedCat 51 WIFD望遠  
鏡、iOptron GEM28  
赤道儀、ZWO  
ASI2600MC Pro冷  
卻相機、ZWO OAG  
離軸導星、ZWO  
ASI662MC導星相機

參數：Gain 100、冷卻至  
0°C、單幅曝光300  
秒，118幅疊合，總  
曝光9.83小時

後製：PixInsight、Affinity

說明：在獵戶座的附近有許  
多豐富的雲氣，SH2-  
278就是在其中，像  
是一幅雲霧繚繞的山  
水畫一般。

NGC 2170 (天使星雲) & LBN 990 黃歆杰



◀ 時間：2024/11/27~11/28

地點：雲林縣臺西鄉自宅樓頂

儀器：Askar FRA400望遠鏡、Nikon  
D610相機、L-quad enhance濾  
鏡、Sky-Watcher AZ-GTi電動經  
緯儀（赤道儀模式）

參數：ISO500、單幅曝光10分，72幅  
疊合，總曝光12小時

後製：PixInsight、Adobe Photoshop

說明：在技術和時間累積之下，在平  
地拍攝也能捕捉到NGC 2170及  
其背後的宇宙塵埃，成果令人  
感動。

► 時間：2022/5/22  
地點：智利，El Sauce，遠端拍攝  
儀器：Planewave CDK 17望遠鏡、SBIG STXL11002冷卻相機、Astrodon LRGB濾鏡、Paramount ME赤道儀  
參數：L 600秒×5幅、RGB 600秒×6幅，總曝光3.8小時  
說明：M55以滿天繁星鋪成深黑天幕，中心像一團細緻的銀白星霧，向外漸漸散開成星河瀑布。藍白主調中點綴幾顆溫暖的金橘色亮星，像夜裡的火花，讓畫面既清冷又有溫度。

## M55 蔡明翰



## M51 羅美琪



◀ 時間：2025/5  
地點：美國，科羅拉多州，遠端拍攝  
儀器：16RC望遠鏡、SBIG STXL-11002冷卻相機、ASA DDM 100赤道儀、AstroDon LRGBHa Gen II濾鏡  
參數：L 22幅、R 18幅、G 8幅、B 15幅、H $\alpha$  15幅，單幅曝光600秒，總曝光13小時  
說明：渦狀星系M51，像是一場正在宇宙中緩慢旋轉的相遇。主星系優雅地展開螺旋臂，伴星緊緊相隨，彷彿在彼此牽引下共舞。細緻的結構與柔和的光暈，讓人感覺時間在這裡被拉長，只剩下靜靜流動的星光與遙遠深空的浪漫。

## 雪茄星系 (M82) & 波德星系 (M81)

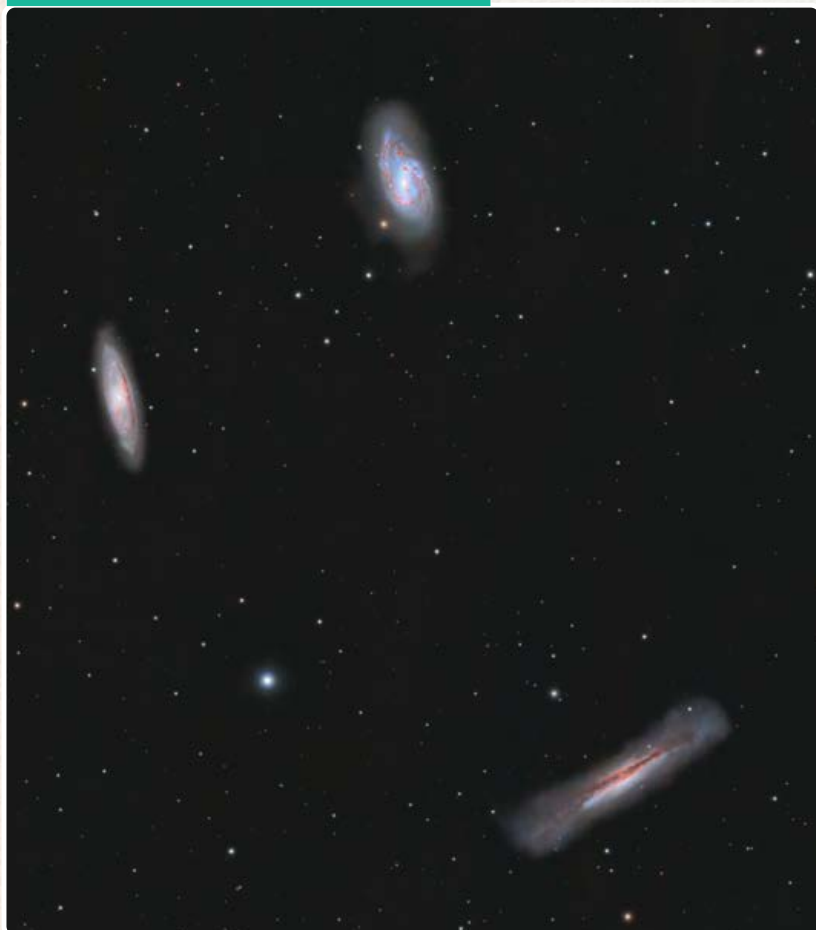
丁南昌



- ◀ 時間：2026/1/19  
地點：南投縣信義鄉塔塔加、自忠觀景臺  
儀器：Askar 103 APO望遠鏡、ZWO ASI2600MC相機、ZWO AM5赤道儀  
參數：冷卻至-10°C、單幅曝光300秒，150幅疊合，總曝光12.5小時  
後製：PixInsight、Adobe Photoshop  
說明：中央的是M81（波德星系），結構完整、旋臂清晰；左側的M82（雪茄星系）因與M81的引力交互作用，引發劇烈恆星形成活動，噴發出壯觀的紅色氣體流。畫面中隱約可見的淡藍灰色雲霧，屬於銀河系本身的共照耀星雲（IFN），由星際塵埃反射銀河光芒而成，為這片星系群增添層次與深度。

## 獅子三重星系

陳志航



- ◀ 時間：2025/03/22~2025/03/25  
地點：新北市汐止區  
儀器：TAKAHASHI FSQ-85ED望遠鏡、1.01X平場鏡、Canon 60D相機（改）、Antlia Triband II濾鏡、ZWO AM5赤道儀、ZWO ASI AIR Plus天文主機、ZWO ASI290mm導星相機、WO 32120導星鏡  
參數：ISO 800、單幅曝光180秒、200幅；單幅曝光300秒、92幅，總曝光17.66小時  
後製：PixInsight、Adobe Photoshop  
說明：Leo Triplet（M65、M66、NGC 3628）在獅子座組成三角形的星系聚落，三者皆為螺旋星系。下方的NGC 3628因側視角度呈現不同視覺效果。使用Triband濾鏡拍攝亦帶出了更多O III、H $\alpha$ 光譜細節。

- ▶ 時間：2025/12/14 23:49~  
2025/12/15 01:58  
地點：南投縣信義鄉上東埔停車場  
儀器：SIGMA 14mm f/1.8  
DG HSM Art鏡頭、  
Nikon D810A相機  
參數：ISO8000、光圈  
F2.2、單幅曝光15  
秒，取23張含流星  
影像疊合  
說明：塔塔加入夜後星星  
僅短暫露臉，直到  
午夜天空終於豁然  
開朗。流星雨極大  
期雖稍有遲到，仍  
帶來一場近乎完美  
的演出。

## 2025 雙子座流星雨 陳宜婷



- ▶ 時間：2026/01/13 18:26~  
2026/01/14 06:03  
(共11小時37分鐘)  
地點：臺北市文山區  
儀器：Tamron SP 24-  
70mm F2.8 Di  
VC USD G2鏡頭  
@24mm、Canon  
EOS R6相機  
參數：ISO100、光圈F9、  
單幅曝光30秒，  
1268幅疊合  
後製：Sequator 1.6.2r2  
說明：1月13日天氣晴朗  
，從日落后1小時  
開始拍攝，一直持  
續到隔日日出前40  
分鐘，成功記錄接  
近12小時、幾乎  
180度的臺北北天

## 180度的星軌 - 星星在臺北夜空畫圓 李美英



星軌。畫面中心一小段圓弧為北極星的星軌，顯示北極星與天球北極仍有些微距離。北極星正下方為臺北地標臺北101大樓；照片中除城市燈光與低空霧霾外，亦可見多條飛機起降光軌，真實呈現臺北夜空的樣貌與氛圍。

## 攔沙壩上的銀河 林柏偉



- ◀ 時間：2025/8/21  
地點：花蓮縣秀林鄉米亞丸溪  
儀器：Sigma 35mm F1.4 DG HSM Art鏡頭、Canon 6D (改) 相機  
參數：ISO3200、光圈F1.6、單幅曝光10秒  
說明：作品拍攝於花蓮縣秀林鄉米亞丸溪流域。畫面下方為典型的河川整治工程—攔沙壩，長時間曝光將溪水化為絹絲狀，與背景橫跨天際的夏季銀河核心形成強烈對比。米亞丸溪地處中央山脈山腳，光害干擾極低，是花蓮地區觀測夏季銀河中心極佳位置。透過影像，呈現人造建築與大尺度宇宙景觀共存的靜謐景象。

## AR4294、AR4296、AR4298 太陽黑子群集團

謝易翰



- ▶ 時間：2025/12/01~12/12  
地點：臺南市安平區  
儀器：NIKON COOLPIX P1000相機@2400mm、Baader AstroSolar Safety Film太陽濾鏡  
參數：ISO140~400、光圈F7.1~8.0、單幅曝光1/1000~1/160秒（程式自動模式）  
說明：去年12月從SOHO網站注意到大型黑子群AR4294自太陽邊緣轉出，遂開始嘗試記錄其變化。隨著黑子群逐漸轉出，可見AR4294、AR4296、AR4298三個大型黑子群組成巨大黑子集團。本次成功連續記錄12天影像，並以Photoshop裁切、編排與修飾呈現其演變過程。

浩瀚宇宙無限寬廣

穹蒼之美盡收眼底

