

臺北星空

天文館期刊 Taipei Astronomical Museum Magazine

TAIPEI
SKYLIGHT
NO.95 2020.05

ISSN:1727-0022



迎接 **2020** 日環食

臺北星空



今年臺灣天文界最大盛事就是6月21日的日環食，不但南臺灣、金門與澎湖部分地區在環食帶內，臺灣其它地區也能見到食分極大的偏食。本期特別以「日環食」為主題，規畫了一系列關於日食如何觀測、攝影，哪裡適合觀測？歷史上如何看待日食....等精彩的文章。

今年4月24日為哈伯太空望遠鏡在升空30週年，雖然已是老驥伏櫪，卻仍帶來豐富的研究成果與精采照片。封面照片是哈伯最新公佈以紅外光波段所拍攝老鷹星雲深處的「創造之柱」，由於紅外光很容易穿透塵埃和氣體，因此比可見光更能看透深藏於星雲裡的初生恆星。

Contents

- 02 天象與新知** 李瑾、許晉翊
- 03 天文新聞追蹤報導**
行星死亡學 林建爭
- 47 天文觀測教室**
雙筒望遠鏡觀天/獅子座 陶蕃麟
- 51 談古說今論月球**
亞平寧山 鮑國全
- 56 天文Q&A** 許晉翊、張瑋芸
- 58 天體映象**
最寂靜的荒漠，最喧鬧的夜空 虞景翔
- 60 宇宙天體攝影**
美星映象館 吳昆臻



刊名：臺北星空期刊
統一編號：2008700083
中華民國八十七年十月一日創刊
中華民國一百零九年五月一日出版
刊期頻率：雙月刊
本刊刊載於臺北天文館網站，
網址<https://www.tam.gov.taipei/>

發行人 陳岸立
發行委員 王錦雄、陳俊良
林琦峯、石中達
林學毅、李嘉芸
林修美、林坤蓉
編審委員 陶蕃麟、葛必揚
許錫鑫、計修邦
胡憲華、李秀鑾



臺北星空

臺北天文館期刊

本刊歡迎各界人士投稿並提出指教。

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「美星映像館」，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。

文章內容所採用的圖片及文字，如係引自他處，請先行取得原作者及出版社同意後使用；本刊不負責有關著作權爭議之訴訟。如係譯稿，請附加原文並註明來源，並先取得同意權。

來稿請寄：

臺北市立天文科學教育館 研究組
臺北市士林區基河路363號

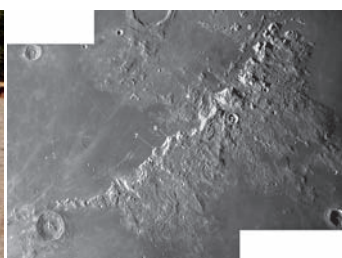
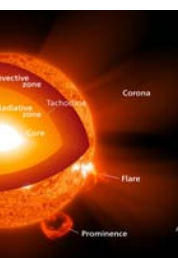
歡迎以電子郵件投稿

E-mail address :
tam.fb99@gmail.com

1999市民熱線，24小時日夜服務

日環食專輯

- 06 古人眼中的日食** 歐陽亮
- 12 改變宇宙觀的日食** 葛必揚
- 18 19世紀的日食科學觀測** 施欣嵐
- 24 日食觀測App，讓您一手掌握日食動態
Eclipse Calculator 2.0** 陶蕃麟
- 29 觀測日食注意事項** 陶蕃麟
- 31 2020來嘉看日環食** 黃傳俊
- 34 天文攝影實戰教學/EASY拍星空 21
日環食拍攝 III** 吳昆臻
- 41 古今天文學家
日食先生** 詹佩菁



總編輯 吳志剛
編輯 劉愷俐、李瑾
吳昆臻、許晉翊
王彥翔、虞景翔

美術編輯 劉愷俐、莊郁婷
邱軾鳳

封面設計 劉愷俐

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://www.tam.gov.tw>

中華民國行政院新聞局出版事業登記證
局版北字第2466號



五、六月重要天象

5、6月後天氣逐漸好轉，正是開始觀星的好時機。

這段期間的天象重頭戲當屬6月21日的日環食，雲林、臺南、嘉義、高雄、南投、花蓮、臺東、澎湖與金門部分區域位在環食帶內，臺灣其他地區則可見食分極大的偏食。

日環食半個月前的6月6日，全臺灣可見半影月食，但食的現象不明顯。5月6日是寶瓶座 η 流星雨極大期，ZHR約50，但當時接近滿月，觀察條件不佳。金星在5月初仍能在傍晚的西方看見，之後就因內合而不易觀察。火、木與土星於午夜陸續升起，是這段期間最適合觀察的行星。

5/6 寶瓶座 η 流星雨極大期，ZHR~50。

6/4 水星東大距 21h7m，日距角23.6度。

6/6 半影月食 3h12m，臺灣全程可見。

6/9 木星合月 1h21m，木星在月球北2.18度。

土星合月 10h12m，土星在月球北2.67度。

【 推薦】

6/21 日環食

底圖攝影/ 周紹孔

天文新知

首次在銀河系外發現氧分子

天文學家探測到宇宙史上最大的爆炸

日本重力波探測器KAGRA開始進行連續觀測

星際塵埃可能是參宿四變暗的罪魁禍首

科學家宣稱在隕石中發現了外星蛋白質

首度發現非銀河盤面恆星的系外行星

太陽圈的形狀可能比原先預期的複雜

天文學家發現了脈衝白矮星

ALMA聯手「宇宙望遠鏡」，解像力最大化！

首次在隕石中發現超導物質

天文學家選定雙白矮星為雷射干涉太空天線目標

事件視界望遠鏡首次揭開類星體噴流的內部結構

宇宙的膨脹可能不如預期般均勻

文/ 林建爭

最近美國及英國的天文學家發現，有越來越多具有特殊光變的白矮星系統，他們建立一套新方法去還原行星遭母恆星潮汐撕裂前的狀態，並將此新領域命名為：行星死亡學 (necroplanetology)。

在2015年，天文學家發現了一顆特殊的白矮星，白矮星是質量約介於0.8至10個太陽質量的恆星演化到末期的產物。這顆特殊的白矮星名為WD 1145+017，位在室女座方向距離地球570光年，它具有特殊的光度變化樣式，其光度變暗程

度不一，而每次變暗的週期大約是 4.5小時左右；另一個特別之處是其大氣成分，裡面混雜著類地系外行星內部才有的元素。

不過他們不久便知道為什麼了，如圖1，主要原因是這顆白矮星的重力正在撕裂並吞噬環繞在其軌道上的物體，學術上的

專有名詞稱此現象為潮汐破壞 (tidal disruption)；如同法醫重建不完整的大體來推測死者生前習性及致命原因，天文學家們以這顆在白矮星周圍碎裂的行星碎片為例，來模擬重建該行星生前的形態，進一步推測此行星生前的型態以及死亡過程。



圖1. 新發現的白矮星系統想像圖，被潮汐力扯碎的行星正繞著一顆白矮星運行。(圖片來源：Mark Garlick/英國華威大學)

目前他們對 WD 1145+017 的模擬分析已發表於《天文物理學雜誌》，研究人員認為此研究得以應用於未來發現的其他白矮星行星系統中，從而拼湊出行星在繞行不同類型白矮星時的死亡過程。儘管白矮星在劇烈的熱核爆炸中死亡時，會向外拋射出很多物質，不過其周圍的行星在某種程度上還是可以生存下來，如圖2。此研究團隊不僅發現了行星殘骸遺留在白矮星周圍的軌道上，而且還發現白矮星的大氣成分組成中，存在某些通常在類地系外行星內部才有的化學元素。白矮星的表面萬有引力是相當強的，這些較重的元素理論上會很快沉澱到核心裡；不過天文學家卻能夠在白矮星的表面大氣觀測到這些化學元素，這也證明了該星應該是近期從外部吸收了這些元素，以至於元素還沒有足夠時間沉澱到核心中，而這些元素極有可能是來自於被潮汐力扯碎後的行星。

來自美國科羅拉多大學博爾德分校、衛斯理大學和英國沃里克大學的天文學家為了確認 WD 1145+017 的運行方式，進行了一系列的實驗來模擬母恆星的潮汐力是如何破壞行星。他們調整母恆星公轉軌道上星體的結構組成，例如：行星核 (core) 和行星函 (mantle) 的大小、行星函的岩石和冰塊組成比例、以及是否有行星殼 (crust) 等不同條件，他們用這些參數模擬出36種不同類型的行星在白矮星周圍運行；接著，他們設定這36個行星繞行著類似 WD1145+017 的恆星，質量約太陽的60%，體積約太陽的2%，藉此可以想像白矮星是相



圖2. 藝術家筆下正在被母恆星的潮汐力破壞的類地行星的想像圖。(圖片來源：wikipedia)

當高密度的物體；他們對每個行星模擬了 100 次在 WD 1145+017 軌道上的運行，行星的週期時間約為 4.5 個小時；最後，將行星受到潮汐破壞後造成母恆星的光度變化與 WD 1145+017 真實的觀測資料做比較。

將實驗模擬結果與 WD 1145+017 觀測資料比對後，他們認為此行星的核心偏小且行星函的密度偏低，其特徵有點類似太陽系中的灶神星 (4 Vesta)：密度不均勻且有易揮發的行星函。儘管此行星質量相對較低，不過由於體密度高，因此可使該行星維持其結構好一陣子，卻不足以抵抗潮汐力破壞其行星函。此外，其他天文台觀測該白矮星時，發現其周遭缺乏較小的碎片組成，這現象被解釋為小碎片在形成後很快地昇華成氣體，而這些觀測結果與此團隊模擬出來的行星屬性相符合。

其實他們的研究也對於一些神秘星提供了一些線索：例如著名的 KIC 8462852，又名塔比之星 (Tabby's star)，其光度變化與一般的週期變星相當的不一樣，讓天文學家感到困惑好一陣子，有些天文學家還曾一度認為，是否發現了系外文明的巨大結構遮蔽了其母恆星的光度，因此造成這樣不均勻的光度變化；然而像塔比之星具有奇怪光度變化的星體不只有一個，天文學家們陸續發現了其他21顆恆星也有類似讓人困惑的光度變化，也許他們有某種相同的機制，致使星體表現出詭異的光度變化。

事實上，白矮星吞噬周圍行星並非相當罕見，去年天文學家們也發現兩顆白矮星 ZTF J0139+5245 和 WD J0914+1914 都正在破壞其周圍的行星。這類型的恆星也都可以使用此團隊的新方法來進行模擬，重建其周圍

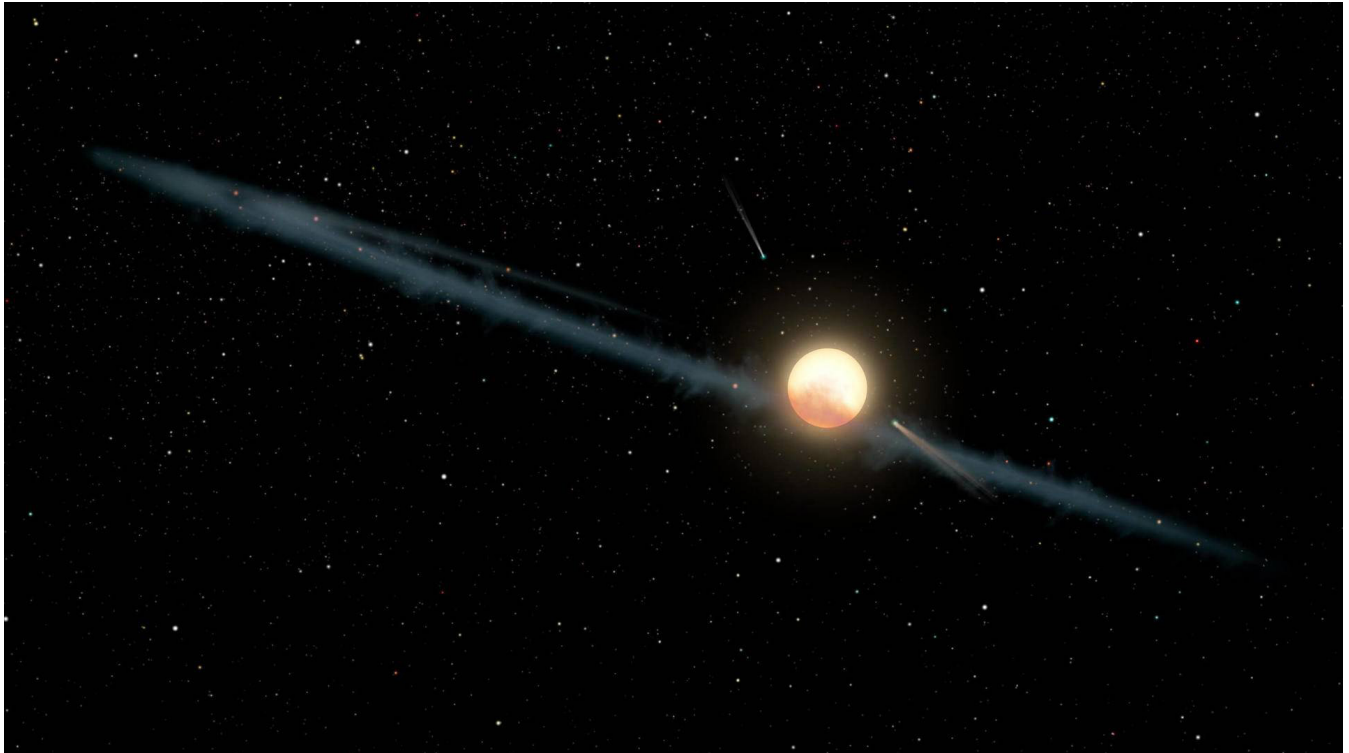


圖3. 此圖描繪了一個不規則的塵埃環，它繞著 KIC 8462852 運行，該星又稱塔比之星 (圖片來源：NASA/JPL-Caltech)

行星生前的樣貌。該團隊在其研究論文指出：這些是第一批被天文學家發現的垂死行星系統，需要透過光譜觀測、光度觀測，同時模擬被破壞的行星來進行研究，而目前主要有兩種模型來解釋行星被破壞的機制：一個是像WD 1145+017的潮汐力撕裂行星，另一個是像ZTF J0139+5245中其行星高速旋轉而分裂造成。這種多管齊下的觀測與模擬方法將運至這些垂死行星系統，進而了解系外行星的基本特性，因此可以稱為行星死亡學。

原文及參考資料

<https://www.sciencealert.com/necroplanetology-the-study-of-planets-dismembered-remains>
https://en.wikipedia.org/wiki/WD_1145%2B017
https://en.wikipedia.org/wiki/Disrupted_planet

林建爭：美國夏威夷大學天文研究所 泛星計畫博士後研究員

YouTube相關影片：



SDSS J122859.93+104032.9
 白矮星附近的小行星殘骸觀測
<https://www.youtube.com/watch?v=c82AjNwrWOA>



真實世界「死星」毀滅自身太陽系
<https://www.youtube.com/watch?v=IDLHBW72Urg>



科學家終於揭開了塔比之星的神秘面紗
https://www.youtube.com/watch?v=_PXXcaNgQrU

視覺震撼最強烈的天象是什麼？在精彩度名列前茅的大彗星、流星暴與日全食之中，只有日全食能讓大地瞬間變暗、迷惑古今中外所有看到的生物吧？

古人眼中的日食

圖1. 2012年日環食照片，當天即使多雲，天空依然很明亮，筆者攝於臺北市

文/ 歐陽亮

古人對於日食應該比我們驚恐許多，絕非如現代人這般趨之若鶩。我曾聽過許多人得意地說小時候看過日全食，但是經查詢後卻未發生過，其原因可能是他們曾經耳聞或從書本得知日全食，但是這記憶卻誤植到他看到的日偏食了。與此類似的錯誤印象還有「北極星是最亮的星」、「月亮盈虧是地球影子造成的」等等。

當月亮擋住太陽時就會有日食，不過要精準且巧妙地對齊太陽，日環食或日全食才會發生，兩者只差在月球遠近，若遠些就遮不住整個太陽而形成環食。有時候距離不遠不近，還會形成環食→全食→環食的混合日食，因為地球弧面只有中間一小段最接近月球剛好讓月影完全籠罩。不過日環食沒有日全食那樣震撼，因為天空與太陽不會明顯變黑（圖1）。

然而日食很稀有嗎？其實不然，每年都有。但月球的影子太小，投在地表時頂多幾百公里寬，並隨著月球移動而形成一條橫越地球的月本影區，超過此範圍的地區就只能看到偏食。同一地點約需三百年才能遇見一次全食或環食，一輩子也遇不到一次。所以若想體驗它的魅力，只能勞駕人們移動自己到月影下面了。

最早記錄日食的各種古籍與甲骨文，其描述的比較可能是日全食¹，但還沒有正式統一的名稱。例如出自《墨子·非攻下》描寫夏禹時代的「三苗日食」（圖2）：

「昔者三苗大亂，天命殛之，日妖宵出，雨血三朝，龍生於廟，犬哭乎市。」

其中「日妖宵出」是指太陽竟然在晚上出來。

的範圍內³，但其中有許多疑點仍待解決：1.夏代是否確實存在；2.《尚書》胤征篇與相關佐證史籍之後人偽作成份有多高；3.「房」之本意是否確指二十八宿的房宿；4.若是，二十八星宿的概念在夏代是否已成形？目前能確定的時間點僅能追溯至周代⁴；5.地球自轉速度的不規則變化會導致計算遠古日食的誤差變大等等。

另外甲骨文裡也有「三炁食日」、「日又戡」等疑似日食的記錄，《竹書紀年》還有「天大隳」的說法，其中隳是天色陰暗起風的樣子，所以有可能是陰雨天的日全食記載（如同2009年蘇州日全食體驗）。周代的詩經也有「十月之交，朔月辛卯。日有食之，亦孔之醜」的詩句。以上各種記載雖然有些仍未確定是否為日食，但已具體描繪出日食所造成的各種驚懼混亂景象以及古人對日食的重視。

東周春秋時代，日食開始明確地記載在史書中，而且西漢時「食」、「蝕」兩字是通用的⁵（圖5）。不過被這種奇異天象驚嚇久了，古人也會慢慢發現規律，進而能夠預測，到東漢時已能計算與預報日食⁶；魏晉南北朝已開始有「當食不食」或「陰雲不見」的記載⁷，並運用日食來檢驗曆法編得準不準，若不準就會有人提出改曆的建議。不過後來卻有人想藉預測來鑽漏洞，故意

修改閏月月份讓日食避開不適合發生的時間⁸（例如日食在正月初一則大凶），可見日食對人們的心理壓力有多大。

上述各種日食記載大多極為簡略，只寫「何年何月何日，日有食之」，很少區分是全食、環食或偏食。有詳細記錄的，大多見於史書的律曆志中，且是用來討論與檢驗曆法精確度的。因此可以推測，觀測當時其實有詳細記錄，只是被史書精簡了⁹。其中記載了日環食的唯一記錄是在《元史·天文志》裡，寫得非常生動：

「至元二十九年正月甲午朔，日有食之。有物漸侵入日中，不能既，日體如金環然，左右有珥，上有抱氣。」（圖6）

至於官方史書記載過的日食次數，明代徐光啓已做過統計，並比較其發生日期來說明各朝代曆法疏密¹⁰。民初的朱文鑫曾統計至清乾隆為止共有921次，陳遵媯則統計至清末有1042次¹¹，其正確性基本上是可靠的，但有時會因戰亂而遺漏失載¹²。另外興盛於

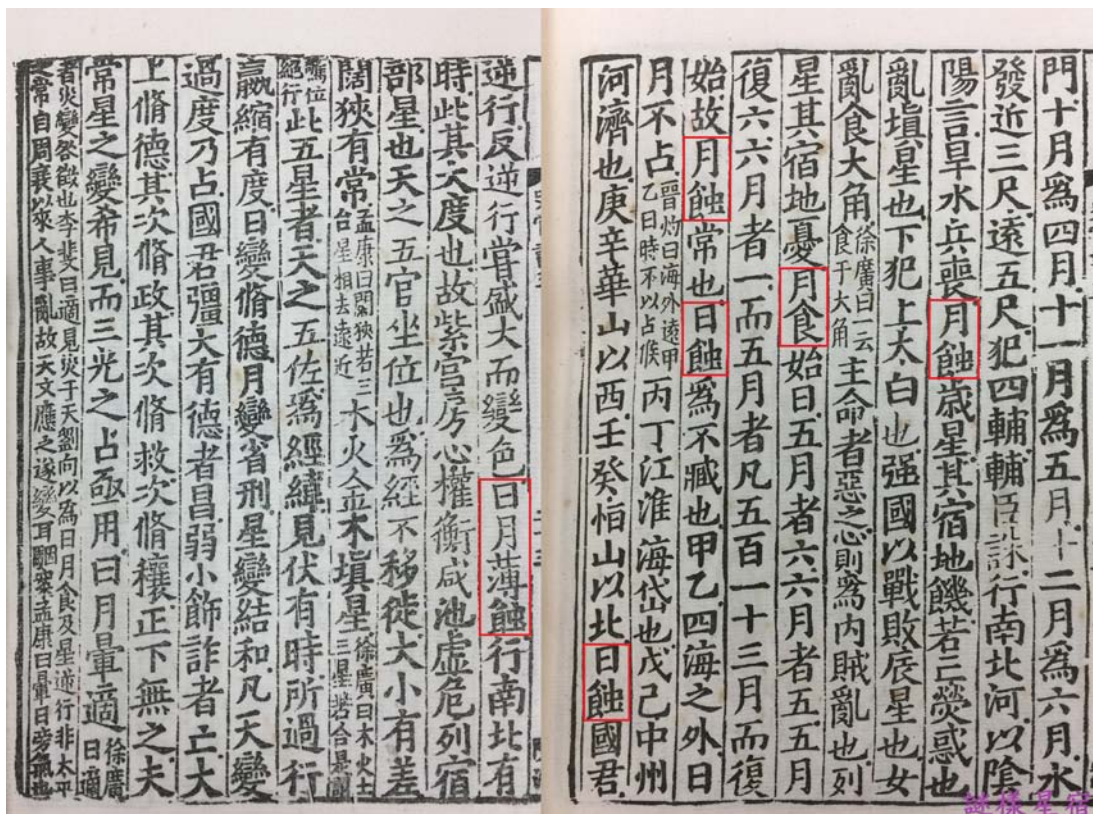


圖5. 史記之北宋景祐監本中「食」「蝕」兩字同時出現於同段內，此監本為史記最早之完整版。中央研究院歷史語言研究所藏

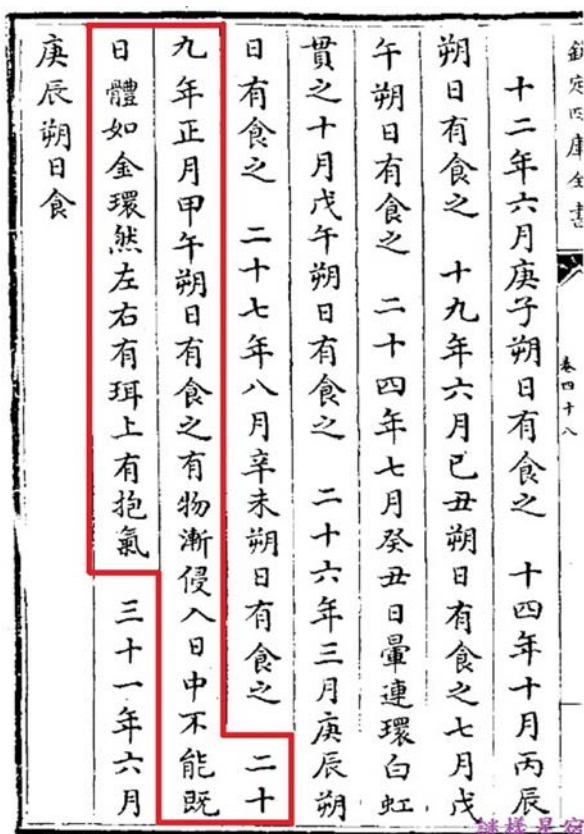


圖6. 日環食的唯一史書記錄——《元史·天文志》

明代的地方志則錯誤很多，比率高達50%以上¹³。

古人對於日食成因的解釋很玄妙，雖然他們已知道日月交會是根本原因，但仍有一些不規則現象無法解釋，於是他們認為太陽象徵國君，月亮象徵臣子，日食就象徵臣犯君的危機¹⁴，或是上天對天子德行不夠修明的警示。皇帝需減食，撤樂，避正殿，改穿素服，齋戒救護，甚至改元、大赦、下詔罪己。如漢文帝的「**日食求言詔**」就是希望天下臣民指出自己缺失在哪。歷代君主大多極為重視，雖然偶爾有皇帝對於這些素服救日、修德修政的活動發出疑問¹⁵，但也不敢不照做。另外大臣有時也會被牽連而遭罷免¹⁶。

若平時修德修政都沒做好，只好臨時抱佛腳進行下策的禳救¹⁷，其儀式可能起源於史前人類流傳下來的敲打動作，想藉此驚嚇吞噬太陽的奇異動物¹⁸，在前面提過的仲康日食就可看到原始社會的伐鼓救日模樣。到了周代，開始有固定儀式，如《**春秋穀梁傳**》莊公二十五年寫道：「六月辛未朔，日有食之…天子救日，置五麾，陳五兵、五鼓，諸侯置三麾，陳三鼓、三兵；大夫擊門，士擊柝。言充其陽

也。」《左傳》莊公二十五年：「日有食之。鼓，用牲於社…用幣於社，伐鼓於朝。」

雖然此時期已逐漸意識到「某些」日食是自然現象¹⁹，但與此相反的是，日食救護儀式卻越來越複雜，如《**後漢書·禮儀志**》上：「日有變，割羊以祠社，用救日。日變，執事者冠長冠，衣皂單衣，絳領袖綠中衣絳袴襪以行禮，如故事。」有了祭祀與衣著的規範。《**晉書·禮志**》上：「日將蝕，天子素服避正殿，內外嚴警。太史登靈台，伺候日變，便伐鼓於門。聞鼓音，侍臣皆著赤幘，帶劍入侍。三台令史以上皆各持劍，立其戶前。衛尉卿驅馳繞宮，伺察守備。周而復始，亦伐鼓於社，用周禮也。又以赤絲為繩以系社，祝史陳辭以責之。」有了複雜的流程。這些儀式到唐宋時又更加隆重，規定了方位、兵器與旗幟等²⁰。不只京師，各地都要舉行，但不能等日食發生了才匆忙進行，必須提前準備，於是準確預報便十分重要了²¹，而食分大小亦象徵災禍的嚴重程度²²。

但有時預測不準、當食不食，大家的反應竟然不是責怪曆法有誤，反而是大肆慶賀，表示老天也被皇帝德行所感動進而改變了天象。如**韓愈**²³、**白居易**²⁴都曾寫過賀表，為此歌功頌德一番。日食這種既可推算又可被德行改變的神奇矛盾，肇因於古代曆法總是有少許誤差，無法完全精準，所以讓矛盾說法可以同時被相信²⁵。一行在《**大衍曆議·日蝕議**》中就說：「使日蝕皆不可以常數求，則無以稽歷數之疏密。若皆可以常數求，則無以知政教之休咎。」

但也有人提出過質疑，司馬光曾評論說：「日食不驗，太史之過也；而君臣相賀，是誣天也…宰相因而實之，是侮其君也。」²⁶ 然而如此欺君之罪，皇帝卻也樂得接受。

另外，史書的日食記載其實混合了預報與實測，無法確實分辨出來。例如清朝欽天監檔案記錄的日食位置、時間與食分精度過高，不可能是實測結果。不巧剛好遇到喜好天文的康熙皇帝，親自觀測了日食，卻只發現與推算不合，沒發現欽天監是拿預報來照抄²⁷，所以只是免其官職沒有砍頭。

明代晚期之後，西方天文知識已傳入中國，皇帝與天文官必定知道日食只是自然現象，並非上天

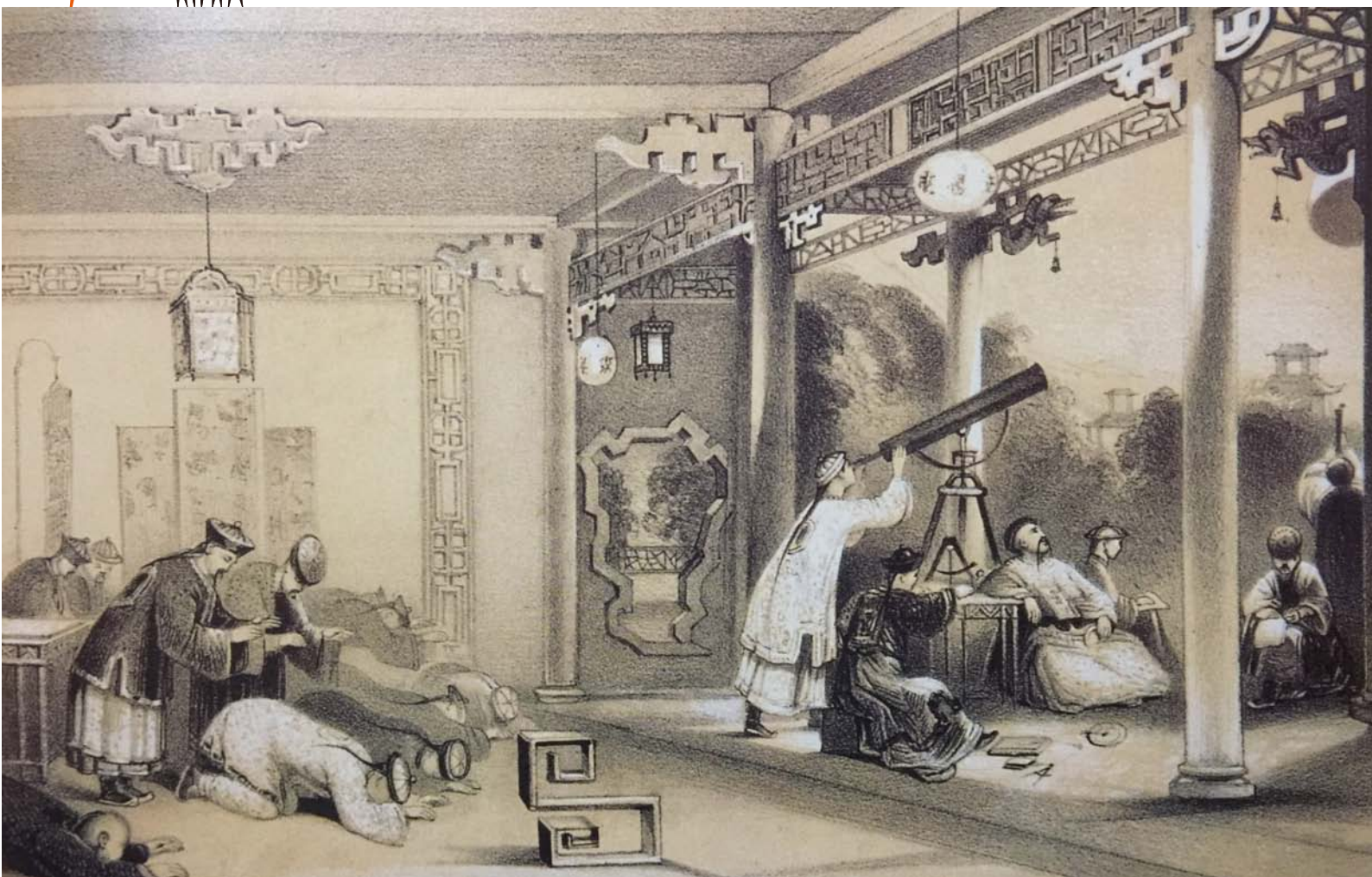


圖7. The History of China & India書中插圖：清代官員觀測食象情形

示警與懲戒，救日禮儀成了虛應故事的慣例，已經名存實亡²⁸，但是為什麼仍然繼續舉辦隆重的儀式呢？只是為了延續古老傳統嗎？也許另一個深層因素是，統治者知道日月食是有效的統治工具²⁹，因為他們能在發生前就準備好盛大的救日儀式，以顯示其通天的能力。另一方面，臣民就算知道日食是自然現象，但對帝王卻有警惕的作用，所以也繼續堅持天戒說法³⁰。

以前曾有一本外國人寫的中國史³¹，裡面有張有趣插圖，畫了清朝官員一邊在觀測日月食象、一邊卻在跪拜（圖7），雖然無法確定此圖是寫實亦或想像³²，但是竟然與天文學家在1941年觀測日食的經驗十分類似³³，這表示在八十年前的人們依然對此天象有著敬畏之心，更別說一百多年前的清朝了。其實若觀察現在民間出版的農民曆，也可發現有著異曲同工之妙。

從古人看到日全食會驚恐地敲鑼打鼓、到現代人唯恐看不到日全食竟然用力向天空吹氣企圖吹走雲朵，就可以了解天上異象總會讓人做出奇怪的事情，而且不分古今。

附註：

1. 陳遵媯《中國天文學史》第三冊，明文書局，1987，頁11。
2. 陳遵媯《中國天文學史》第三冊，頁9。
3. 吳守賢〈夏仲康日食年代確定的研究史略〉，《自然科學史研究》2000年第2期。其中唐代天文學家一行推算結果為西元前2128年，是史上第一次用計算來推測古代天象年代，詳見《中國天文學史》第三冊，頁13。
4. 潘鼐《中國恆星觀測史》，學林出版社（上海），2009，頁13。

5. 《史記·天官書》可見兩字用於同一段落。圖5為史記目前存世最早版本“北宋景祐監本”（中央研究院歷史語言研究所藏），另外南宋慶元建安黃善夫刻本與欽定四庫全書版本亦同。唯有《史記索隱》將食改為蝕。
6. 陳侃理〈天行有常與休咎之變——中國古代關於日食災異的學術、禮儀與制度〉，《中央研究院歷史語言研究所集刊》，2012，頁393。但馮時《中國天文考古學》（社會科學文獻出版社，2001）第五章第二節則認為，殷代已能粗略地依沙羅週期預報，只是不知其原理。
7. 劉次沅、馬莉萍《中國歷史日食典》，世界圖書出版公司，2006，頁31。
8. 趙貞《唐宋天文星占與帝王政治》，北京師範大學出版社，2016，頁148~150。
9. 《中國歷史日食典》，頁37。
10. 明徐光啓《徐文定公集》卷四：崇禎五年十月十一日奏疏。
11. 《中國天文學史》第三冊，頁6。但頁33與統計表則為1124次。
12. 《唐宋天文星占與帝王政治》，頁146。
13. 《中國歷史日食典》，頁40。
14. 唐李淳風《乙巳占》日蝕占第六。
15. 《唐會要》卷42：唐憲宗問到日食「如言皆驗…又，素服救日之儀有何所憑？」
16. 《唐宋天文星占與帝王政治》，頁173。
17. 《史記·天官書》：「日變修德…太上修德，其次修政，其次修教，其次修禳，正下無之。」
18. 《中國天文學史》第三冊，頁171。
19. 《唐宋天文星占與帝王政治》，頁178。
20. 《唐宋天文星占與帝王政治》，頁180~186。
21. 江曉原《天學真原》，遼寧教育出版社，2004，頁129。
22. 《唐宋天文星占與帝王政治》，頁142。
23. 《韓昌黎文集》，卷40：賀太陽不虧狀。
24. 《白氏長慶集》，卷61：賀雲生不見日蝕表。國家圖書館所藏兩種明代古籍版本皆寫為“蝕”。
25. 《天學真原》，頁216。
26. 《資治通鑑》，卷211。
27. 《中國歷史日食典》，頁42。另參見陳侃理〈天行有常與休咎之變——中國古代關於日食災異的學術、禮儀與制度〉，頁422。
28. 陳侃理〈天行有常與休咎之變——中國古代關於日食災異的學術、禮儀與制度〉，頁434。
29. Serge Brunier & Jean-Pierre Luminet (2000). *Glorious Eclipses: Their Past Present and Future*. Cambridge University Press. p34.
30. 《左傳正義》昭二十一年：「日月之行，交則相食，自然之理…足知是賢聖假托日食，以為戒耳。」另外《宋史·富弼傳》記載：時有為帝言災異皆天數，非關人事得失所致者。弼聞而歎曰：「人君所畏惟天，若不畏天，何事不可為者！」
31. Miss Corner (1847). *The History of China & India, Pictorial & Descriptive*. London: Dean & Co.
32. 此書寫於清末，對中國的認識還不深。例如書中把孔夫子的弟子畫得像清朝官員（頁10）、雷峰塔的年歲多了一千四百年（頁161）等。而圖7中的食象亦疑似月食，因為用望遠鏡如此觀測日食不太可能沒事，又天色微暗中燈籠已點亮、且食象中之陰影弧度較接近地球影子，應為月食，只是月食救護儀式較日食簡略。
33. 日食觀測時，尼姑卻在一旁跪拜，《中國天文學史》第三冊，頁171。

歐陽亮：天文愛好者，曾獲2001年尊親天文獎第二等一行獎，擔任2009全球天文年特展解說員。

部落格：謎樣的二十八星宿

<http://blog.xuite.net/liangou/star>



日食除了是令大眾矚目的天象奇觀，在先民的歷史上留下顯著的紀錄以外，對近代自然科學的進展、人類宇宙觀的認識，也作出里程碑的貢獻。本刊於2009年日全食之際，曾登載《日食與相對論》一文（第44期），今年又難得盛逢日環食帶通過台灣本島，因此特將該文撿筐出來，再饗讀者。

編輯部

文/ 葛必揚



改變宇宙觀的 日食

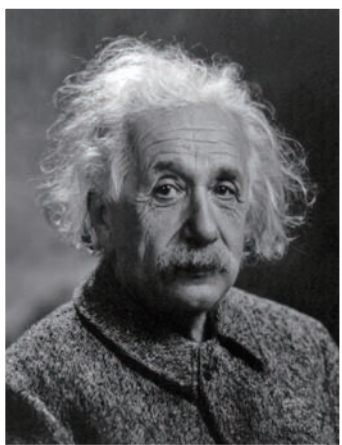
此幀照片為1919年的日全食

廣義相對論的主要意義不在於預言了一些微弱的觀測效應，而是在於它的理論基礎的簡單性。 ～愛因斯坦（Albert Einstein, 1879~1955）

二十世紀初，誕生了近代物理的兩大支柱：量子力學與相對論。愛因斯坦（Albert Einstein, 1879~1955）¹ 在1905年提出特殊相對論，1916年提出廣義相對論，闡明時間與空間的結構並描述質點接近光速時的運動情形，也論證了重力場與加速度場的等效原理。由於探討的對象牽涉到高速運動或大質量物體，因此要驗證相對論理論的正確性，就必須向廣袤的宇宙尋求觀測或實驗證據。對此愛因斯坦曾作了三項預測：水星近日點進動問題、光線在引力場中會偏折彎曲，以及恆星光譜的重力紅

位移現象。其中光線受引力場作用而偏折彎曲的證明過程，關鍵於100年前的一次日食；今年夏至當天，台灣嘉義—臺東地段將發生難得一見的日環食現象，值此時機回顧歷史，更饒負意味。

事實上早在1911年愛因斯坦就曾預言，當恆星發出的光接近太陽時，因為受到太陽重力的吸引會產生偏折現象，所以到達地球時就造成我們看到的恆星位置與實際位置產生了誤差，經計算這個偏折角度為1.75角秒（補充）。



【註1】

愛因斯坦（Albert Einstein, 1879~1955）1879年3月14日生於德國的烏姆(Ulm)，他在慕尼黑度過童年時代，1900年大學畢業，1902年任職於瑞士專利局，1914年遷居柏林，任職於普魯士皇家科學院及柏林大學。由於身具猶太人血統，在德國受到歧視，遂於1931年接受美國普林斯頓高級研究所的邀請，於次年離開德國前往美國。

1905年他提出5篇論文，其中《分子大小的新測定法》使他獲得博士學位；另外三篇則俱為畫時代重要作品，分別關於光量子假說、布朗運動，和狹義相對論。愛因斯坦在《論運動物體的電動力學》（就是世稱的「狹義相對論」）。論文中提出了兩個原理：光速恆定以及相對性原理。這兩條原理根本地改變了牛頓的時空觀，將牛頓定律視為一個低速運動時的特例，從而改變了世人對宇宙的看法。

1913年他與 Grossman 合著發表論文《廣義相對論

和引力理論綱要》，1916年3月又發表了總結的論文《廣義相對論基礎》，在這篇僅60頁的文章裡，愛因斯坦假定重力不是一個力，而是在時空連續體(space-time continuum)中一個扭曲的場，這個扭曲是由於質量存在所造成的。這篇論文被公認為是20世紀理論物理研究的最高峰。

1922年11月瑞典科學院秘書在一封電報中告訴愛因斯坦：「……因為你在理論物理的工作，特別是你發現了光電效應的法則，決定將去年（1921）的諾貝爾物理獎頒贈予你，但不考慮你的相對論和重力理論……」。

愛因斯坦將後半生奉獻給兩件事，一是「統一場論」的發展，一是倡導世界和平。統一場論企圖將電磁現象和重力理論整合。他思索研究了30多年而終未成功，晚年曾感慨的說：「統一場論將被遺忘，但在未來會被人們重新發現的！」

1952年，以色列邀請愛因斯坦擔任總統，但愛因斯坦自認個性不適合，沒有接受。

1955年4月18日愛因斯坦去世，在追思禮拜中，以歌德的悼席勒詩向他致敬，其中的一句是「全世界都感謝他的教誨」。

【補充】

根據愛因斯坦理論，物質存在空間就會使其周遭的時空結構改變；本來是一個「平坦」的空間，因為有了太陽存在，空間就變的「不平坦」而「彎曲」。行星（或光線）在這個彎曲的空間運動，就沿著一條最短的途徑路程；如果是在牛頓力學體系中，空間是歐式空間，這條最短程線是一條直線；但因為空間彎曲，行星就繞著太陽作軌道運動，光線經過太陽附近時，也因此產生偏折。

早在1801年，Soldner就曾從牛頓力學來計算光線在引力場中的偏折。牛頓力學描述的引力場中，物體受引力源吸引的軌道方程式為

$$r(\phi) = \frac{r_{\min}(1+e)}{1+e\cos(\phi)}$$

其中 r 是物體與引力源的距離， ϕ 是物體與引力源連線和軌道對稱軸的夾角， e 是離心率。Soldner考慮離心率 e 大於1的情形，這樣的軌道是非束縛的雙曲線，能量 $E > 0$ 。當光在很遠處時， $r \rightarrow \infty$ ，因此所得到相對於漸近線的角度為

$$\phi = \pm \left(\frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \Delta\phi_N \right)$$

這個就是牛頓引力所產生的軌道偏折，對於經過太陽的光，計算結果為 $\Delta\phi_N = 0.875$ 角秒。

牛頓力學體系中，時間 t 是不變的、絕對的量，與座標系的選取無關，而歐式幾何自然就成為描述位置的空間座標。但是愛因斯坦的特殊相對論打破了這個桎梏，在特殊相對論的觀點下，時間 t 不再是絕對不變的量，而是與空間座標一樣具有量測的意義。

牛頓的引力定律應用在行星軌跡計算上，可以下列關係式描述 $\frac{d^2u}{d\phi^2} + u = \frac{m}{h^2}$

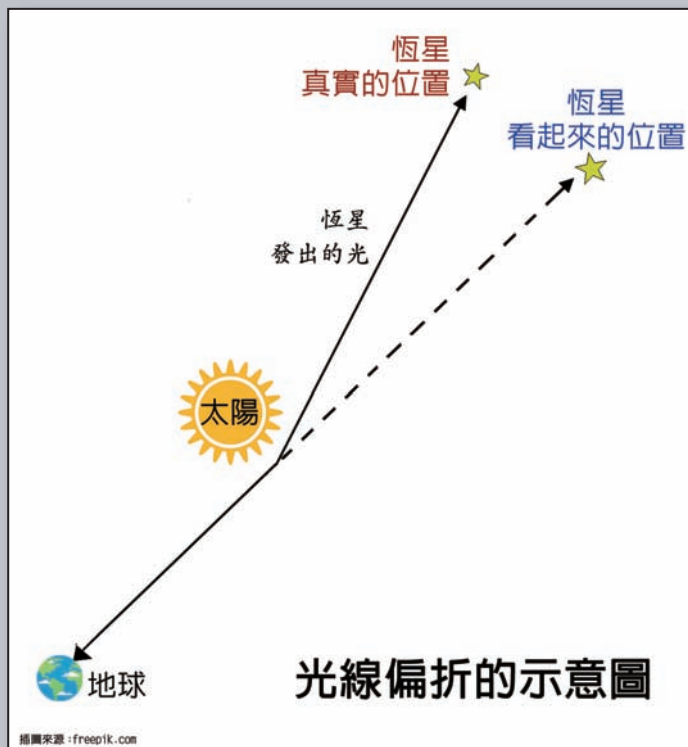
其中 $h = r^2 \frac{d\phi}{dt}$ 是積分常數， $u = \frac{1}{r}$ 是新變數， r 就是光線在某個傳遞時刻與座標原點的距離。

同樣的情形廣義相對論預測的移動方程為

$$\frac{d^2u}{d\phi^2} + u = \frac{m}{h^2} + 3mu^2$$

其中 $h = r^2 \frac{d\phi}{ds}$ ， u 的意義與前式相同。

兩組方程式非常相似，仔細比較有兩處不同，愛因斯坦的方程比牛頓方程多了一項：



$3mu^2$ ；愛因斯坦方程用的是 ds ，而牛頓方程用的是 dt 。

ds 與 dt 的不同處，在於力學體系理論的基礎觀念不同；而 $3mu^2$ 則是個修正項。原來牛頓力學描述的情形是愛因斯坦描述的近似，只是因為這個修正量很小，所以在大部分的環境中，牛頓力學的描述已經足夠精確合用。

經過數學運算，得到描述光線經過太陽旁傳遞的公式 $R = r \cos \phi + \frac{m}{R} (r \cos^2 \phi + 2r \sin^2 \phi)$

變換極座標 (r, ϕ) 為直角座標 (x, y) ，又因為光線偏折角度很小，此光線傳遞曲線可以用一對漸進線來表示，考慮 y 值遠大於 x 值的情形下，兩條漸進線為 $x = R - \frac{m}{R} (\pm 2y)$

這兩條漸進線之間的角度可以由其斜率得到 $\tan \alpha = \frac{4mR}{4m^2 - R^2}$

因為 α 很小，所以 $\alpha = \frac{4m}{R + \frac{4m^2}{R}}$

帶入太陽質量與半徑的數值，最後算得

$$\alpha = 1.75 \text{ 角秒}$$

但如何才能證實呢？白晝時陽光耀眼，太陽附近的恆星所發的光完全無法觀測得見；夜晚時太陽與其附近的星星卻已沉在地平之下，也無法觀測。只有當發生日全食時，月球把太陽光盤完全遮蔽的短暫時間內，來自太陽方向附近的恆星才可能被觀測到。因此在日食時拍下太陽周圍的星空照片，比對數月前或數月後同一個星空區域但沒有太陽的照片，如果發現日食時太陽旁邊恆星的位置與在其他日期觀測所得的位置稍有偏離，測量這顆恆星位置的偏離角度，就能驗證廣義相對論的正確性。

早期的日食驗證工作

從1912年起到1919年之前的幾次日食觀測都是出師未捷。

1912年10月在南美洲北部有一次日全食，阿根廷Cordoba天文台準備觀測恆星的光線偏折，但是日食當天陰雲密布。

1914年8月從東歐的西北到東南的日食是一次很好的機會，德國天文學家弗倫狄區（Erwin Freundlich）決定再作嘗試，他得到柏林科學院與美國天文學家坎貝爾（William Wallace Campbell, 1862~1938）²的經濟支援，甚至愛因斯坦都提供自己些許的經費贊助此行；美國里克天文台也組成觀測隊協助觀測。德、美兩國的天文學家選擇俄羅斯

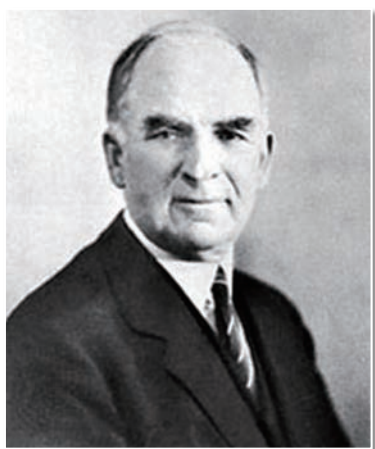
基輔附近的地方準備進行觀測；但就在日食發生前三星期的8月1日，德國向俄國宣戰，因此德國天文學家成為俄國人的戰俘，遭到驅逐或囚禁；美國天文學家雖然被允許繼續觀測日食，但是日食當天也是烏雲密布。

1918年6月發生在美國的日食又給天文學家一次機會，不過還是因為受天空雲層的影響，坎貝爾的觀測隊只獲得很少的照片，資料結果不能證實愛因斯坦的光線偏折。但這反而使坎貝爾相當高興。

1919年的日全食觀測

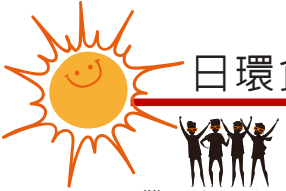
1919年5月29日的日食提供給天文學家一個檢驗愛因斯坦理論正確與否的理想機會，日食時太陽將接近畢宿星團中的比較亮的恆星。英國天文學家戴森（Sir Frank Watson Dyson, 1865~1939）³提出組織日食觀測隊的計劃，派出兩支日食觀測隊，其中一支隊伍由戴森領隊，（另有一說是由克羅米林（Andrew Claude de la Cherois Crommelin, 1865~1939）所帶領，他參與多次日食觀測，在格林威治天文台工作，是著名的彗星專家，週期彗星27P 就是以他命名），到南美洲巴西北部的索貝爾（Sobral）進行觀測；另一隊則由愛丁頓（Sir Arthur Eddington 1882~1944）³領軍，到非洲西岸的普林西比島（Principe Island）。兩支觀測隊各攜

【註2】



坎貝爾（William Wallace Campbell, 1862~1938），美國天文學家，自1901年起至1922年之間擔任里克天文台台長，是光譜學的先驅權威，測算過恆星徑向的速度；1923~1930年間擔任加州大學校長，但仍有條件的兼任里克天文台職務；1931年後，擔任四年美國國家科學委員會主席；之後因健康日差，在76歲以自殺辭世。在對廣義相對論持懷疑和反對的天文學家中，坎貝爾相當具有代表性。他參加過多次以檢驗愛因斯坦理論為目的的日食觀測，他對相對論的質疑也是因為他自己沒有找到「證據」，他曾經公開表示，愛因斯坦理論是錯誤的。

1922年坎貝爾到澳大利亞觀測日食，因為籌備周密使觀測精度提高，得到的觀測結果為 1.72 ± 0.11 角秒，證實了愛因斯坦理論的正確。坎貝爾立刻承認過失，不再反對廣義相對論。



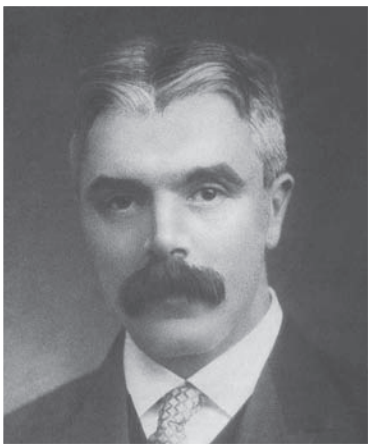
帶一台口徑33公分的天體照像儀，巴西觀測隊還多帶了一台口徑10公分的望遠鏡。

這次的日食，從智利和秘魯的接境處開始，經過南美，進入大西洋，然後到非洲的中部結束，整個全食帶離赤道不遠。當天早上，普林西比島風雨交加，但下午日食發生時卻風和日麗；愛丁頓拍了多張照片，但僅有2張顯示出恆星的影像。巴西索貝爾的天氣很好，天體照像儀拍了19張照片，10公分小望遠鏡拍了7張。但天體照像儀的焦點偏離導致星像模糊，降低了恆星位置的精確度。理想的觀測情形下，相對論預測的光線偏折效應應會造成星點位置在底片上呈現1/60毫米的位移，約是恆星影像點直徑的1/4。

這三份觀測資料的結果並不一致。普林西比的結果平均為 1.61 ± 0.30 角秒，巴西的結果是0.93角秒，小望遠鏡的結果則是 1.98 ± 0.12 角秒。這些都與愛因斯坦理論預估的1.75角秒不相同。愛丁頓與戴森討論後，以加權方式定出1.64角秒的結論，並認為與愛因斯坦的預言很接近。

1919年11月戴森在皇家學會和皇家天文學會上宣布：觀測結果支援愛因斯坦的理論（這份劃世紀的論文報告：Dyson, F. W.; Eddington,

【註3】_____



戴森爵士 (Sir Frank Watson Dyson, 1865~1939) 也是一位著名的天文學家，1889年畢業於劍橋學院，終生在英國皇家天文台工作（格林威治天文台和愛丁堡天文台），他參加過1900年以來的多次日食觀測，是研究日冕與太陽光球層光譜的權威，具有十分豐富的觀測經驗。

台），他參加過1900年以來的多次日食觀測，是研究日冕與太陽光球層光譜的權威，具有十分豐富的觀測經驗。

A. S.; Davidson, C. (1920), “A Determination of the Deflection of Light by the Sun’s Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919”, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Math. or Phys. Character 220: 291–333)。

倫敦《泰晤士報》在該年11月7日刊登頭版頭條新聞『科學革命：牛頓的思想被推翻』。但是仍然有質疑的聲浪，為此戴森也公布了原始底片的複製品。

但是就科學的角度而言，此一宣布實在有欠嚴謹，因為有許多因素會產生觀測與實驗的誤差，而影響最後結果；其中很大的一個因素就是溫度的變化。溫度變化導致大氣擾動，因而使望遠鏡的聚焦系統發生變化；照相底片也會因熱脹冷縮而造成尺寸上的改變，這些變化都會影響到測算結果的正確

【註4】_____



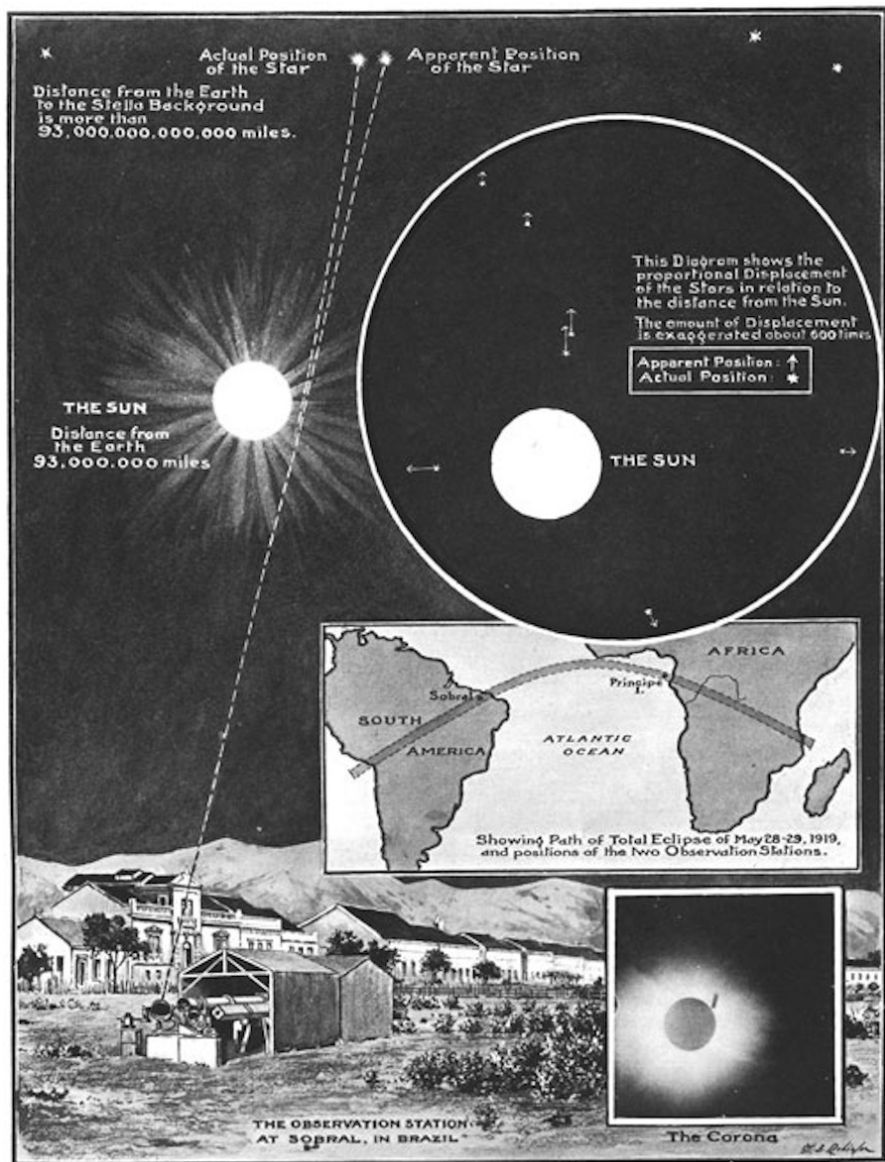
愛丁頓爵士 (Sir Arthur Eddington 1882~1944) 是英國著名的天文學家、物理學家。他博學多才，天文、物理和數學樣樣精通。他23歲劍橋大學畢業後，即於1906年

到格林威治天文台工作，1913年任劍橋大學天文學教授，1914年後兼任該校天文台台長，先後擔任英國皇家天文學會會長、英國物理學會會長、英國數學協會會長；從1938到去世的1944年擔任國際天文學聯合會主席之職。1920年，愛丁頓把愛因斯坦著名的質能關係應用於恆星能源的研究，提出太陽的能量來源來自於太陽內部的核反應。1923年他出版了《相對論的數學原理》，該書被愛因斯坦本人譽為闡述相對論的最佳作品之一。

性。尤其當預測的偏移量十分微小，誤差對結論的影響就更是舉足輕重。

戴森與愛丁頓顯然明白溫度變化對儀器精度的影響，他們的研究報告中指出，小於 10°F 的溫差是可以忽略不計。但巴西索貝爾的夜晚溫度為 75°F ，白天溫度為 97°F ，晝夜溫差達 22°F ！後來研究人員考慮了溫度變化的影響，重新測算了索貝爾的底片星點位移，得出最大的光線偏折量可達 2.16 ± 0.14 角秒。

另外底片的材料品質也會對結果產生影響。在索貝爾拍攝的26張底片中，天體照相儀拍攝的19張底片品質較差，10公分望遠鏡拍攝的7張底片的品質較好；公布結果的觀測數據是全部26張底片的平均值。研究人員驗算後發現，如果刪除其中成像不好的一、二顆恆星，最後結果就會大幅改善。



原載於1919年 11月22日英國倫敦新聞畫報 (Illustrated London News)，該刊於1842年創刊，以週刊形式出版，1971年改為月刊。

1919年以後日食驗證

1922年在澳大利亞的日食觀察為廣義相對論提供了再一次關鍵性的證明。他們拍攝驗證的方法是日全食前拍攝一組群星體的相片，日全食時又拍攝這群星體相片。比較之下發現第二張照片的星星確實移動了 1.98 角秒。

1973年6月30日的日全食是20世紀全食時間第二長的日全食，發生日全食時太陽位於恆星密集的銀河星空背景下，對檢驗星光偏折十分有利。美國天文學家在非洲毛利塔尼亞的沙漠綠洲建造了專門用於觀測的絕熱小屋，將暗房和洗底片液保持在 20°C ，並對整套觀測儀器的溫度變化進行

監控。日食發生後，觀測隊用水泥封存了小屋，同年11月初再回去拍攝了比對的底片。經過精心設計的觀測程序與數據分析之後，得到太陽邊緣處星光的偏折量為 1.66 ± 0.18 角秒，再次證實廣義相對論。

1974年到1975年間，天文學家利用長基線的電波干涉儀，觀測了太陽對三個射電源的偏折量，得到 1.761 ± 0.016 角秒。終於以誤差小於1%的精確度證實了廣義相對論的預言。

至此，這場關鍵的科學驗證工作落槌定音。

葛必揚：前臺北市立天文科學教育館副研究員

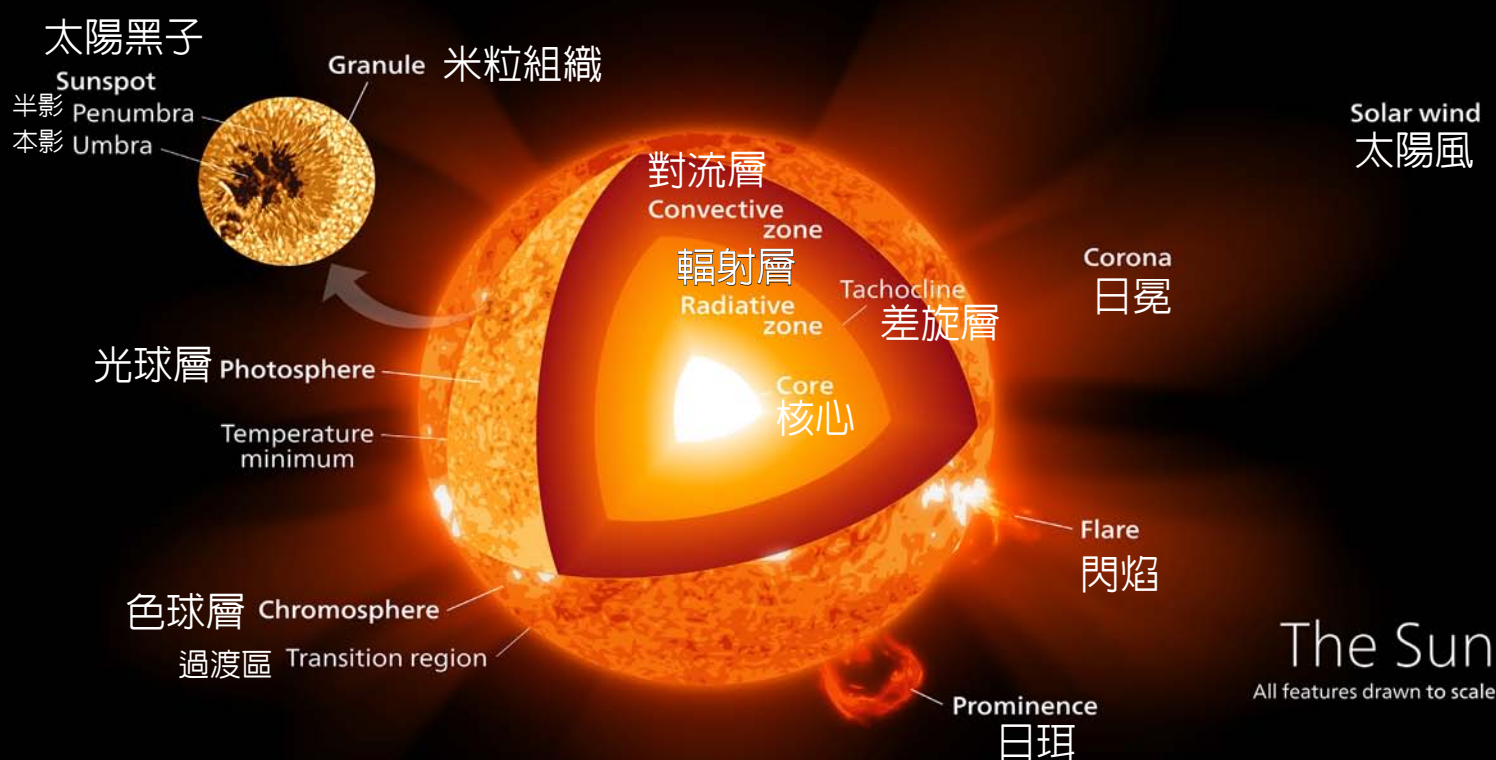
19世紀的日食科學觀測

太陽是最靠近地球的恆星，陽光只需要八分多鐘便能抵達地球，如此鄰近的距離，讓我們可以了解許多太陽的細節，因此太陽也成為研究其他恆星的試金石。

太陽核心溫度估計約為1千5百萬度，太陽絕大部份的能量由核心的氫融合成氦之核融合反應提供，剛產出的能量通常為高能的 γ 射線與X射線之形式，當能量由核心往外傳遞的過程中，首先通過輻射層，輻射層的物質溫度高與密度大，能量的傳送依賴輻射的方式，不過輻射層內游離的氫和氦會散射來自核心的 γ 射線與X射線，電磁波只能傳遞很短的距離便被離子吸收再輻射，經過不斷的散射，能量最後主要為可見光的型態。接著在對流

層裡，密度與溫度都不如輻射層大，透明度大為降低，造成對流層頂部與底部溫差很大，能量主要靠對流的方式往外輸送。經過這樣迂迴曲折的過程，從核心傳送的能量必須要花費平均約15萬年的時間才能夠到達表面。

我們所看到的太陽表面即是光球層，光譜型態與5800K的黑體輻射極為相近，在可見光範圍的輻射強度最大。光球的上面是色球，亮度是光球的千



太陽的橫截面圖。圖片來源：Wiki

分之一，因為在日全食時可以看見產生彩色的發射光譜，因此稱為色球，紅色的色彩源自於氫的發射光譜線。色球的上面是日冕，亮度僅僅是色球的千分之一。由於光球太亮，只能在日全食看到色球與日冕。

1820年代，計算日食路徑的數學工具讓天文學家在日食發生時可以有充分的準備以進行觀測，由於日環食發生時，仍然可見光球層，天空還是很明亮以至於不能觀察到色球與日冕，所以天文學家只能在日全食發生時進行科學觀測。

19世紀中葉的天文學家觀測日食開始與結束的時間來精煉日月的運行軌道計算與預測；趁著日全食發生時進行科學觀測，也產生與解決了新的科學問題，例如：探索日冕與色球的本質、尋找水內行星與提升金星凌日觀測技術的準確度等，以下將針對這三個面向詳細說明。

探索日冕與色球的本質

古時候的天文學家或許已經注意到日全食發生時，太陽周圍微弱的光暈，人們或許會推測它是氣體嗎？如果它是光，發光的來源為何？它屬於太陽還是月亮呢？

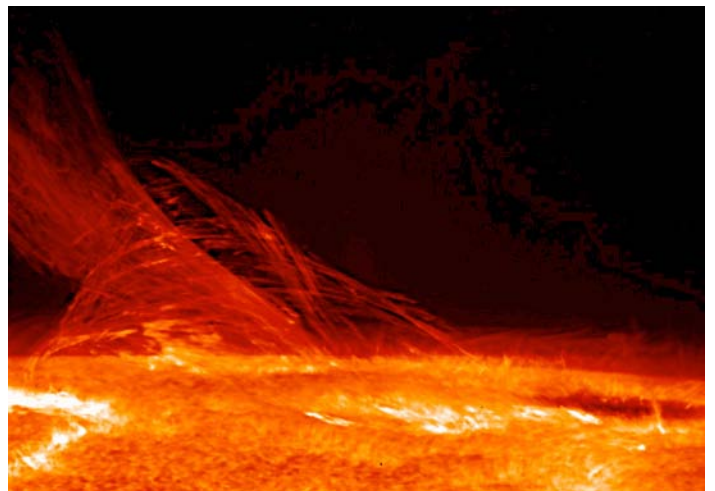
1706年5月12日的日食，義法天文學家卡西尼（Giovanni Domenico Cassini）使用“une couronne d’une lumière pâle”（意思為a crown of pale light）來形容太陽周圍的光暈。直到1724年5月22日的日全食，義大利天文學家馬拉爾迪（Giacomo Filippo Maraldi）才確定這個環形光暈屬於太陽，而不是月球，因為它不會跟隨月亮移動。西班牙天文學家德費雷爾（José Joaquín de Ferrer）參加1803年古巴及1806年紐約的日食觀測團，也提出相同的看法，並且在1809年創造了日冕（corona）一詞。

1802年沃拉斯頓（William Hyde Wollaston）在太陽光譜中發現幾條暗線，促使光譜學研究進入一個新的境界，天文學也因此受益。隨後，夫朗和斐（Joseph von Fraunhofer）千辛萬苦地找到太陽光譜中的數百條暗線，稱為夫朗和斐線。約莫過了半世紀，克希荷夫和本生在實驗室辛勤實驗，才明白每一條暗線實為對應某種特定的化學元素，因此推論



日全食 於短暫的全食階段可以用肉眼看見太陽的日冕。

圖片來源：Wiki

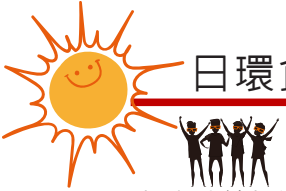


這張影像是使用日出衛星的光學望遠鏡在2007年1月12日拍攝的，顯示出太陽電漿連接不同磁極區所產生的絲狀結構。

圖片來源：Wiki

在太陽光譜中的暗線是由太陽上層大氣的元素吸收所造成。

1868年的日全食，英國天文學家洛克耶（Joseph Norman Lockyer）和法國天文學家詹森（Pierre Janssen）各自在色球光譜中鈉線的附近測量到波長為587.6nm的未知黃色譜線，於是推測這條譜線來自於一種新的元素，並命名為「氦（Helium）」，這個字源自於希臘文「helios」，意思為太陽。直到1895年蘇格蘭化學家拉姆齊和克魯克研究鈾礦時才首次在地球發現氦氣。為什麼夫



朗和斐線裡沒有氦元素的譜線？因為光球層的溫度不足以激發氦原子，部份色球層的溫度高達上萬度，才足夠激發氦原子。

在1869年8月7日的日全食，美國天文學家Young和Harkness兩人各自發現530.3nm的亮綠色發射譜線，後來的日全食陸續又觀察到其他類似的發射譜線，這些譜線後來稱為E日冕，有了氦氣的前例，天文學家紛紛推測存在一種未知的元素：冕元素（Coronium）。接著天文學家又發現內日冕與外日冕的光譜不同，1934年德國天文學家Grotrian從日冕的光譜分析出兩種成份：K日冕，源自德語的kontinuum，意思是連續，它是偏振光，強度隨距離太陽越遠迅速減弱；因為日冕中沿磁場排列的自由電子將來自光球層的光線湯姆森散射造成的，而且散射的電子本身運動極快，強大的都卜勒致寬「抹去」吸收譜線，造成K日冕光譜的外觀呈現沒有吸收譜線的連續光譜。F日冕：名稱與夫朗和斐有關，包含夫朗和斐吸收譜線，強度隨距離太陽越遠緩慢減弱；是由行星際的低速塵埃散射來自光球層的光所致，若塵埃距離太陽較遠位於黃道面或F日冕的外圍，即為黃道光。距離太陽近的塵埃會蒸發，因此內日冕為K日冕顯著，外日冕則是F日冕顯著。

日冕為什麼會有這些明亮的發射譜線？為什麼日冕有如此多的自由電子？Grotrian和瑞典天文學家Edlén受到量子力學原子能階的啟發，判斷日冕的這些發射譜線與高度電離的離子有關。Edlén觀察許多高度電離的離子光譜，並與Grotrian交流，1939年Grotrian注意到FeX（或 Fe^{9+} ）的兩個能階對應日冕紅色的637.4nm譜線；FeXI（或 Fe^{10+} ）的兩個能階對應789.2nm。Edlén也找出了許多紫外光譜線對應的原子能階。現在我們知道在日冕中最著名的可見光發射譜線有綠色的530.3nm譜線是來自FeXIV（或 Fe^{13+} ）；紅色的637.4nm譜線來自FeX（或 Fe^{9+} ）；黃色的569.4nm譜線是來自CaXV（或 Ca^{14+} ），這些高度電離離子的存在，表示日冕必須維持數百萬K的高溫，而且日冕的密度必須非常稀薄，這使得我們產生疑問：為什麼日冕的溫度比光球層高？

不想受限於僅在日全食短暫時間才能觀測到日冕，在1930年，法國天文學家李奧特（Bernard

Ferdinand Lyot）發明了日冕儀，相當於是「人工月亮」的角色，但是當我們用日冕儀擋掉中間的太陽光，天空散射的太陽光仍然會進入望遠鏡裡面，只好把日冕儀架設在大氣散射程度比較小的地方，像是高山、高空，甚至是太空望遠鏡，如此一來日冕儀的效果非常好。倘若日冕的溫度極高，則日冕主要輻射紫外線與X射線，但是這些波段的電磁波會被地球的大氣層吸收，高空或太空觀測勢在必行。1950年代美國海軍研究實驗室（Naval Research Laboratory, NRL）Friedman的團隊發射V2火箭，上面搭載紫外線與X射線偵測儀器，這些實驗的成果成為後來研究日冕的基石。接著，NASA在1962年至1975年發射幾次Orbiting Solar Observatories任務（OSO-1到OSO-8）、從1973年至1979年運作的Skylab太空站，這些觀測對於後來研發觀測太陽的人造衛星有很大的幫助，包括：日本主導的Yohkoh（1991–2001）及Hinode（2006–現在），NASA主導的Solar and Heliospheric Observatory（SOHO; 1996–現在）、Transition Region and Coronal Explorer（TRACE, 1998–2010）、Solar Terrestrial Relations Observatory（STEREO; 2006–現在）、Solar Dynamics Observatory（SDO; 2010–現在）等等。

日冕的亮度隨著與太陽的距離越遠變小很多，日冕的照片通常由不同的曝光時間與光圈的照片所合成。豐富的紫外線（UV）、極紫外線（EUV）和X射線的光譜分布資料讓我們可以詳實地知道日冕的溫度、密度、粒子速度與組成成份之分布，這些資料也會跟光球的磁場分布做比對，咸信磁場對於加溫日冕扮演著重要的角色，天文學家也發展出許多重要的理論。

尋找水內行星 (intra-Mercurial planet)

水內行星顧名思義為公轉軌道在水星軌道以內的行星。

行星橢圓公轉軌道的近日點不斷移動稱為近日點進動。在1840年巴黎天文台阿拉戈建議勒維耶研究水星軌道來驗證牛頓力學，1843年水星凌日的觀測證明了勒維耶的理論計算有偏差。現在科學家測

量到水星近日點進動是每世紀5,600角秒，然而牛頓力學考慮所有天體對水星的影響，計算的結果卻只得到每世紀5,557角秒，每世紀相差43角秒。

1845年已經成為巴黎天文台台長的阿拉戈指派勒維耶研究天王星軌道攝動的問題，他只花了一年的時間便完成理論計算，1846年柏林天文台的伽勒發現了勒維耶事先用數學預測的海王星，受到這件事的啟發，勒維耶在1859年提出在水星公轉軌道內側存在一個行星，以解決水星近日點進動的問題，他把這顆行星命名為祝融星（Vulcan），對於這顆如此靠近太陽的行星來說這個名字再適合不過了。尋找祝融星的天文學家前仆後繼，大部分的天文學家用凌日法，就像水星和金星凌日一樣，有些天文學家發表找到祝融星的蹤跡，但是充滿爭議。另外也有一些天文學家利用日全食來找祝融星，當日全食發生時，靠近太陽的天體就會顯現出來，可是，都未找到祝融星，漸漸地尋找祝融星便乏人問津。

1915年愛因斯坦發表廣義相對論，重力能彎曲時空，不需要祝融星的存在，就能巧妙地解釋水星近日點進動問題；彎曲的時空也會造成光線偏折，因此日全食是驗證的絕佳時機，日全食的科學觀測又多了一個題目。

1919年5月29日日全食發生時，太陽周圍會有很多的亮星，英國物理學家愛丁頓爵士率領觀測隊往非洲幾內亞海灣的普林西比島（Principe）。當時他們選定一顆恆星作為目標，根據廣義相對論預測，它的位置看起來會偏移1.75角秒。從艾丁頓拍攝的日全食照片中，他發現那顆目標星的位置偏移約為1.68角秒，相當接近預測值，愛因斯坦因此奠定了他在科學界的地位。但是造成光線彎曲的因素很多，溫度的變化就是一個很大因素，此後的日全食觀測天文學家更進一步地小心求證，證實廣義相對論的預測的確比牛頓力學的預測更符合觀測結果。

提升金星凌日 觀測技術的準確度

金星凌日是種比日食更罕見的天文現象，其原理與月球造成的日食一樣，只不過金星看起來很

小，當金星從太陽與地球之間通過時，只會看到一個黑點掠過太陽盤面。計算發生此現象的發生週期也與日食相似，它以243年為一個週期，第一對金星凌日時間相隔8年，之後再間隔約121.5年，才會有第二對金星凌日，間隔時間同樣也是相隔8年，然後再經過約105.5年，週期往復。下表為幾對金星凌日實際發生的時間與下一對金星凌日預計發生的時間：

1761年6月6日	1769年6月3至4日
1874年12月9日	1882年12月6日
2004年6月8日	2012年6月5日至6日
2117年12月10至11日	2125年12月8日

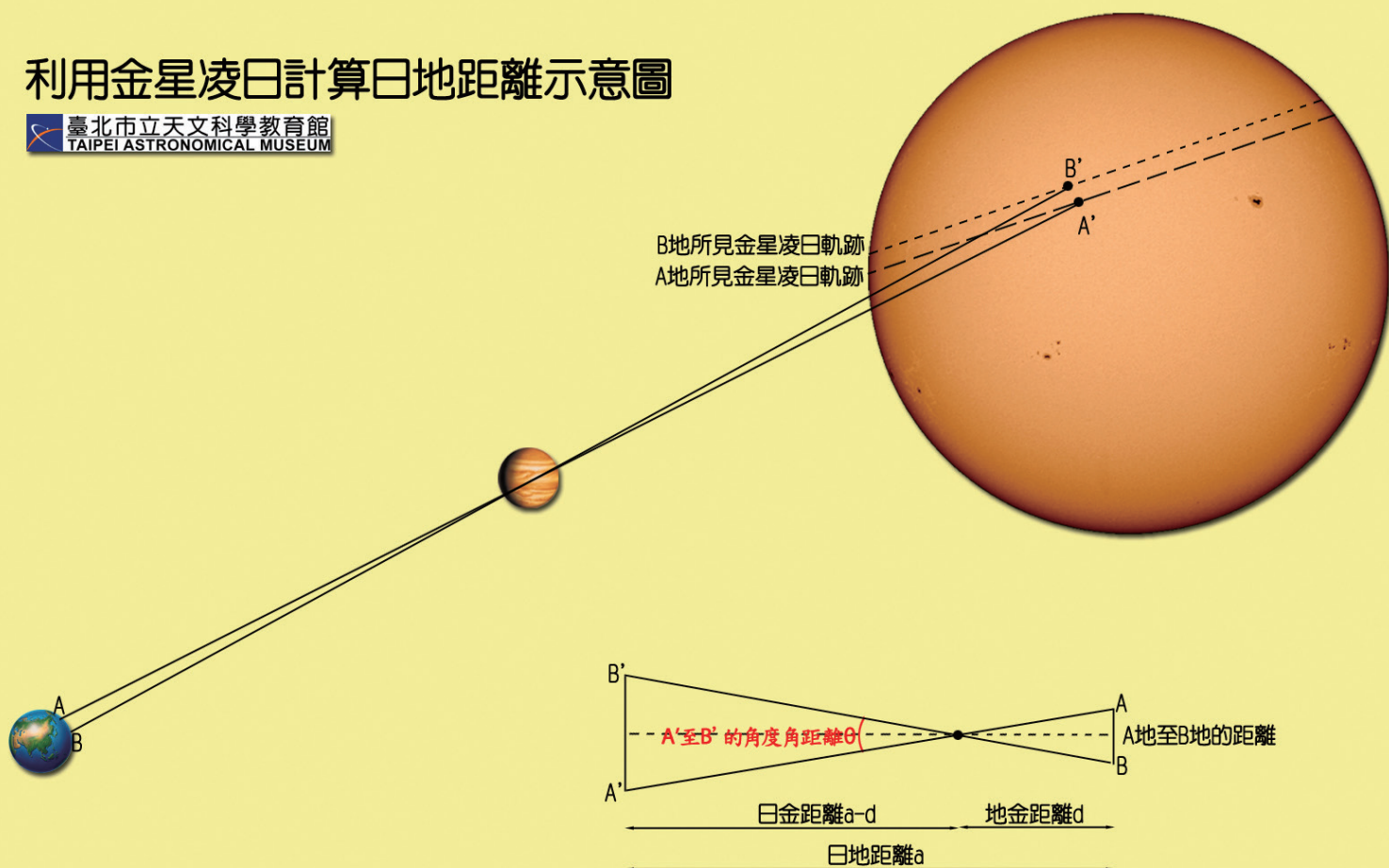
金星凌日觀測在歷史上曾經具有極為重要的科學意義，1716年，哈雷由水星凌日的觀測經驗，提出利用金星凌日結合恆星視差原理，可以算出更為精確的天文單位數值。他建議各國科學家可以觀測1761年和1769年的金星凌日，不過長壽的哈雷一生中並沒有經歷過金星凌日。

如下圖，A、B分別為地球上同一經度、不同緯度的兩個地點，A'與B'分別為A、B兩地看到的日面上金星凌日的位置。假設地球到太陽的距離為a，金星到地球的距離為d，則金星到太陽的距離為a-d。由相似三角形的關係可以得到

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{a-d}{d}$$
，經過一些代換與計算，最後可以算出a。這個方法的關鍵便是確認A'與B'的位置，而精確地記錄金星凌日完整的持續時間便可以得到A'與B'的位置，這得求助天文攝影。話說回來實際上，每次金星凌日能夠觀測到全過程的地方十分有限。

19世紀，嶄新的攝影技術蓬勃發展，天文觀測躍躍欲試，這對於判斷精確地金星凌日完整的持續時間非常有幫助，面對即將到來的1874年和1882年金星凌日觀測，天文學家們各個摩拳擦掌紛紛擬訂觀測計畫，其中包括利用拍攝日食來精進天文攝影技術。法國達蓋爾於1839年發明銀版照相法（Daguerreotype），但是曝光時間約為30分鐘，對於拍攝日食顯然緩不濟急。1851年英國人阿切爾發明火棉膠濕版攝影法（Collodion process），在乾淨的玻璃上塗上加了碘化物的火棉膠，再浸入硝酸

利用金星凌日計算日地距離示意圖

臺北市立天文科學教育館
TAIPEI ASTRONOMICAL MUSEUM

銀，形成可感光的碘化銀，取出趁還濕濕的時候，立刻進行拍攝曝光，然後馬上在暗房顯影、定影，完成全部的步驟約十多分鐘時間，影像比銀版照相法細緻，但是在拍攝過程會受溫度、時間的影響，影像品質不穩定。英國天文學家德拉魯（Warren De la Rue）以天文攝影聞名，1860年7月18日的日全食，他曾經利用火車大費周章地運送攝影器材與暗房到西班牙進行觀測，他採用火棉膠濕版攝影法拍到日冕。1869年8月7日的日全食，美國境內組織很多觀測團隊在全食帶拍攝日全食的照片並記錄每個過程的精確時間。

1874年的金星凌日，受限於當時的觀測儀器存在的缺陷，金星進入太陽盤面後和離開太陽盤面前的照片還是受到了「黑滴現象」的影響，因此無法得知凌日開始和結束的準確時間，計算出的天文單位為1.4959億公里，其他天文學家利用火星或小行星測量的視差可以計算出更精準的天文單位數值，因此部分的天文學家對1882年的金星凌日興趣缺缺，

參加過1869年8月7日日全食觀測活動的美國天文學家Newcomb建議金星凌日不是測定天文單位的最佳方法。現在日地距離的精確值是利用遙測而得，不過，天文單位不再定義為日地的平均距離，而是常數149,597,870.700公里。

結語

時至今日，日食仍然是天文學家關心的天文現象，他們曾經進行的科學觀測整理如下，未來相信也會有其他觀測計畫繼續進行。

做地面觀測時，擔心受天氣狀況的影響，事先天文學家會規畫許多地點進行觀測，將所有地點的觀察結果結合起來，這樣也可以提供日冕隨時間變化的情況。科學家有時會選擇一些地點是太空望遠鏡無法觀測的角度，通過將地面影像與太空中獲得的影像相結合，能夠建構出完整的日冕影像。

研究尚未觀測的不同波長，以檢測日冕化學成分、溫度、密度與物質能量流動，增進對冕流（streamer）與極羽（polar plume）的理解，最近太陽處於11年活動週期的安靜期，因此日全食時可以觀測到極羽。

透過則曼效應（Zeeman effect）測量光球層的磁場，這和太陽黑子的活動有關聯。日全食期間的日冕觀測結果與太陽磁場也進行比對，建構日冕活動與太陽磁場之間的關聯性，如此可以幫助我們預測太空天氣。

日食發生時，月球的影子投影到地球表面，追蹤陰影中大氣層溫度下降的幅度和速度，以及電離層（距地球表面80到1000公里）的變化，以確認日食如何影響大氣的電離與無線電波的接收。

參考資料

Westfall J, Sheehan W. 2015. Celestial Shadows: Eclipses, Transits, and Occultations. New York: Springer-Verlag

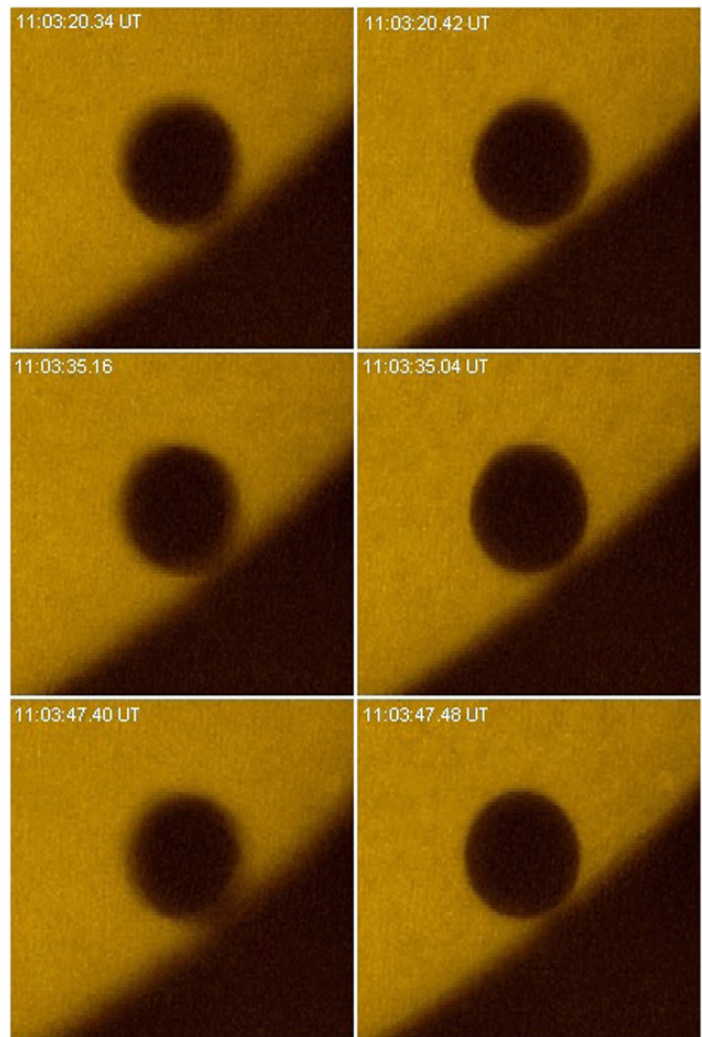
Oddbjørn Engvold, Jean-Claude Vial, Andrew Skumanich. 2018. The Sun as a Guide to Stellar Physics 1st. Amsterdam: Elsevier

J. M. Pasachoff, “Scientific observations at total solar eclipses”, Research in Astron. Astrophys. 9, 6, 613 (2009)

J. M. Pasachoff, “Eclipse science today”, Physics Today 72, 8, 66 (2019)

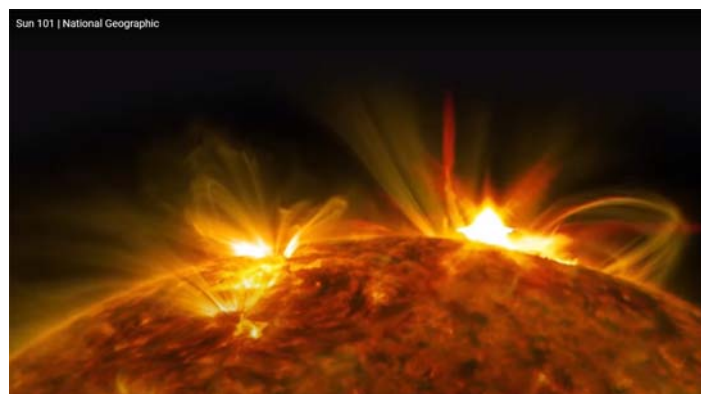
D. Kent, “The North American eclipse of 1869”, Physics Today 72, 8, 46 (2019) Jack B. Zirker, Oddbjørn Engvold, “Why is the Sun’s corona so hot? Why are prominences so cool?”, Physics Today 70, 8, 36 (2017)

施欣嵐：臺北市立天文科學教育館



兩組接觸時刻的照片。左側解析度較差的圖片中可以看到黑滴現象。
圖片來源：Wiki

YouTube相關影片：



Sun 101 | National Geographic

https://www.youtube.com/watch?v=2HoTK_Gqi2Q



文/ 陶蕃麟



Eclipse Calculator 2.0

實用的APP，讓您一手掌握日食、月食以及內側行星凌日的詳細資訊。

今年的天文大事莫過於6月21日將發生的日食了！拜科技與網路的發達，只要有隻智慧型手機，你也可以像天文學家一樣，動動手指，就能完全掌握這次日食的動態。本文介紹的應用程式Eclipse Calculator 2.0可以让你瞭解20世紀和21世紀所有已經發生和未來將發生的日食、月食以及內側行星凌日的詳細資訊。

第一步：安裝

這是一個安卓系統的免費教育軟體，使用Google Play或APK搜尋，看到有這個圖示的應用程式就對了。不需要任何的設定，就可以直接下載至手機並完成安裝。（圖1）是在手機上以Google Play和APK搜尋到的安裝參考畫面。雖然安裝後在不同廠牌的手機上佔用的記憶體空間會不同

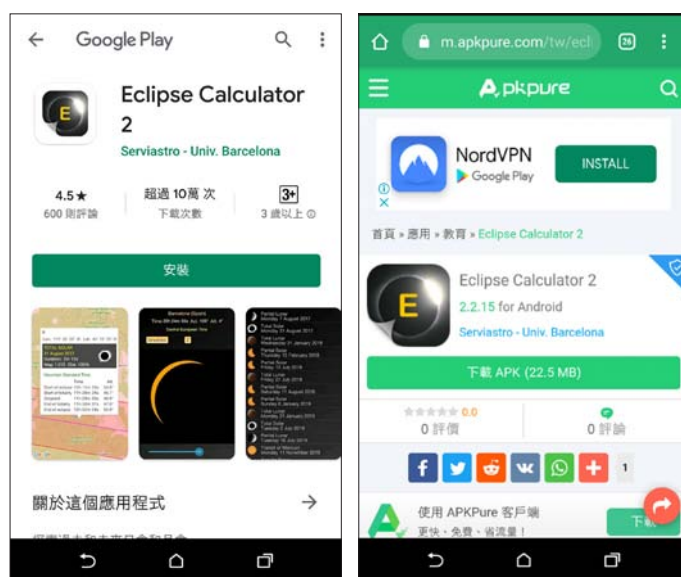


圖1.搜尋到的Eclipse Calculator 2.0安裝畫面。（A）為Google Play，（B）為APK。

(30~50MB)，在地圖 (Map) 的呈現效果上也會有些差異，但這並不會影響使用上的精確度。蘋果系統也有類似的應用程式：Eclipse Guide，但似乎未提供凌日的資料，另一個Eclipse Calculator更只有日食的資料。由於沒有蘋果系統的設備，這一部分就不介紹，有相關設備的讀者可以自行下載來玩看看。

為了方便後續的說明，建議各位在安裝好這個應用程式之後，再邊看邊操作。相信各位很快就能上手，完全掌握住6月21日的日食狀況，以及這兩個世紀所有的日月食與行星凌日。

在手機上安裝好後，會出現如 (圖二) 的畫面，點選【開始】就能啟動程式；如果是從電腦下載，就要找出啟動應用程式的圖示：，點選後一樣可以啟動程式。啟動後應該就會看到如 (圖三) 的畫面。不過在正式執行之前，請先點選右上角如齒輪的圖示，了解目前的設定狀態。

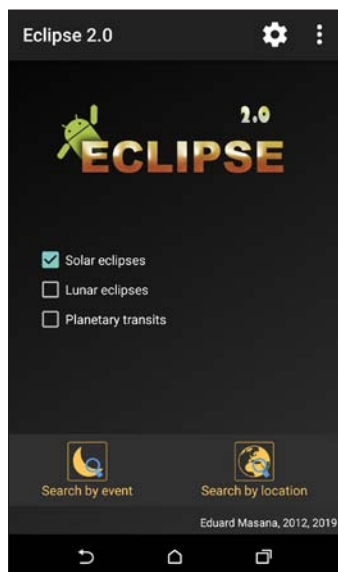
第二步：設定

設定分為時間 (Time)、地圖 (Map)、模擬 (Simulation) 和目錄 (Catalogue) 四個部分。



圖2. 以手機直接搜尋，完成安裝 Eclipse Calculator 2.0 的畫面。

→圖3. 啟動Eclipse Calculator 2.0 後的首頁。



原始設定可以讓這個程式在最佳狀態下執行，所以除了地圖的呈現方式之外，其餘的設定不建議去更動。

1. 時間

- (1). **世界時 (Universal Time)**：實際上是協調世界時。以原子時的秒長為基礎，在時刻上儘量接近於格林威治標準時間。
- (2). **裝置時間 (Device time)**：這是內定的時間選項，即你所在地時區的時間，也就是手機上所顯示的時間。
- (3). **地方時 (Local time of the chosen location)**：以觀測地點所測定的真太陽時，由於要根據你所在的地理經度修正時間，所以會拖慢運算的速度。

2. 地圖

可以從在此選擇 **normal** (普通)、**hybrid** (鳥瞰) 或 **terrain** (地形)。建議選擇 hybrid，可以忠實呈現地景。

3. 模擬

勾選後可顯示背景恆星的名稱。

4. 目錄

- (1). **Basic** (基本)：顯示20與21世紀的食與凌日。這是內定的選項。
- (2). **Extended** (擴充)：顯示1550至2300年的食與凌日。選擇此項也會拖慢運算速度。

右上角還有排成一列的三個點，點選它可以設定觀測地點 (Edit place)、讀取快速啟動的指引 (Guide) 或查看版本資訊 (Info)。選擇設定觀測地點選項時，會呈現 (圖四) 的畫面。在這兒有六個選項：**Current** (目前位置)、**Map** (地圖)、**New** (新增)、**Delete** (刪除)、**Edit** (編輯) 或 **Accept** (接受)。

程式內已經預設了許多地點 (城市)，在國家的選項中可以找到台灣 (Taiwan)，並查出已經預設台北、台南和高雄三個城市。當然，使用者



還是可以添加新的觀測地點，例如加上臺北市立天文科學教育館。如果你所在的位置就是你要進行觀測的地點，可以選擇Current，程式就會開啓你手機上的GPS測出你所在位置的地理座標，你只需要輸入觀測地點的名稱，然後選擇Save（存檔），再選擇接受，就會回到（圖三）的畫面，可以開始使用這個程式了。如果不在觀測位置上，但知道觀測地點的地理座標，可以選擇New（新增），手動輸入座標數值，然後才鍵入觀測地點的名稱。也可以先略過這一部份，等到需要時再設定。

第三步：執行

回到（圖三）可以看到天文事件的選項有日食、月食、和凌日三項。可以全選，也可以任選一或二項；建議每次只要勾選一項即可。在下方有兩個選項讓我們可以依事件來搜尋（Search by event），或依地點來搜尋（Search by location）。無論你在之前是否已經設定好了觀測地點，建議選擇依地點來搜尋，先了解觀測地點的預報資料。

1. 依地點來搜尋（以臺北市立天文科學教育館為例）

建立觀測地點的好處是當你選擇【依地點搜尋】時，會先顯示觀測地點讓你確認，並讓你勾選只列出將來才要發生的，或是列出可見的全部事件。如果不是你期望的觀測位置，可以在此處從資料庫中挑選或點選New來新增。然後，在選擇計算（Compute）之後，只會列出在當地能看見的日食選單，並且顯示出食象與被遮蔽的日面百分比，而不是列出所有的日食。（圖五A）是勾選只列出將能看見的，6月21日呈現的是遮蔽面積91.5%的日偏食。

點選6月21日的圖示，就會秀出觀測地點在這次日食的相關數據，依序為：食分（Magnitude）、遮蔽率（Obscuration），初虧（Start of eclipse）的時間、太陽方位（Azi.）與高度（Alt.），與食開始的方位角（P、V），食甚（Greaster）的時間、太陽方位與高度，與復圓（End of eclipse）的位置、時間、太陽方

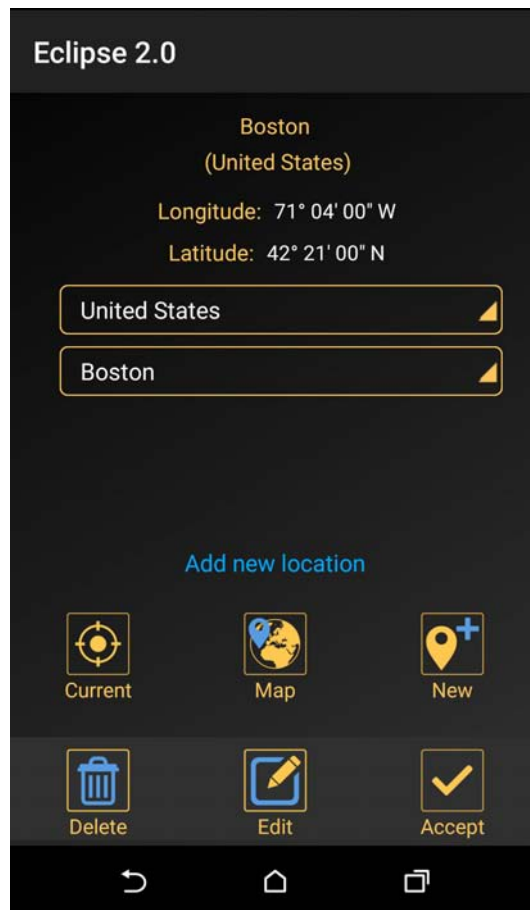


圖4. 編輯觀測地點的選擇畫面。

位與高度等。如果你的觀測地點在環食帶內，還會有環食開始和環食結束的時間和方位角的資料。在頂端有四個功能選項，都是手機上通用的圖示，就不贅述了。底端給了三個選項：General Circums（整體環境）、Simulation（模擬）、Countdown（倒數計時）。

這一頁面涉及許多天文術語，點選【Simulation】來看圖會有助於了解。點選後出現太陽盤面的圖，上端秀出觀測地點、太陽的方位與高度、食的遮蔽率，以及初虧的時間*，還有兩個黃底色框分別標示Greatest和Z，右邊還有可勾選的小方格標示為【Live】；底部還有拉桿可以让你手動演示日食的過程。太陽方位與高度是告知太陽所在的位置，大家都不會有問題。P和V是月球相對於太陽所在的位置，對於確定初虧的位置與時

*此處有小缺陷，不會顯示正確的初虧時間。但只要移動拉桿再回復就可以正確顯示。

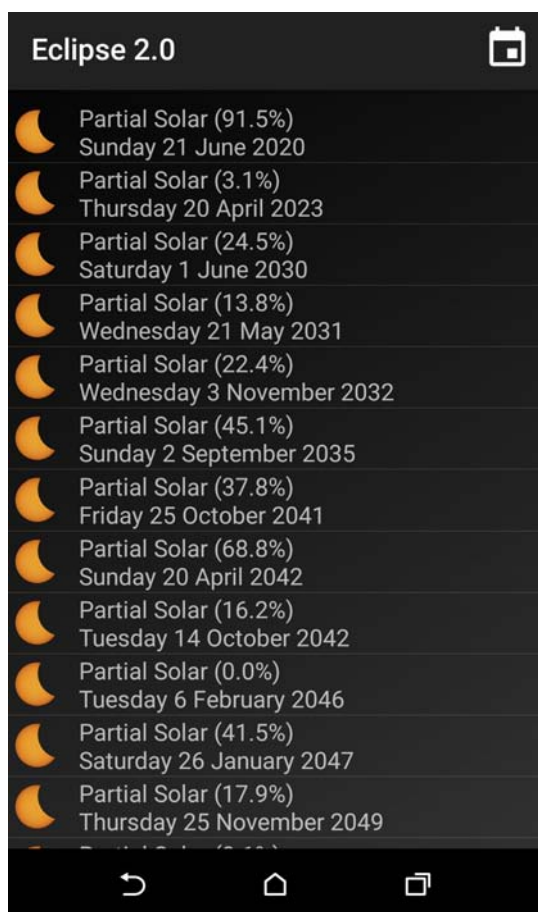


圖5A. 依地點搜尋，在臺北市立天文科學教育館在未來可見的日食。

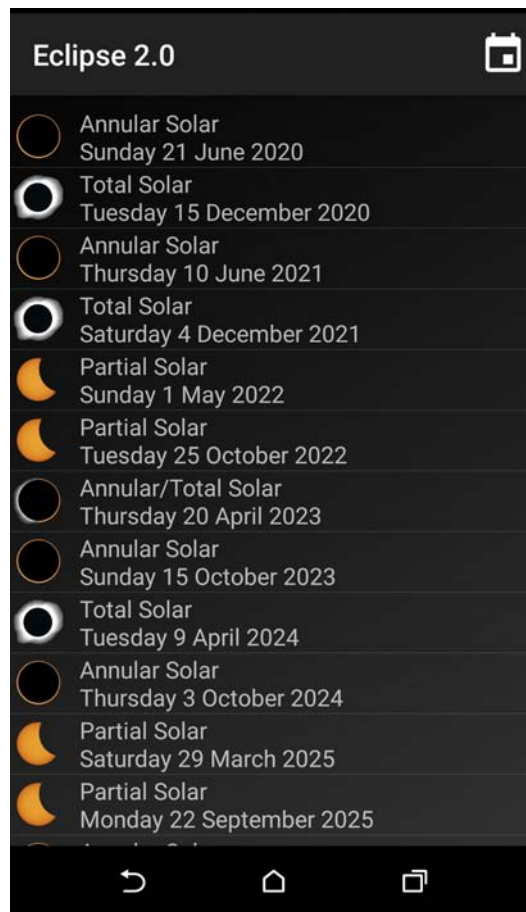


圖5B. 依事件搜尋，在未來會發生的日食。

間測定很有幫助。若你是用肉眼直接觀賞，或是使用經緯儀，請選擇【Z】來演示，也就是地平座標系統，這時你要根據V的值定出月球的位置。此處的V是192度，也就是月球會在太陽下方偏右12度之處與太陽接觸。如果使用赤道儀，請選擇【N】來演示，根據P值來觀測初虧的位置與測定時間。此處的P是270度，也就是由太陽的正西方開始遮到太陽。

當日食在進行時，你可以在此畫面勾選右上角的【Live】，那即使是陰雨天，你也可以知道食進行得如何了。

點選【Countdown】，就會倒數初虧、食甚和復圓這三個關鍵時間還要多久發生。

點選【General Circums.】就會進到【依事件來搜尋】的選項，可以查看這次日環食的全貌。

2.依事件來搜尋

選擇依事件來搜尋，會請你勾選未來將發生的事件，或是自己設定起訖的年份。然後選擇計算，（圖五B）是勾選只列出未來將發生的日食選單畫面，顯示6月21日的事件是日環食。

同樣，點選6月21日的圖示，秀出的是這次日環食的全球狀況。由於是全球性的資料，單一畫面不能完全呈現，所以要麻煩你在自己的手機上查看。在這個頁面出現更多的術語。要注意在各地所見到的日食狀況都不一樣，而這是全球的狀況，不是單一地點的觀測資料。

首先，是描述這次日食基本資料。

Greatest顯示出此次全球食最大的時刻。

Magnitude是食分。它的數值是食最大時，太陽直徑被月球遮蔽長度的百分比。

Gamma是以地球的半徑為單位，顯示示月球影錐的軸線最接近地心的距離。



Duration是全食或環食持續的時間。這是全球見食地點能觀賞的最長時間，但通常不會在食最大的地點。

特別以黃底色框標示的Delta T (S) 是曆表時與世界時的差值；Saros是沙羅序列的排序，137是序列號，括號中的數值表示這個序列有70次日食，這是序列中的第36次。

接下來是**Contacts of Penumbra**（半影的接觸）：

P1：月球前緣與太陽邊緣接觸（外切）：月球產生的半影接觸到地球，日偏食開始。

P2：月球完全進入太陽盤面（內切）：月球半影區開始全部投射在地球上。

P3：月球開始脫離太陽盤面（再度內切）：月球半影區的前緣開始移出地球。

P4：月球邊緣與太陽分離（再度外切）：全球的日食結束。

畫面再往下是**Contacts of Umbra**（本影的接觸）

U1：月球本影前緣與地球接觸（外切）：日全食或日環食開始。

U2：月球本影完全進入地球（內切）：

U3：月球本影開始脫離地球（內切）：日全食或日環食開始結束。

U4：月球本影完全脫離地球（外切）：全球的日全食或環食都結束。

看完這些說明，或許還是很抽象，仍然是一頭霧水。所以需要依時間排序，釐清相互的關聯性。從時間上可以看出依序是P1、U1、U2、P2、P3、U3、U4、P4，食最大的時間在P2和P3的中間。還不清楚的話，請先記下P1至U4的每個時刻，稍後點選圖面下方最右邊的More，再點選新秀出選擇圖示最左邊的Shadow，去看圖來了解對應的日食狀況。

接下來的Greatest Eclipse是全球食最大地點的地理座標與太陽的方位與高度。Sun Data是太陽在天球上的位置、視半徑和視差。Moon Data是月球在天球上的位置、視半徑和視差。

下方的選項除了剛提過的More之外，還有Local Circums（本地環境）、Visibility（可見區域）與Map（地圖）三個。點選Local Circums就回到【依地點來搜尋】，也就是你設定的觀測地點。Visibility則秀出全球可見食的半球地圖。Map會秀出Google地圖，點下任何一點就會顯示該點的地理座標、日食的起訖與最大時間的太陽高度與方位等最基本的資訊；或是顯示該地看不見這次的日食。你可以利用這兒的資訊來了解各地的日食狀況，也能利用這兒的資料選擇你期望的觀測地點。

現在可以點選More來看另外兩個選項：

Shadow（陰影）

點選此項後，畫面出現的是有著日夜交界線的世界地圖。如同在【依地點來搜尋】時的【模擬】選項下所顯示的，在上方有時間的顯示，底部有拉桿可以移動。這時顯示的時間就是P1的時間，也就是說這幅圖是全球最早見食區的圖，就是日出之際食開始的地區。試著移動拉桿逐一調整出P1至P4等八個時刻，觀察圖中的紅色陰影區域是如何的變化。

Lunar limb（月球邊緣）

點進這個選項呈現的畫面是月球邊緣有著高低起伏的輪廓。還有N或Z和Baily's bead的選項。上面的座標是食最大地點的位置，C2'和C3'給出兩次內切的時刻，也就是該地點的環食開始和結束的時間P2'和P3'是以北方為基準的方位角。由於這次是日環食，光球面並未完全被遮蔽，所以看見倍里珠的機會較低，這一部分此次僅供參考。

至此，這個應用程式的功能已經介紹完畢。接下來就看你能如何善用它了。

★更多2020/06/21日環食相關資訊，請參考**網路天文館** https://www.tam.museum/astrometry/forecast_detail.php?lang=tw&id=389

陶蕃麟：臺北市立天文科學教育館展示組組長退休

觀測日食注意事項

文/ 陶蕃麟

由於陽光非常強烈，稍加不慎便會對眼睛造成永久的傷害，因此觀測日食時要特別注意安全措施，絕對不可在毫無任何保護裝置之下，用肉眼直視太陽。

觀測的方法

※投影法

投影觀測太陽的方法相當簡單而且安全，甚至在家裡就可以自己做。用兩張硬紙板，在其中一張的中央挖一個小洞，使太陽光穿越小洞後在另一張白色硬紙板上成像，這是所謂的針孔投影法。

若有雙筒望遠鏡，可以將望遠鏡對準太陽後，使太陽投影成像於鏡筒後方的一張白色硬紙板上，並調整對焦環使影像清晰，效果也不錯；天文望遠鏡也可以使用投影法來觀看太陽。無論你是使用那種望遠鏡，千萬別直接用肉眼透過望遠鏡的目鏡或尋星鏡來看太陽，且不用時，記得隨手將鏡筒前方的蓋子蓋上，以確保安全。



※目視法

用目視的方法直接觀賞太陽之前，必須先確定您拿來減光用的器材絕對是有效且安全的！這裡所謂的減光器具，是指專為觀看太陽所製作的減光裝置。一般而言，合格的減光裝置只讓萬分之一至十萬分之一的陽光穿透，也就是至少要過濾掉99.99%的陽光。



日食觀測扇
(臺北天文館製作)

千萬別以為一般的太陽眼鏡也可以有同樣的效果，那只會使你的眼睛瞎得更快。使用臉盆裝水，看水中太陽倒影的方法也不可靠。坊間土法煉鋼，使用多片偏光鏡交互疊加、曝光過的黑白底片、光碟片、磁碟片等，都不安全。即使陽光看來已不刺眼，但不能有效的過濾熱輻射和紫外線，還是會使眼睛受傷。安全的觀測方





式，是使用特殊的太陽濾鏡接在望遠鏡前方來減弱陽光，以方便肉眼觀察。盡量不要使用鎖在目鏡上的那種太陽濾鏡，因為位置接近焦點，容易破裂而發生危險，以方便肉眼觀察。

如果單純的，不使用望遠鏡觀賞日食，可用一般攝影用的 ND4、ND8 搭配 ND400 濾鏡加以組合，讓陽光不會刺眼，或是看日食專用的太陽濾鏡。而無論用那一種，使用前必須先仔細檢查有無鍍膜脫落或凹凸不平的現象，如果有這些現象，最好不要使用。

※攝影法

由於太陽非常亮，即使在日偏食發生時，陽光仍然很強烈，所以攝影時必須在鏡頭或望遠鏡前方加裝如同「目視法」中所提之減光濾鏡。至於要如何拍攝另有專文介紹，此處就不多說了。

陶蕃麟：臺北市立天文科學教育館展示組組長退休



望遠鏡加裝減光裝置

安全守則

1. 除非確知有安全的減光裝置，否則絕對不可以用望遠鏡直視太陽。
 - ★ 反射鏡需要縮小口徑至3公分大小。
 - ★ 投影的影像直徑不要小於望遠鏡主鏡的口徑。
2. 用於觀測太陽的望遠鏡，除主鏡外其他務必嚴密加蓋。
 - ★ 可以將找星鏡、導星鏡等拆除。
 - ★ 不觀測時不要對著太陽。
3. 使用投影法觀測，除非必要才使用目視法直接看太陽。
4. 觀測時間不可太長，正常狀態下不要超過20分鐘；暫停時要將鏡頭蓋上。
5. 使用合格的目鏡、濾鏡或太陽稜鏡。
 - ★ 不使用塑膠類的替代品。
 - ★ 不使用膠合的鏡片。
 - ★ 使用多重的減光設備。
6. 注意開放觀測時的安全。
 - ★ 要避免好奇的人自行接近觀看。
 - ★ 不讓觀看者獨自觀看。

2020來嘉看日環食

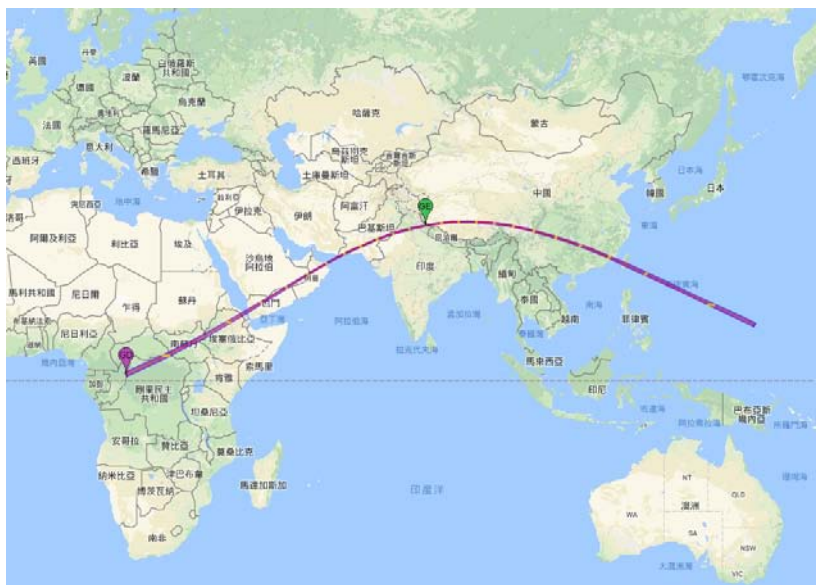
幸運的嘉義市就位在環食帶中心線上，可以看到最均勻的日環食

2020年最重要的特殊天象，莫過於6月21日下午的日環食了。特別是2019年12月26日當天下午發生日偏食，大家真的看到了太陽被咬一口之後，就開始詢問6月21日的日環食究竟到哪裡才能看得到？然而最近受到疫情的影響，許多人紛紛也來訊詢問，這個活動是否會如期舉辦呢？我們的回答是「太陽和月球一定會在今年的6月21日下午2點49分開始相會，所以日環食的活動一定會如期舉辦，只是辦理的方式將會因應天氣、疫情或是其他因素加以調整」。

既然日食將如期發生，那麼下一個問題就是「要去哪裡才看得到？」除了NASA的日食網站、台北天文館的網路天文台擁有許多相關資訊外，在此特別推薦，Xavier M. Jubier先生的日食網站，除了數據資料以外，還結合了Google的互動地圖功能，可以查詢每一次、任一地點的日食資訊。如果想要知道6月21日日食期間的太陽位置資訊，就可以進入網站http://xjubier.free.fr/en/site_pages/solar_eclipses/ASE_2020_GoogleMapFull.html?Lat=23.48122&Lng=120.45266&Zoom=10&LC=1 點選任一地點，互動式地圖就會呈現相關的日食資訊。

根據網站的資訊，6月21日的日食帶將從非洲的中部開始，經過中東、印度北邊、西藏、中國大陸東南各省、然後經過台灣，進入太平洋。只有在下方地圖上兩條藍色線的範圍內可以看到像甜甜圈的日環食，其他區域只能看到日偏食。

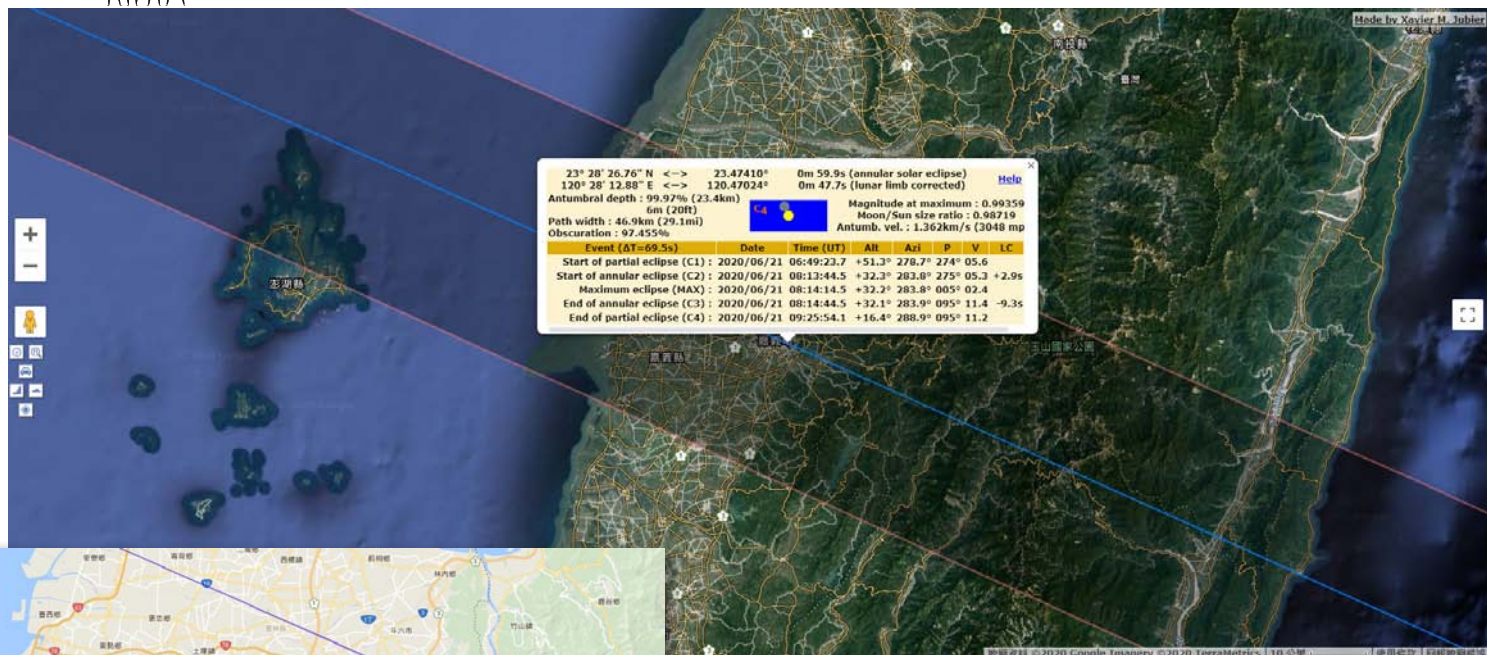
在台灣附近區域，環食帶的中心從金門、澎湖北方海域、雲林縣口湖鄉附近進入台灣後，一路往東延伸到台東成功鎮，在環食帶中



心線上，可以看到最均勻的日環食，嘉義市就是最幸運的一個都市。而在中心線左右兩側大約是23公里的範圍，也可以看到日環食，以西部平原地區來說，大約就是雲林麥寮、斗南、古坑以南，嘉義的布袋、台南的新營、東山以北的區域、高雄市的納瑪夏鄉。在花東地區則是花蓮玉里以南、關山以北的區域。環食帶內，只要是當天下午可以曬得到太陽的地方，都有機會可以看到日環食。

如果想要使用相機或手機搭配地面的景物拍攝美美的日環食，就可能得多做些功課了。以嘉義市中心來說，想要拍下日環食的時間只有16:13:43-16:14:43這將近1分鐘的時間。如果錯過了，就得花費巨資到其他國家去看，或是等2215年在台南再看一次。

除了要掌握時間以外，日食發生時的太陽位置也是很重要的，萬一觀看的位置找好了，但是當天下午的太陽卻被對面的大樹、大樓、



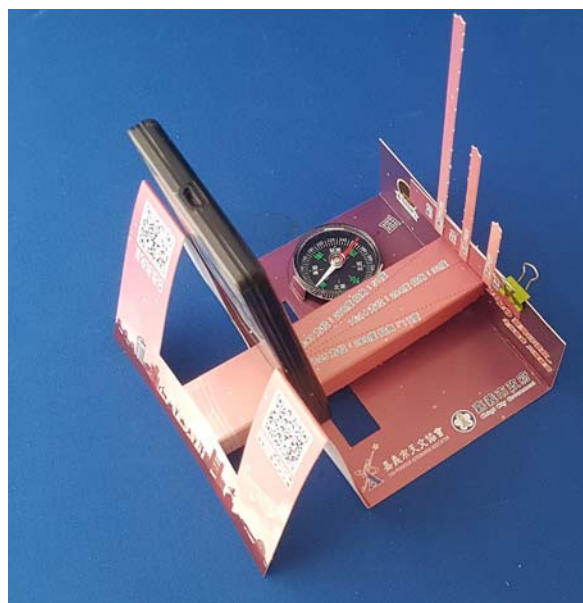
日食互動式地圖

尤其公園旁的友愛路，正好是夏至日當天日落的方向，堪稱是日環食大道，嘉義市政府在去年便選定這個地方舉辦日環食觀日活動，預計從6/20晚上開始，北香湖公園安排大師講座和觀星活動，6/21早上從10點開始，也有第二場的大師講座，並且專人架設安全的太陽望遠鏡以及周邊活動，讓大家可以一邊等待奇妙時刻的來臨，一邊悠閒的消磨時光。

除了嘉義市的北香湖公園外，嘉義縣政府觀日活動地點則在北回歸線太陽館，另外嘉義

大山擋住了，那麼可能就因為無法馬上轉移地點而錯失良機了。以嘉義市來說，根據日食預報網站的資訊，初虧的太陽高度角(Alt)51.3°、方位角278.7°。食甚太陽高度角是32.2°、方位角是283.8°，復圓的太陽高度角則是16.4°，方位角是288.9°。有了這些數據，同樣搭配指北針與仰角觀測器，就可以更精準地知道日食期間太陽的方位了。嘉義市天文協會進一步將這些資訊整合設計成日食方位模擬器，只要在組裝之後搭配手機的攝影功能和指北針，就可以從手機的畫面中看出日食期間太陽是否會被高大的建築物或樹木擋住。

由於雲嘉南在環食帶內的區域大多是低密度的人口居住區域，房屋通常不太高，而且有許多公園綠地，相當適合進行日食拍攝或觀看。以嘉義市來說，北香湖公園就是一個適合拍攝觀看的地點。



日食方位模擬器

文、圖 / 吳昆臻

前面二期〈EASY拍星空〉我們詳細的介紹了日環食規劃及拍攝，離日環食倒數不到50天了，您準備好怎麼拍日環食了嗎？該是時候動起來好好規劃準備了，本期〈EASY拍星空〉將繼續分享記錄日環食相關方式，也順便幫大家做個總複習及拍攝重點提示，一起將這非常難得的重大天象記錄下來。

日環食場景拍攝

日食過程除了太陽虧缺變化外，週邊環境也會隨著日食改變，如天空亮度變化、溫度變化、甚至敏銳的動物、昆蟲也會察覺情況，這些也是很值得觀察記錄的。

天空背景亮度變化記錄

所需器材：廣角或魚眼鏡頭、相機、三腳架、排程快門線

當太陽逐漸被月球遮住，照亮我們四周的陽光也會跟著變少，天空的亮度會隨著食分增加而漸暗下來，日環食階段天空亮度雖不會像日全食那般完全漆黑，至少會降到跟黃昏差不多。環食結束到日食結束，天空亮度又會慢慢回復一般情況，固定相機曝光值並對相同場景拍攝，最能比較出過程天空亮度差異，相關設定大致如下：

將相機架固定三腳架上並以相同取景拍攝

廣角鏡頭或魚眼鏡頭取景範圍較廣，會是較好選擇，取景時也可稍微將前景或自己器材一併帶入記錄，使用稍小光圈(f/5.6-8)拍攝增加景深，以獲取清晰的天空跟前景影像；若要將全部影像組成縮時影片，數位單眼鏡頭勿用更小光圈拍攝，以避免光圈縮放過程的微小誤差造成影片有畫面閃爍情況。

用M模式（手動模式）固定的曝光值拍攝、固定對焦位置

這次日食過程太陽仰角是逐漸降低的，一開

始天空亮度會是最亮的，可用日食開始時天空亮度（或稍微偏亮）做曝光基準，或是使用事前取得晴朗黃昏天空曝光值當基準，全程都用相同參數拍攝。對焦位置要固定在無限遠處，為防過程不小心改變對焦位置，可用膠帶將鏡頭對焦環貼起來固定。

使用排程快門線輕鬆拍

事先確定記憶卡空間及相機電源足夠，再搭配排程快門線或相機內建排程功能，開拍後就可以不用再做其他調整，可以用1分鐘拍攝1幅頻率（或更短）拍攝，若能全程拍攝後續就能將全部影像組合成天空亮度變化的縮時影片；因這次環食只有1分鐘不到，可在環食前2-3分鐘將拍攝間隔再縮短些，記錄環食過程變化（與日全食相較，日環食變化應該不會太大）。

延長拍攝到日落後

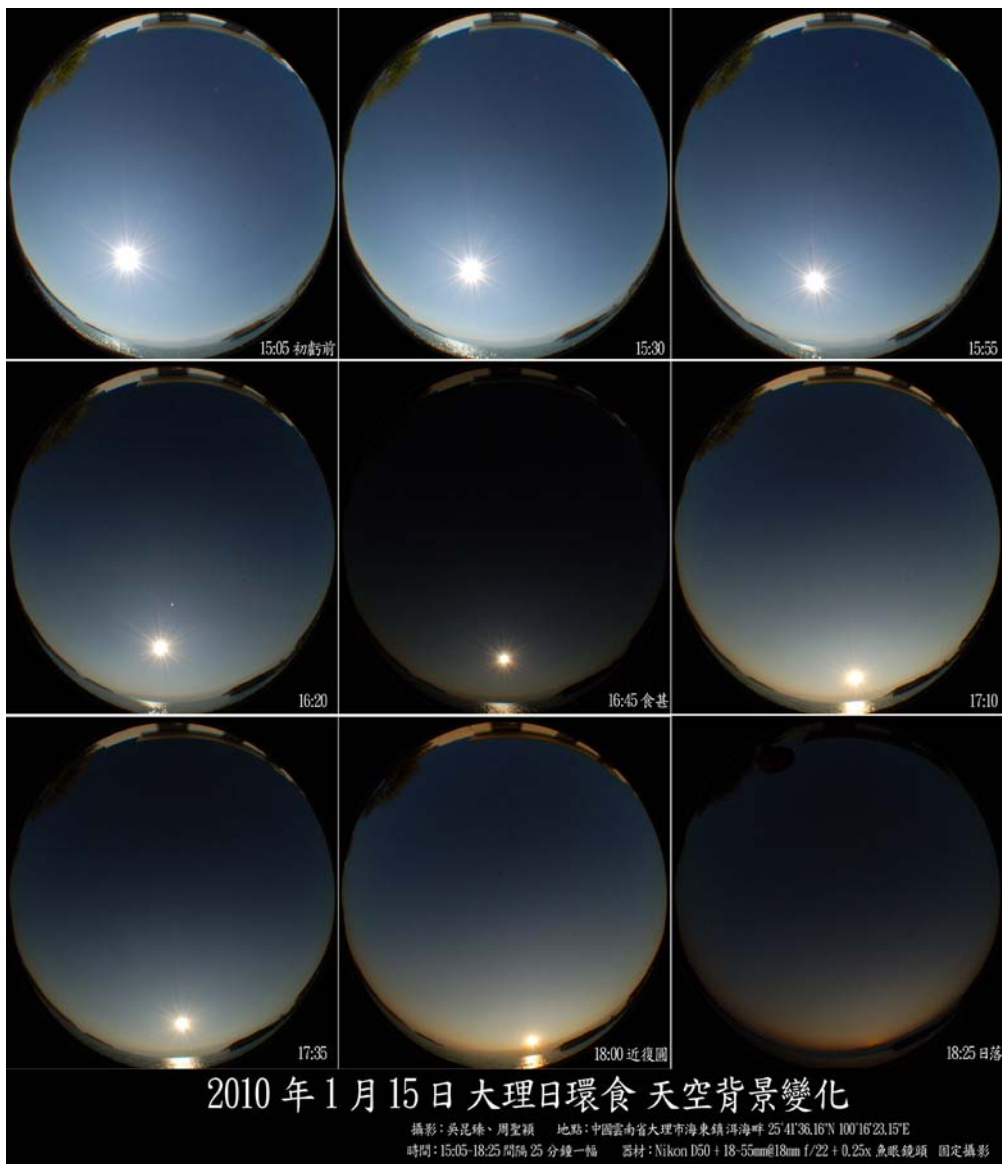
這次日食結束後1個多小時就日落，可延長記錄到日落後黃昏時段，事後可比對環食過程天色會暗到怎樣程度。

環境照度變化記錄

天空及環境亮度變化也可用光度計測量以數值方式記錄，一般光度計僅能顯示即時照度，得不時手動記錄當下數值會較不方便，若使用有記憶功能光度計就會自動將數值記錄，相對會方便很多；手機也有APP能藉由照相



光度計能測量當時環境的照度，使用有記錄功能照度計，簡單設定後即可自動記錄整個日食過程照度變化。



使用魚眼鏡拍攝整個天空記錄日食過程天空亮度變化，各影像間隔25分鐘，可比較出日食過程天空背景亮度變化，也能看出環食當下天空的亮度比日落當下還暗些。

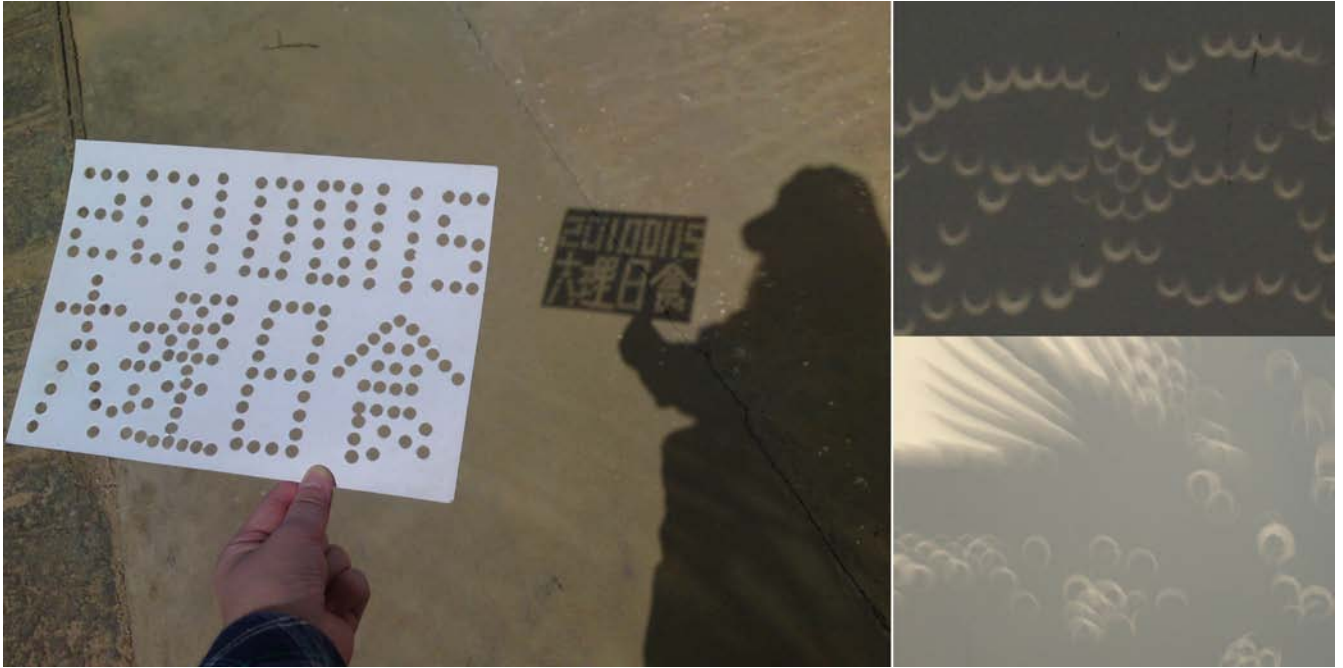
鏡頭的測光測量現場照度（Android系統APP大多要付費，免費的作者只找到[Light Meter](#)這款APP），手邊若有多餘的舊手機可用來記錄日食過程照度變化，新的手機建議還是留做報時及拍攝現場情況會較實用。

環境溫度變化記錄

氣溫在日食過程也會有所變化，將整個過程溫度變化記錄下來也是一種日食記錄方式，使用有記錄功能的溫度計就能輕鬆的記錄下溫度變化情況，要特別注意的是，溫度計要放置在陰涼通風處，否則量到數值會是失真的；此外，溫度變化也會改變環境溼度、氣壓，市面上可找到溫濕度計或溫濕度及氣壓計三合一產品，亦可多加運用。此外，日食過程風速及風向也會改變，手邊有相關設備可帶至現場量測，相信會留下很特別的紀錄。



溫濕度計可以測量當下溫度情況，一般螢幕顯示得用手寫或拍照記錄，較不方便，要輕鬆記錄可購買有記錄功能的USB溫度計。



使用針孔投影即可看出太陽虧缺情況，右上為偏食階段投影情況，右下為環食階段樹蔭投影情況。

針孔投影記錄

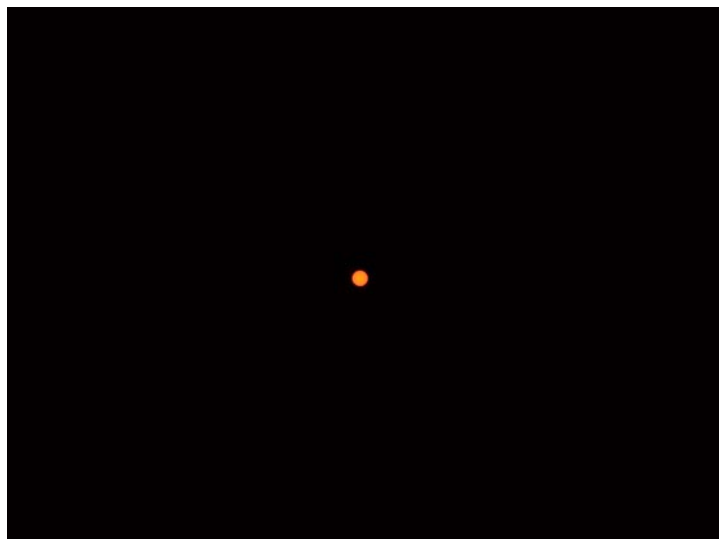
利用針孔投影就能間接的看到太陽當下樣貌，可準備張打了孔的紙板，孔徑約0.2~0.5公分（不一定要正圓形，若求孔徑一致可使用皮帶沖打洞），孔徑過大投影成像會不明顯、過小投影會太暗，也可以發揮創意多打些洞排列出特別的圖案投影，此外，電鍋蒸盤、撈麵勺、將雙手交叉指縫間的小孔等，只要孔徑適當都是可以進行針孔投影，而在樹蔭下也可見到天然的針孔投影；將投影投在平整白色大紙板或珍珠板上投影效果會更佳，日食過程投影的變化也不妨全都拍下來記錄。

用手機記錄日食

用手機的相機只要減光適當也可以記錄日環食，將日食眼鏡的減光片剪下貼在鏡頭前，會是較便宜簡單的方式。

不過一般的手機鏡頭都屬廣角鏡頭，拍起來的太陽會是超小顆的，多鏡頭手機的長鏡頭其實放大的效果還是有限，影像細節也較少，使用自動模式拍得影像是會曝光過度的，使用曝光補償

降低曝光量還是有曝光過度情況，得手動設定對焦及曝光，若真的還是要用手機記錄日食，就建議使用間接擴大攝影（參考《[臺北星空84期·EASY拍星空10用手机拍攝月球](#)》）使用手機架連接望遠鏡放大拍攝，但成像情況就如〈EASY拍星空10〉文章說明的會比較差，這麼重大的天象還是交給專業的儀器拍攝會比較好，手機用來記錄周遭景物變化、用來倒數計時及環食過程錄影現場情況，會是手機較佳的配置。



使用手機的望遠鏡頭(3倍鏡頭，等效焦距約80mm)拍攝太陽情況影像中太陽小小一顆，拍攝時得使用專業模式（手動模式）自己設定曝光值才不會曝光過度。

日環食總複習

談了這麼多，我們分享了多種日環食過程的記錄方式，若是第一次進行拍攝擔心忙不過來，建議選擇自己最熟悉或最感興趣方式記錄，若要進行多樣拍攝記錄就真的務必做好準備、熟練操作及應變現場情況，最後針對日環食拍攝帮大家做最後的重點提醒。

完整的拍攝計畫

完整的拍攝計畫是一定要的，要明確的知道各時間點要做的事情，才能在對的時間完成相關設定，並在既定的時間按下快門拍攝，特別是環食前拍攝設定切換一定要做到位，才不會在最時刻亂了分寸，以致錯過最重要的拍攝；環食結束後也要切換回偏食拍攝設定，各種記錄方式大致如下圖，若是要製作縮時影片可適度調整拍攝間隔，並準備足夠記憶卡。



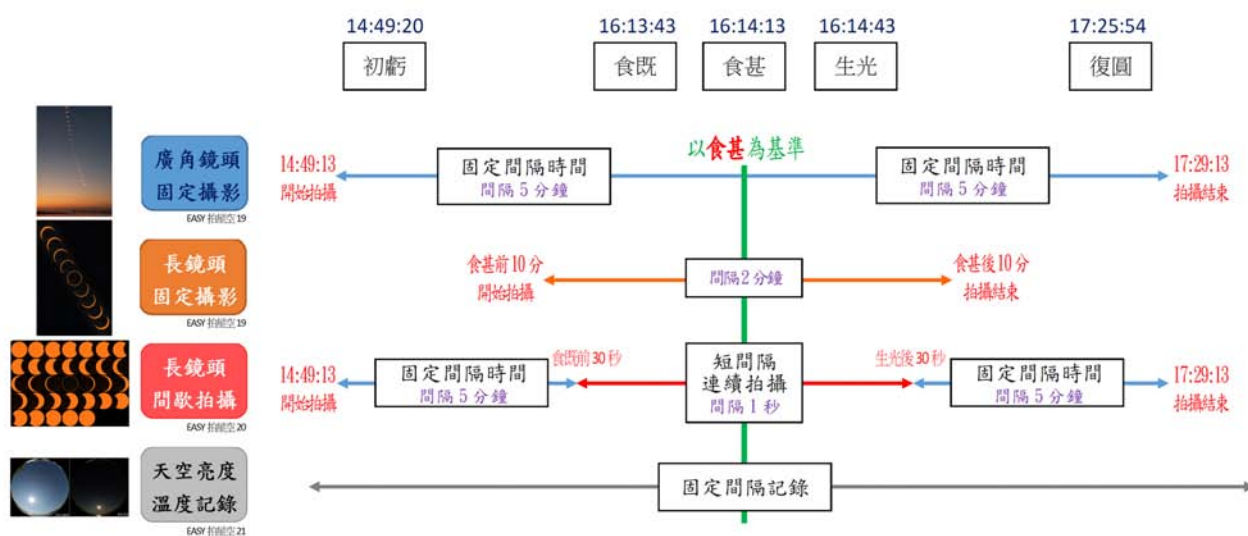
用Stellarium模擬5分鐘間隔日環食太陽虧缺變化，影像色調整為加上濾鏡拍攝情況。

各種方式拍攝細節請參考前二期〈EASY拍星空〉介紹。

日食前一晚的準備

拍攝所需器材事先要列一下清單，出發前最好將儀器整套裝起來，確定沒缺小零件後拆解裝箱，不然到了拍攝現場才發現缺東缺西就只能用眼睛欣賞日食，相關裝置也可先設定好及調整，避免在現場還要手忙腳亂的調整：

拍日環食過程拍攝時機及設定



此圖各食相時間為嘉義市時間，其他地區請務必自行查詢

▲相機電池充電、記憶卡容量充足

▲相機基本設定

相機基本設定包含：M(手動)模式、RAW存取、低ISO、固定白平衡、包圍曝光功能，相關設定請參考《臺北星空77期·日食拍攝技巧》介紹。

▲排程快門線電池有電

▲手機校時、並充飽電

日食過程可利用APP協助倒數計時，因APP是透過手機時間倒數，手機的時間就必須精準無誤差，直接透過手機內建自動校時有時會有1-2秒誤差，若要求精準可另外下載校時APP取得更精確時間。

▲相機內時間校正（方便後續比對及整理）

→用校時APP可讀取原子時或GPS時，就可知道手機時間誤差情況，要用校時APP功能同步手機時間手機必須先Root（一般人不會特別這麼做），退而求其次的作法，先用手機內建連網路校時功能校時，若誤差還是很大，就只能用手動方式調整時間，至少讓誤差降至1秒以內。



Android系統的Eclipse Calculator 2 APP除了可模擬日食情況外，利用倒數計時功能，就可知道距離環食重點時刻還有多少時間，方便掌控拍攝時機。



日食拍輕鬆

要準確的在既定時間拍攝又能獲得曝光適當影像，最輕鬆的方式就是使用排程快門線並搭配相機包圍曝光功能，排程快門線能讓相機在固定間隔時間自動拍攝，就能省去不斷看時間讀秒拍攝的麻煩，在日食過程中太陽亮度會隨仰角降低而減少，相機曝光量就得適時調整，除可使用RAW檔存取，後續輸出時再微調影像亮度外，可使用相機包圍曝光功能，就能一次拍攝不同程度曝光影像，事後再從中挑選一張曝光最剛好影像，排程快門線與包圍曝光搭配設定請參考《臺北星空80期·一起來拍月食I》；在偏食過程可用聽的，從相機快門聲確定相機運作情況（包圍曝光一次會拍3張），就能有更多時間欣賞太陽虧缺及周遭環境變化。

★要特別注意！日環食過程就建議暫時關閉包圍曝光功能，以縮短拍攝間距，以確保能拍到食甚及貝理珠一瞬間影像。



利用相機包圍曝光功能就能一次拍攝不同曝光影像，環食前務必要切換拍攝設定，低階相機要進行短間隔拍攝也要將連拍功能關閉。

對焦準確的日食影像

對焦準確是任何拍攝其很重要環節，焦沒對好得到模糊影像鐵定會很想哭的，拍攝太陽對焦步驟請參考《臺北星空92期·太陽拍攝I和日偏食記錄》說明。拍攝日食過程中，偶爾要確認曝光情況及太陽位置是否置中外，也要確定影像準焦情況，直接透過小小的相機螢幕是無法詳細確定細節情況，一定要將影像做局部放大檢視才能真正的確認準焦情況，倘若溫度改變較大是會明顯的改變對焦位置，在環食前務必再次確定準焦，也要預留重新對焦時間。

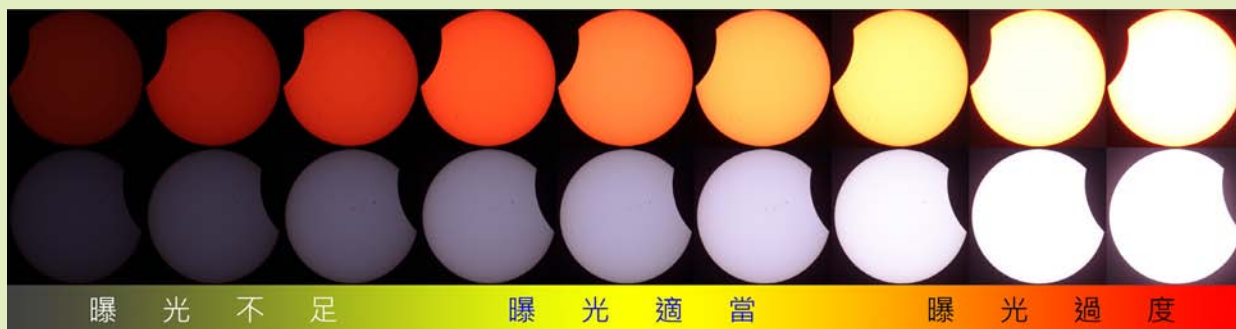
★觀看螢幕時要避開刺眼陽光，記得準備擋光板（參見《臺北星空92期·太陽拍攝I和日偏食記錄》）或將相機的翻轉螢幕或外接輸出檢視，也可以準備隻不透光的小折傘幫忙擋光還可用來遮陽。

曝光適當的日食影像

控制好曝光是成功拍攝另一重要環節，相機自動測光在食分較大或使用廣角鏡頭拍攝時，會因太陽在畫面中的佔比過小造成測光誤判，曝光控制得人工從拍到影像情況判斷並使用相機M（手動）模式調整曝光值，雖會多點花時間去確定影像情況，但真的還是由自己來掌控曝光量會較精準，要判斷曝光是否適當，可從影像中太陽亮度、顏色或檢視影像直方圖作判斷：

太陽顏色

透過相機螢幕判斷太陽亮度或許有點困難，



Thousand Oaks濾鏡（上）及Baader濾鏡（下）在固定白平衡、不同曝光量下比較，各影像間曝光量皆差2倍，不同曝光程度太陽亮度及色調有所不同。

但不同程度的曝光太陽會呈現不同的顏色，平日就可先使用各種不同曝光量拍攝太陽，並從中確定曝光最適當時太陽的顏色，拍日食時就可依據影像中太陽顏色判斷太陽曝光的程度。

直方圖（適合長焦鏡頭、望遠鏡頭）

在相機上瀏覽影像，有些相機有反白功能會將影像中曝光過度部分標示出來，當有反白顯示就代表曝光過度情況，有些相機則有顯示影像亮度分布的直方圖，事先確定曝光最適當的直方圖分布，就可以依直方圖情況調整曝光量。

全程無雲影響下，建議每10-15分鐘確認曝光情況、調整曝光量，這次日食太陽仰角會逐漸變低，進入後半段大氣消光影響會漸明顯，確認間隔就要再短些，現場若是多人一起觀測也可以相互提醒曝光調整，若是多雲情況，就得不時檢視並調整適當曝光量。

連續三期的〈EASY拍星空〉我們很詳細的介紹日環食各種拍攝及記錄方式，當天您不管在臺灣哪個角落，一定要好好把握機會欣賞一下日食！因為這是非常難得一見的超級大天象，錯過這次機會，想觀測日環食就要搭飛機出國觀看了，在此再次提醒，要得心應手、臨陣不亂的拍下每個過程就要儘早規劃及準備，才能有更多時間欣賞這難得景緻，就預祝大家觀測跟拍攝都能順順利利，有拍到不錯影像也歡迎投稿《臺北星空》分享喔。〈EASY拍星空〉一樣將繼續分享拍下美麗的星空的訣竅，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/>



從直方圖中的亮度分布情況可判斷影像曝光情況，此範例是使用Baader濾鏡拍攝，直方圖中綜合（最上）及RGB通道最大值皆落在右半邊2/3附近，太陽曝光情況會最為適當。



Nikon相機有將曝光過度區域標示功能，可看到直方圖各通道最大值已經落到最右邊，代表有些區域影像已經曝光過度。



Thousand Oaks濾鏡拍到的太陽呈現橘色，RGB各通道的曝光量會都不同，可將綜合直方圖的最大值維持在右半邊2/3附近，太陽曝光情況會最為適當。



相較上圖，食分較大時影像中亮的區域變少了，直方圖右半亮部的訊號數量相對也變少，最大值一樣要維持在右半邊2/3附近，才能維持適當的曝光。



日食的美，追過的都知道！
日食的痴，沒人比得過他！
日食的準，他承先且啓後！
沒看過日食的你，需要認識他！
已看過日食的你，更要認識他！



文/ 詹佩菁

日食先生

弗雷德·埃斯佩納克

↑ 弗雷德·埃斯佩納克，追日食—1999年
照片來源：<http://astropixels.com/>

↖ 1999年匈牙利利用弗雷德·埃斯佩納克所做的日食路徑圖發行的郵票
照片來源：<https://www.mreclipse.com/MrEclipse.html>

初入星途

弗雷德·埃斯佩納克（Fred Espenak，1952年~）出生於美國紐約州的紐約市，他的爺爺奶奶就住在紐約市附近的長島。1960年，在他8歲暑假時，到爺爺奶奶家過暑假。當時隔壁家的小男孩，剛拿到一支新的天文望遠鏡，興奮地用這支天文望遠鏡看著天上的月亮，他很熱情地邀請弗雷德一起來看。弗雷德以前從未用天文望遠鏡看過天上的星星或月亮，第一次看到天文望遠鏡中清楚的月亮，讓他深深著迷！從此之後，每天都努力不懈地跟爸媽遊說，暗示加明示地表示他想要一支天文望遠鏡，當作他今年的聖誕節禮物。終於，皇天不負苦心人，六個月後的聖誕節，他如願以償，爸媽送了一支6公分的折射式望遠鏡給他，令他雀躍不已！

弗雷德從擁有這支望遠鏡開始，每天都超開心，即使不知道正確的使用方法，也不知道看到的是什麼，依然很開心！不過同一時間，他對其他許多科學性的事物，也抱著同樣的熱忱。像是研究烏龜及青蛙、進行化學實驗、收集石頭、用顯微鏡觀察微觀世界、恐龍、電流實驗，甚至還養了一座螞蟻農場。無庸置疑，當時的他，就是一個典型興趣廣泛的小小科學迷！

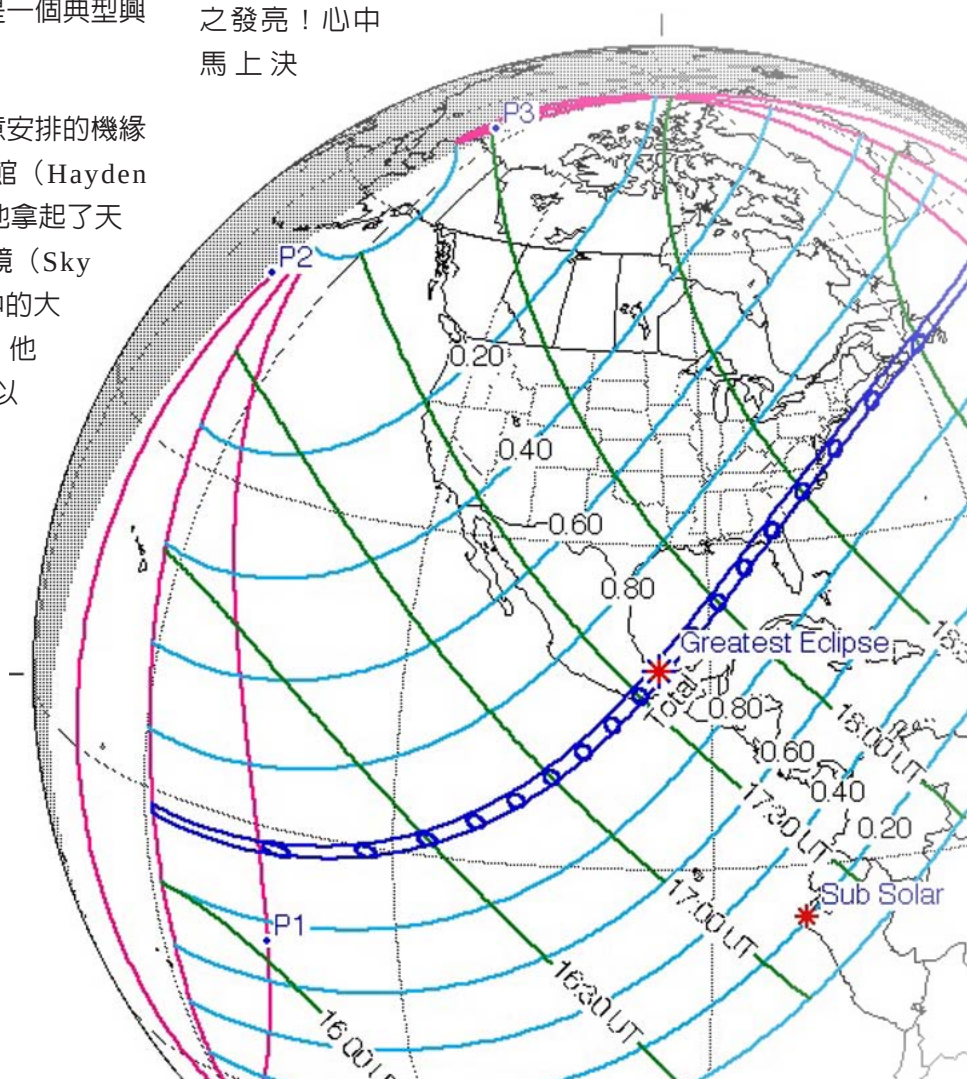
進入高中後，在一次偶然、沒刻意安排的機緣中，前往紐約市中央公園的海頓星象館（Hayden Planetarium）參觀。在那裏，不經意地拿起了天文界很有名的期刊雜誌—天空與望遠鏡（Sky and Telescope）來看，被雜誌廣告頁中的大望遠鏡深深吸引，從此就專「星」了。他課後在爸爸的機械工廠打工，心想可以用打工賺的錢，來買這支大望遠鏡。這支口徑8吋的大望遠鏡，當時要價美金625元，對1960年代末期、一個十幾歲的年輕人來說，是一筆不算少的數目。愛他的好爸爸不忍讓他等太久，所以毅然決然答應替他出一半的費用，讓他的「星願」再度提早實現！隨著這支天文望遠鏡的

來到，也讓弗雷德對未來產生一個美好的圖像，覺得日後可以以天文為職業。當時，如火如荼進行的阿波羅登月任務及各項探測行星的太空計畫，讓天文界相當活躍，如日中天。

踏上日食不歸路

天文界除了太空任務之外，每個愛星星的人都知道，地面上還有許多天文奇景值得期待。弗雷德當時藉由書本得知，1970年3月7日將可以在美國東岸，從佛羅里達州往上，經過卡羅萊納州和維吉尼亞州，看到日全食。他從未看過日全食，於是抱著新奇的態度，想去一探究竟。年紀還輕的他，剛拿到駕照才幾個月，再度發揮他七吋不爛之舌，說服他爸媽，同意讓他自行開車前往北卡羅萊納州，觀看這次的日全食。這趟路共有600英里（約966公里），不算短。

雖然出發之前，弗雷德有針對這回的日食先做好功課，而且原本只是單純想欣賞一下日全食的景象而已！但現場觀看後，內心的震撼，無與倫比！壯觀的景象，讓他眼睛為之發亮！心中馬上決



1970年3月7日日全食路徑圖，日食帶寬度153.3公里，最長全食持續時間3分28秒。

圖片來源：NASA日月食預測網站

<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html>

定，要再體驗第二次！從此開啓他追日食的探險旅程，與日食結下不解之緣！

進階學習，不忘追日

1970年北卡羅萊納州的日全食之後，弗雷德上了大學，對天文的熱情有增無減，選擇就讀亞利桑那大學的天文系。唸了一學期之後，他轉到瓦格納學院攻讀物理系，因為他覺得物理系的學科，可以讓後續天文學的研究路線更加寬廣！而且瓦格納學院離家不遠，可以住在家中，通勤去上學就好！由此可知，家所給予弗雷德的支持與溫暖，一直是最大、最好的！

大學期間，繼續熱情地追著日食，第二個追的就是1972年加拿大可見的日全食。接著，甚至為了想在1973年到北非看日全食，還向瓦格納學院的校友辦公室（Wagner College alumni office）尋求贊助。校友辦公室後來有答應，讓他順利成行，條件是等他歸國後，他要給一場演講，述說並分享日全食的精彩照片。

後續在托萊多大學（University of Toledo）唸研究所時，因著紅矮星的研究論文，讓弗雷德有機會再回到亞利桑那州，使用著名的基特峰國家天文臺（Kitt Peak National Observatory）進行光度觀測。能在天文界如此先端的觀測站進行觀測，對喜歡天文觀測的他，是一個相當幸福且興奮的體驗。

追日，從業餘到專業

接下來數年，弗雷德持續不斷地追著日食，只要能去的就去！到1970年代末期，他就已經看17次日食了。他不但沒有停止看日食的意念，甚至想要進一步預測日食發生的時間與地點，好為他後續的日食探險旅程預做準備。

雖早在17世紀—愛德蒙·哈雷的時期起，就有在預測日食，但資訊取得困難，預測準確度也差。到1970年代，全球也僅有2到3本預測日食的書籍，而且必須到科學性的圖書館才能借得到。美國海軍天文臺，每隔一兩年也會針對個別的日食，出版較為進階的資料。當時的弗雷德正在學電腦的程式設計，因此想把日食預測透過電腦的運算，精準地把



弗雷德·埃斯佩納克，2004年在哥達德太空中心。
照片來源：<http://astropixels.com/>

10到20年間的日食資料都整理出來，並把這些資料分享給世界各地的天文愛好者週知。

研究所畢業後，有著物理及電腦程式設計背景的弗雷德，所找到的第一份工作，是一家與NASA有合作合同的電腦軟體公司。剛開始那兩年，主要幫衛星撰寫分析觀測資料的程式，並擔任NASA國際紫外線探索探測船的望遠鏡操作員。之後，1978年受哥達德太空中心（Goddard Space Flight Center）紅外線天文部門聘用，協助進行紅外光譜的觀測，需要經常進出基特峰國家天文臺，爾後還到夏威夷瑪納基亞山（Mauna Kea）的天文臺進行行星大氣的紅外光譜觀測。觀測結束後，回到哥達德太空中心，還得耗費數個月時間撰寫相關分析程式，分析先前所取得的觀測資料。

這些年日，除了工作外，不忘參與許多日食探險隊去看日食。自己也試著撰寫日食預測的計算程式、產出相關圖表，供有興趣一同觀測日食的夥伴使用。1992年美國海軍天文臺因為預算被終結，而結束日食預測通報服務。就在這段日食預測空窗期，弗雷德偕同加拿大氣象學家傑伊·安德森（Jay Anderson），同意幫忙美國太空總署建立日月食預測網頁（NASA Eclipse），並負責後續維護工作，從此接手日月食預報的重責大任。會由弗雷德接下這個任務，美國海軍天文臺的約翰·班格特（John Bangert）表示，雖然當下也有許多人在進行日食預測的計算，但就屬弗雷德最受歡迎，他在日食方面的投入是大家有目共睹的！從他在天空與望遠



www.MrEclipse.com

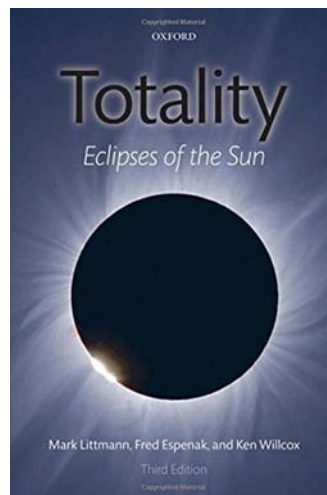
©2017 F. Espenak

2017年美國日全食，弗雷德·埃斯佩納克拍攝



2017年美國日全食，
弗雷德·埃斯佩納克與
他的拍攝日食的望遠
鏡群。

照片來源：MrEclipse



全面性一日食
（Totality: Eclipses of
the Sun）封面。

照片來源：amazon

鏡（Sky and Telescope）雜誌投稿大量的文章及照片，就可以感受到！NASA日月食預測網頁截至目前為止，依然是全球天文愛好者想要查詢日月食資訊的首選網站，網站資料相當齊全。由此可知，弗雷德對日食的熱情、貢獻及專業，真是首屈一指！

為了讓大家有機會欣賞每次日食他所拍到的「美日」，他個人隨後也建立了「MrEclipse.com」網站，他逐次所拍到的日食照片，會放到這個網站中，與全球的天文愛好者分享。另外，也與馬克·利特曼（Mark Littmann）及肯·威爾考克斯（Ken Willcox）共同撰寫了「全面性一日食（Totality: Eclipses of the Sun）」一書，於1991年出版，讓大眾對日食這個主題能有更全面性的了解。

榮耀之星，嚮往繁星

因著他在日食方面的卓越貢獻，國際天文學聯合會（International Astronomical Union，IAU）在2003年，特別將14120號小行星命名為「Espenak」。弗雷德相當開心，自己也能成為太陽系小天體的成員之一。除了日食，他對夜空中眾星的熱情從未減弱，常常夢想著遠離城市塵囂，到沒有光害的鄉間蓋天文臺，讓自己下半輩子能夠有機會享受後院天文臺的幸福。

這個夢想，一個人難成，但自從有了心靈契合的另一半後，動力加倍。他與妻子帕特里夏·塔恩（Patricia Totten）相識於1995年的日食之旅，兩人對於日食有著同樣的熱情，2006年有情人終成

眷屬。藉著心愛妻子一直以來的鼓勵與支持，弗雷德在準備退休之前，就決定落腳在亞利桑那州，準備在這邊蓋他的退休小屋以及嚮往已久的天文臺，好好享受這邊的暗空。

他們所選擇居住的亞利桑那天空村（Arizona Sky Village），位於亞歷桑納州的波特爾（Portal）區，是一個特別為喜歡乾淨、無光害、晴天率高而且愛看星星的天文同好，所建立的世外桃源。因此，除了能享受暗空的繁星之外，還有許多擁有共同信念的天文同好同在，真是愛星族的幸福居所！

兩人還在交往之時，2002年他就買了地，2006年蓋好了退休小屋。退休前一年，2008年年底開始籌畫建立天文臺的相關事宜，2009年2月弗雷德從工作了30年的NASA退休，天文臺開始動工，創建過程自己一手包辦。天文臺蓋好後，於2009年12月安裝第一架望遠鏡，2010年1月1日接收了第一道星光，截至目前為止，仍持續接收星光中。他為這個天文臺命名為「Bifrost（雙霜）」，這是北歐神話



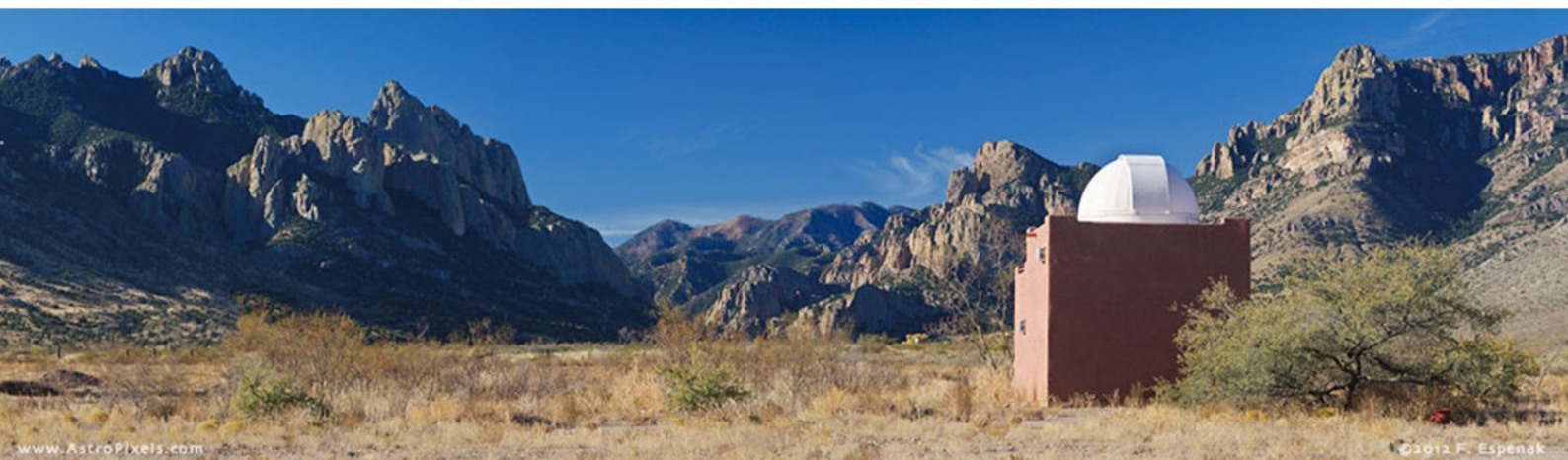
弗雷德與妻子帕特里夏 照片來源：astropixels



弗雷德在雙霜天文臺所安裝的第一支天文望遠鏡，是他在1995年3月買的 Astro-Physics 130 StarFire EDF 折射式望遠鏡
照片來源：<http://www.astropixels.com/blog/>

Portal to the Universe

Life and Astronomy from Portal, Arizona



[Home](#) [Latest](#) [About](#) [Contact](#) [AstroPixels](#) [EclipseWise](#) [MrEclipse](#)

弗雷德在亞利桑那天空村的雙霜(Bifrost)天文臺

中，一座連接凡間與天上聖所的橋樑名稱。現在Bifrost（雙霜）天文臺，就是地球上的弗雷德與蒼穹繁星連接的橋樑。

現在的他，仍繼續擔任NASA的名譽科學家，協助維護著NASA的日月食預測網頁。雖然已經看

超過30次以上的日食，仍繼續規畫著後續的日食探險之旅。剩下的時間，他就讓自己自由地徜徉在亞利桑那波特爾的暗空下，透過「雙霜」，把握住和繁星交流的每一刻！**Carpe noctem!**

詹佩菁：臺北市立天文科學教育館



弗雷德在雙霜天文臺，2018年11月所拍攝的北美洲星雲
照片來源：astropixels.com

YouTube相關影片：



Fred Espenak Jr. '76, College of Natural Sciences and Mathematics Outstanding Alumnus Award
<https://www.youtube.com/watch?v=JonUb2bTw5g>



Mr. Eclipse: Chasing Eclipses Led Retired NASA Employee To His True Love | Solar Eclipse 2017 | TIME
https://www.youtube.com/watch?v=0YkMLEu_2nI



These Self-Proclaimed 'Eclipse Chasers' Live In The Arizona Sky Village | TODAY
<https://www.youtube.com/watch?v=m2eT5pBavy8>



雙筒望遠鏡觀天-3

雙筒望遠鏡使用方便，可以隨時移動，為觀星提供了許多優勢，是入門者進入天文領域的最佳工具。

文/ 陶蕃麟

獅子座

欣賞完南天船尾座深空天體之後，可以轉向黃道觀賞獅子座的深空天體。獅子座的起源可以追溯到大約5,000年前的美索不達米亞。由於地球的歲差運動，在那時夏至的太陽位於獅子座，因此這個星座被視為皇族的象徵。在神話故事中，這隻獅子的皮膚堅韌至刀槍不入，大力士赫克利斯是以他過人的臂力將獅子勒斃的。

另一種說法是源自4,000多年前的古埃及，每年仲夏的太陽移到獅子座天區時，就有大量獅子從沙漠中出來，聚集在尼羅河的河谷乘涼與喝水，獅子座因此得名。

以裸眼看獅子座，最明顯的特徵是代表獅子頭胸部的鐮刀造型，也像是個反寫的問號。最明亮的軒轅十四(獅子座 α ，視星等1.35)位於鐮刀把手的尾端。而在鐮刀尖端不遠處，靠近軒轅九(獅子座 ϵ ，視星等2.98)那兒有個星系NGC 2903，是我們可以用雙筒望遠鏡觀賞的目標。

軒轅十四

軒轅十四也是雙筒望遠鏡可以觀看的目標。以裸眼看，它只是一顆明亮的藍白色恆星，但它其實是由4顆星組成的系統。通過雙筒望遠鏡，因

口徑與集光力的差異，可以看見其中的2或3顆，看不見的是軒轅十四A的伴星，可能是一顆白矮星，兩星互繞的周期為40天。看見的另外2顆稱為軒轅十四B和C，是與軒轅十四A互繞的一對聯星，與軒轅十四A的距離大約是3弧秒，因此會受到眩光的影響而不易觀測。軒轅十四B的視星等為+8.1，軒轅十四C為+13.5，要15X250以上等級的雙筒望遠鏡才有能力看見。

NGC 2903

NGC 2903是個棒旋星系，在1784年11月16日被威廉·赫歇爾發現，位置在鐮刀尖端的軒轅九西南方約4度，幾乎就在軒轅八(獅子座 λ ，視星等4.31)正南方1.5度。在雙筒望遠鏡的觀測下，它只是中央核心區域較亮，大小僅5'x3'的一個模糊光斑。長時間

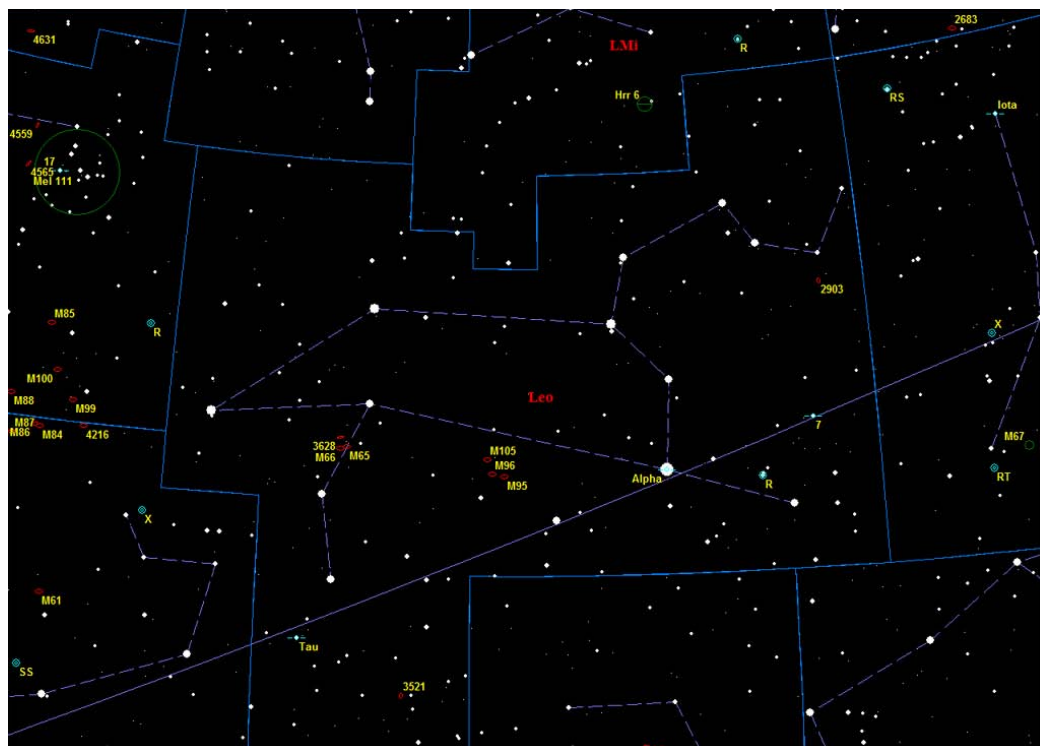


圖1 獅子座與小獅座的深空天體。(來源: Cloudy Nights)

曝光的照片可以得到較此大一倍的影像，並顯現螺旋臂的雜亂紋理。

獅子座R (R Leonis)

獅子座R是適合雙筒望遠鏡觀測的變星。它的位置在軒轅十四西方約6度，獅子座19南方1度之處。這是一顆週期長310天的米拉型變星，最亮時的視星等為4.31，最暗時為11.65等。巨大的光度變化和強烈的紅色光芒，使它成為季節性的變星觀測最愛之一。預測最近一次的極小期落在2020年5月9日，而極大期是9月14日。此刻的光度不僅在下降，而且即將到達極小值。

接下來，可以欣賞靠近獅子座中心的獅子座三重奏：M95、M96、和M105。這三個星系以及周圍幾個更為昏暗的星系組成獅子座I星系群，也稱為M96星系群，這些星系與地球的距離大約都是2,900萬光年。

這三個星系各自的總光度都在9等至10等之間，以M96最明亮，是個Sb螺旋星系，明亮的核心區域略呈橢圓形。最暗的M95是棒旋星系，比M96暗了約半個星等，因為螺旋臂比較微弱，使用雙筒望遠鏡通常只能看見較明亮的核心。向M96北方0.75度，或M95的北方1.25度，就可以看見橢圓星系M105。要觀賞這個三人行的星系集團，宜使用10X70的雙筒望遠鏡。

在獅子座的後段，也就是獅子座後半部三角形的南邊，有一組較為人熟知的三胞胎星系：M65、M66和NGC 3628的組合。它們與地球的距離約為3,200萬光年，比前者遠了一些。以星系間的距離而言，300萬光年的差距不算大，因此一般均認為這兩個小星系群可能都屬於另外一個更大的星系集團：獅子座星系團。

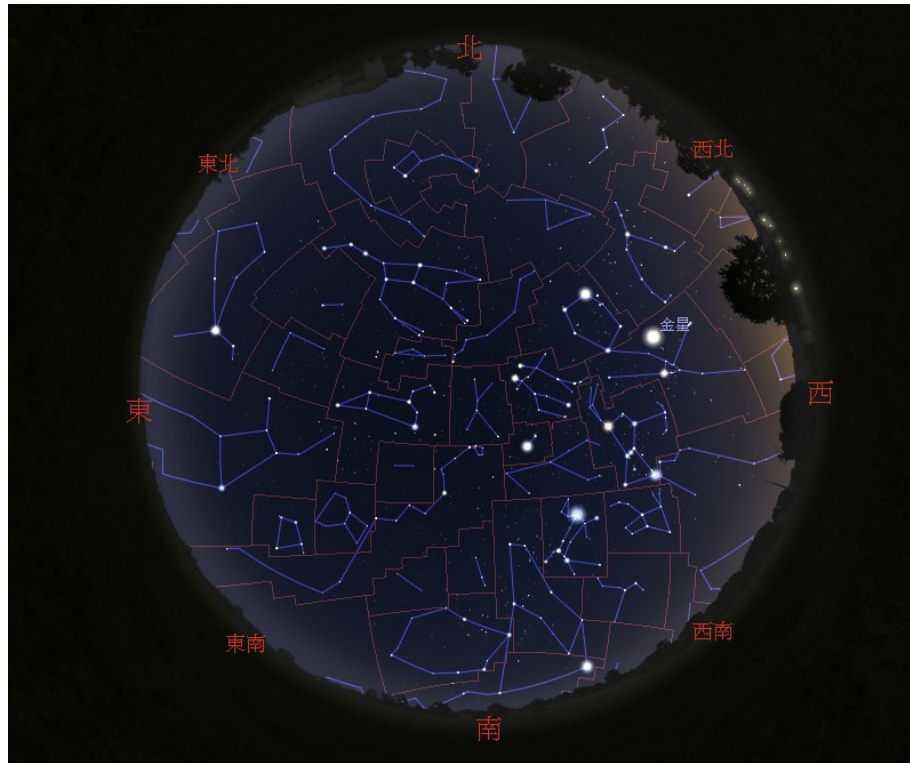


圖2. 2020年4月15日20:00在台北面向南方的星空圖（Stellarium 截圖）

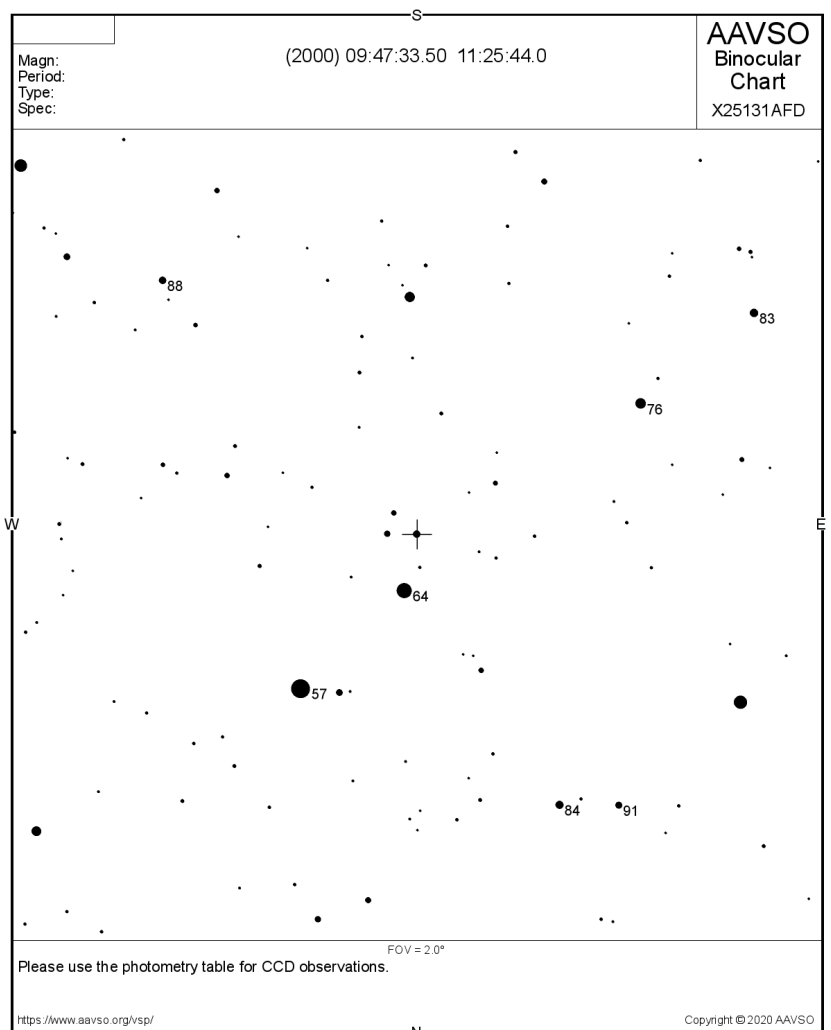


圖3. AAVSO製作，供雙筒望遠鏡觀測獅子座R的星圖。

圖4. 獅子座I集團的
M95(左)、M96(中上)
和M105(右)。
(來源：Ruben's
Celestial Images)



在三胞胎星系中，以M66最亮，也最容易從這群中辨認。它是一個高傾斜度的Sb螺旋星系，較寬的螺旋盤面和亮的橢圓形核心在10X50的雙筒望遠鏡很容易辨識。M65比較暗淡一些，但在視覺上的外觀與M66幾乎相同。

有點諷刺的是這兩個星系都是梅西耶亦敵亦友的競爭者皮埃爾·梅香(Pierre Méchain)在1780年發現的，但是在7年前的1773年11月1日，梅西耶發現的一顆彗星正好穿過這兩個星系之間，他當時卻未能發現這兩個星系。一般認為這是因為那顆彗星(1773 T1)的光度太亮(～4.5等)，以致梅西耶錯過發現這兩個星系的機會。

不過，梅香也沒有發現在北邊一點的第三個星系NGC 3628。NGC 3628雖然更大，但光度不如M65和M66明亮，是威廉·赫歇爾在1784年發現的。大望遠鏡的照片顯示它是以側面朝向我們的螺旋星系，中間有被螺旋臂中的雲氣遮蔽，形成黯淡的區域，所以這個星系也被稱為

漢堡星系。當然，要在極好的觀測條件下，使用巨大的雙筒望遠鏡才有可能看見這個星系。

在獅子座的範圍以及周邊鄰近的星座，還有更多適合在春季使用雙筒望遠鏡觀賞的目標。表一是獅子座與小獅座這些天體的清單，其中也包含在本



圖5. 三胞胎星系群。(Hewholooks的作品, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4290709>)

文中提到的。

在結束對獅子座天體的觀賞之前，別忘了搜尋一下獅子座和小獅座的邊界。這兒雖然沒有太多肉眼或雙筒望遠鏡可以看見的天體，但有一個有趣的目標：大小約45弧分的Hrr 6。這是美國俄亥俄州的一位業餘觀測者丹·胡達克(Dan Hudak)發表在1988年夏天的《Deep Sky》雜誌上，看起來像帆船的一個小星群，由十餘顆昏暗的小星組成，其中最亮的是內平一(小獅座22，視星等+6.46)。通過雙筒望遠鏡觀察，因為它的桅杆指向南方，所以似乎是一艘已經傾覆的帆船。

如果你意猶未盡，可以順著獅子尾巴掃向后髮座。那有十餘個梅西耶天體，可以讓你繼續瀏覽。

獅子座與小獅座深空天體							
			座標(2000.0)				
天體	星座	類型	赤經(h m s)	赤緯(° ' ")	週期/大小	視星等	註解
NGC 2903	獅子座	星系	9 32 10.1	+21 30 03	13' x 7'	9.0	SB
酒旗增二	獅子座	恆星	9 35 52.9	+14 22 47	41"	6.2, 10.0	獅子座 7
R	獅子座	變星	9 47 33.5	+11 25 44	312.4 天	4.4-11.3	長週期變星
軒轅十四	獅子座	恆星	10 08 22.3	+11 58 02	177"	1.4, 7.7	獅子座 α
M95	獅子座	星系	10 43 57.7	+11 42 14	7' x 5'	9.7	NGC 3351, SB
M96	獅子座	星系	10 46 45.7	+11 49 12	7' x 5'	9.2	NGC 3368, SAB
M105	獅子座	星系	10 47 49.6	+12 35 54	5' x 4'	9.3	NGC 3379, E1
NGC 3521	獅子座	星系	11 05 48.6	-00 02 09	10' x 5'	8.9	SAB
M65	獅子座	星系	11 18 55.9	+13 05 32	10' x 3'	9.3	NGC 3623, SAB
M66	獅子座	星系	11 20 15.0	+12 59 30	9' x 4'	9.0	NGC 3627, SAB
NGC 3628	獅子座	星系	11 20 17.0	+13 35 23	15' x 4'	9.5	SAB pec
明堂一	獅子座	恆星	11 27 56.2	+02 51 22	91.1"	5.1, 8.0	獅子座 τ
R	小獅座	變星	9 45 34.3	+34 30 42	371.93 天	6.3-13.2	長週期變星
Hrr6	小獅座	星團	10 15 06.3	+31 28 05	45'	~7	小天體：帆船

表一

陶蕃麟：臺北市立天文科學教育館展示組組長退休

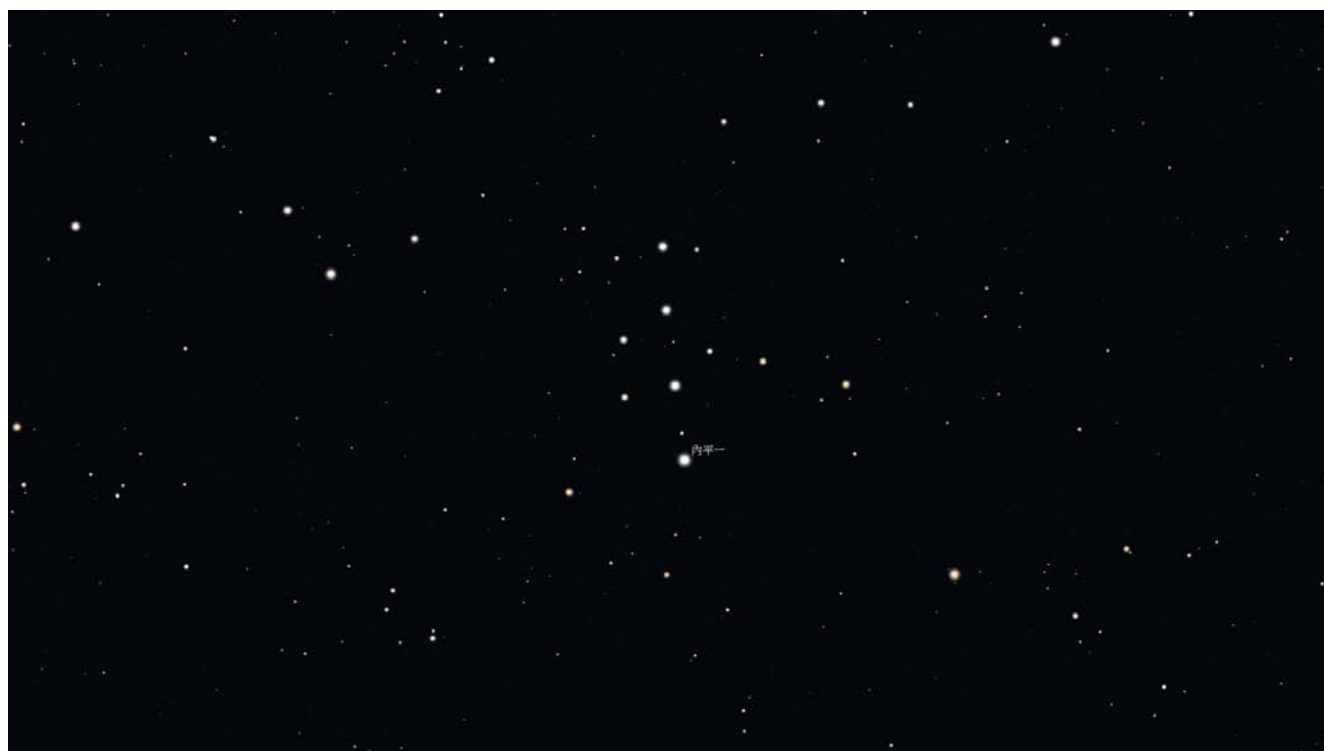


圖6 小星群Hrr 6。其中最亮星即為內平一。

文、攝影/ 鮑國全

高達8千多公尺

全長約600公里

略呈弓月形，媲美喜馬拉雅山

月面上最壯觀的地貌

月面上的神山

亞平寧山脈

MONTES APENNINUS

圖3 初八的月亮，便可清楚看見整座亞平寧山脈了（見箭頭）

位於中國和尼泊爾兩國之間的喜馬拉雅山脈，其主峰珠穆朗馬峰是世界的第一峰，高達8千多公尺，被一眾攀山者視為神山，以能登上其頂峰為榮，就是普通的民衆，能夠遙望它的英偉雄姿，也是一件賞心樂事。

作為一位月球觀測者，或許會問月面是否也有一座可媲美喜馬拉雅山的神山呢？答案便是鎮守於雨海東南邊陲的亞平寧山脈（Montes Apenninus）（圖1）；它可說是月面上最壯觀的地貌，略呈弓月形，全長約600公里，

其間滿佈了不少高聳的山峰，其中一座名為惠更斯山（Mons Huygens）的山峰，高度達5千多公尺，是山脈的最高峰。亞平寧山脈的西南端終止於厄拉多塞環形山（Eratosthenes）；東北端與高加索山脈的南端形成了一處天然的海峽，連接起澄海（Mare Serenitatis）和雨海。亞平寧山脈的西坡比較陡峻，東坡則相對平緩而漸變為低地，在望遠鏡的視場內看東坡的景象，真的有一瀉千里的感覺。山脈的南端延伸至一片形似北美洲的崎嶇大陸，一些著名的環形山如波德

（Bode）、帕拉斯（Pallas）和麥其生（Muchison）等都座落在這片陸地上（圖2）。在西坡的山腳下更是月溪的集中地，幾條著名的月溪如哈德利月溪（Rima Hadley）、菲涅耳月溪（Rimae Fresnel）和布拉德利月溪（Rima Bradley）等等，都聚集在這裡，喜愛觀測月溪的同好，這區域真的令你目不暇給。在月球上攀登亞平寧山脈，不用像在地球攀登珠穆朗馬峰那麼辛苦，就好像齊天大聖那樣，只消翻兩三個筋斗便可直達頂峰。

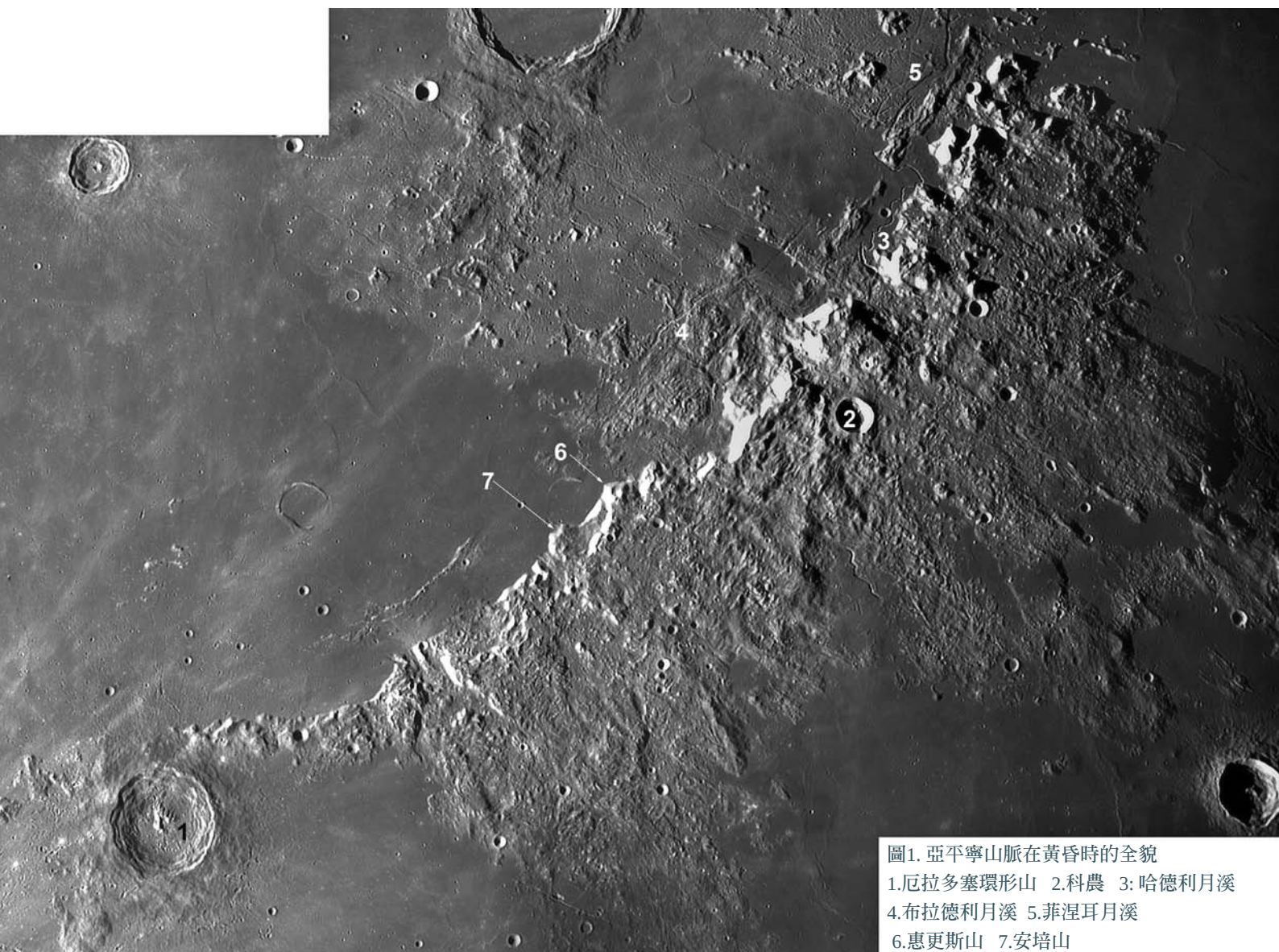


圖1. 亞平寧山脈在黃昏時的全貌

- 1.厄拉多塞環形山 2.科農 3.哈德利月溪
4.布拉德利月溪 5.菲涅耳月溪
6.惠更斯山 7.安培山

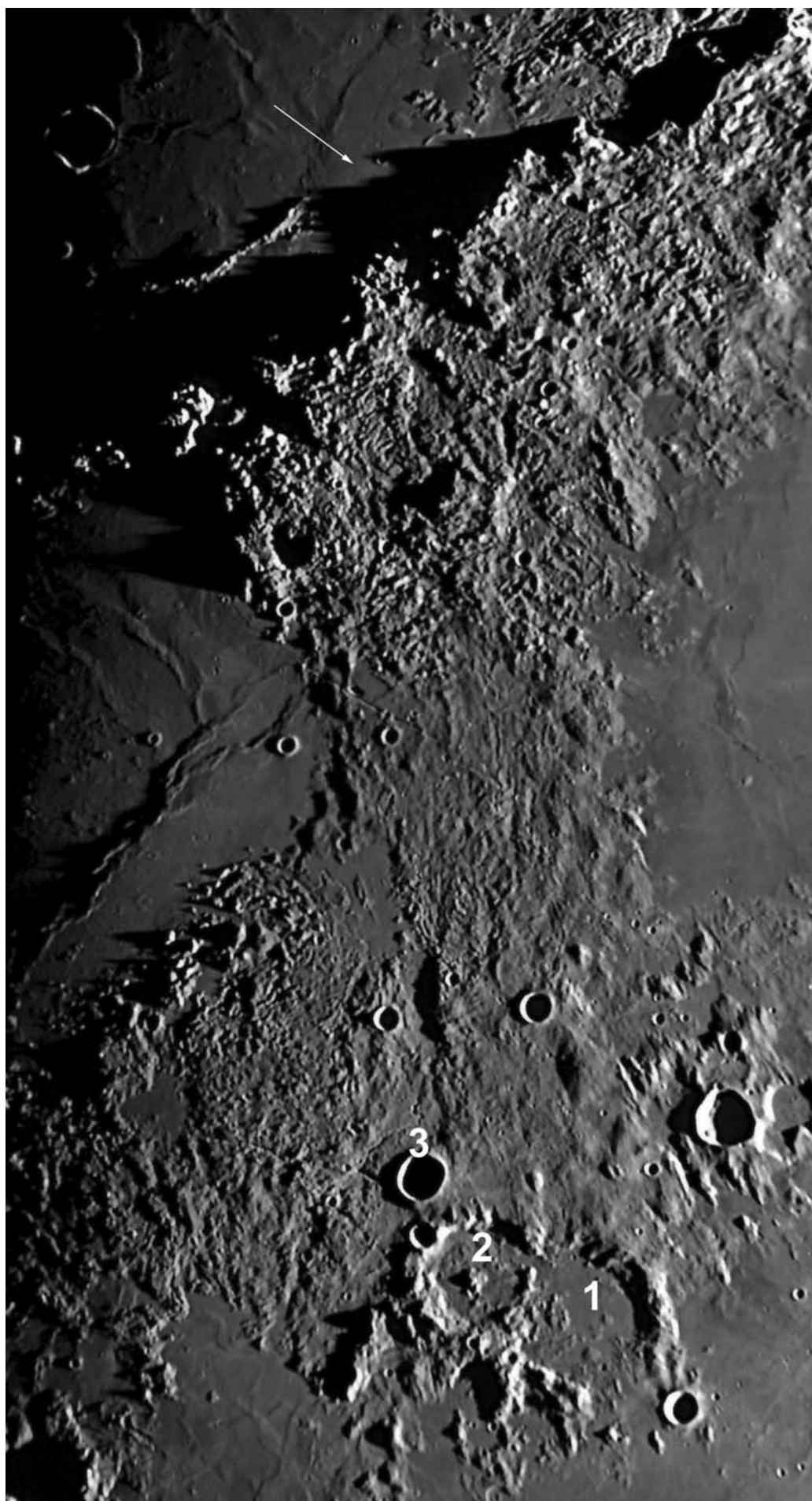


圖2 亞平寧山脈向南延伸至一片形似北美洲的崎嶇大陸。惠更斯山和安培山在晨光中投下龐大的影子在雨海盆地上（見箭頭）
1. 麥奇生 2. 帕拉斯 3. 波德

讀者們都知道月面上山脈的名稱是借用地球上的名字。地球上的亞平寧山脈位處義大利半島上，由北至南橫亙差不多整個半島，全長約1200公里。17世紀中葉，波蘭的天文學家赫維留（Hevelius）花了差不多4年的時間來繪製月球圖，並將各種地貌配上名字，亞平寧山脈便是由他定名的。

農曆的初七~八日左右（圖3），晨光最先照亮了亞平寧山脈的東北方，東坡上的山脊和深溝都

紛紛露出面貌來，層次分明，極盡視覺的享受。位於東北端的高峰投下了巨大尖針狀的影子在雨海盆地上，更令人驚喜。漸漸地山脈的東南方也被照亮了，那些高聳的山峰如惠更斯山和安培山（Mons Ampère）也紛紛投下了龐大的影子在雨海上（圖2）；山腳下的月溪亦逐漸顯現其窈窕的身影來。這時最好是將望遠鏡指向山脈的不同部份去細意瀏覽了。

當清晨的陽光斜斜射向亞平寧山脈時，除東北部份被照亮

外，其餘部份仍在黑夜裡，群峰中出現了一串光環，這是山脈中最大的一座環形山科農（Conon）的坑緣被照亮所引致。科農直徑只有21公里，呈圓形，坑底崎嶇不平。在科農以南不遠處的誠信灣（Sinus Fidei）內有一條蜿蜒流動的科農月溪（Rima Conon）（圖4），也是亞平寧山脈東坡中唯一明顯可見的一段月溪，長約30公里。

將望遠鏡轉移至亞平寧山脈的西北坡，黑夜過後，彎彎曲曲

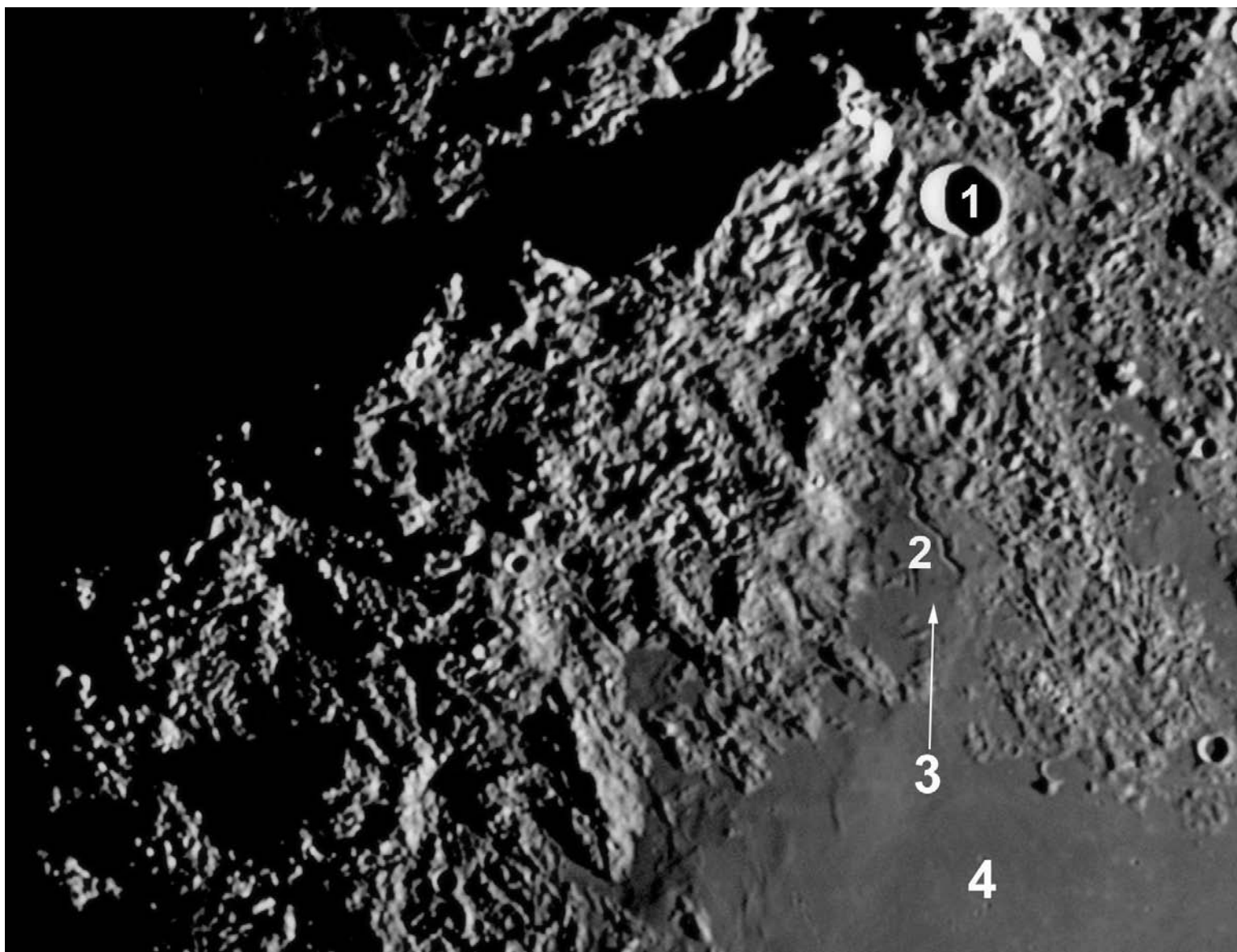


圖4. 晨光下的亞平寧山脈東坡面貌 1.科農 2.科農月溪 3.誠信灣 4.汽海

的哈德利月溪（圖5）首先映入眼簾。但見它從山坡一處小坑洞開始，蜿蜒向北慢慢流動，流程長達80多公里，月溪寬度只有一公里多。在流經哈德利山德耳塔（Mons Hadley Delta δ ）附近時急轉向西流去，河道開始收窄並再轉向北走，與菲涅耳月溪（圖4）的支流匯聚。月溪的後段非常窄小，要在穩定的大氣情

況下才能拍到。1971年7月，美國的阿波羅15號探月船在哈德利山德耳塔附近著陸作科學探勘。從帶回來的岩石樣本研究所得的主要成果是雨海盆地形成於38.6億年前，6億年後才被熔岩填滿成為今天我們看見的雨海；另外也證實了哈德利月溪並不是水流作用形成的，它是由熔岩流動造成的。

將望遠鏡視場稍為向北移動小許，便會看見一組縱橫交錯的月溪系統，這便是菲涅耳月溪；在它的西面，有兩座很顯眼的小型山脈。菲涅耳月溪座落在一片名為亞平寧地貌結構（Apennine Bench Formation）的地域上，由富於克里普礦物（KREEP）的火山物質沉積而成。

在哈德利月溪的西北方不遠處是一片丘陵地域，其中可清楚看見一條如長蛇般的布拉德利月溪（圖6）在流動，全長達130公里，它的成因和哈德利月溪不同，是因地殼應力造成的。

鮑國全：業餘天文愛好者，《月球攝影觀測圖冊》作者

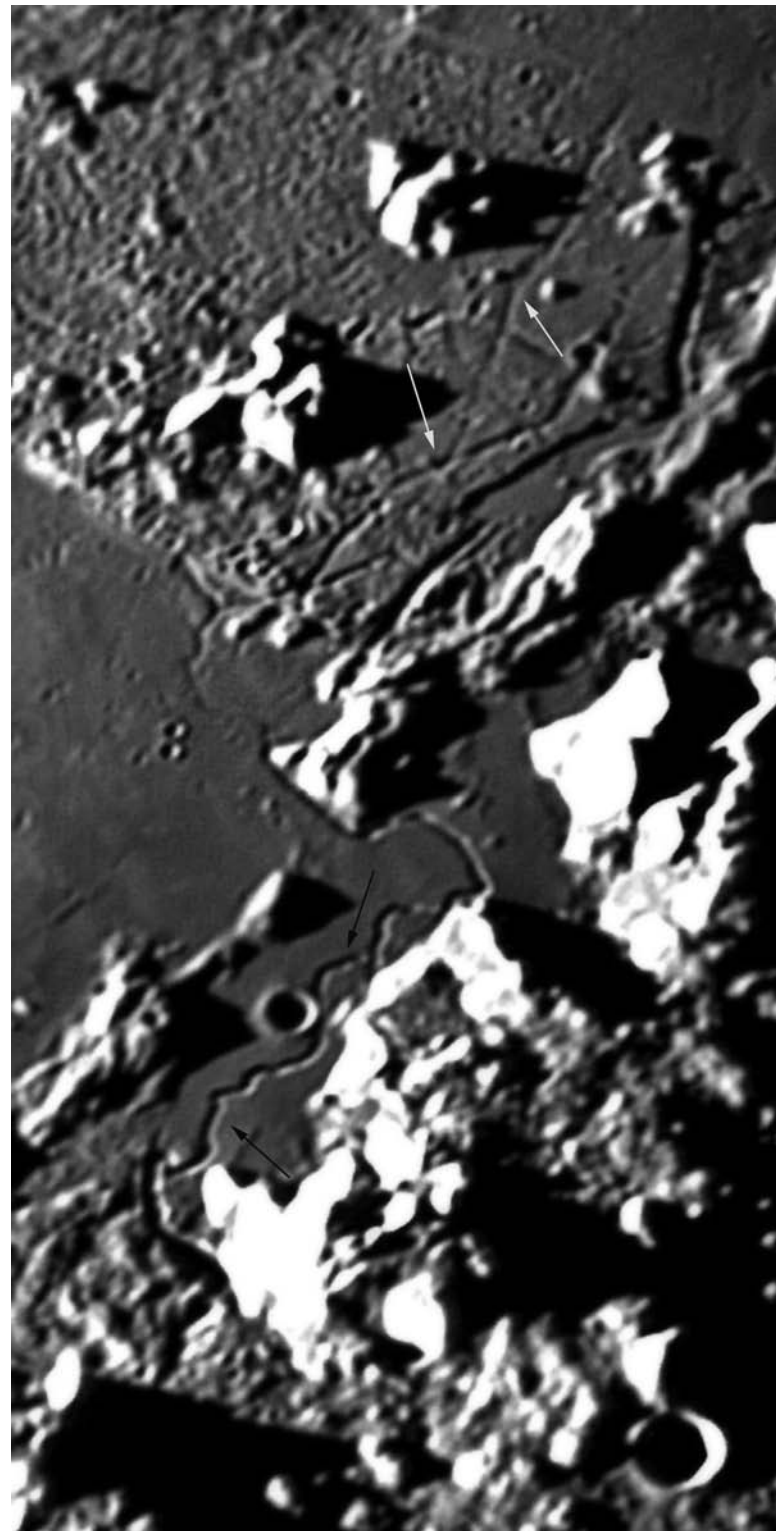


圖5. 哈德利月溪（下方黑色箭頭）和菲涅耳月溪（上方白色箭頭）的特寫照

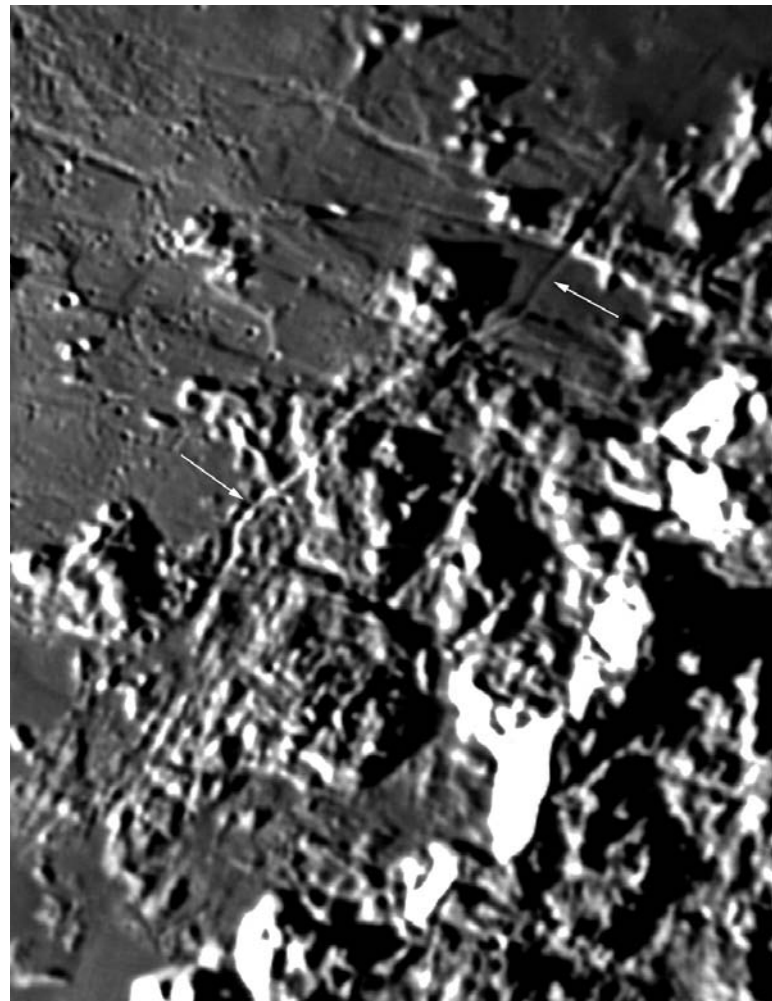


圖6. 布拉德利月溪（箭頭所指）的特寫照

Q：長度存不存在最小單位，最短且有意義的長度是多長？

A：從數學上的定義來看，只要是任何大於零的正數，不論小數點後有多少個零都應該存在，例如：0.00...001，意即不存在長度的最小單位，但那是指數學而言，在實務上，量測長度必須有意義，是否有一個最短長度，是以目前的物理定律可解釋的最小極限？有，那就是普朗克長度。從結果上來看，我可以直接告訴你普朗克長度的答案，但是那一點意義都沒有，就如同記下你家的電話號碼一樣無聊：有用，但是不太有意義，最好是能夠知道前因後果。

先思考這個問題，10個蘋果每人可分得4個，則可以分給幾個人？如果這是一個普通的數學算式，10除以4即可得到正確答案為2.5人，但實際上「人」是不能剖半計算的，同樣地，普朗克長度也是如此，因為量子力學的緣故，有很多極限存在著，例如：普朗克時間、普朗克長度、普朗克常數...等。

先假設有一樣東西很小好了，一般而言我們要知道一樣東西有多長就必須測量，但是測量也是有極限的，人類目前所發明的儀器中，

能夠確知的單位最小只能到埃，即 10^{-10} 公尺，比這個小的，我們只能用理論公式計算，所以，一個最小的東西，一定是以理論計算時會產生問題或是物理定律無法適用時的狀況。

在思想實驗中，要測量一個物體的位置，我們必須要用照在其上的光所得的反射來得知，而若要將其位置測量到極高的精確度，就必須用更短波長的光子，同時也代表光子的能量會更高，當能量高到一個程度，原則上光子撞擊時會產生黑洞，而這個黑洞會吞噬掉該光子從而使實驗失敗而無法量測該物的精確位置，而該黑洞的半徑即為普朗克長度，故當精確度達到普朗克長度以下時便會發生此問題。

當用史瓦西半徑公式計算黑洞半徑時，其中會有質量項，但光子是沒有質量的，故必須利用質能互換公式及普朗克關係式把質量項換掉，最終會得到一個與光子波長有關的公式，而當光子波長與史瓦西半徑相同時，即為普朗克長度，其值約為 1.6×10^{-35} 公尺。

YouTube相關影片：



Does nature have a minimal length?

<https://www.youtube.com/watch?v=nyPdIBnWOCM>

Q：我們能夠登陸木星嗎？進入木星會發生什麼事？

A：木星不像地球表面有著堅硬的地殼，木星是由氣體所聚集而成的星球。因此不論是太空船或是太空人，都不可能達成登陸木星的任務。雖然不能夠降落在木星表面，但我們仍可透過近距離的環繞木星軌道來對木星進行觀測及科學研究。

或許會有人猜想，如果不能登陸在木星表面，太空船或是探測器是否能夠穿透木星呢？答案是不可能的，當太空船進入木星大氣層時，產生的高溫對於太空船便是一大考驗，即使人穿著太空服躲在有擋熱板的太空船裡，隨著太空船深入木星內部，除了須面對木星上巨大的風暴外，也會承受愈來愈大的大氣壓力。想當初2003年伽利略號太空船在進行最後的自殺任務——墜毀於木星時，太空船也在進入木星之後沒多久就被木星龐大的大氣壓力給摧毀了。

即使考慮太空船只從木星表層的大氣層穿過的路徑，但木星表面的逃逸速度為59.5km/s

（地球的逃逸速度為11.2km/s），也就是說太空船必須以大於離開地球表面5倍以上的速度，才有機會順利穿過並離開木星表層大氣，而且這還未考慮到其它的因素。

YouTube相關影片：



如果你墜入了木星? | 大膽科學

<https://www.youtube.com/watch?v=4XA6ulpj7CA&list=PLcI14r-4qCb71LLk3nNjWgOINFWyi47N4>

許晉翊：臺北市立天文科學教育館

張瑋芸：國立中央大學天文所碩士



朱諾號太空船於2016年7月進入木星軌道，為第二個環繞木星軌道的探測器，目前的科學任務將繼續觀測並延長到2021年7月。© NASA

最寂靜的荒漠，最喧鬧的



勺夜空

在一座遠離人煙的深山裡，有著地球上數一數二潔淨的黑夜，這裡幾乎看不到人類活動所製造的光汙染，卻能看到地球自身所發出的微光。

這是在智利阿塔卡馬沙漠裡的帕瑞納天文台所拍攝的「氣輝」（Airglow），它是由高層大氣分子游離所放出的螢光，原理如同極光。不過氣輝的亮度非常微弱，只有在最黑暗的夜空裡，透過鏡頭捕捉，才能看到它繽紛的微光。

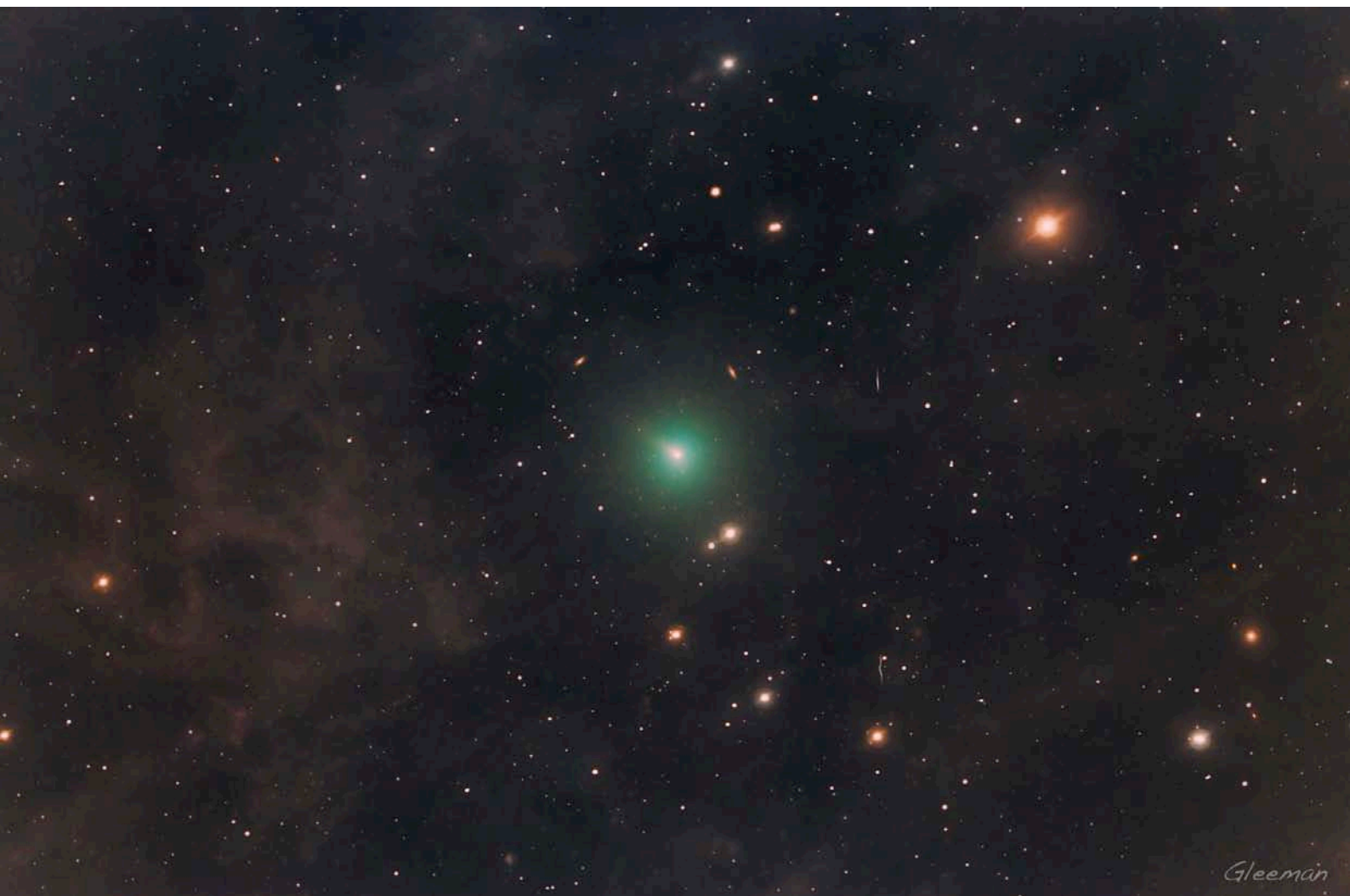
帕瑞納天文台屬於歐洲南方天文台，由4座口徑8.2公尺組成的「甚大望遠鏡」就在圖中的山峰上，被氣輝照映出了剪影。

© Y. Beletsky (LCO)/ESO

圖片：<https://www.eso.org/public/images/potw2007a/>

Astronomical 美星映象館 *photo gallery*

責任編輯/ 吳昆臻



C/2019 Y4 (ATLAS) 彗星 張勝賢

時間：2020/03/18

地點：美國新墨西哥州遠端天文台

儀器：Celestron RASA 11" F2.2施密特攝星鏡、ZWO ASI071 Pro 彩色天文相機，遠端遙控拍攝

參數：單張曝光120秒、8幅疊合，總曝光16分鐘

影像處理：DeepSkyStacker、FlatAidePro、Photoshop

說明：此照片攝於 ATLAS彗星距離地球約1AU、通過大熊座時，背景是一片濃密的分子雲，在彗星的上方有兩個明顯的星系分別為 UGC5111與 UGC5113，是距離我們100Mpc 即約3.26億光年的遙遠星系，而夜空正巧有一顆流星掠過。（此刻彗星的總亮度約+9.4星等）



C/2019 Y4 (ATLAS) 詹榆芃

時間：2020/3/17 13:30 (UTC)

地點：美國新墨西哥州 iTelescope

儀器：Celestron RASA 11" (280mm F2.3)望遠鏡、ZWO ASI Camera 071MC Pro相機、SB Paramount ME赤道儀，遠端遙控拍攝

曝光：單張曝光180秒、6幅疊合，總曝光18分鐘

影像處理：MaxIm DL Pro 6、Adobe Photoshop CC 2019

說明：當彗星遇上分子雲時，那是多麼夢幻的時刻，用長時間曝光更能發現這片區域的不同。



C/2017 T2 (PANSTARRS) 泛星彗星 吳昆臻

時間：2020/2/25 1:48~2:27 地點：南投縣 合歡山 昆陽停車場

儀器：Nikon D80 (改)、WO FLT-110減焦 (f=770mm*0.8X)直焦攝影、iOptron CEM25赤道儀

參數：ISO1600、單張曝光3分鐘、10幅疊合，總曝光30分鐘

影像處理：DeepSkyStacker、Photoshop CS4，75%截圖

說明：拍攝當天彗星位置剛好在M97(右下)跟M108(右上)旁邊，就讓三個天體一起入鏡；此時彗星亮度還不高，影像中僅看到綠色的彗髮，尚未拖出明顯的彗尾。



C/2019 Y4 阿特拉斯彗星

陳麒瑞、Jeremy Chou

時間：2020/04/11

地點：新墨西哥州

儀器：左上圖 iTelescope T11,
底圖 iTelescope T68

參數：彩色相機180秒 8幅，總
曝光24分鐘

R濾鏡180秒 9幅，總曝光27分
鐘

說明：在4月初此彗星猛然變
暗，在拍攝日前幾天被
發現彗核崩解，4月11
日這天拍到原本彗核右
上方多一個小的獨立的
彗核，後續的觀測也證
實彗星四分五裂，一顆
受到大家期待的彗星可
能要讓大家失望了。但
底圖廣角影像顯示他的
彗髮還是很亮、彗尾還
拉長了，有大望遠鏡的
朋友還是可以嘗試拍攝
看看。



霎那與永恆-C/2019 Y4 (ATLAS)彗星、M81/M82星系及一顆流星

王朝鈺、紀育珊

時間：2020/03/21 20:40-20:52 (UT+8) 地點：新竹縣 宇老產業道路

儀器：Sky-WatcherStar SA攝星儀、Zeiss 135mm f/2、Nikon D7100相機

參數：ISO 1600、單張曝光45秒 16幅疊合，總曝光12分鐘

影像處理：AstroPixelProcessor與Photoshop CS6後製

說明：即使這顆眾所矚目的彗星已於接近太陽的過程中崩解，愛好者對她的追逐依然不減。在一個凍人的夜晚，她飄然經過這兩個知名星系的時候，與意外入鏡的一抹流星，一同呈現一幅極致對比的霎那與永恆。



C/2017 T2 (PANSTARRS) 泛星彗星

吳昆臻

時間：2020/2/24 21:01~21:44

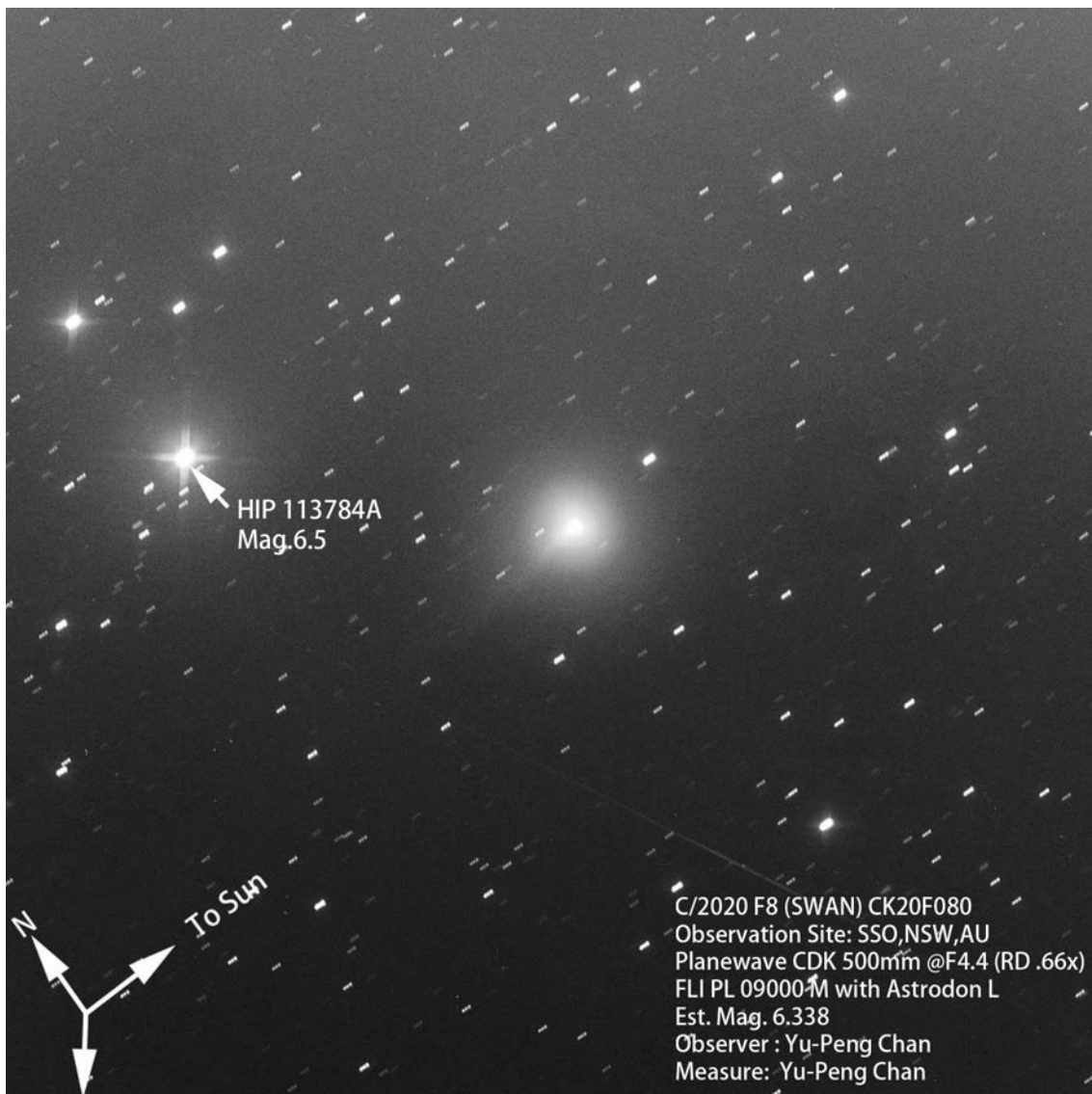
地點：南投縣 合歡山 昆陽停車場

儀器：Nikon D80 (改)、
WO FLT-110減焦
(f=770mm*0.8X)直焦
攝影、iOptron CEM25
赤道儀

參數：ISO1600、單張曝光3
分鐘 13幅疊合，總曝
光39分鐘

影像處理：DeepSkyStacker、
Photoshop CS4，75%
截圖

說明：影像中可看到明亮帶
點藍綠色的彗髮及微
彎像甩尾般的彗尾，
拍攝時彗星亮度約9
等。



C/2020 F8 (SWAN)

詹榆芃

時間：2020/04/14 4:25
(當地時間)

地點：澳洲新南威爾 iTelescope

儀器：Planewave 501mm CDK
(f4.4) 望遠鏡、FLI
ProLine 16803M相機、
Astrodon E 濾鏡、SB
Paramount ME赤道儀，
遠端遙控拍攝

參數：L單張曝光3分鐘 3幅疊
合，總曝光9分鐘

影像處理：MaxIm DL Pro 6、
Adobe Photoshop CC
2019

說明：近期所發現之彗星，亮
度急速上升，是為可期
待的明日之星。



NGC2264 聖誕樹星雲 清大天文社

時間：2020/01/21

地點：台中市和平區福壽山農場露營區

儀器：WO FLT-132望遠鏡、Flat 68III減焦鏡、Canon EOS 5DII (mod.)相機、Takahashi EM-200赤道儀、APM 60 mini guiding scope導星鏡、QHY 5II導星裝置、QHY Polemaster

參數：ISO 1600、單張曝光5分 27幅，Dark Flat Bias校正，總曝光135分鐘

影像處理：DeepSkyStacker、Photoshop、StarNet++

說明：聖誕樹星雲是位在麒麟座內的一個電離氫區，其中包含了四個天體：錐狀星雲、聖誕樹星團、雪花星團以及狐狸皮星雲。

↓ M78 曹兆年

時間：2020/1/19 地點：南投縣新中橫 塔塔加

儀器：iOptron GEM45赤道儀、SHARPSTAR 86SQ望遠鏡、ASI294MC PRO相機

參數：Gain 120、單張曝光480秒10幅、單張曝光600秒19幅，總曝光4.5小時

影像處理：Astro Pixel Processor、Photoshop、Starnet++

說明：照片右邊的M78位於獵戶座(反射星雲)，照片左邊為巴納德環的一小部份，則是一個發射星雲。其間有著豐富且美麗的雲氣，十分令人著迷。





M81 M82 波德星系與雪茄星系

交大天文社、楊順嘉

時間：2020/1/21 00:55~04:46

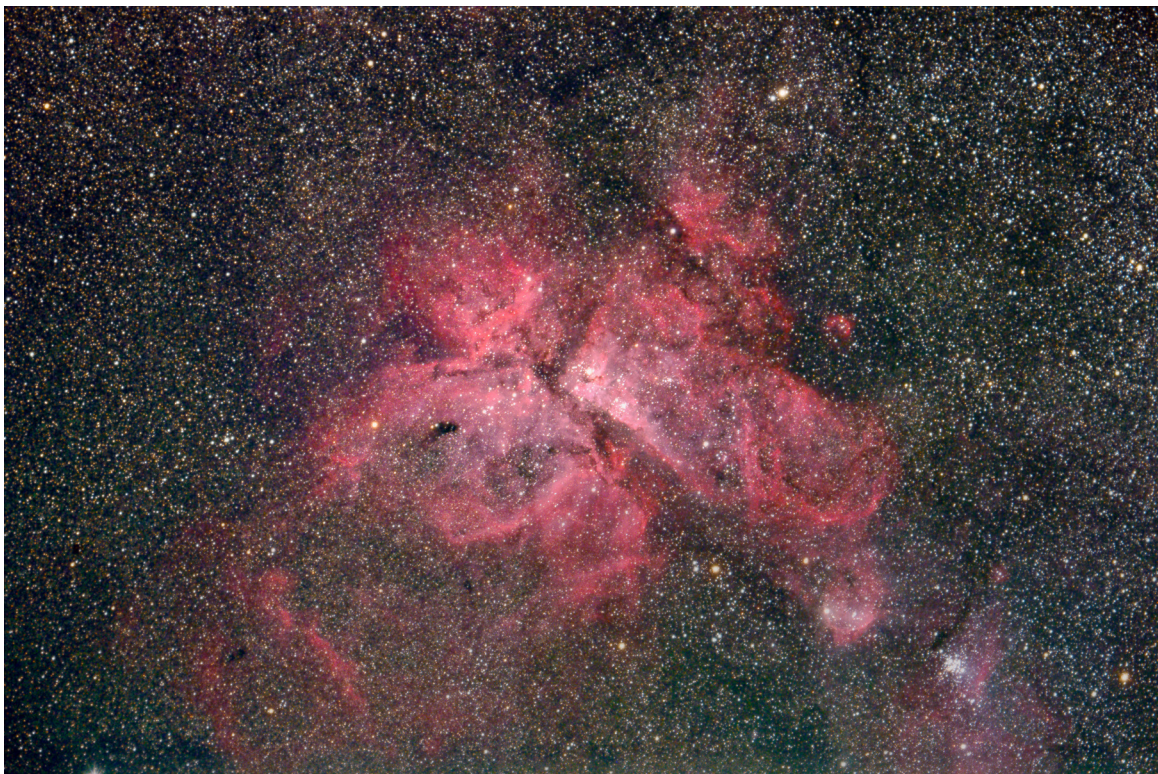
地點：台中市 福壽山農場

儀器：TAKAHASHI FS-102
望遠鏡、QHY QHY8L
pro、Sky-Watcher
NEQ6 Pro赤道儀、
APM 50 Mini Guiding
Scope導星鏡、QHY5L-
II-M導星裝置、STC多
波段光害48mm

參數：Gain:53 Offset:125
Temp:-20c、單張曝光
300秒 16幅，Dark及
Flat校正，總曝光80分
鐘

影像處理：DeepSkyStacker、
Photoshop

說明：位於大熊座的波德星系與雪茄星系，不僅在視覺上靠的相當近，在空間上兩者也同屬於M81星系團，並有者密切的重力交互作用。左側的雪茄星系中間有著明顯的紅色雲氣，被認為是因為該星系有著大量超新星形成而導致。



NGC3372船底座大星雲 錢昕

時間：2020/1/21 2:49-4:00

地點：南投縣 清境楓丹白露民宿

儀器：iOptron iEQ45赤道儀、WO Z73望遠鏡、Flat73修正鏡、Canon 6D(NKIR)相機，PHD2導星

參數：ISO1600、單張曝光180秒 24幅，Dark、Flat、Bias校正，總曝光72分鐘

影像處理：DeepSkyStacker、GIMP、StarNet++後製

說明：NGC3372是全天最明亮的星雲，由於緯度甚南的關係，在台灣仰角不會超過10度，這天晚上加上透明度不佳甚至肉眼不可見，但在相機下仍有不錯的表現。攝於文化、實踐、政大、桃銘和東海五校天文社聯合寒訓期間。



四重複虹 錢昕

時間：2020/1/15 16:45

地點：台大醫學院

儀器：Asus ZenFone 5拍攝

影像處理：GIMP後製

說明：窗邊偶然出現罕見而極其明亮的複虹現象，這是在空氣中的水滴大小非常均勻時由於光波的干涉現象形成的。本圖經影像處理後亮度與色彩與當場肉眼所見十分接近。

↓ 冬季銀河與鳥居 張復雰

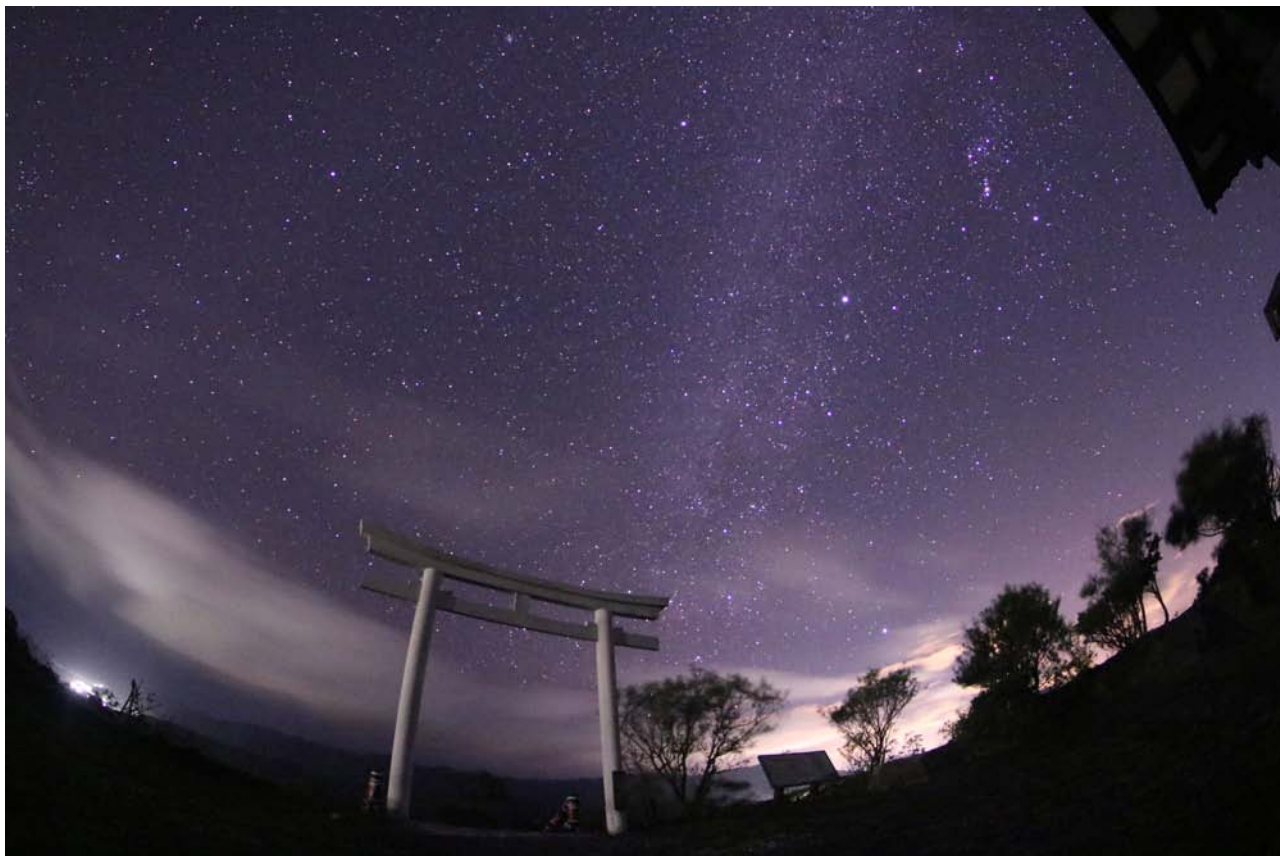
時間：2020/01/01 01:28:52

地點：屏東縣牡丹鄉高士神社

儀器：Canon EOS 760D相機、Meike 8mm f3.5 Fisheye鏡頭

參數：ISO12800、f/3.5、單張曝光20秒

說明：元旦至特別的地點跨年，原本烏雲遮蓋的天空，在祈福活動的前後一小時天空忽然開朗，靜謐閃亮的冬季銀河與白色鳥居互相輝映，在強風之中完成拍攝。





環環相扣 謝易翰

時間：2020/03/20 10:07

地點：臺南市安平區

儀器：NIKON D7500相機、Meike 8mm f3.5 Fisheye鏡頭

參數：ISO 100、f/22、單張曝光1/2000秒

說明：春分那天，台南上空的日暈持續了好幾個小時，有趣的是，除了日暈和飛機凝結尾外，天空中似乎也多了一些隱約的環形紋，後來在社團裡得知是較少見的日暈、外接暈（橢圓）與幻日環，於是在相片後製時刻意將其呈現與大家分享。

↓隙頂之星 謝易翰

時間：2020/02/24 23:49

地點：嘉義縣隙頂

儀器：NIKON D810A、NIKON 70-300mm f4-5.6D鏡頭

參數：@70mm、f/4.0、ISO 3200、單張曝光25秒

影像處理：Photoshop

說明：在隙頂等待南十字升起，構圖時發現了船底座星雲，臨時想架赤道儀但南方雲氣已經升上來。對新手而言，能紀錄到低仰角的船底座星雲，雖然只是拖線的固定攝影照也雀躍不已。



To experience the beauty of the heaven.....
To view the beauty of the universe.....

浩瀚宇宙無限寬廣，穹蒼之美盡收眼底



攝影/ 洪景川

GPN:2008700083