

臺北星空

PDF Compressor Free Version

天文館期刊 Taipei Astronomical Museum Magazine

TAIPEI
SKYLIGHT
NO.73 2016. 秋

ISSN:1727-0022

《朱諾號與木星》專題

揭開木星神秘面紗－朱諾號。木星探測史與成就。朱諾號的木星探秘之旅。木星攝影集錦。星空電影院(木星)
我的天文研究/訪葉永烜院士。NASA/JPL太空任務。觀星導遊/五分山。
天體映像/穀神星神秘亮點。天文漫畫/太陽系裡的大胖子－木星(二)



火星

吳炳連

時間：2016/05/07

地點：彰化市cuteip天文臺

儀器：Meade 8"ACF 2000mm F10

+ ASI178MC +NEQ6

拍攝資訊：2016/0507 23:48

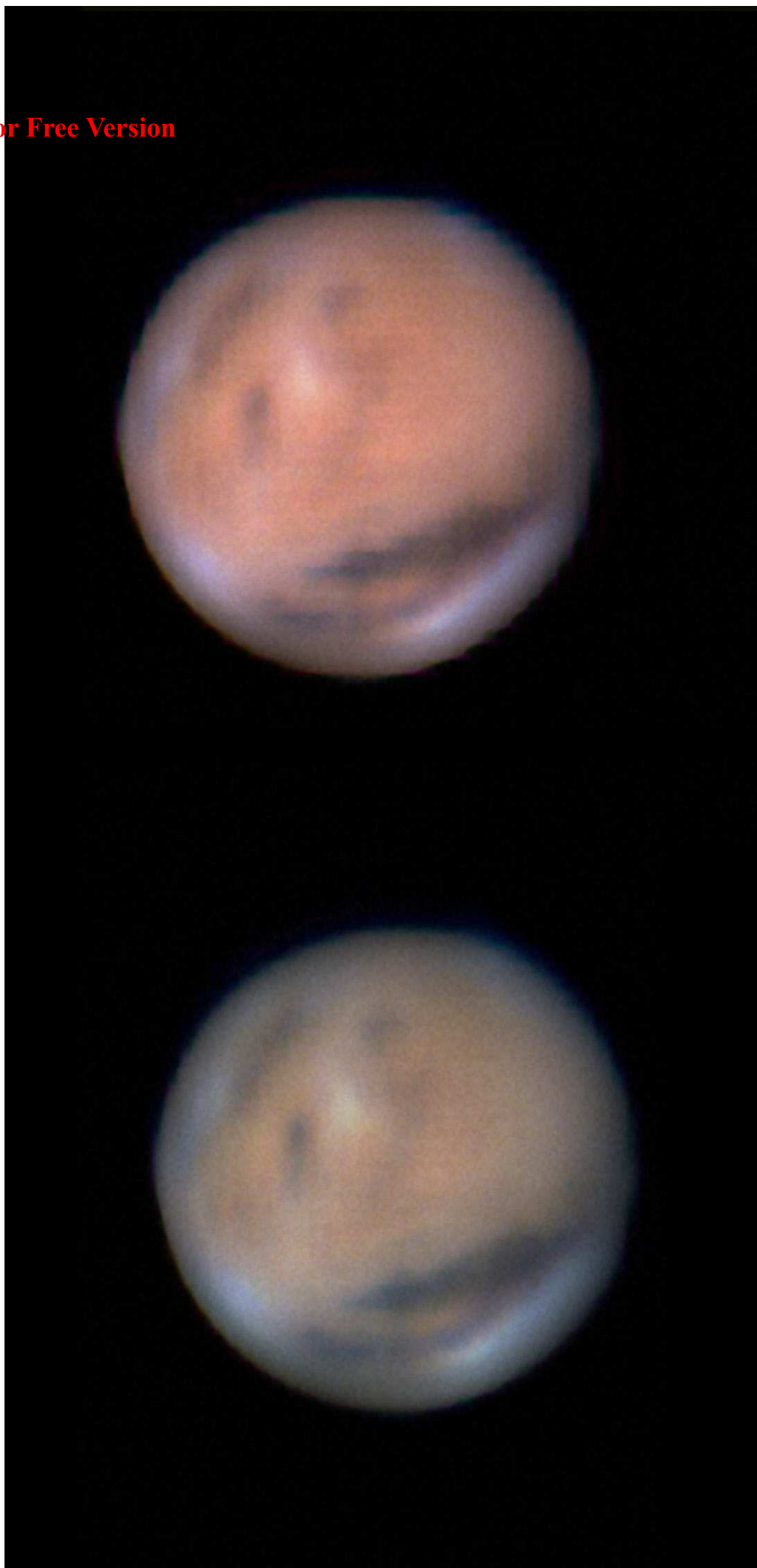
Duration=120s

擷取27528張 FPS (avg.)=229，

80%疊合(左圖)

2016/05/07 23:57

Duration=120s



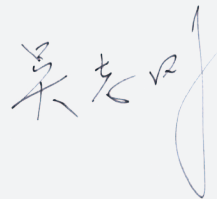
PDF Compressor Free Version

「臺北星空」第73期在炎炎夏日中出版了。印象中每逢暑期，在天文館總有兩件事情特別值得關注，一是太空任務的新進展；二是館內特展的開幕。今年也不例外，美國航太總署(NASA)的「朱諾號」歷經5年航程，終於在7月進入了環繞木星的軌道，而臺北天文館的年度特展也隨著暑假的到來同步開幕，今年主題「飛向宇宙-太空旅行」正好呼應了朱諾號的木星之旅！

編輯群於是結合了這兩項太空科學與教育活動的特色，以「朱諾號」計畫與太空探測做為本期「臺北星空」的企劃主軸。不僅邀請了多位國內專家執筆，還首次邀請了NASA噴射推進實驗室(JPL)的朱諾號任務科學家為本刊撰寫特稿，提供了許多珍貴的第一手科學資料與影片，讓國人得以透過深入淺出的解說與豐富的多媒體素材，深入瞭解這項堪稱木星探測里程碑的重要太空任務。

「臺北星空」其他專欄的精采程度也不遑多讓。「我的天文研究」單元這次特別訪問了中央大學天文物理研究所的葉永烜教授，葉教授不僅參與許多國際太空探測計畫，日前還當選了中央研究院院士。他的經驗與建言，對有志從事科學研究的學子來說，彌足珍貴。令人莞爾的「繽紛天文」這回給大家帶來一件超級有趣的生活用品，不僅人人用得著，而且還可以從中學習恆星演化的知識。究竟是什麼神奇的東西呢？在此先賣個關子，留待各位自己去發現嘍！「漫畫天文」的「木星的大氣與條紋」、「談天說地」繼續談與生命財產密切相關的地震等等，都是深受大、小朋友喜愛的單元。而美不勝收的「美星映像館」則精選了許多絕美的木星攝影作品，絕對可以滿足每一雙對「美」最挑剔的眼睛！

現在就請瀏覽為您精心編輯的2016年秋季「臺北星空」吧！也請多多給予支持與建議，讓我們為您提供更精緻的服務。



看天象，找真相

夏日炎炎輕鬆學天文！7月1日起天文館推出「2016飛向宇宙-太空旅行」特展，展期至12月25日止，免費參觀，地點在一樓大廳。於此同時宇宙劇場新片「到太空旅行」亦隆重上映。想像未來世界，有哪些天體是適合去太空旅行的旅遊勝地呢？

太空旅行的旅程中，在無重力狀態下，旅客難以控制身體的動作，所以特展設計了「太空電流棒」來訓練手部的穩定度；另外，有時需穿著厚重的太空衣完成任務，利用懸吊系統將人員懸空，再搭配厚手套，您可試試看在失去平衡的狀態下，是否能完成「隔套取物」的任務。

為了飛向宇宙，火箭等飛行器都必須加速到極快的速度以脫離地球的重力，不怕頭暈者可挑戰「三軸旋轉椅」來體驗火箭升空時的強大G力。特展有多項體驗設施及豐富的圖文、影音內容，歡迎大家闔家蒞臨參觀，一同飛向宇宙，體驗太空旅行的樂趣。



(真相在天文館1樓)

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
中華民國一百零五年八月一日出版
刊期頻率：季刊
本刊刊載於臺北天文館網站，
網址<http://www.tam.gov.tw>

發行人 陳岸立
發行人 王錦雄、吳福河
發行人 陳俊良、陳揚新
發行人 林雅心、林芳如
發行人 尤玉秋、林欣頤
發行人 葛必揚、林琦峯

編審委員 葛必揚、陶蕃麟
許錫鑫、胡佳伶
特約編輯 范賢娟

總編輯 吳志剛
編輯 劉愷俐、張桂蘭
楊擘群、李瑾
李合峰、張維元

美術編輯 劉愷俐、莊郁婷
邱颯鳳

封面設計 黃蘋、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 <http://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



《專題：朱諾號與木星》

封面圖說

木星

王文益、謝揚鵬

時間：2016/04/08 23:10:51.411

地點：台南市佳里區北門高中

儀器：C14 f:3910mm+CGE赤道儀+2.5X

TV巴羅+Asi174MM相機

L*7000,R*3500,G*3500,B*3500

Winjupos, As2!, Photoshop合成處理

木星參數：CMI=257.3°

CMII=255.2° CMIII=280.0°

Contents

總編輯的話

吳志剛

1



《朱諾號與木星》專題

天文新聞追蹤報導

揭開木星神秘面紗

— 朱諾號

胡佳伶

4

木星探測史與成就

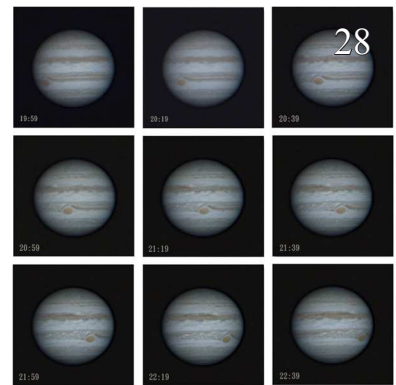
林忠義

8

朱諾號的木星探秘之旅

文/ 葛蘭·歐頓

翻譯/ 侯欣潔、吳志剛 17



木星攝影集錦

李合峰 彙編

28

星空電影院

木星

吳志剛

34

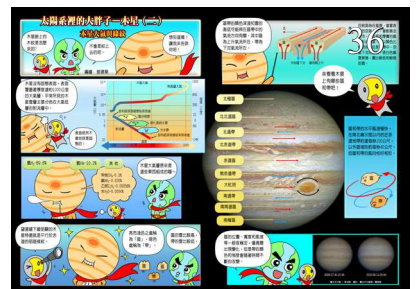
天文漫畫

太陽系裡的大胖子

— 木星 (二)

曾建華

36

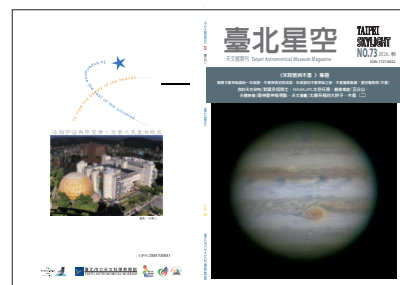


臺北星空

—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，亦刊登於天文館網站。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

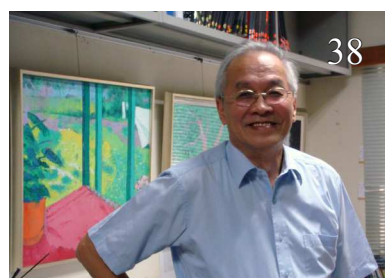
E-mail address：

tam001@tam.gov.tw

終身學習行動331

「國家民主、由我做主，直言不賄-真英雄！發現賄選，請撥檢舉專線：0800-024-099按4」

1999市民熱線，24小時日夜服務



我的天文研究/訪葉永烜
院士
在不可能中找出發展
關鍵

范賢娟 38

「科技與生活」廣播與導讀
NASA/JPL太空任務
解說/劉登凱、黃心怡、
張夢雯
導讀/吳岸明

45

談天說地話地球
謎樣的地震光
高銘鴻

46



繽紛天文

什麼？一邊上廁所還能
一邊學恆星演化？！

胡佳伶 50



星姊姊說故事
秋天的故事

孫桂琴 54

談天

天機不可洩漏

施炫呈 趙瑞青 56

天體映像

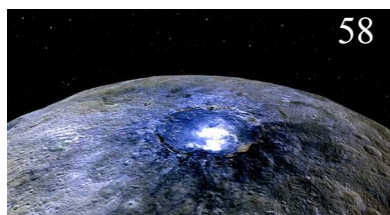
穀神星神秘亮點

李瑾 58

觀星導遊

五分山

徐毅宏 陳慶鴻 60



PDF Compressor Free Version

揭開木星神秘面紗－朱諾號

文/ 胡佳伶

在羅馬神話故事中，奧林帕斯山上住著天神朱比特（Jupiter）和他的妻子朱諾（Juno），朱比特利用了魔法變出了一團薄霧藏身其中，唯有天后朱諾能看透這層薄霧，瞧見朱比特的惡作劇——科學家將這項探測木星的任務命名為朱諾號，正是期望這艘太空船也能像天后朱諾一樣，看透木星（Jupiter）的本性！

航向木星

朱諾號是美國航太總署（NASA）新疆界計畫（New Frontiers）的第二項任務，於2011年8月5日利用擎天神5號火箭（Atlas V）發射升空，其太陽能板是NASA所有深空任務中最大的，完全展開後全長約20公尺左右，朱諾號進入太空將太陽能板展開並調整好方向後，就可提供太空船所需的電力。朱諾號升空後，從地球到月球（約40萬2336公里）僅需不到一天的時間，然後耗時5年、歷經28億公里的旅程才能抵達木星。途中曾在2013年10月飛掠地球獲得重力協助。2016年7月4日進入木星軌道後，這艘太空船將在20個月內，以繞極方式環繞木星37圈（圖1），距離最近的一次將從木星大氣頂層上方約5,000公里處掠過，預定在2018年2月完成任務後，脫軌進入木星。

科學目標及儀器

朱諾號的目標是探測木星的起源與演化，以瞭解太陽系形成初期的狀況和重要過程。具體的探測任務為：

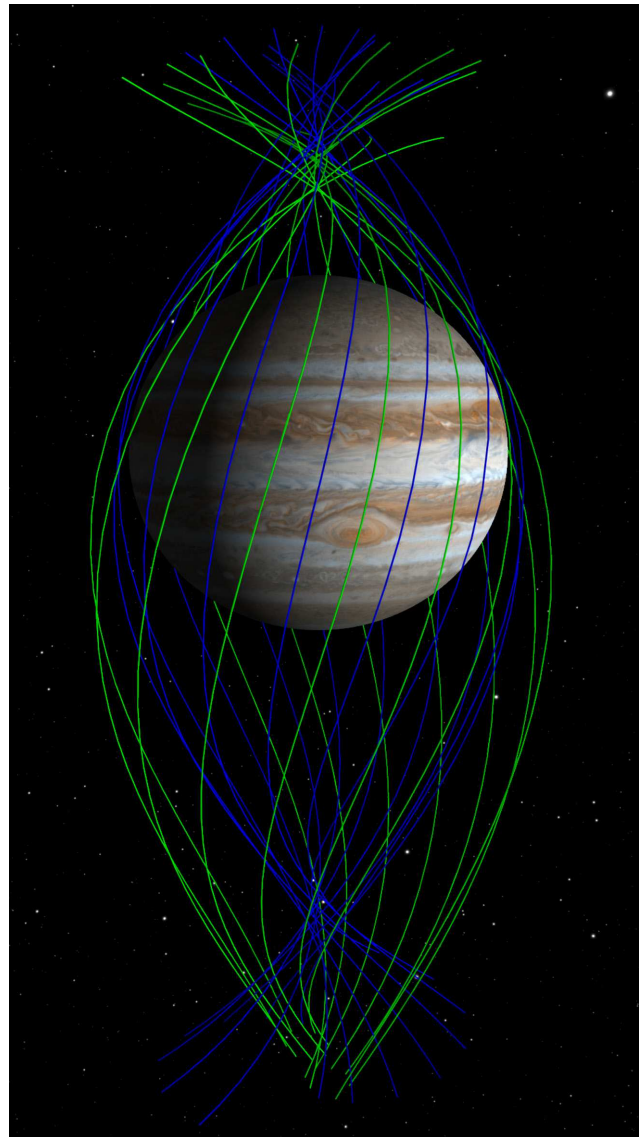


圖1. 朱諾號對木星的繞極軌道

朱諾號酬載系統

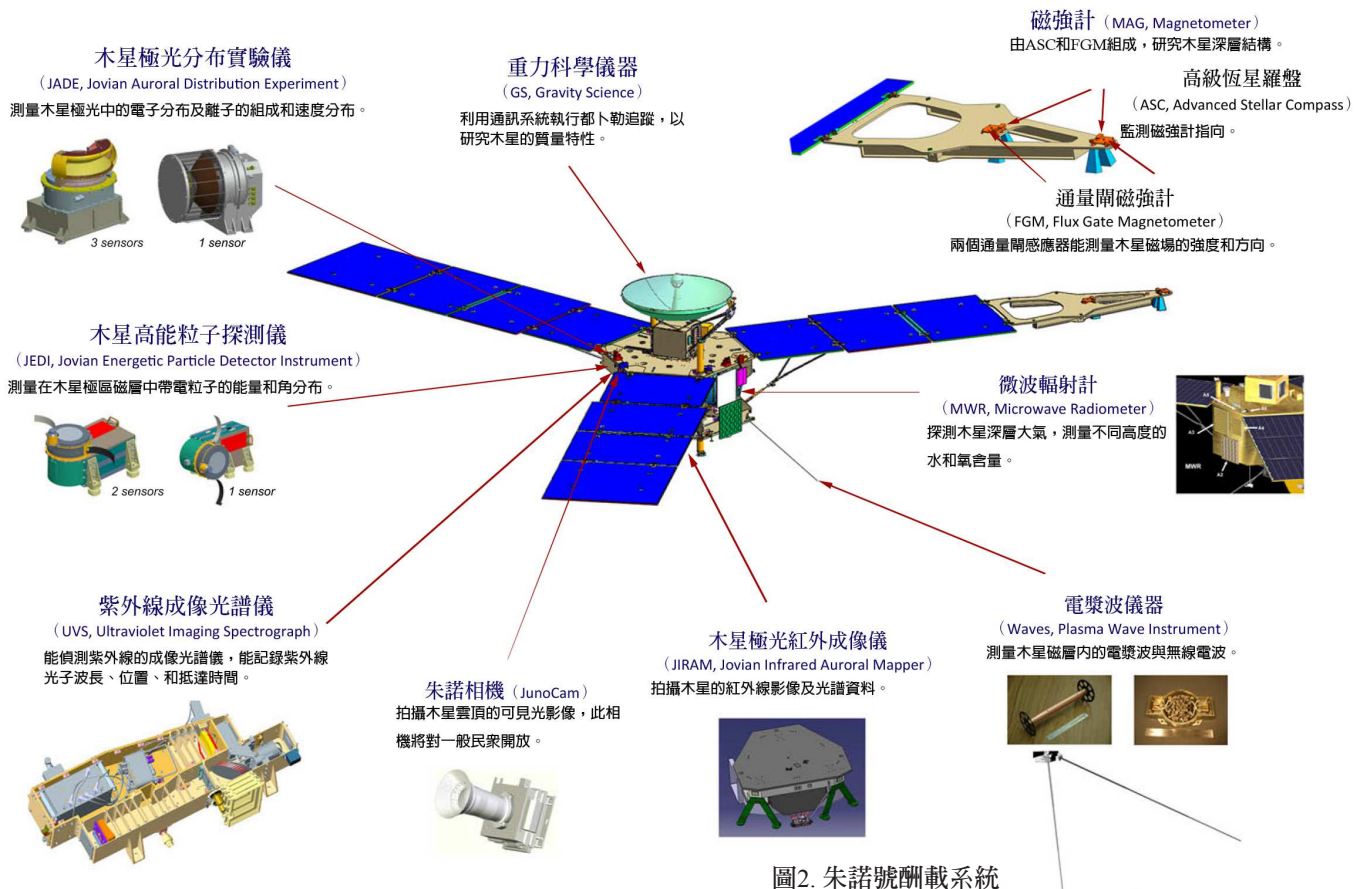


圖2. 朱諾號酬載系統

α 測量木星大氣中的水含量，這將有助於釐清何種行星形成理論較為正確，或是需要新的理論。

α 深入探測木星大氣，測量其成分、溫度、雲層運動和其他性質。

α 測繪木星磁場和重力場，剖析木星深層構造。

α 研究木星兩極的磁層和極光，將能有助於理解木星的強烈磁場如何影響大氣。

朱諾號太空船直徑達20公尺、高4.5公尺，搭載多項科學儀器（圖2），將研究木星是否有固態核心、測繪木星的強烈磁場、測量深層大氣中水和氫的含量，並研究木星極光。

朱諾號還帶了……

朱諾號上還搭載了三個小小的樂高積木人偶（圖3），高僅3.8公分，分別代表天文學家伽利略（Galileo Galilei），及羅馬神話中的



圖3. 跟著朱諾號一起前往木星的三個樂高積木人偶
Image credit: <http://www.jpl.nasa.gov/images/juno/20110803/lego20110803b-full.jpg>
Image credit: LEGO

天神朱比特和天后朱諾。這是由美國航太總署和樂高積木集團合作的教育推廣計畫，希望激起孩童探索科學、技術、工程和數學的興趣。羅馬神話中的朱諾手持放大鏡，彰顯她審視事實的神性；朱比特手持閃電做成的箭，如同天神的權杖——這兩個人偶清楚表現了朱諾號的命名源由。至於第三個人偶伽利略，一手捧著木星，另一手拿著望遠鏡，

PDF Compressor Free Version

是因他在望遠鏡發明後，利用望遠鏡觀察星空，對木星研究有眾多重要貢獻，其中包括1610年發現木星四個最大的衛星—木衛一埃歐（Io）、木衛二歐羅巴（Europa）、木衛三加尼米德（Ganymede）、木衛四卡利斯多（Callisto），因此後人稱這四顆衛星是伽利略衛星！

在朱諾號上還有一塊銘板，記載著伽利略的自畫像，和他1610年時親手寫下的木星觀測紀錄，藉此紀念伽利略在木星研究上的貢獻（圖4）。這塊銘板由義大利太空局（Italian Space Agency）提供，寬7.1公分、高5.1公分，由航空用鋁板製成，重約6公克。

木星的起源與內部

與地球不同，木星龐大的質量讓它可以保有原始組成，讓我們有機會一窺太陽系的歷史。朱諾號將測量木星大氣中的水和氫的含量，並測定木星是否具有固態核心。此外，藉由測量木星的重力場和磁場，可呈現木星內部結構，推估核心質量。從這些測量或許可以直接解決木星起源、甚至是太陽系起源的問題。

木星大氣

木星表面色彩斑斕的區（zone）、

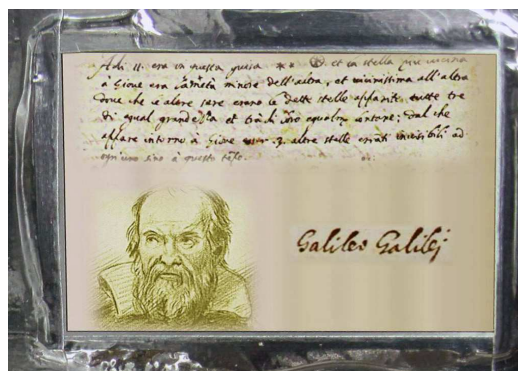


圖4. 朱諾號上的伽利略銘板

Image credit: NASA/JPL-Caltech/KSC
http://www.nasa.gov/mission_pages/juno/multimedia/galileo20110803.html

帶（belt）或其他特徵究竟向下延伸得多深，是研究木星最重要的基本問題。朱諾號將首度測量木星雲頂下方大氣的全球性結構和運動，並測繪大氣層組成、溫度、雲系和運動模式的變化。

木星磁層

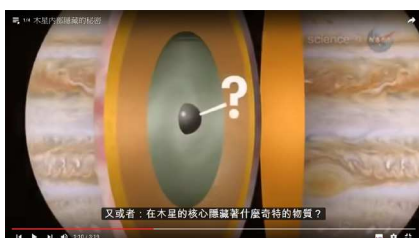
在木星大氣深處的強大壓力下，氫氣會被壓縮成流體的液態金屬氫，此時氫的行為就像是會導電的金屬，科學家相信這就是木星強烈磁場的來源。當帶電粒子進入木星大氣，會受強大磁場環境影響，產生太陽系中最亮的極光。由於朱諾號是以繞極方式環繞木星，因此

★ 本文相關影片



Juno: Piercing Jupiter's Clouds | Out There | The New York Times

<https://www.youtube.com/watch?v=NNHfoNIiZ8Y>



木星內部隱藏的秘密

<https://www.youtube.com/watch?v=6uMfPRgtqVQ&list=PLzYYnhQIXmVE20sNEJEV3yw0WbFsjUiIT&index=1>

新疆界計畫 (New Frontier)

美國航太總署的新疆界計畫以探測太陽系天體為目標，平均每三年執行一項任務，目前進行中的任務有三項：

New Frontiers 1：新視野號 (New Horizons)

2006年1月19日發射的新視野號太空船，在2015年7月飛掠主要目標——矮行星冥王星，將在2015至2020年間造訪一至二個古柏帶 (Kuiper Belt) 天體。

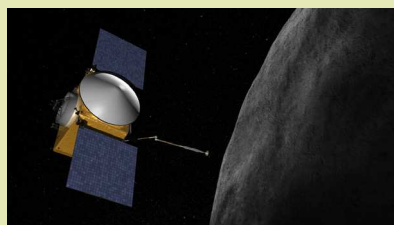


New Frontiers 2：朱諾號 (Juno)

2011年8月5日發射的朱諾號太空船，在2016年7月進入木星軌道，是首艘探訪外側行星的太陽能動力太空船。

New Frontiers 3：OSIRIS-Rex

在2016年9月發射OSIRIS-REx太空船，預訂在2020年前抵達目標——101955號小行星貝努 (Bennu)，除了探測之外，還將在小行星表面進行採樣，並在2023年返回地球。



可直接測量木星兩極的帶電粒子樣本以及磁場狀態，同時以紫外輻射波段觀察木星極光。這些研究調查將大幅增進我們對木星極光的瞭解，甚至應用到其他有強磁場環境的類似天體上，例如年輕恆星及其行星系統。

朱諾號任務官網：

https://www.nasa.gov/mission_pages/juno/main/index.html

<https://www.missionjuno.swri.edu/>

胡佳伶：任職於臺北市立天文科學教育館



Juno Mission Media Reel (B-roll and Animations)

https://www.youtube.com/watch?v=1S_NRX1C9L0



美國小行星探測器 OSIRIS-REx

<https://www.youtube.com/watch?v=tuS0SUFevHU>



木星探測史與成就

文/ 林忠義

第一個木星的彩色影片，由NASA卡西尼號在2000年10/31至11/9間拍攝的木星的影像剪輯而成。
(Jupiter Cloud Movie from Cassini https://www.youtube.com/watch?v=vN_otZf3sw0)

木星

(Great Red Spot, GRS, 圖2)。

從太陽數來第五顆行星—木星—是太陽系中最大的行星，它的體積超過地球的一千倍，質量是地球的三百多倍。如其它氣體行星一般，木星沒有固態表面，卻可能有一個岩石質的核心，質量大約有地球的10至15倍之多；在這核之上是佔木星主要體積的液態氫與液態金屬氫，因為在高壓高溫中，木星內部氫（氫）氣體的外層電子脫離了原子核的束縛並在原子間自由運動，這狀態如同金屬是電的良導體（圖1），加上木星快速的自轉，造就了木星強大的磁場，其磁場強度約為地球磁場的兩萬倍。

大紅斑早在17世紀就被卡西尼（Giovanni Cassini）觀測到了，大紅斑大小（東西向長約2萬4千~4萬公里，南北向約1萬2千~1萬4千公里）約為地球的兩到三倍大，其外圍雲系逆時針旋轉一圈約為四到六的地球日，風暴中央的雲系運動速度稍慢且方向不定，由紅外線觀測結果可知大紅斑是一個高氣壓區，它的雲頂比其周圍高得多（約高8公里）也冷得多。由於木

而木星最外層的大氣主要由分子氫（90%）與氦（~10%）與微量的氨、二氧化硫、甲烷、水組合而成，也就是我們從地面觀測到木星的樣貌，然而這樣貌卻時時刻刻在變化！其原因就是木星的快速自轉讓大氣有一個複雜多變的天氣系統，這使得我們在木星表面可以看到大大小小的風暴，其中最著名的風暴就是大紅斑

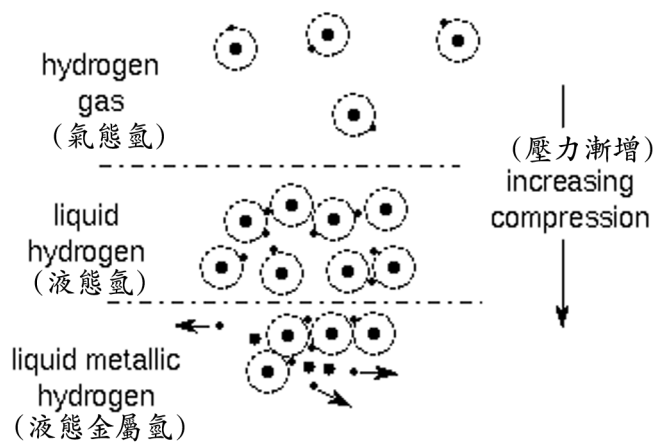


圖1. 液態金屬氫的成因是正常的液態氫（氫分子）受到木星核心附近的高壓力解離而成。

（圖片來源：<http://www.astronomynotes.com/solarsys/s7.htm>）

PDF Compressor Free Version

星大氣運動相當活躍，使得木星上也有與地球類似的高空閃電。

對於地球來說，極光是來自太陽的帶電粒子與地球磁場相互作用產生的景象，不同的離子會產生出不同的顏色。木星的南北兩極也有極光可看，但不像地球極光那樣捉摸不定，木星的極光一直都在，其成因是木星在自

轉時會在兩極產生電磁場，強迫帶電粒子進入大氣層，形成美麗的極光。這些離子來自於其伽利略衛星（圖3），如木衛一——埃歐（Io）——上的火山所噴發出的物質（離子）沿著木星磁力線進入木星大氣而形成。木星也有「環」，但它沒有土星環這麼壯觀，其組成成分大部分

是反光率奇暗的小顆岩石與塵埃粒子，因此木星環很難從地面上觀測到，首次被觀測到是在1979年由航海家一號發現的，再由90年代的伽利略號進行詳細調查，接下來我們介紹木星探測的一些成果。

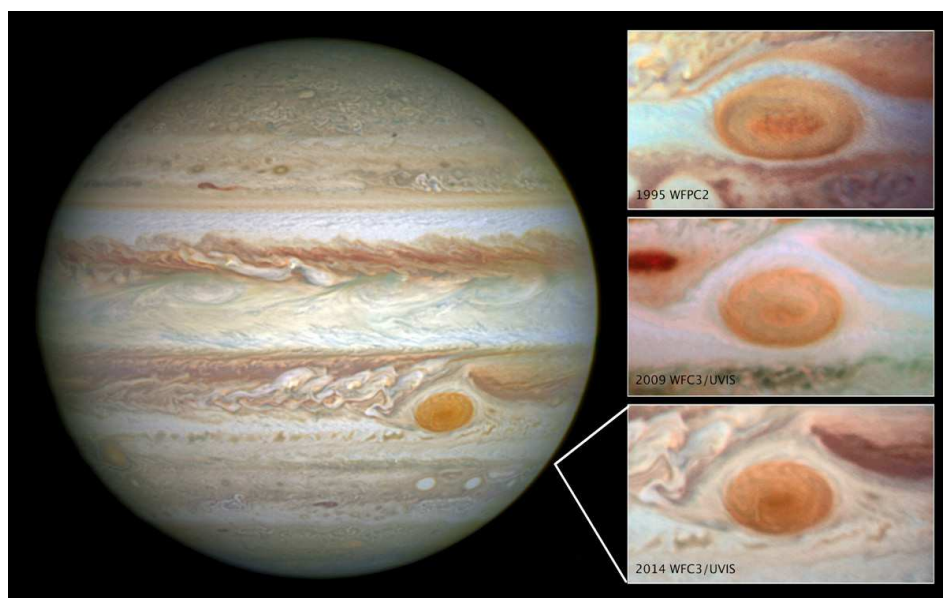


圖2. 大紅斑是太陽系內最大風暴可能已經存在350年，2004年發現大紅斑在經度方向有逐漸縮小趨勢，預計將在2040年從目前的橢圓形變成圓形。

（圖片來源：<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/NASA14135-Jupiter-GreatRedSpot-Shrinks-20140515.jpg>）

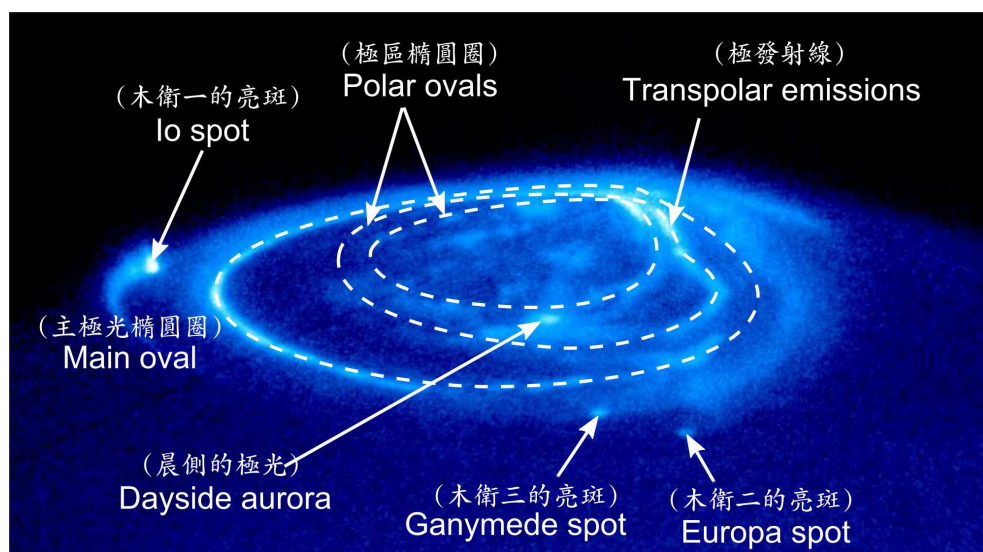


圖3. 經由哈伯太空望遠鏡捕捉到木星美麗的極光，圖中各個亮斑（如Io spot，Ganymede spot，與Europa spot）是木星磁場與各個衛星相互作用的證據。

（圖片來源：<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/de/Jupiter.Aurora.HST.mod.svg>）

PDF Compressor Free Version

先鋒計劃 (Pioneer flyby)

1973與1974年

先鋒10號是人類史上第一個安然通過小行星帶的探測器，也是第一個飛越木星的太空探測器（1973年11~12月），與隨後來到的先鋒11號（1974年12月）拍攝許多木星珍貴的照片，因為是人類史上第一次拜訪木星，這些所拍攝到的照片顯現出過去在地球上前所未見的細節，包含大紅斑、木星極區的影像、木星大氣細微的結構與其衛星的照片；先鋒計劃也研究了木星磁場，范艾倫V (an Allen, 1974) 發現探測器上偵測電子與中子的儀器在接近木星的時候，訊號有顯著增加並有約10小時的週期變化（圖4），這變化顯然與木星的自轉有關，另外木星的輻射強度超過先鋒號設計者預期的10倍，科學家還因此擔心探測器無法存活，先鋒10號安然通過離子的撞擊，而先鋒11號上的儀器就沒這麼幸運，其上的偏振計的成像儀收到太多虛假的指令，導致失去許多木衛一的影像，這使得科學家們在後續的航海家計劃中不得不對探測器重新設計，以對抗高強度的輻射。除研究木星外，先鋒計劃（10號與11號）還攜帶了一塊人類向可能存在的外星人問候的「鍍金鋁板」（圖5），這鋁板藉著氫原子的自旋躍遷與對應的二進位法表明地球的外貌、性

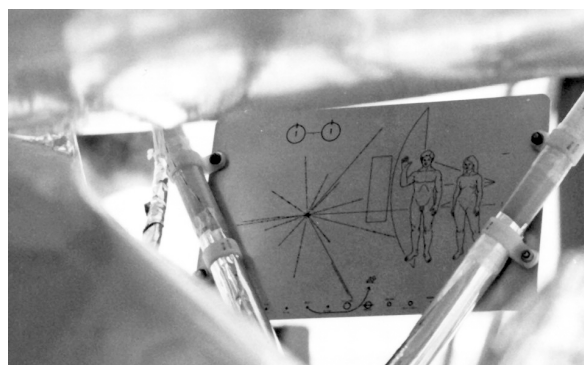


圖5. 裝嵌在先鋒10號上的鍍金鋁板，這塊鍍金鋁板裝嵌在探測器上天線的主柱之下，用以保護其不受星際塵埃侵蝕。

（圖片來源：<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/GPN-2000-001621-x.jpg>）

別與高度、探測器大小與太陽系與地球們在銀河系的位置。（<http://history.nasa.gov/SP-349/ch6.htm>）

航海家探索 (Voyager flyby)

1979年

航海家兩艘探測器對木星及其衛星作出了不少重要發現，除了確認木星上的大紅斑是以逆時針方向轉動的複雜風暴系統外，其中又以發現木星環與木衛一上的火山活動最為令人震驚。

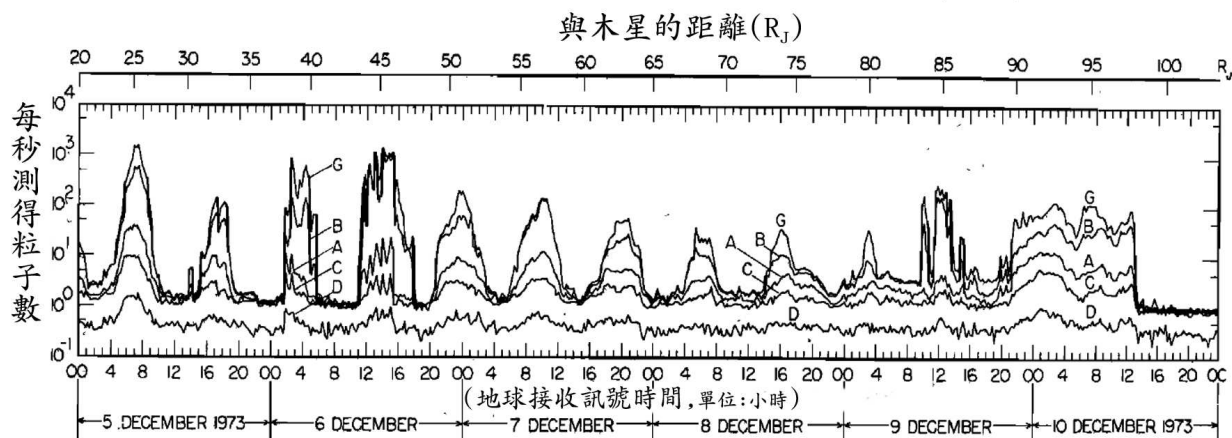
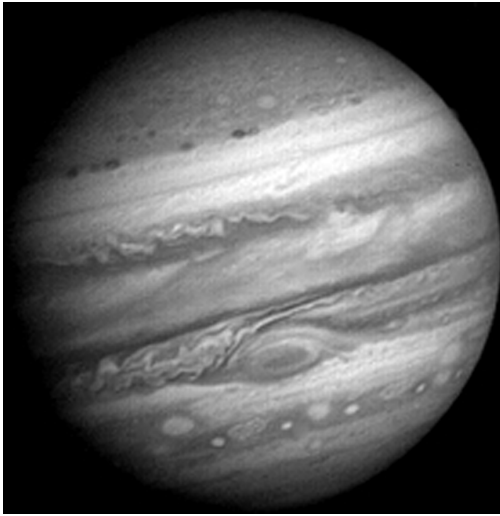


圖4. 先鋒10號的六天（1973/12/5~12/10）觀測資料，發現磁力計訊號（A,B,C,D,G）有顯著增加並有著約10小時的週期變化。（圖片來源：Van Allen et al. 1974）

PDF Compressor Free Version



航海家1號接近木星所攝得的縮時攝影，拍攝時間 01/06 to 02/03, 1979。(影片來源：https://en.wikipedia.org/wiki/File:Jupiter_from_Voyager_1_PIA02855_max_quality.ogv)

木星環在地球上從未觀察到的，就連先鋒10號及11號也未察覺此環的存在，木星環的外部距離木星中心 $1.81 R_J$ (R_J 木星赤道半徑或是71,398km)，而內部的邊界則距離木星中心 $1.72 R_J$ ；木衛一的火山活動是科學家們首次在地球以外的太陽系天體中發現，也是目前發現四個已知天體中最活躍的（除木衛一外，其它三個分

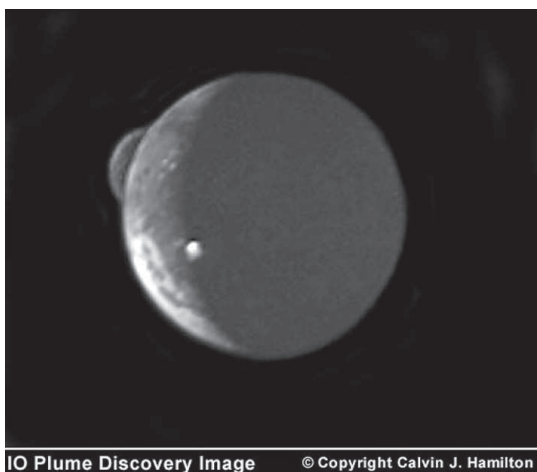


圖6. 科學家發現木衛一火山的第一張影像，最初科學家假設這只是另一個木星衛星恰好繞至木衛一後被遮掩的影像，但經由軌道計算後發現這大小的天體並不會出現在那位置。(圖片來源：<http://solarviews.com/cap/jup/ioplumedisc.htm>)

別為地球、土星的衛星Enceladus、海王星的衛星Triton)。航海家1號先觀測到木衛一上8座火山的爆發，四個月之後，航海家2號除了發現其中四個火山仍有持續噴發之外，也觀察到在火山（Aten Patera與Surt）周圍表面的沉積現象。其中圖6是科學家發現火山的第一張影像，當時航海家1號約距離木星450萬公里處，圖中可見位於木衛一表面邊緣的火山（Pele），其火山爆發造成的煙霧被噴射至離開木衛一表面高度約260公里以上的高空，另一個火山（Loki）則位於晝夜的交界處，科學家計算這些噴發物質的速度可高達每秒一至兩公里。

尤里西斯號 (Ulysses flyby) 1992年與2004年

尤里西斯號主要目的是研究太陽的性質，因為軌道設計飛越木星（1992年飛越高度約 $6.31 R_J$ ，2004年則約 $1684 R_J$ ），因此也用來研究木星磁球層。當高速的太陽風撞擊木星的磁層時會產生衝擊波面（bow shock），尤里西斯號首先（1992年）在進入木星約 $113 R_J$

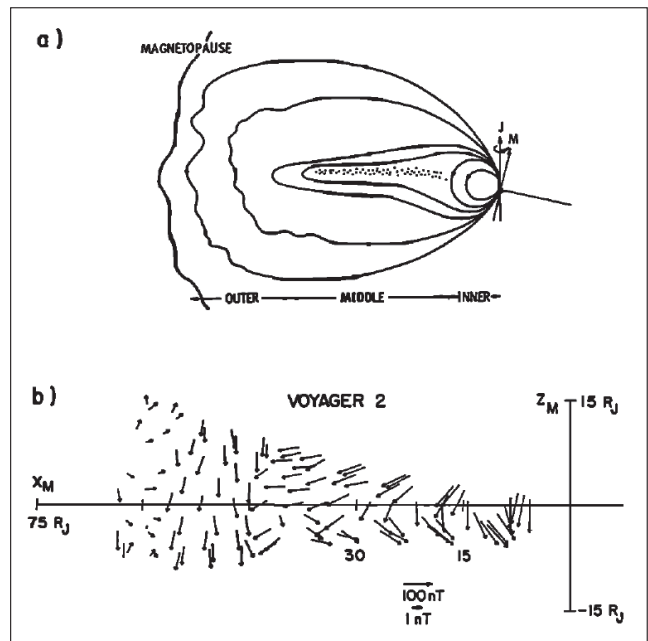


圖7. 木經由不同的磁場型態(magnetic topologies)分布，木星磁場可分為三部分：內磁層、中磁層和外磁層。(圖片來源：Smith et al. 1993)

PDF Compressor Free Version

時偵測到震波，在約110 R_J 進入木星磁層頂 (magnetopause) 內，而離開木星時則遇到三次衝擊波面 (109 R_J 、124 R_J 、149 R_J)，這些結果顯示磁層頂的位置取決於太陽風施加的壓力，換言之是隨著太陽活動而有所變化。此外，尤里西斯號也證實先前探測器調查木星磁場分布的現況 (圖7)，木星的磁層在磁層頂內被分成三個部分：內磁層、中磁層和外磁層。內磁層大部分是偶極子 (dipole-like)；在中磁層中受到來自於磁層赤道電漿片電流影響，呈現朝內與朝外的徑向方向；外磁層則無方向性！

卡西尼太空船 (Cassini-Huygens flyby) 2000年

當卡西尼號在2000年飛越木星時與正在木星繞行的伽利略號進行一連串共同測量的工作。

極光 (Aurora)：觀測發現木星上的極光維持的時間有長 (幾天到幾星期) 有短 (幾分鐘到幾小時)，數據也顯示極光的形式不只與太陽風有關，也與木星的自轉有關。

木星環 (Ring)：結合伽利略號的木星環觀測並分析，結果發現木星環中的粒子大小分布遵循著冪次規則 (power law size distribution)，當粒子大小介於0.01到15 μm 間其指數為2，若粒子大小大於15 μm 則指數為5。

木星大氣與成份研究 (Atmosphere structure and chemistry)：研究發現 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比值與高度有關；CIRS (註1) 在木星對流層偵測到微量磷化氫 (phosphine; PH_3) 與氨 (ammonia)，由於磷化氫生命週期很短，這暗示對流雲層下有源源不斷的供應機制。

木衛六 (Himalia)：VIMS (註2) 的資料發現在3 μm 有吸收譜線，這個結果顯示木衛六

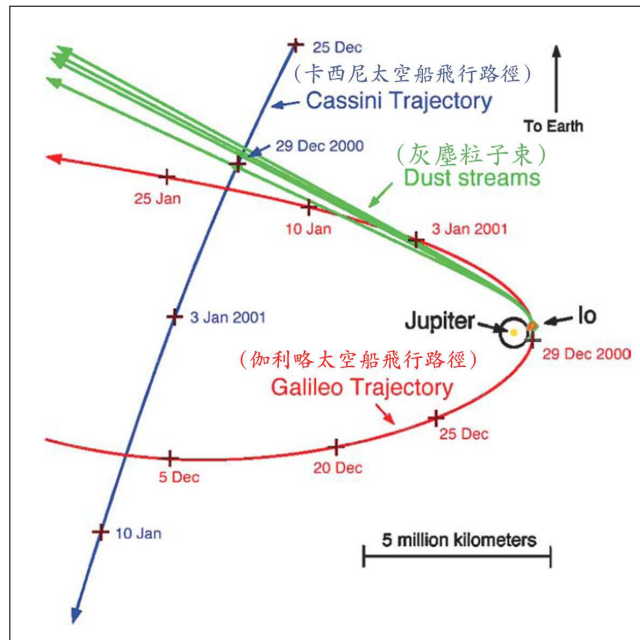


圖8. 卡西尼號量測灰塵粒子束的相對位置，從太空船上的宇宙塵分析器 (CDA) 測量出力子速度約為每秒400公里 (圖片來源：Hansen et al. 200)

上可能有水存在。

塵埃粒子 (Dust)：尤里西斯號在1992年首先偵測到有灰塵粒子束從木星而來，伽利略號證實其來源是木衛一火山噴發物，經由卡西尼號的觀測發現這些微小的灰塵粒子可經由木星磁場的加「磁」後可加速到每秒400公里 (圖8)。

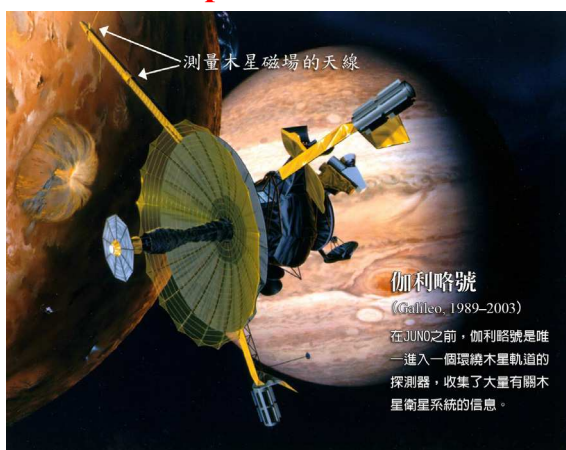
伽利略衛星的觀測 (Galilean satellites)：卡西尼號上的VIMS確認伽利略號在木衛三與木衛四的 CO_2 發現與木衛四的CN發現;UVIS (註3) 在木衛一與木衛二發現氧氣，木衛二的氧氣可能是由表面冰層水分解而成，木衛一的氧氣似乎與二氧化硫大氣層有關。ISS (註4) 在木衛一偵測到的K、Na、O、 S_2 與 SO_2 的豐度與火山的噴發有關。

註1. CIRS複合紅外線分光計

註2. VIMS 可視化和紅外繪圖分光儀

註3. UVIS紫外線圖像分光計

註4. ISS 科學成像次系統



伽利略號 (Galileo orbit) 1995~2003年

伽利略號探測器從1995年至2003年環繞著木星軌道並飛行了35圈，獲得許多有關木星大氣層的第一手探測資料，也拿到磁尾和磁層觀測資料，在1995年12月7日將一個探測器放到了木星大氣中。以下是伽利略號近八年觀測的重要科學總結

木星大氣與雲系結構：從航海家 (0.18) 到伽利略號 (0.24) 測得的氫豐度 (註5) 比太陽或原始太陽星雲的值 (0.27) 都還要少，2015年科學家提出的，「氫雨」來解釋木星外層大氣缺氫的原因，隨著實驗中壓力的不斷上昇，木星

上原本混合在一起的氫和氫會逐漸發生分離。在此過程中，液態的氫會凝結成液滴並開始向木星中心下落，因而讓外層的氫氣不斷被消耗。除了氫，大氣中也偵測到幾種簡單的化合物，像是甲烷 (CH₄)、氨 (NH₃)、水與硫化氫 (H₂S) 等，這顯示木星大氣中有豐富的碳、氮、氧、硫等重元素，這些元素的含量也與太陽有所不同，例如C/H與C/N比值大約是太陽的2.9~3.0倍，這顯示這些重元素可能在距太陽較遠的地方凝結而成，之後才進入木星大氣。木星的對流層有一個複雜的雲系結構，位於氣壓在0.5-0.6巴，是氨雲 (NH₃) 構成的，這也是第一次在地球以外的太陽系天體中發現，在氨雲之下，是硫化氫 (NH₄SH) 構成的雲 (壓力介於1.5~2巴)，在下一層則是由水構成的雲層 (4~5巴)。然而伽利略號的大氣探測器卻只偵測出少量的雲，這觀測結果明顯地與之前預期的不同，經由後來觀測研究指出原來是降落地點特殊 (溫暖與少雲區域之一)；除此之外，大氣探測器的資料也指出木星大氣中的水比預期的少很多。

註5. 氫的豐度值可由氫與氫的質量比Y來表示 $Y = M_{H_e} / (M_{H_e} + M_{H_t})$

木衛一的火山：從觀測資料中發現木衛一數量極多的火山活動 (圖9)，這很像早期地球的火山爆發頻繁時期，並且火山的活躍

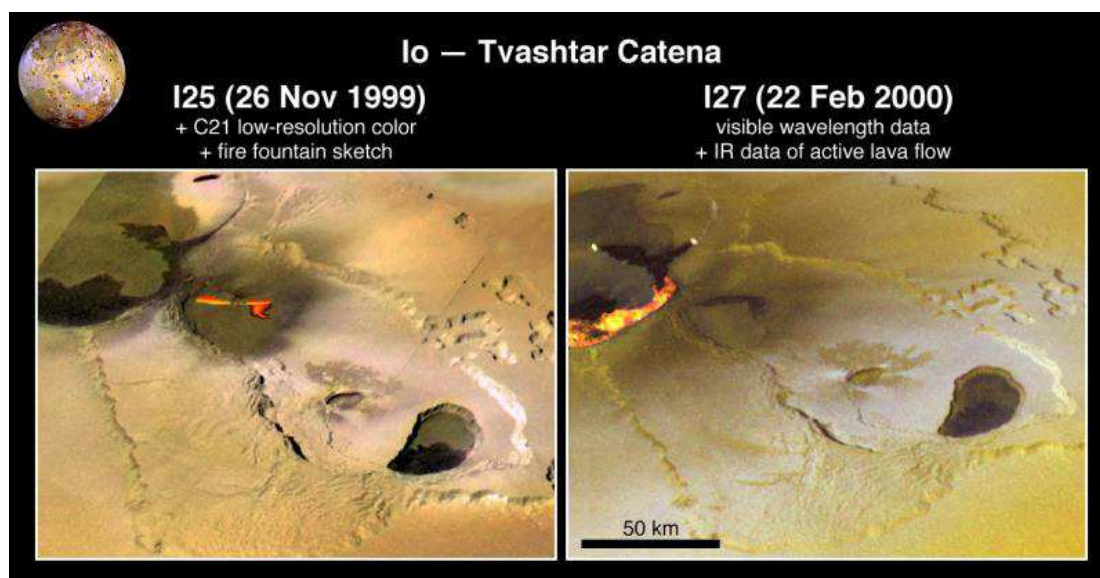


圖9. 從伽利略號太空船所拍攝的照片中，比對木衛Io上的Tvashtar Catena火山鏈爆發前後影像，明顯可以看出熔岩流的位置改變。(圖片來源：<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA02584>)

PDF Compressor Free Version

程度約為地球的100倍。伽利略號在飛越木衛一時偵測到其內部有不尋常訊號產生，似乎在遍布火山的地表下隱含一些不為人知的活動發生。2011年，科學家利用超基性岩石（ultramafic rock）在熔化下，仍可導電的特性發表了木衛一的地殼下擁有一層岩漿海，其厚度約為30~50公里，約佔木衛一地函體積的10%以上，溫度可能超過攝氏1200度，才能讓這些超基性岩石維持半熔融狀態，另外，這些導電性極佳的岩漿海讓通過木衛一的磁力線偏折且屏蔽了木星自轉產生的磁力擾動。除此之外，木衛一的火山噴發物除了讓木星產生極光外，還可形成巨大的氣體環，這些環攜帶了與電漿在一起的磁場，在過程中它被拉成煎餅狀的結構，稱為磁盤。因此，木星的磁層是由埃歐的電漿和它自身的旋轉決定了形狀，而不像地球的磁層形狀是由太陽風造成的。

木衛二的海洋：從伽利略號傳來木衛二的影像中最醒目的就是反照率極高的冰層地表與那縱橫交錯條紋（圖10），而冰層下可能還有液態海洋（有鹽度的海水），甚至海洋下有與地球相似的岩石海床，科學家認為木衛二因潮汐作用而產生的熱量可維持冰層下方海洋的存在。2013年12月，科學家通過哈勃望遠鏡發現木衛二上存在水蒸氣噴流，這暗示了木衛二存在更強的構造運



圖10. NASA於2014年發布伽利略號太空船所拍攝的木衛二照片，發現木衛二表面分布著大量的令人驚嘆的線性裂縫，研究人員認為這些錯綜複雜的表面說明木衛二表面冰層出現了裂縫，與先前影像相比，有些地方在斷裂後重新填滿，暗示木衛二冰層下方具有一定的循環和活動，這對生命的誕生非常有利。（圖片來源：<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA19048>）

動，與地球類似。

木衛三的海洋與磁場：木衛三是太陽系中已知的唯一一顆自己擁有磁場的衛星。除了木衛二外，另一個發現有海洋的地方就是木衛三！這是伽利略號對木衛三的磁場研究，提供海洋存在的證據，在經由哈伯望遠鏡的觀測證實木衛三的冰層下方的確擁有液態鹹水海洋，這結果來自於木衛三極光擺動幅度的研究，若海洋存在將形成



圖11. 伽利略號太空船分別於1996年六月拍攝木衛一與木衛三，同年九月拍攝木衛二，1997年十一月拍攝木衛四等伽利略四大衛星影像。（圖片來源：<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA01299>）

PDF Compressor Free Version

次級磁場，這會抵銷木星磁場對極光的影響而抑制極光擺動到2度，但若海洋不存在，擺動則會到6度。另外，冰層下的這片海洋遠比木衛二還大，因為木衛三是太陽系中最大的衛星，其直徑還大於水星（木衛三直徑約5270公里，水星直徑約4880公里）。

木衛四的海洋與大氣：伽利略號的探測結果顯示木衛四的表面下100公里處也可能有一個液態水構成的地下海洋存在，木衛四上存在一層非常稀薄的大氣，主要由CO₂構成，成分可能還包括氧氣（由哈伯望遠鏡觀測資料得出）。除木衛四外，其它伽利略衛星也發現有大氣，木衛一有從火山噴發而來的SO₂大氣、木衛二有表面冰層水分解而成O₂大氣、木衛三大氣則是O₂與H構成。（圖11）

木星環：伽利略號的觀測資料發現，木星環（圖12）絕大部分都是流星體撞擊木衛十六或是木星內圈衛星群（木衛五, Amalthea）而形成的。

新視野號（New Horizons flyby）

2006~2007年

新視野號利用飛越木星時的幾個月對伽利略衛星作持續的觀測，其太空船上具有紅外線能力的LEISA（註6）分析到化學的成分和夜晚側的溫度，LEISA與照相機LORRI（註7）共同發現36處火山證據，其中11個火山正在爆發，其

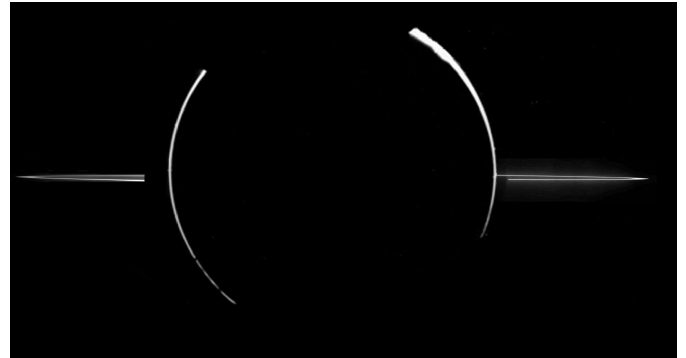


圖12. 伽利略號太空船在木星遮掩太陽時所拍攝的木星環。木星外層大氣的塵埃微粒與組成木星環的微塵粒子，都因反射陽光而出現。（圖片來源：http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_995.html）

中Tvashtar火山所噴發出的物質可達330公里高；除此之外，新視野號還觀察了木星黑夜側的極光和閃電，也深入木星磁尾端研究，結果發現一些電漿團（圖13）在木星磁尾中運行，科學家認為這些電漿團與木衛一的噴發物有關！

註6. LEISA 線性光波長鎖定光譜計

註7. LORRI長距離探測成像儀

朱諾號(Juno orbit)

2016-2018年

朱諾號在2016年7月進入木星的軌道，這是既2007年新視野號拜訪木星後，再次有人類探測器近距離觀測木星，不同於新視野號的飛掠，朱諾號將會繞行木星20個月並成為自2003年伽利略號之後另一艘專門以木星為研究目標的太

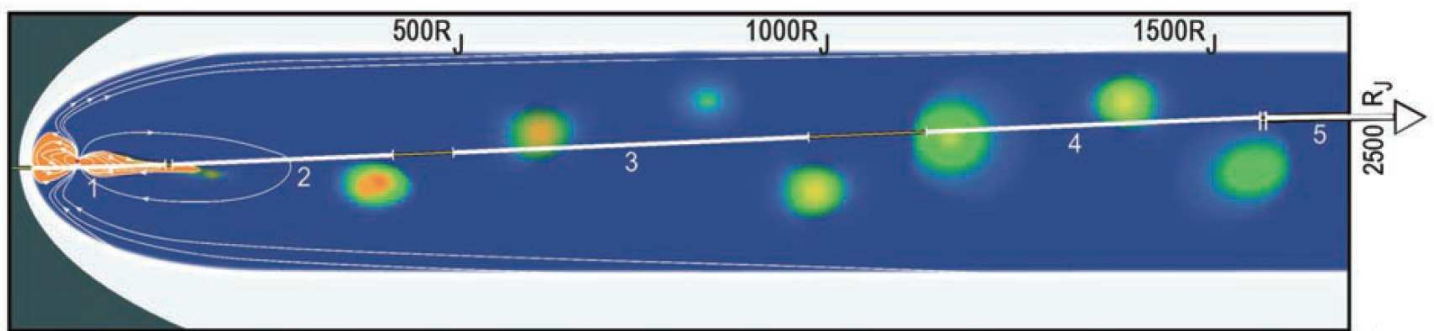


圖13. 木星磁尾端的離子團示意圖。（圖片來源：McComas et al. 2009）

PDF Compressor Free Version

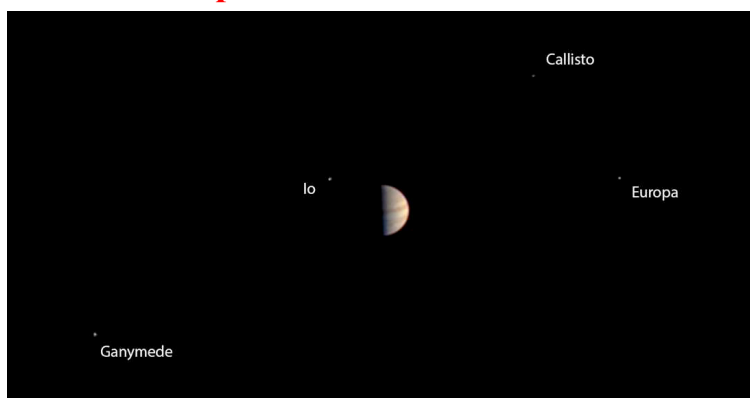


圖14. 朱諾號在進入木星軌道前(6月12-29日)拍攝的木星與其伽利略衛星的影像。

Juno Approach Movie of Jupiter and the Galilean Moons.

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

空船。雖然伽利略號已經對木星進行過近距離觀測，但是木星仍有磁場、大紅斑、核心成分等未解之謎，因此科學家相信透過朱諾號將可深入研究木星磁場與其巨大的輻射帶、木星內外大氣層與極光等，進而瞭解木星的起源與演化，以及太陽系形成初期的狀況與演變過程。

林忠義：國立中央大學天文所助理研究學者

★ 本文相關影片



與木星的約會

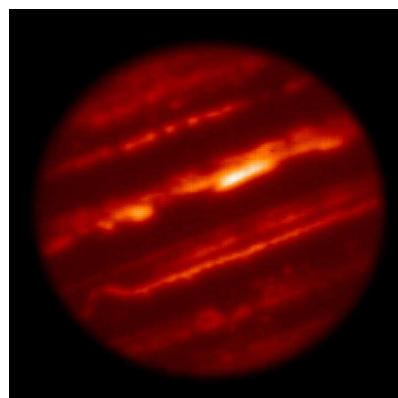
https://www.youtube.com/watch?v=3ztI9V2VUGQ&index=2&list=P_LzYYnhQIXmVE20sNEJEV3yw0WbFsjUi1T

The Europa Jupiter System Mission

https://www.youtube.com/watch?v=__Kf5Ddw_CY

航海家一號抵達星際空間

https://www.youtube.com/watch?v=_GeQvLYvowc



由四張紅外光木星影像組成的動畫

(IRTF, on May 16, 2015. The observations were obtained in support of NASA's Juno mission by a team headed by Juno scientist Glenn Orton. <http://photojournal.jpl.nasa.gov/archive/PIA19640.gif>)

參考資料

★Linda A. Morabito 1979 Discovery of Volcanic Activity on Io A Historical Review

★E. J. Smith and L-P Wenzel 1993. JGR, 98, A12, 21,111-21,127

★C. J. Hansen et al. 2004. Icarus, 172,1,1-18

★J.A. Van Allen et al. 1974. JGR, 79, 25, 3559-3577

★Richard E. Young 1998. JGR, 103, E10, 22,775-22,790

★維基百科



文/ 葛蘭·歐頓

翻譯/ 侯欣潔、吳志剛

朱諾號在世界標準時間2016年7月5日（太平洋日光節約時間2016年7月4日）到達木星，並進入環繞木星的軌道，這段從2011年8月5日開始，將近5年的漫長旅程也終於告一段落，進入新的階段。

J 木星大氣探秘之旅

JunO 朱諾號

Image credit: NASA/JPL-Caltech

朱諾號在世界標準時間2016年7月5日（太平洋日光節約時間2016年7月4日）到達木星，並進入環繞木星的軌道，這段從2011年8月5日開始，將近5年的漫長旅程也終於告一段落，進入新的階段。

朱諾號是繼探測冥王星與太陽系外圍區域的新視野號之後，美國太空總署「新疆界計畫」中的第二項任務。朱諾任務的四個主要目標分別是：一、透過木星深處水的豐度來確定

氧、氫比例，進而瞭解木星核心質量，並區別兩個不同的木星形成理論。二、藉由測量木星的重力場與磁場，測繪其內部構造與動力學特性。三、測量木星大氣深處，在數百大氣壓的環境下，其大氣組成、雲的透明度與動力學特性。四、測量木星磁層與極光的立體結構。表1為朱諾號配備的儀器列表。

朱諾號對木星大氣的探測將專注於中性大氣和極光兩部分。在中性大氣方面，微波輻射

設備	測量	目的
MWR 微波輻射計	中央波長1.3、3.125、6.25、12.5、25 和 50 公分的輻射計	觀測木星大氣50至100大氣壓間的水豐度和分布情形
JIRAM 木星極光紅外成像儀	中央波長為3.4、5.0 μm 的寬頻濾鏡，以及解析度9 μm ，觀測範圍2.0-5.0 μm 的光	雲、示蹤分子和極光發射線
JunoCam 朱諾相機	紅、綠、藍寬頻濾鏡、觀測CH ₄ 吸收譜線，中央波長890 nm 的中頻濾鏡	教育／大眾科學推廣相機，由公眾使用，特定時段保留給朱諾科學團隊
UVS 紫外線成像光譜儀	解析度0.6-1.1 nm，觀測波長70-205 nm的光譜	極區磁層紫外線極光光譜影像 全緯度日輝輻射
WAVES 電漿波儀器	極光區域電波與電漿波的光譜能量分布	木星極光流界定輻射的區域 極光粒子的加速
JADE 木星極光分布實驗儀	木星極光區域5-50 keV 離子和100 eV 至 1000 keV電子的分布、能量與速度	電漿粒子充滿磁層的過程，以及極光如何形成
JEDI 木星高能粒子探測儀	磁層極區高能離子(20–1,000 keV)通量和電子(40–500 keV)通量	瞭解粒子如何被加速到形成木星的極光
MAG 磁強計	磁場強度和方向	測繪木星全經度的磁場
GS 重力科學儀器	重力科學：從朱諾號電波訊號的都卜勒效應測量其微小的運動	測繪木星重力場並確定內部質量分布

表 1. 朱諾號遙測設備特性

註：1 μm （微米）=10⁻⁶m, 1nm（奈米）=10⁻⁹m

測量計（MWR）將解開伽利略號所留下的重要謎團。伽利略號在1995年12月7日衝入木星大氣中，讓我們首次得見木星內部的情形，而科學家希望能測量到比木星大氣凝結層更深處的水豐度，以確認整個木星大氣中氧、氫的比例。由於現行木星形成理論所預測的氧豐度差異高達地球質量的20倍，所以測量氧、氫比例相當重要，我們可以藉此推知最可能的木星以至所有行星的形成模式。

然而伽利略號所探測到的水豐度卻意外地低。不過NASA地面紅外光望遠鏡的觀測對此提出了合理的解釋：伽利略號進入地區特別乾燥，這裡的雲很少，是極度乾燥的沉降氣流區。科學家從過去的觀測發現，這類區域在5 μm 波長下特別明亮。（圖1）就是在5 μm 木星

影像中標示出伽利略號進入大氣層的位置。

雖然這個解釋還算令人滿意，但科學家還是不知道木星真正的組成成份。當然可以再送其他探測器進入木星那極不均勻的複雜大氣裡，但另一種方式則是從外面探測木星內部所發出的微波輻射，這種輻射來自大氣深處，從水凝結層甚至更深處都有微波輻射（圖2）。

那麼為何不直接在地面上用電波望遠鏡來觀測木星的微波輻射呢？原因是當木星磁層中的帶電粒子沿磁力線呈螺旋狀路徑下降時，其環境就類似同步粒子加速器，會產生同步輻射。而木星大氣的微波輻射就被這強大的同步輻射給掩蓋掉了。以木星半徑約7萬公里來看，探測器距離木星最近點時的高度僅在雲頂上數

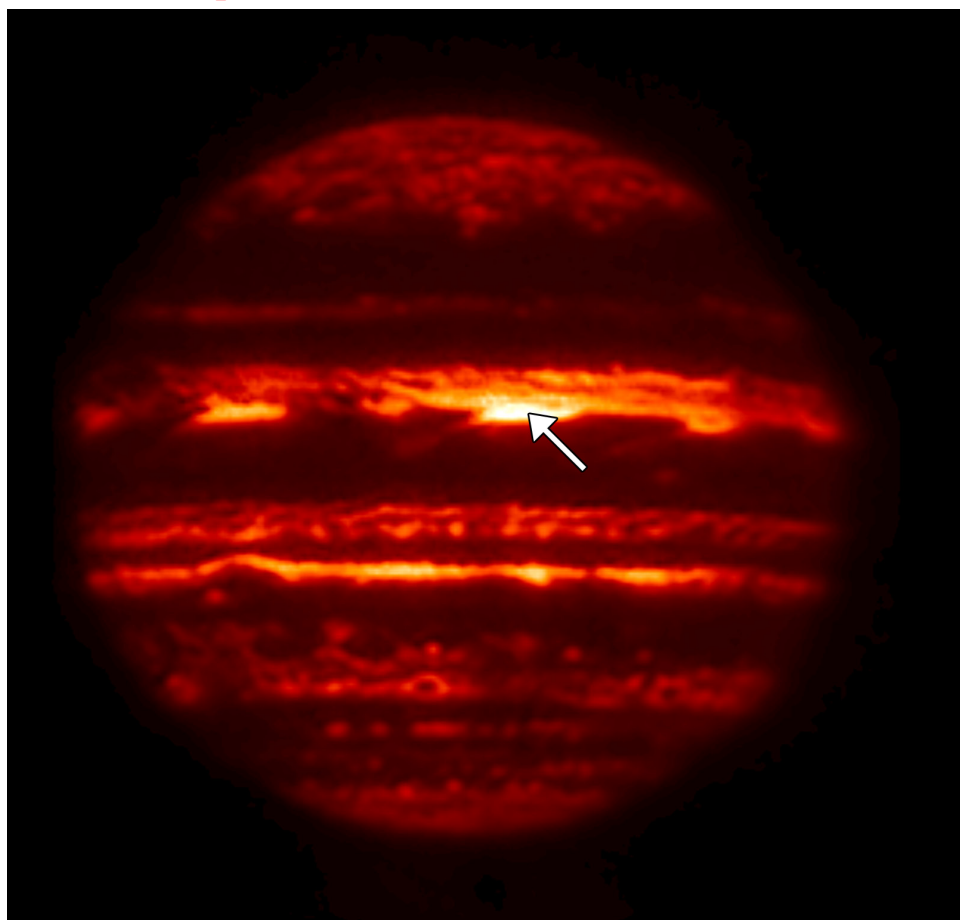


圖1. NASA 紅外線望遠鏡以5 μm 拍攝的木星影像，以及1995年12月7日伽利略號進入木星大氣的位置。這幅影像是木星大氣在較透明波段下所呈現的熱輻射分布情形，明亮區域無雲、氨氣和水豐度也最低，因此來自大氣深處最強熱輻射得以穿透。箭頭顯示伽利略號的推測進入點，恰好是最亮的區域，即最清澈、最乾燥的區域。

千公里，遠比木星同步輻射帶低得多，因此可以避開同步輻射的干擾。

朱諾號所配備的微波輻射計（MWR）可以收集波長1.37至50公分的輻射資料，它可以對木星大氣進行多角度偵測，配合總輻射來估計水蒸氣和氨的豐度。氨是另一種會吸收無線電波的主要氣體。

朱諾號不是沿著每個經度，而是順著軌道方向進行測量，所以較接近木星時採樣範圍也會隨之變窄（圖3）。在軌道運行的大部分時間裡，朱諾號會盡量讓高增益天線朝向

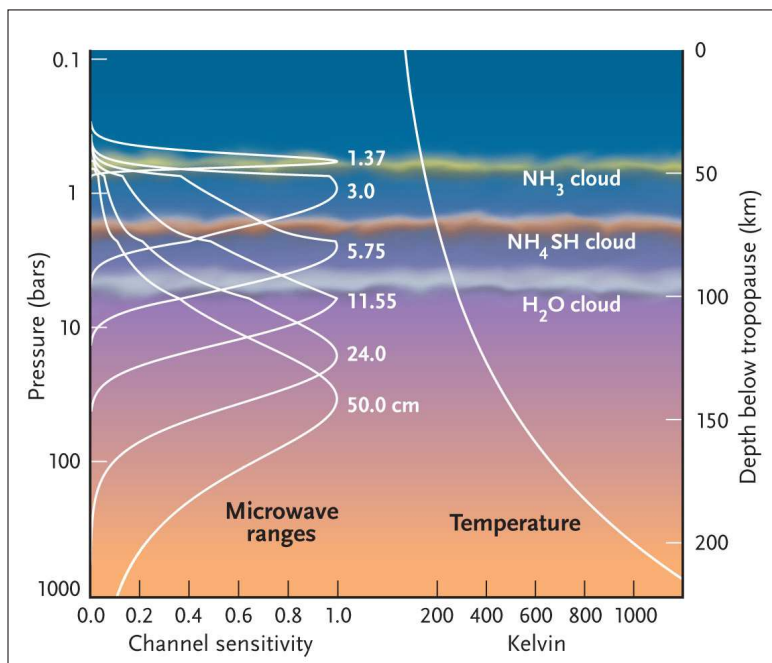


圖2. MWR觀測不同波段下從木星深處湧升的微波強度，以及木星各雲層高度與對應的溫度。© 2016 Sky & Telescope. All rights reserved. Used with permission

PDF Compressor Free Version

地球，以便在利用都卜勒效應測量木星重力場時能達到最佳效果，這樣的軌道稱為「重力探測軌道」。在任務前期的幾次繞行中，探測器會調整到讓微波輻射計擁有最佳觀測角度，包括探測來自正下方的輻射，這是「微波輻射探測軌道」。由於木星轉動快速，每十小時就自轉一圈，所以對特定緯度，每次測量的結果都因為角度不同而所有差異，為了消除這個因素，朱諾號每兩次運行在同一個軌道上時，會有一次以傾斜的姿態飛行，以取得和前一次相同的視野角度，這是「MWR傾斜軌道」。微波輻射計、紫外線成像光譜儀（UVS）、木星極光紅外成像儀（JIRAM）和朱諾相機（JunoCAM）在重力探測軌道上時也會持續收集資訊，只是觀測範圍不如在MWR傾斜軌道時來得廣。

JIRAM實驗組是拍攝範圍以 $3.4\ \mu\text{m}$ 、 $5\ \mu\text{m}$ 和 $2\text{-}5\ \mu\text{m}$ 為中心波長的光譜儀，其視野與MWR相同但範圍稍廣一些，可以提供木星部分區域 $5\ \mu\text{m}$ 輻射的資料。科學家們不僅可以將之與MWR的資料作對照，還可以與伽利略號的觀測資料互相比對，以確認哪些區域具有類似的性質。

除此之外，JIRAM的光譜儀還可以掃描整個木星，以測量水和氨的分布及其縱向豐度變化。JIRAM也可以尋找並測量像磷化氫（ PH_3 ）之類的示蹤分子，瞭解大氣的垂直運動。這些示蹤分子的豐度高，比較容易觀測。因為當其從大氣深處向上湧升途中會不斷獲得補充，增加速度比衰變快，因此磷化氫很適合當作間接測量大氣垂直運動的工具。此外，由於波長 $2\text{-}4\ \mu\text{m}$ 的輻射主要來自大氣中雲霧微粒反射陽光，

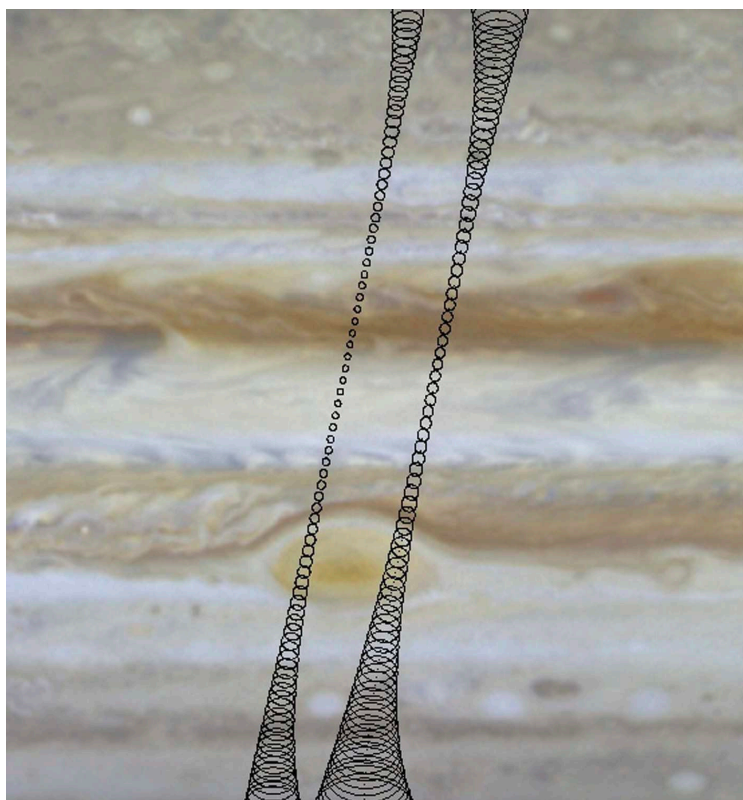


圖3. 在木星軌道上，MWR以最長觀測波長和10度視野所構成的觀測軌跡。（圖片來源：M. Janssen, MWR PI.）

這個波段中的主要吸收譜線是由均勻混合在大氣中的氫分子（ H_2 ）和甲烷分子（ CH_4 ）所造成，因此這兩種氣體的吸收譜線強度變化也可用以確認不同高度雲的特性，並分別提供有關大氣垂直運動的資訊：多雲區域是湧升的「潮濕」氣體，而清澈區域是下沉的「乾燥」氣體。這些數據也可以和MWR及JIRAM的 $5\ \mu\text{m}$ 熱輻射資料相互比較驗證。

朱諾相機（JunoCam）的核心是CCD陣列，透過紅（R）、綠（G）、藍（B）濾鏡拍攝合成與人眼感光特性類似的可見光影像。此外還配置了以 $890\ \text{nm}$ 為中心的濾鏡，這是甲烷最強的特徵波長，可以藉此偵測大氣中較高層、非RGB波段為主的區域。

朱諾相機的主要目的是讓大眾都能參與探索木星大氣。朱諾號所有軌道都可以觀測木星極區，但最高解析度的觀測目標則將由公眾決定，任何人都可以到朱諾任務網站（missionjuno.swri.edu）投票給最喜愛的拍攝目標。朱諾相機目前規劃由業餘天文學家所組成的虛擬團隊來進行觀測。其中最好的觀

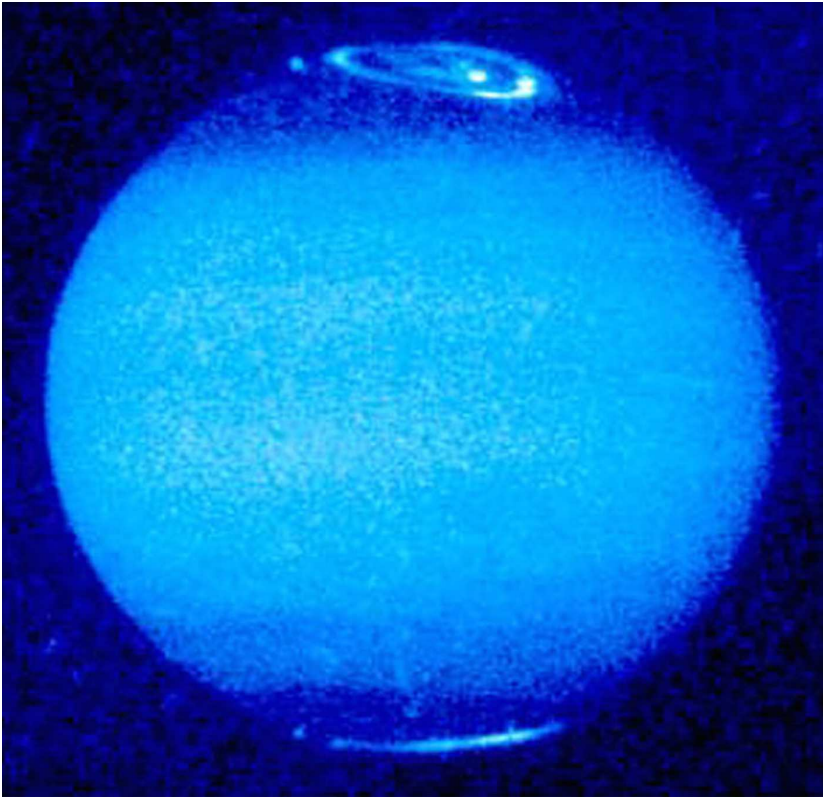


圖4. 哈伯太空望遠鏡STIS在1996年10月17日拍攝的木星紫外線「極光」光影像。
圖片來源：John Clarke (the University of Michigan) and NASA

測資料每兩週就會被列在塊狀（沿著經緯線構成）的觀測候選地圖上。在每次接近近木點前約兩週，可以確定有哪些表面特徵適合作為當次朱諾相機的觀測目標，然後由大家很快地從當中選出這次觀測的首要目標。朱諾相機傳回的照片，在經過一些基本處理後就會向大眾公布，接著民衆就可以將有興趣區域的影像做三色合成處理，並放上朱諾相機官網。雖然從科學角度而言，其研究價值不高，但可以實際參與探測計畫，因此已經吸引了大批粉絲。此外這些廣大又極有天份的業餘天文觀測者，透過不間斷的接力觀測，也為朱諾號本身對這些特徵變化的觀測提供了寶貴的資訊。業餘天文觀測者還會做可見光的觀測紀錄，雖然不是光度測量，但可以供作與MWR、朱諾相機和UVS的資料作比對，特別是如果這些資料不在朱諾相機的選定觀測範圍內的話，那麼就更彌足珍貴了。

除了中性大氣以外，朱諾號也將研究木星的極光現象，結合探測器和遙測資料，來瞭解

木星磁層和中性大氣帶電粒子間的交互作用。木星強大的磁層與自轉軸間有10度的夾角，磁層中具有高達一百萬電子伏特（1 MeV）的高能電子。與木星最近的伽利略衛星埃歐（Io）以火山運動著稱，其噴發的二氧化硫（SO₂）煙雲進入木星磁層後，被游離成帶電的硫和氧離子後束縛在木星磁層中，這些離子再經電子碰撞後被激發成電漿，在木星旋轉的電離層中形成電流，它們也是瞬間能量來源極好的示蹤因子。朱諾號的軌道設計將使它成為首次通過木星磁力線的探測器，而這裡正是被認為產生木星極光粒子的地方。磁強計（MAG）、木星極光分布實驗儀（JADE）、木星高能粒子探測儀（JEDI）、電漿波儀器（WAVES）等實驗組將首次對木星極區磁場、帶電粒子與電流等進行測量。磁層中高能電子與氫分子碰撞後所產生的紫外線（80-165 nm）極光，出現在木星大氣約一大氣壓的高度，也就是比最頂層可見雲還高大約250公里的地方。這些多變的極光在哈伯太空望遠鏡的紫外影像中相當顯目（圖4）。朱

PDF Compressor Free Version

諾號的紫外線光譜儀 (UVS) 將以更高的空間及時間解析度進行測量，並將多變的紫外線通量與磁場變化加以比較。朱諾號還會觀測更高處的另一種極光現象，也就是在一大氣壓高度上方約1,000公里處， H_2 被落入均質層上方的高能電子游離成 H_3^+ 所產生的極光。在這個高度的大氣已經不再均勻混合。而對主要波長約 3.4μ 的紅外 H_3^+ 極光進行觀測，有助於瞭解位於均質層以上中性大氣對碰撞能量所產生的反應（均質層以下的 H_3^+ 都被碳氫化合物破壞了）。科學家也可從這項研究來分辨焦耳熱與來自衝擊電子的能量，進而瞭解木星大氣的縱向組態何以不同。JIRAM的兩台相機之一為此而將觀測波段設定在 $3.4\mu m$ ，此外，測定範圍 $2-5\mu m$ 的光譜儀也將測量極光能量的分布。

朱諾號也是第一個結合地面望遠鏡進行統合觀測的外太陽系探測任務。這些觀測還提供了不在朱諾號光譜觀測範圍內的波段、對朱諾號以最佳解析度觀測區域的持續觀察，並且確認是否能藉這些觀測來瞭解木星特徵的長期性質。

在朱諾號進入木星軌道前，透過粒子與磁場偵測設備觀測到當木星磁層受太陽風衝擊而產生變化時，地面望遠鏡幾乎也同時觀察到木星的紫外和近紅外線極光發生變化。有關朱諾號與地面望遠鏡結合研究的資訊可參閱網站：<https://www.missionjuno.swri.edu/planned-observations>。

隨著朱諾號抵達木星，接下來兩年的探測將使人們對這顆巨型行星耳目一新，更加瞭解其複雜的氣候，以及中性和帶電大氣間的交互作用。這些新資訊也將重塑我們對土星、天王星、海王星和系外巨行星大氣的認識，真是令人既興奮又充滿挑戰的一刻！

(Copyright 2016 California Institute of Technology. U.S. Government sponsorship acknowledged.)

葛蘭·歐頓：美國航太總署噴射推進實驗室 (NASA/JPL) 資深科學研究員
侯欣潔、吳志剛：任職於臺北市立天文科學教育館

★ 本文相關影片



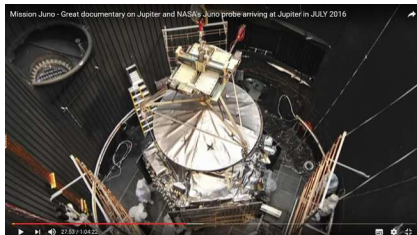
NASA 朱諾任務：充滿未知的木星入軌程序

https://www.youtube.com/watch?v=UAA7VGxC_-Y



NASA's Juno Mission: Everything You Could Want to Know

https://www.youtube.com/watch?v=_f10IrwTMbg



Mission Juno - Great documentary on Jupiter and NASA's Juno probe arriving at Jupiter in JULY 2016

<https://www.youtube.com/watch?v=ka6OERznXh4>

The Juno Mission Investigation of Jupiter's Atmosphere

Glenn S. Orton

Jet Propulsion Laboratory

California Institute of Technology

The Juno mission is scheduled to arrive at Jupiter and be inserted into orbit on 5 July 2016, UT (4 July 2016, Pacific Daylight Time). This Jupiter Orbit Insertion (JOI) maneuver ends a nearly five-year voyage to Jupiter that began on 5 August 2011. The mission is the second in NASA's New Frontiers class that began with the New Horizons mission to Pluto and beyond. Juno's goals are: (1) determine the ratio of oxygen to hydrogen from the water abundance in Jupiter's deep interior to constrain the core mass of the planet and distinguish between alternative theories of its origin, (2) map Jupiter's interior structure and dynamical properties by mapping its gravitational and magnetic fields, (3) map variations in Jupiter's atmospheric composition, cloud opacity and dynamics to depths corresponding to hundreds of atmosphere in pressure, and (4) measure the three-dimensional structure of Jupiter's magnetosphere and auroras. Table 1 summarizes Juno's instrument payload.

Juno's investigation of Jupiter's atmosphere will address both the neutral atmosphere and its aurora. For the investigation of the neutral atmosphere, the MicroWave Radiometer (MWR) will address a fundamental mystery that was encountered by the Galileo mission. Our first glimpse into the properties of Jupiter came on 7 December 1995, when the Galileo probe descended into Jupiter's atmosphere. Scientists hoped to measure the water abundance deeper than its condensation level in the atmosphere in order to determine the ratio of oxygen to hydrogen in Jupiter's atmosphere as a whole. Theoretical models for Jupiter's formation differ by of 20 Earth masses of oxygen. So, measuring this ratio is important for Jupiter, and it has implications for the formation of all planets, because it implies what formation processes

were dominant. However, the data sent back showed an unexpectedly low abundance of water. This turned out to be explained by ground-based observations made at NASA's Infrared Telescope Facility (IRTF) at the time of the probe entry: the Galileo probe had entered one of the most anomalously dry and cloudless regions of the atmosphere, meaning the probe had gone through a region of extremely dry, downwelling air. These types of regions had been known to occur from time to time as a result of their bright appearance in a spectroscopic window in Jupiter's atmosphere at a wavelength of 5 μm . Figure 1 shows the location of the Galileo probe entry site on a contemporaneous 5- μm image of Jupiter.

Although this was a satisfactory explanation, it still left scientists without a key to the compositional puzzle. One possible approach was to try again and send another probe (or probes) into Jupiter's very inhomogeneous atmosphere, but another idea was suggested. Jupiter emits microwave radiation from its deep interior, as deep as the level of water condensation and deeper (Figure 2), so why not use microwave sensing to determine both the water abundance and the distribution of water at depth using microwave sensing on a Jupiter orbiter? This sort of measurement cannot be done from the Earth, because for much of the wavelength range in question, thermal emission from Jupiter is masked by strong emissions from Jupiter's magnetosphere due to charged particles spiraling down its magnetic-field lines, similar to radiation from synchrotron particle accelerators and thus known as synchrotron emission. In order to get below Jupiter's radiation belts that are the source of synchrotron emission, the perijoves are only a few thousand kilometers above the clouds, out of a total planetary radius of about 70,000 km. The Juno MWR instrument

PDF Compressor Free Version

will fulfill this function, sampling at wavelengths between 1.37 and 50 cm. The MWR will sample each point in Jupiter's atmosphere at multiple angles, using both this dependence, as well as the total radiance to constrain the abundance of water vapor and the other primary radio-wavelength gaseous absorber, ammonia (NH₃). However, it will not map in longitude, sampling only a narrow swath down the ground track of the orbit (Figure 3). For the majority of Juno's orbits, the spacecraft will be oriented so that the high-gain antenna will always face the Earth in order to optimize the Doppler measurements of the spacecraft as a part of mapping Jupiter's gravity field. These are known as gravity-sensing orbits. For several orbits early in the mission, the spacecraft will be oriented in order to optimize the range of emission angles over which the MWR can make observations, including sensing emission from the nadir. These are known as MWR orbits. Due to Jupiter's rapid 10-hour rotation, the measurements of a given latitude at various different emission angles will not be coincident. On two of Juno's orbits, the spacecraft orientation will be tilted in order to optimize the coincidence of these different fields of view; these are known as MWR-tilted orbits. The MWR, as well as UVS, JIRAM and JunoCam, will remain turned on and collect valuable data during gravity-sensing orbits, but not through as wide a range of emission angles as in MWR orbits.

The JIRAM experiment has imaging channels centered at 3.4 μm and 5 μm, as well as a 2-5 μm spectrometer. With a somewhat broader spatial coverage than the MWR, JIRAM will be able to track the distribution of 5-μm radiance across parts of Jupiter, often coincident with the MWR field of view. This will provide a reference back to the Galileo results: JIRAM will easily detect 5-μm hot spots and determine when the MWR has measured atmospheric conditions in one. The properties retrieved in this part of the planet can be compared with those measured by the Galileo probe as a means of verifying the extent to which conditions in these features are similar. In addition, JIRAM's

spectrometer will scan across the planet, allowing a measurement of the distributions of water and ammonia above the vertical range of the MWR experiment, extending vertically upward the range over which the abundances of gaseous ammonia and water vapor are derived. JIRAM will also search for and map disequilibrium trace species such as phosphine (PH₃), which will serve as an indirect measure of vertical motions: where the abundance of these constituents is relatively high, effective upwelling from Jupiter's deep atmosphere has replenished these constituents faster than they can decay. In addition, the 2-4 μm spectrum of Jupiter is dominated by sunlight reflected from cloud and haze particles in Jupiter's atmosphere. The primary gaseous absorbers in this spectral region arise from molecular hydrogen (H₂) and methane (CH₄), both of which are well mixed in the atmosphere. Thus, the variety of different absorptions from these two gases at different wavelengths can be used to determine the vertical distribution of cloud properties, offering an independent measurement of vertical motions - with cloudy regions implying upwelling motions of 'wet' gas and clear regions implying downwelling motions of 'dry' gas. These can be compared with the picture vertical motions derived from the MWR and the 5-μm thermal-emission portion of the JIRAM experiment

The JunoCam experiment uses a CCD-array camera to produce images covering the visible spectral range using red (R), green (G) and blue (B) filters, similar to the color sensitivity of the human eye. One additional filter is located at 890 nm, the position of a strong methane band, to sense a level of Jupiter's atmosphere that is higher than those of the R,G,B channels. The primary purpose of JunoCam is to engage the public in Juno's exploration of Jupiter's atmosphere. Observations of Jupiter's polar regions will be made on all orbits, but the highest-resolution observations of Jupiter in this range will be up to the public. Anyone can vote for a favorite feature on the Mission Juno / JunoCam web site (missionjuno.swri.edu). JunoCam is currently accepting observations of

PDF Compressor Free Version

Jupiter from amateur astronomers, who constitute Juno's "virtual team" of co-investigators. The best of those observations are re-projected on a cylindrical map of longitude and latitude every two weeks. Approximately two weeks before each perijove, the features that will be available to JunoCam will be identified and a short period will be scheduled for public voting. The features with the highest votes will be staged for pointing JunoCam on that orbit. The images returned by JunoCam will be made public as soon as they are returned, with only basic processing done. The public will then be invited to combine the images into color composites or in any combination that they feel is interesting, and they will be posted on JunoCam's web site. Although the scientific merit of all this may seem minimal, the opportunity has already helped the mission gain many followers. Furthermore, the result of the virtually 'round-the-clock' observation of Jupiter by the extensive, and often extremely talented, amateur community has provided a wealth of information on the state and evolution of features that Juno will encounter during its own observations. They will also provide a visible – although non-photometric – record of where the MWR, JunoCam and the UVS were pointed, which are particularly valuable if JunoCam's selected images are not along the ground track of the spacecraft.

Besides the neutral atmosphere, Juno will investigate Jupiter's auroral phenomena. This investigation will study the interaction between its magnetosphere and the charged and neutral atmosphere in great detail, combining in-situ and remote-sensing measurements. Jupiter's powerful magnetic field is tilted about 10° from the rotational axis. The magnetosphere contains electrons with extremely high energies that reach a million electron volts (1 MeV). Jupiter's innermost Galilean satellite, Io, is marked by volcanic activity that pumps sulfur dioxide (SO_2) into the magnetosphere, where it is dissociated into sulfur and oxygen atoms that become ionized and are subsequently trapped in the magnetosphere. These ions are excited by collisions with the electrons. This plasma couples

to Jupiter's rotating ionosphere via electric currents. They act as good tracers of the instantaneous energy input. Juno's orbital characteristics have been designed so that it will become the first spacecraft to fly through Jupiter's magnetic field lines where it is thought that the auroral particles are generated. The MAG, JADE, JEDI and WAVES experiments will thus measure the magnetic fields, charged particles and electric waves at Jupiter's poles for the first time. Collisions between energetic electrons originating in the magnetosphere collide with molecular hydrogen, resulting in the emission of ultraviolet (80-165 nm) aurora. These emissions originate from around 250 km above Jupiter's one-atmosphere level, where Jupiter's top-most visible clouds lie. These highly variable auroral emissions easily stand out in Hubble Space Telescope ultraviolet images of Jupiter (Figure 4), and they will be measured at high time resolution and higher spatial by Juno's Ultraviolet Spectrometer (UVS), where the variable UV flux can be compared with variations of the electromagnetic field. Juno will also track a second auroral phenomenon that is higher in the atmosphere, around 1,000 km above Jupiter's one-atmosphere level, where H_3^+ results from ionization of H_2 by energetic electrons that precipitate into the atmosphere above the homopause, the level at which the atmosphere stops being well mixed. This H_3^+ aurora, which peaks in the near-infrared around $3.4 \mu\text{m}$, is a good measure of the response of Jupiter's neutral atmosphere above the homopause to the collisional energy input (below the homopause H_3^+ is efficiently destroyed by hydrocarbons). This investigation will help scientists to understand differences between Joule heating and energy of precipitating electrons to determine why the morphology of these vertically separated regimes are different. One of JIRAM's two imaging cameras is centered at $3.4 \mu\text{m}$ for his purpose, and the auroral energy distribution is also measured by its 2-5 μm spectrometer.

Juno is also the first mission to the outer solar system that is actively promoting and coordinating

PDF Compressor Free Version

professional observations from Earth-based telescopes to enhance and extend its science goals. These observations provide spectral coverage in regions not included on Juno's experiment payload, they provide spatial context to the narrow range over which Juno covers at its best resolution, and they provide a time context to determine whether a feature measured is typical of its long-term appearance. A current campaign is focused on Juno's approach very close to JOI by comparing the measurement by Juno's particle and field experiments of properties of the solar wind impinging on Jupiter's magnetosphere and their variability that is nearly simultaneous with Earth-based measurements of Jupiter's UV and near-infrared aurora. These data will establish whether solar wind variability directly modulates the auroral intensity or morphology. The current state of the full ongoing Earth-based supporting campaign is available at: <https://www.missionjuno.swri.edu/planned-observations>.

With the arrival of the Juno spacecraft at Jupiter, the following two years are guaranteed to be transformational in our understanding of the processes shaping the complex climatology and interactions between the neutral and charged atmospheres of this archetypical giant planet. This new information will inform and reshape our interpretation of the atmospheres of Saturn, Uranus and Neptune, as well as giant planets in other solar systems. These are exciting and challenging times.

The author is supported by the Juno Project, and this work was carried out at the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, under a contract with the National Aeronautics and Space Administration.

Copyright 2016 California Institute of Technology.
U.S. Government sponsorship acknowledged

Table 1. Juno mission remote-sensing instrument characteristics

Instrument	Measurements	Purpose/Comments
MWR	Radiometry in channels centered at 1.3, 3.125, 6.25, 12.5, 25. and 50 cm wavelength	Abundance and distribution of H ₂ O in Jupiter's 50-100 bar atmosphere
JIRAM	Broad-band imaging in filters centered at 3.4 and 5.0 μm ; 9-nm resolution spectroscopy at 2.0-5.0 μm	Clouds, trace constituents and auroral emission.
JunoCam	Broad-band red, green, blue filters; medium-band filter centered on the 890-nm CH ₄ absorption feature	Education / public outreach (E/PO) camera to be operated by public access, but with some time reserved for the Juno science team.
UVS	0.6-1.1 nm resolution spectroscopy at 70-205 nm	Spectral images of the ultraviolet auroral emissions in the polar magnetosphere and dayglow emissions at all latitudes
WAVES	Spectral energy distribution of radio and plasma waves in auroral regions.	Identify regions of auroral currents that define Jovian radio emissions and acceleration of auroral particles.
JADE	Distribution, energy, and velocity of 5-50 keV ions and 100 eV to 1000 keV electrons in auroral regions of Jupiter.	Understand the plasma energy particles and processes that fill the Jovian magnetosphere and ultimately produce its strong auroral emissions.
JEDI	Fluxes of high-energy (20 – 1,000 keV) ions and (40 – 500 keV) electrons in the polar magnetosphere of Jupiter.	Understand how particles are accelerated to the high speeds required to generate Jupiter's strong auroral emissions.
MAG	Strength and direction of the magnetic field.	Map the magnetic field of Jupiter over all longitudes.
GS	Gravity science: detects Doppler shift of radio transmissions from Juno to derive small motions of the spacecraft	Map Jupiter's gravity field and determine the distribution of its internal mass.

PDF Compressor Free Version

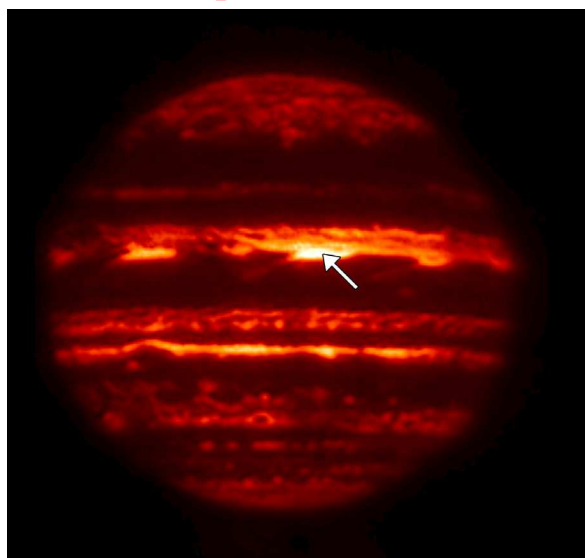


Figure 1. Image of Jupiter at 5 μm from NASA's Infrared Telescope Facility near the time of the Galileo probe entry on 7 December 1995 showing the location of the probe entry into Jupiter's atmosphere. The image shows thermal emission from a very transmissive part of Jupiter's spectrum, with bright regions denoting areas where the absence of clouds and attenuation by gaseous ammonia and water vapor are minimum, allow maximum thermal emission from the tops of deep clouds. The arrow shows the best estimate of the entry of the Galileo probe – within the brightest, thus clearest and driest, regions on the planet.



Figure 3. Schematic showing nadir fields of view of the MWR's longest-wavelength channel with its 10° – diameter footprints through a typical Jupiter orbit. Figure courtesy of M. Janssen, MWR PI

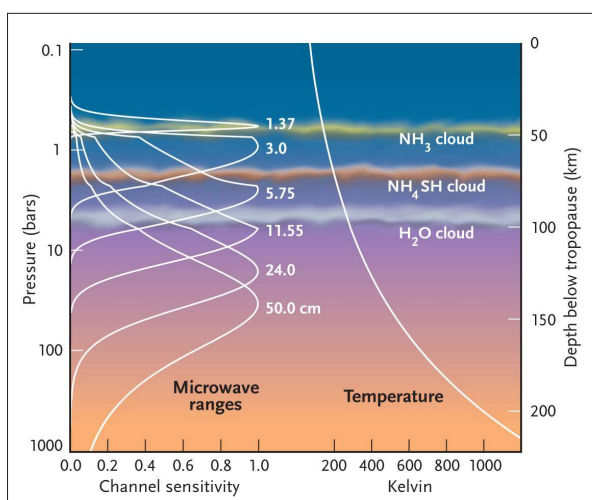


Figure 2. Contribution functions to upwelling microwave intensity for nadir viewing by the Juno MicroWave Radiometer (MWR), as a function of each of its channels. The expected location of Jupiter's cloud layers is shown schematically, along with the temperature profile. © 2016 Sky & Telescope. All rights reserved. Used with permission

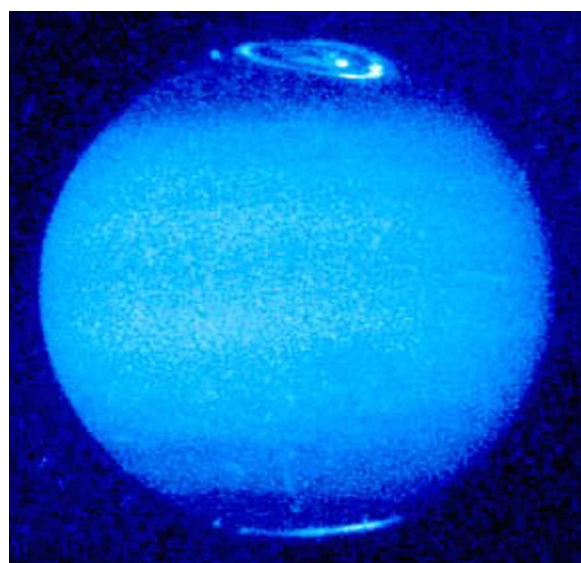
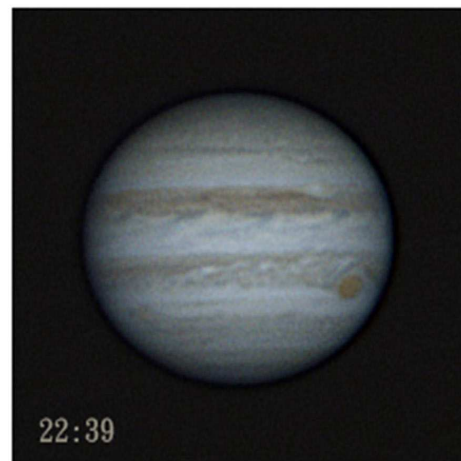
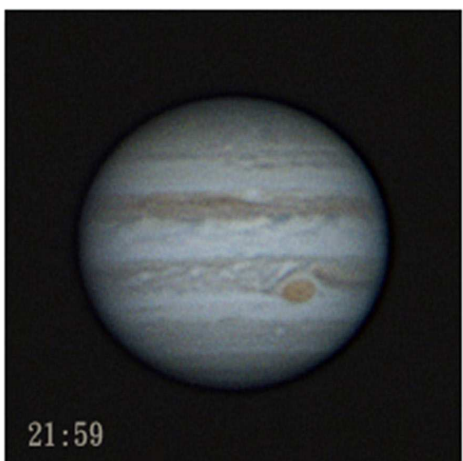
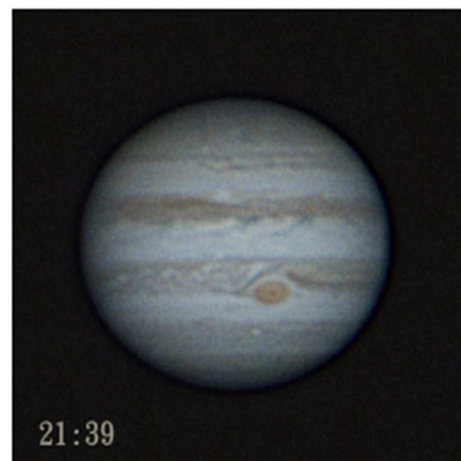


Figure 4. Hubble Space Telescope image of Jupiter's ultraviolet auroral emissions using the STIS instrument on 17 October 1996. Image is Space Telescope Science Institute OPO image PRC96-32, courtesy of John Clarke (then at the University of Michigan) and NASA



木星自轉 周銀王

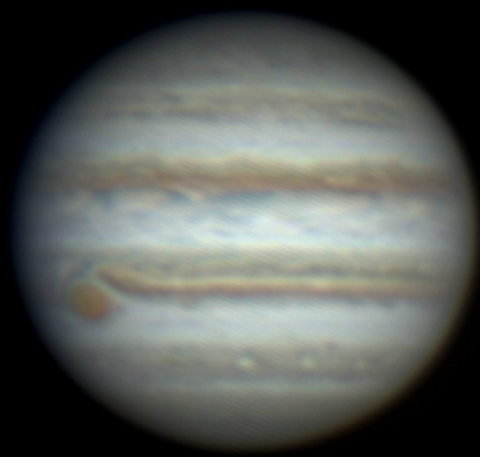
時間：2016/04/06 19:59~22:39

地點：臺南市

儀器：Takahashi EM-200 MT-160 ASI120MC 5X，SharpCap 120s錄影RegiStax V6疊圖CS5處理。

說明：行星攝影的周邊器材，近10年來，功能進步神速，早期，底片時代的「擴大攝影」，難度很高，相機進入數位時代後，拍攝的失敗率降低很多，行星攝影機的出現，又大幅提升想像的品質....。

PDF Compressor Free Version



木星

吳炳連

時間：2016/04/05

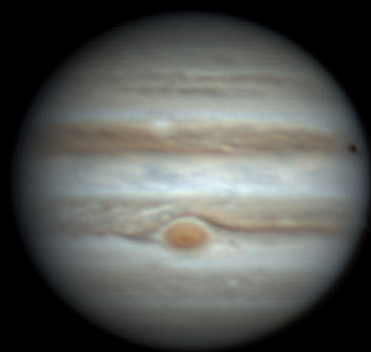
地點：彰化市cuteip天文臺

儀器：Meade 8"ACF 2000mm
F10 + TV2.5X+ASI034MC
+NEQ6

拍攝資訊：2016/0405 00:09

Duration=300s

擷取7956張 FPS (avg.)=26
90%疊合



木星

吳炳連

時間：2016/05/05

地點：彰化市cuteip天文臺

儀器：Meade 8"ACF 2000mm F10
+ ASI178MC +NEQ6

拍攝資訊：2016/05/05 20:13

Duration=120s

擷取15343張 FPS (avg.)=127
90%疊合

木星

楊擘群

時間：2016/04/19 21:04

地點：臺北天文館

儀器：The Imaging Source

DFK51AU02

曝光：1/40sec

疊加377frames

GOTO 45 f：5400mm

說明：剛好記錄到IO衛星影凌木星，是難得的經驗。



木星

謝揚鵬

地點：貓鼻頭公園

時間：2016/05/07 14:57 UT

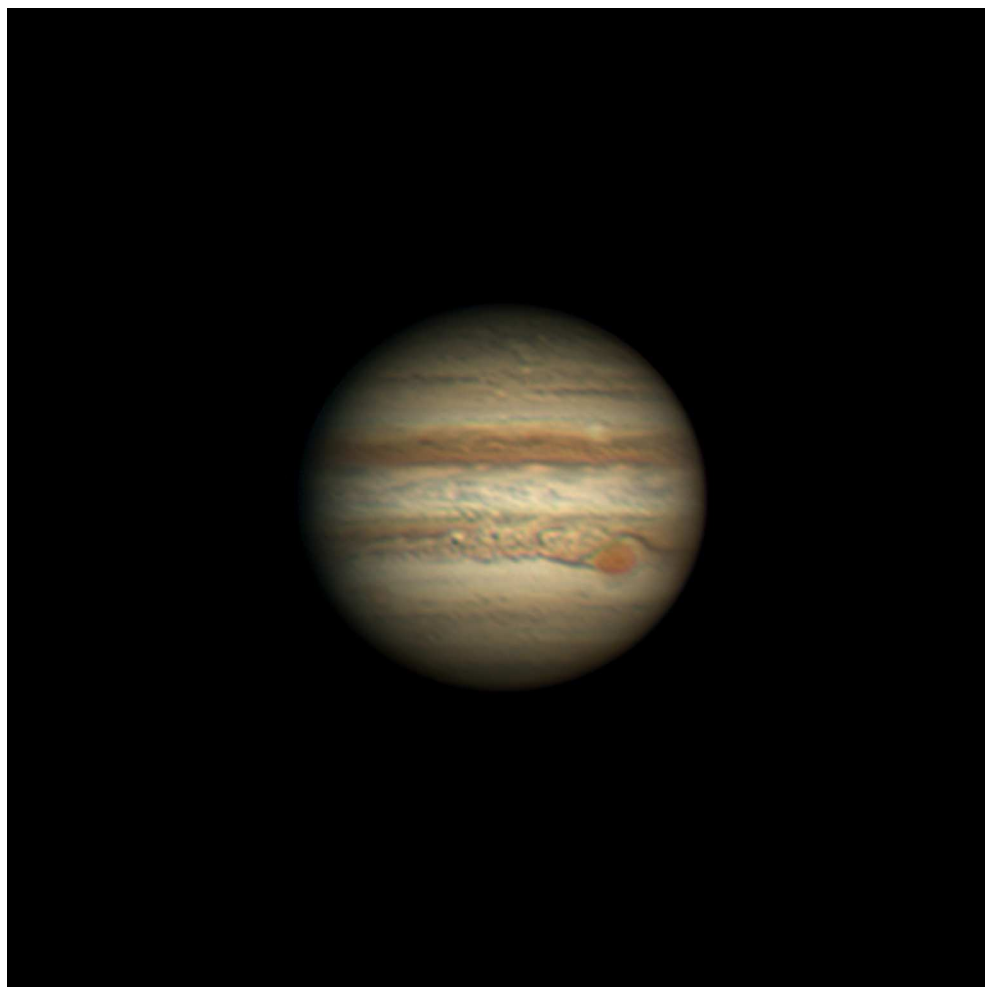
儀器：望遠鏡 C11，f:2800mm

+ Televue 2.5X，

行星相機 ASI224MC

錄像資訊：60 fps，48sec*10，

共取18000禎疊圖



PDF Compressor Free Version



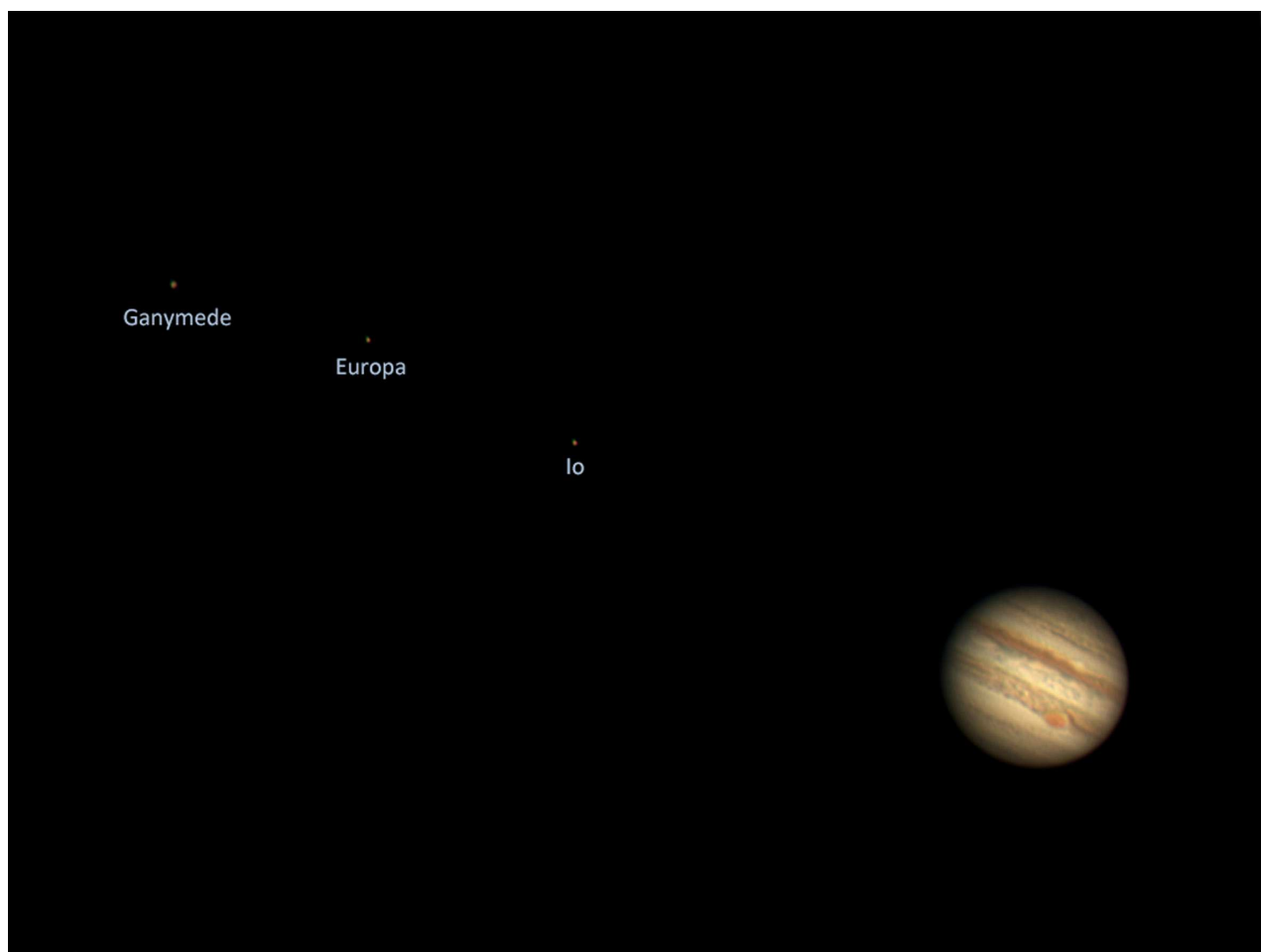
木星組曲 陳茁新

時間：2016/05/15 20:01~20:14 地點：雲林縣虎尾鎮大屯自宅

儀器：C8(F10/2000mm) + 3X Barlow Lens + ASI034MC + EM200 T2M追蹤，

93" x 3段影像(每段約2813 FRAMES)+140" x 1段影像(約4214 FRAMES)，SharpCap拍攝、AutoStakkert疊合、RegiStax 6銳利化、PS影像處理。

說明：天剛全黑，透明度、視寧度都還不錯，木星也在中天附近，是觀測、拍攝木星的好時機，把握了此春天不易得來的機會，拍下了四段木星紅斑回眸一笑的情影，組合成一段曼妙的舞曲。



木星與衛星 謝揚鵬

地點：高雄市自家樓頂 時間：2016/05/25 21:36

儀器：鏡筒C11 f：2800mm赤道儀CGEM，巴羅鏡TeleVue 2.5X，相機 ASI224MC (8 min去自旋處理)

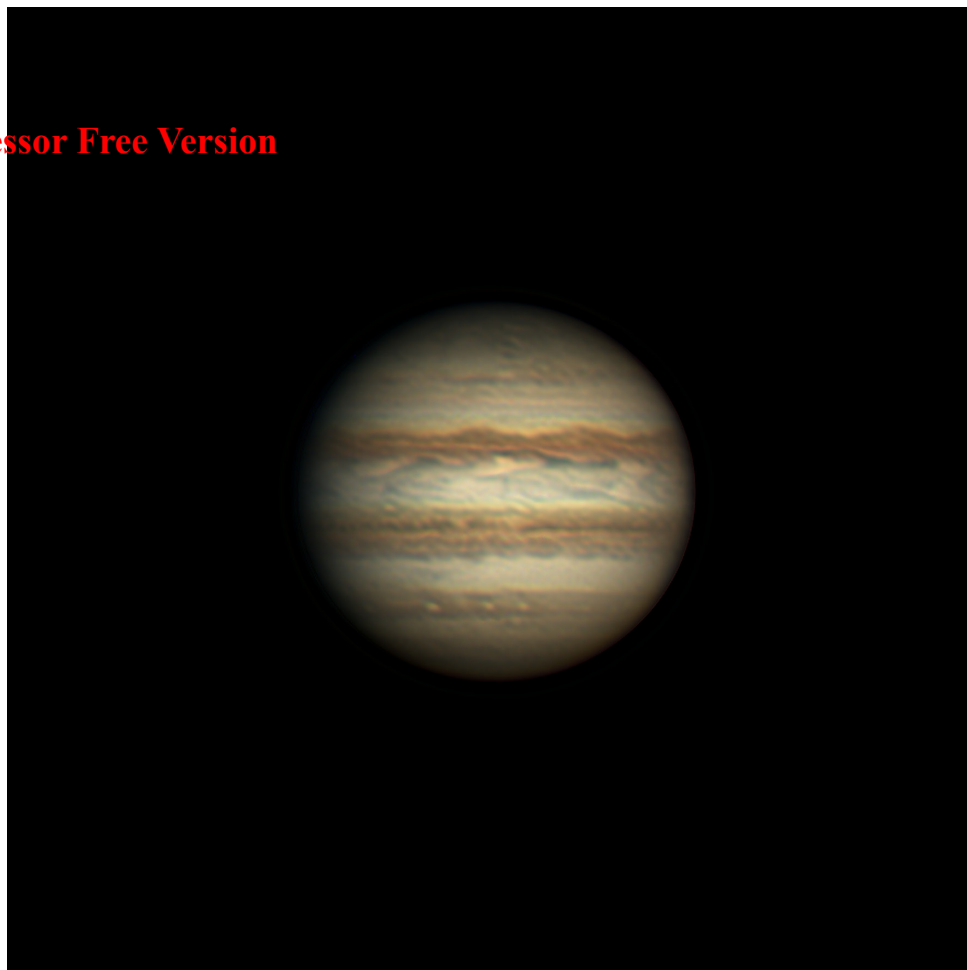
木星正背面

謝揚鵬

地點：高雄市自家樓頂

時間：2016/05/25 21:36

儀器：鏡筒C11 f:2800mm 赤道儀CGEM，
巴羅鏡TeleVue 2.5X，
相機 ASI224MC
(8 min去自旋處理)



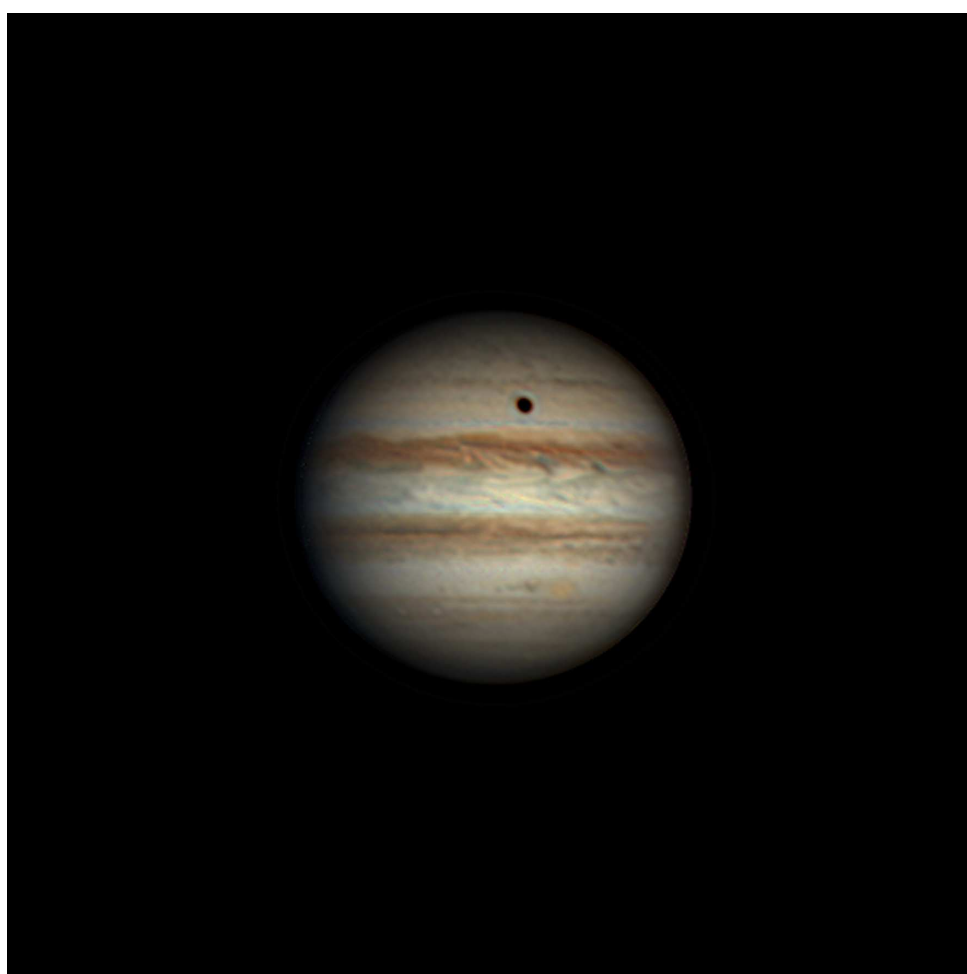
木衛3（甘尼米德）影凌

謝揚鵬

地點：高雄市自家樓頂

時間：2016/05/27 21:08

儀器：鏡筒C11 f:2800mm赤道儀CGEM，
巴羅鏡TeleVue 2.5X，
相機與濾鏡 ASI174MM
+ MEADE LRGB filter
(4 min去自旋處理)



PDF Compressor Free Version



木衛1（埃歐）影凌

吳炳連

日期：2016/05/28 22:22

地點：彰化市cuteip天文臺

儀器：Meade 8"ACF 2000mm
F10 + ASI178MC + NEQ6

拍攝資訊：Duration=120.011s
WinJUPOS 消自旋 Frames
captured=

12909 FPS (avg.)=107

80%疊合

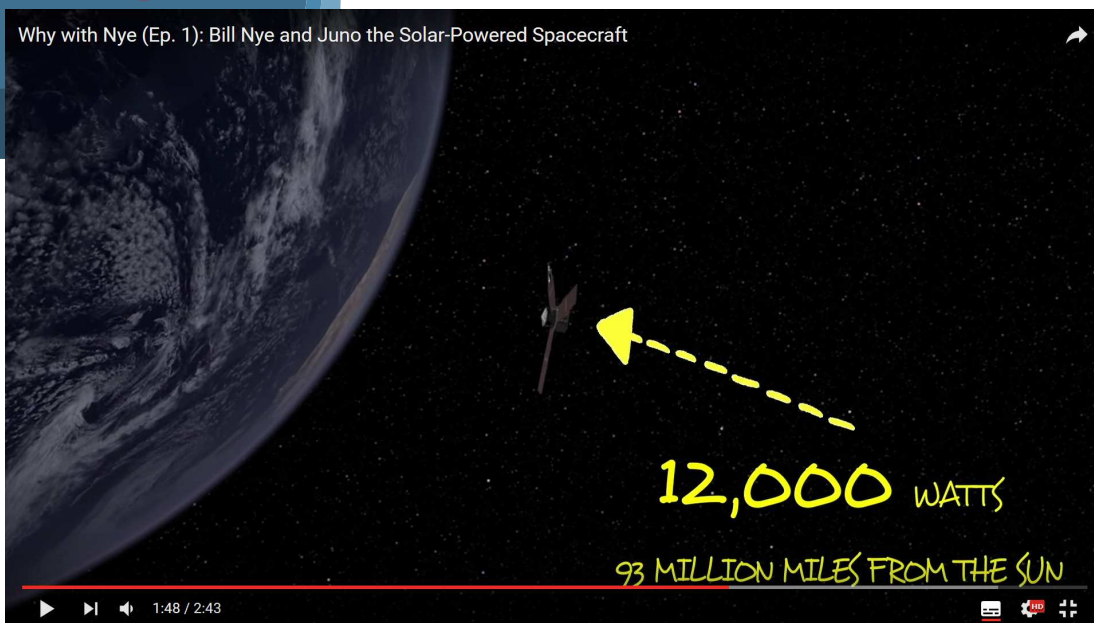


木星 李合峰

時間：2016/05/31 20:18 地點：臺北天文館

儀器：The Imaging Source DFK51AU02 RGB32，局部錄影模式曝光：1/40sec 疊加371 frames，
GOTO 45 f.5400mm + Meade 2X 巴羅鏡

太空船電力哪裡來？



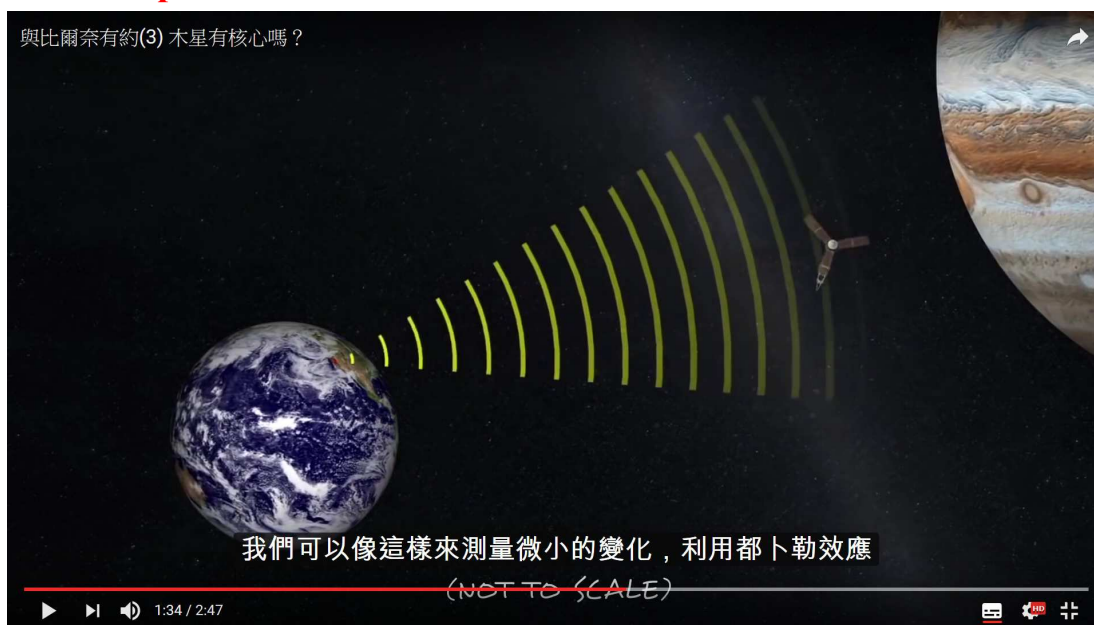
朱諾號探測的目標是遙遠的木星，這裡比地球離太陽還要遠上五倍，陽光的強度也只有地球的二十五分之一。要讓朱諾號正常運作所面臨的第一個問題就是，如何靠太陽能來產生足夠的電力，供應各樣裝置的需要呢？陽光無法增強，距離不能縮短，唯一的辦法就是加大接收陽光的面積，於是朱諾號帶了三張空前巨大的太陽能板前往木星！（<https://www.youtube.com/watch?v=kAyuiv8rA50>）

朱諾號飛掠地球



木星真的太遠了，即使以太空望遠鏡也無法真正看清楚它的細節。所以在2011年，科學家用了最強力的擎天神五號火箭將朱諾號發射出去。不過光靠火箭的推力還遠遠不夠，科學家還得用上地球這個超級強力彈弓，利用地球的重力把朱諾號用力射向木星，如此才能加快腳步、縮短旅程，讓朱諾號在2016年7月到達目的地：木星。（<https://www.youtube.com/watch?v=k1mpWpUq-SA>）

木星有核心嗎？



木星究竟有沒有核心？如果有的話，是岩石、金屬，還是在巨大壓力下具有金屬性質的氫呢？這是科學家心頭長久以來的疑惑，因為這關係著太陽系的演化、行星的起源等諸多問題，現在朱諾號終於將揭開謎底了！科學家們將利用「都卜勒效應」，從朱諾號環繞木星時傳回地球的電波頻率和波長變化，來解答這個太陽系的最關鍵問題。（<https://www.youtube.com/watch?v=Jq-JGHxJZO4>）

木星的超級風暴



木星上的大紅斑是個超級氣旋，直徑將近地球三倍。天文學家卡西尼在三個世紀前發現它，但是它到底已經存在多久了？沒有人知道。究竟大紅斑只是木星表面的現象，還是深入木星內部的結構？木星內部又有什麼秘密？大紅斑為什麼可以如此歷久不衰？它和木星大氣層間的交互作用如何？科學家數百年來的種種疑惑，朱諾號此行都將一一揭曉。（<https://www.youtube.com/watch?v=AG0eEx1Op4U>）

太陽系裡的大胖子—木星 (二)

木星大氣與條紋

木星臉上的木紋是怎麼來的？

不會是紋上去的吧。

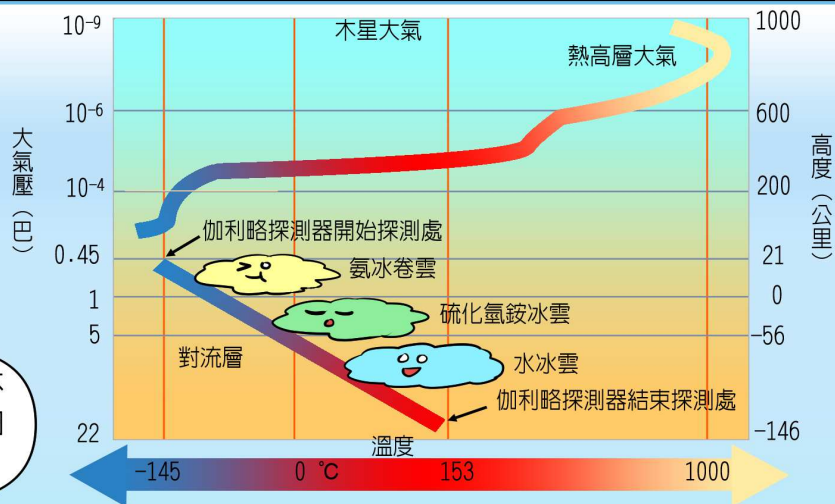
想知道嗎？讓我來告訴你吧！



編繪 曾建華



木星沒有固態表面，表面覆蓋著厚度達約1000公里的大氣層；平常所見的木星雲層主要分佈在大氣低層的對流層中。



表面居然不像地球是固態的！

氫 H_2 -89.8%

氦 He -10.2%

其他

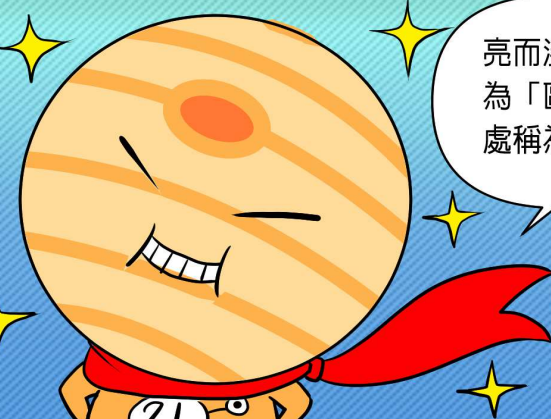
甲烷 CH_4 -0.3%
 氨 NH_3 -0.026%
 乙烷 C_2H_6 -0.00058%
 水 H_2O -0.0004%

木星大氣層原來是這些東西組成的喔~

望遠鏡下最明顯的木星特徵就是平行於赤道的明暗條紋。

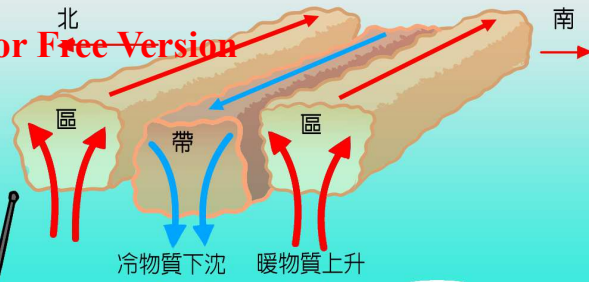
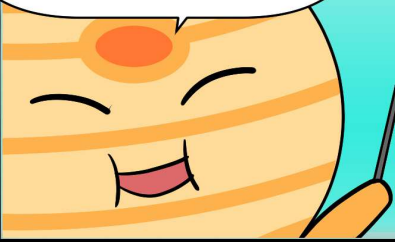
亮而淺色之處稱為「區」，暗色處稱為「帶」。

區的雲比較高，帶的雲比較低。



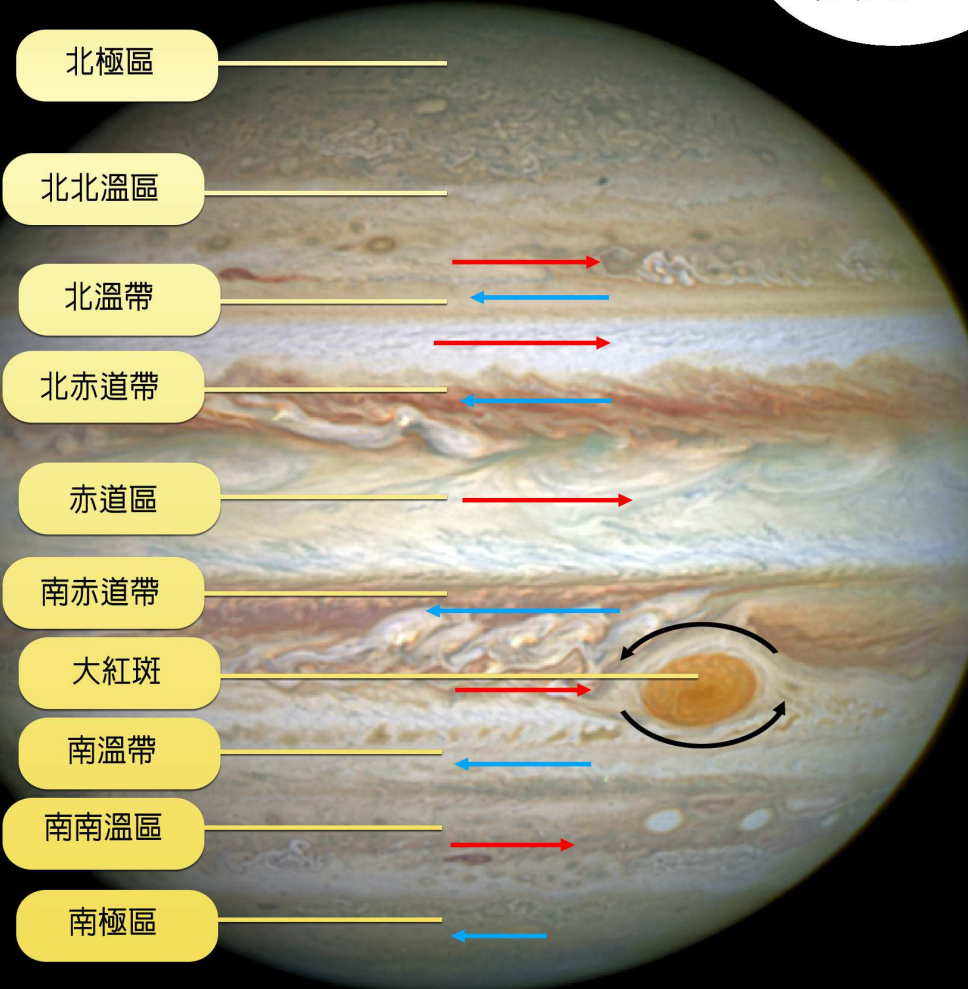
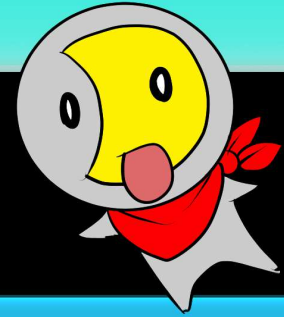
PDF Compressor Free Version

區帶的顏色深淺和雲的高低可能與在區帶中的氣流方向有關。其中區為上升氣流所在，帶為下沉氣流所在。

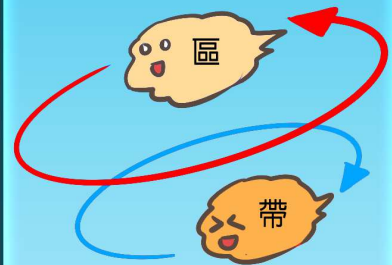


目前認為在區裡，當富含氫的空氣上升，會膨脹並變冷，形成高和厚實的氫冰形成的雲，所以顏色比較明亮。但是在帶中，空氣下沉而變暖，使白色氫雲蒸發，露出較低和較暗的雲。

來看看木星上有哪些區和帶吧！



區和帶的水平風速極快，在南北緯30度以內的近赤道地帶約達每秒150公尺，以外區域則約每秒40公尺。但區和帶的風向恰好相反。



區的位置、寬度和風速等一般很穩定，僅偶爾出現變化；但是帶的顏色和強度會隨著時間不斷的改變。



2009.07.30.22:26



2010.09.13.20:44

臺北天文館 / 李合峰 攝於 臺北天文館第一觀測室

PDF Compressor Free Version

在不可能中 找出發展關鍵

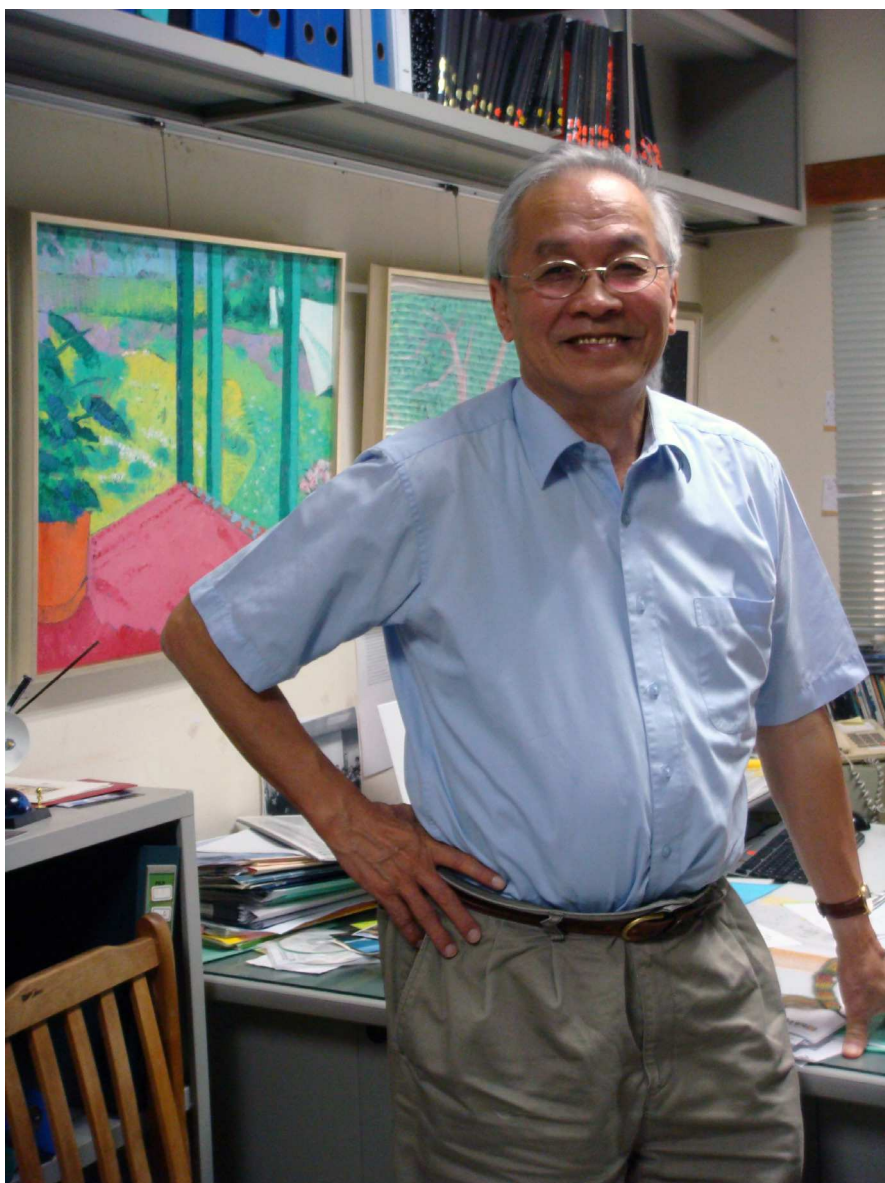
文/ 范賢娟

中央大學天文所葉永烜教授是今年中研院數理組的新科院士，也是「卡西尼探測土星計畫」的兩位發起人之一，這是天文館第二次訪問他。上一次是十年前，那時候，太空船剛抵土星附近，進入了繞行軌道，傳回來一些初步的訊息。

十多年來卡西尼號持續運作良好，有許多重要的發現，他也因此在2009年得到美國航空暨太空總署的「特殊公共服務榮譽勳章」，而他的學術論文登上《自然》與《科學》的篇數超過40，是華人科學家中少見的紀錄。

但每次訪問，他不喜歡多談那些赫赫有名的計畫與事蹟，總覺得那些是在國外環境所做。他更希望帶著我們讀者了解臺灣自身有什麼條件、有什麼資源，怎麼樣從這些限制與支持下去做出一流的研究，獲得別人的肯定。譬如卡西尼計畫的發起，實在也不過是利用所在地能夠提供的機會而已。他很希望大家除了有紮實的知識與技術基礎之外，還能多運用想像力、創造力，不要光跟著別人走，或者老想那些自己達不到的目標，其實臺灣還是可以在參加國際科學社群時有自己的獨特貢獻。

這裡還是先簡單介紹卡西尼-惠更斯號，然後談談葉老師分析臺灣天文界應該另走的新方向。



葉永烜教授為國際知名天文學家，喜愛繪畫，畫風以印象派為主，題材主要是風景、人物和花卉靜物，這張於葉教授在中央大學研究室拍攝的照片，牆上掛的就是他的畫作。

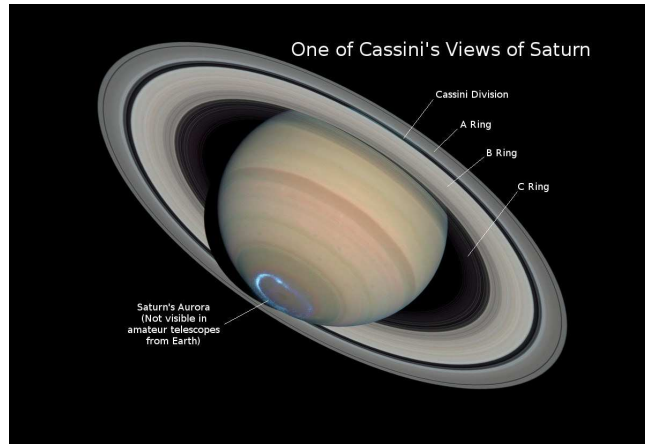
卡西尼 (Giovanni Domenico Cassini)

卡西尼 (1625-1712) 是一位法國籍天文學家，曾任巴黎天文臺總監。他發現了土星環當中有條暗縫，因此那就以他名字來命名，而稱之為「卡西尼環縫」(Cassini Division)。他還發現了土星的四顆衛星，觀察到木星的赤道旋轉得比兩極快 (較差自轉)。

他也是個水利專家，具有大地測量的專長，因此負責繪製出法國的第一張地形圖。葉老師將探訪土星的計畫用卡西尼來命名，對歐洲人是有強烈的文化連結，有助於讓此計畫通過。



卡西尼 (取自維基百科)



土星與土星環，環上最粗的黑線就是卡西尼環縫 (取自NASA)

熱忱讓他一肩挑起 沒人敢碰的大計畫

葉永烜教授1947年出生，在他開始發展自己的研究生涯時，看到1979年與1981年美國航太總署 (NASA) 的兩艘無人太空船航海家1號 (Voyager 1) 與2號 (Voyager 2) 經過土星系統，首次傳回許多高解析度的照片，讓他非常興奮。不過當時這兩艘太空船的設計只是從旁匆匆經過，沒有停留探測，因此這讓科學家意猶未盡，無論是對土星本身，或者它的衛星，還有它的環，都有無盡的謎團驅動著人想再派太空船過去好好看清楚。當時就有科學家懷疑，有濃厚氫氣包圍的泰坦 (Titan) 衛星，可能是太陽系當中最類似地球的環境，這對科學家的吸引力非常大。

不過想從太陽系內側的地球到外圍的土星，並不容易，估計從計畫開始之後需要20年的時間才会有成果，許多夠資深的學者都覺得屆時自己都已退休，很難盼到那麼久之後的事。更糟的是當時美國航太總署與歐洲太空總署 (ESA) 剛吵完架，短時間看起來雙方沒有消氣的可能，聰明人都不會在這時候去碰釘子。

可是葉老師卻因為年輕有衝勁，還因為是「老外」老在狀況外，所以他不知天高地厚地在1982年跟一隊歐洲科學家一起向NASA與ESA提個「卡西尼探測土星計畫」，當時還有識時務的頂尖研究學者跟他們打賭絕對不可能通過。

但出人意外地，計畫過了！因此這麼重要、難度這麼高的計畫，終於由於NASA和ESA的通力合作，得以順利執行，並獲得輝煌的成就。

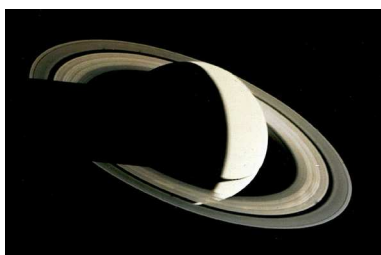
航海家 1 號與 2 號太空船

航海家計畫 (Voyager project) 是美國的無人太空船探測計畫，在1977年發射了航海家 1 號與航海家 2 號。雖然它們一開始都是以木星和土星來進行探測，但當探測器飛抵木星、土星之後，仍具有速度可以持續前進，往遠處而去，現在二者都已經飛行到我們已知的太陽系之外，距離太陽超過100個天文單位。

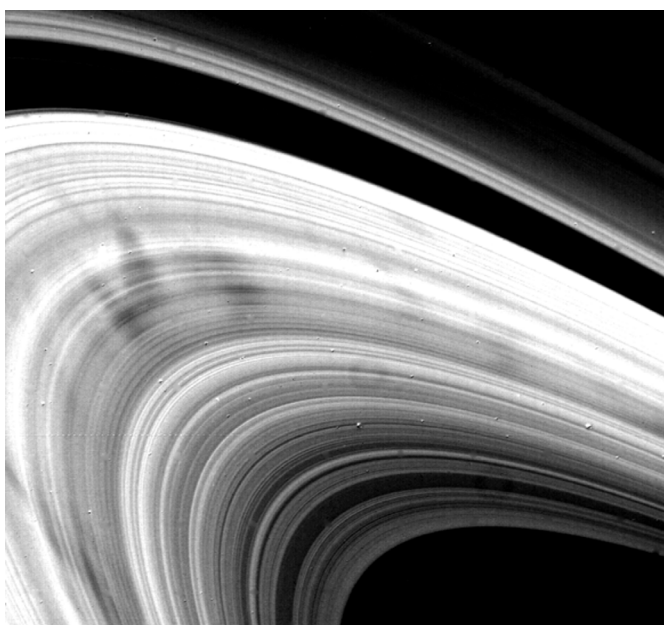


航海家一號，圖片取自維基百科，航海家二號的外型結構也相同。

此二探測器在1979年探測木星，1980~1981年探測土星，對土星的高層大氣以及環的結構有更清楚的觀察，讓人了解其複雜，因此會希望有後續的研究。



航海家一號飛離土星後回頭所拍的照片，圖片取自維基百科



航海家 2 號所拍攝到的土星環，土星環上的痕跡是由帶電塵埃粒子組成的結構形成。圖片取自維基百科

泰坦小檔案

首次發現：惠更斯於1655年3月25日

又名：土衛六

繞行土星半長軸：122萬公里

公轉週期：16天

自轉週期：16天

平均半徑：2576公里，地球的0.404倍

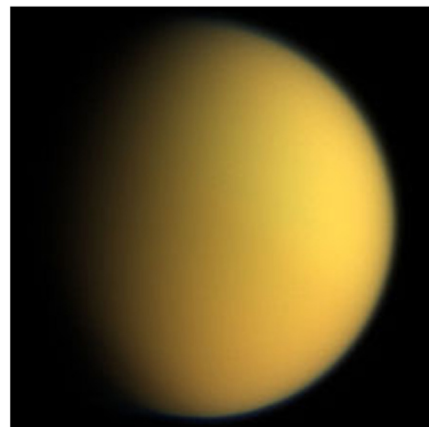
質量：0.0225倍地球質量

表面重力：0.14地表重力加速度

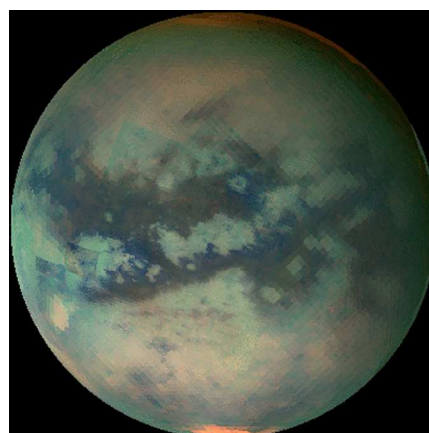
表面大氣壓力：地球的1.45倍

表面氣體成分：多數為氮氣，少量為甲烷

表面溫度：零下179°C



圖片取自NASA



紅外線波段的自轉泰坦衛星

圖片來源：VIMS Team, U. Arizona, ESA, NASA

卡西尼計畫的 分工與成果

此計畫由三個單位合作製作「卡西尼—惠更斯號太空船」，除了NASA負責卡西尼軌道器、ESA負責登陸泰坦的惠更斯號太空船之外，還有義大利航天局（ASI）為卡西尼號提供通訊用的高增益天線。整個計畫耗費32.6億美元，其中80%出自NASA，15%來自ESA，5%由ASI負責。由此也可看出三個單位雖然號稱一起合作，但份量比重還是大相逕庭。

1997年10月載運卡西尼—惠更斯號太空船的火箭升空，經過7年的旅程於2004年7月進入土星系統，到2004年底2005年初惠更斯號脫離母船卡西尼號，降落在泰坦表面，雖然惠更斯號在泰坦上面僅作用90分鐘，但傳回許多珍貴資料。而軌道上繞行的卡西尼號則一步步完成預定的計畫，且可持續良好運作，因此幾度延展計畫，在土星附近做更深入的探索，預期將可運作到2017年，屆時上面所攜帶的燃料都已用罄，無法再做調節，那才宣告計畫正式結束。

茲整理此計畫幾項成果，簡單說明如下：

1. 仔細觀察泰坦上的大氣、地形的結構與變化，例如在其靠近北極的區域有幾

惠更斯

Christiaan Huygens

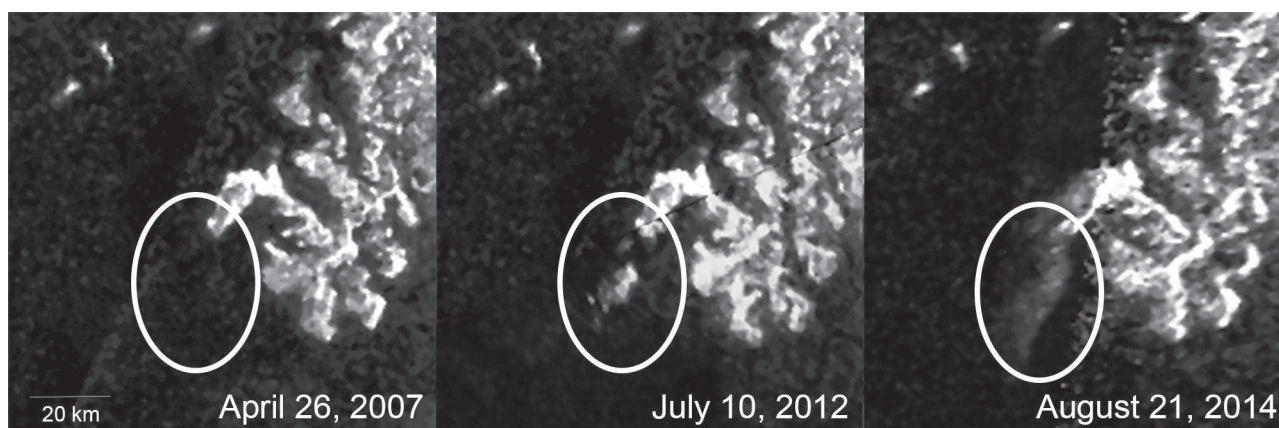
惠更斯（1628-1695）是荷蘭的物理學家、天文學家和數學家，他發現了土星的衛星，泰坦，因此卡西尼號計畫把降落在泰坦表面的探測器命名為「惠更斯號」，以表紀念。



個主要成分為甲烷的湖泊，最大的是克拉肯海（Kraken Mare），其次是麗姬亞海（Ligeia Mare），前者大小與裏海相當，後者和美國五大湖區的蘇必略湖差不多，而這些會隨著時間改變而有變化。



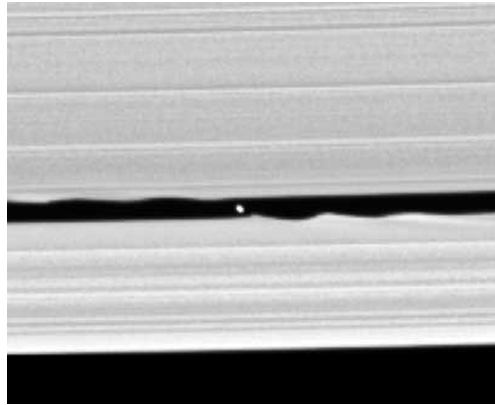
麗姬亞海（左）與蘇必略湖（右）之大小比較，圖片取自NASA。



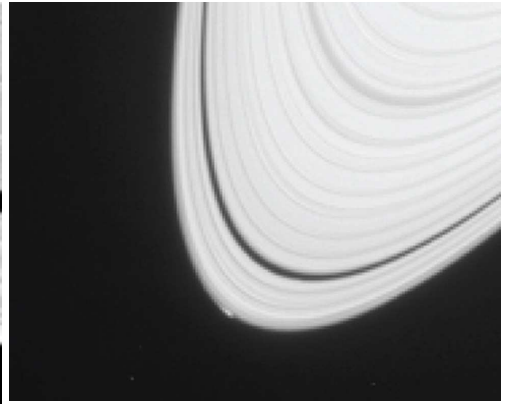
麗姬亞海局部在不同時間所呈現的外觀，圖片取自NASA。

PDF Compressor Free Version

2. 對土星環的系統有更仔細的觀察，可以新發現隱藏其中的小衛星，也可看到環上物質分布並不均勻，較密區可能正有新的衛星開始要形成，使科學家更了解環與衛星的互動關係。

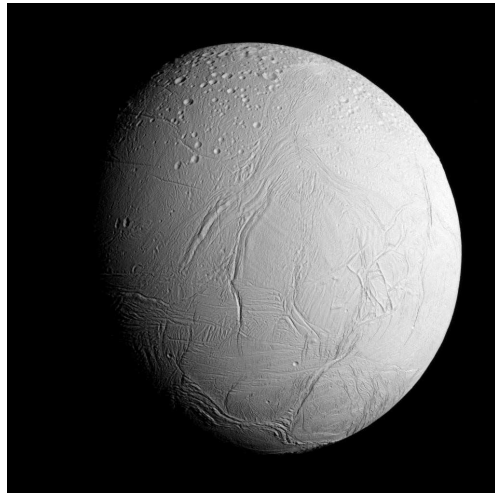


在A環的狹縫中有個新發現的小衛星，圖片取自NASA。

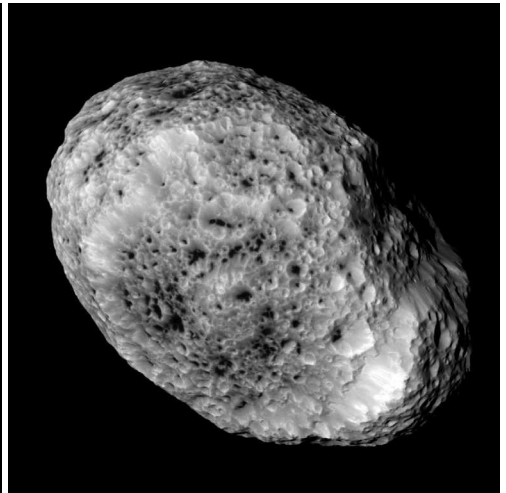


圖上底部可看到土星環上的不均勻區，圖片取自NASA。

3. 對土星的其他衛星之研究。土星有很多衛星，例如土衛二恩克拉多斯（Enceladus）表面非常光滑，在南極區域則會噴出富含水分的噴流，顯示那兒仍有地質活動。另外也對許多衛星做了近距離的觀察。

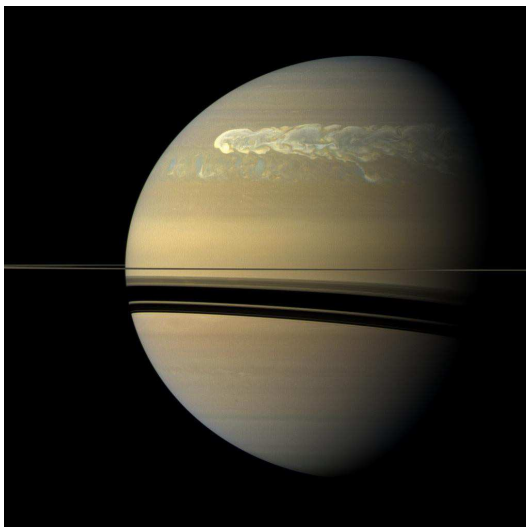


恩克拉多斯的表面光滑如鏡，但也可看出一些地質活動，圖片取自NASA。



土星衛星Hyperion的表面多坑洞，圖片取自NASA。

4. 對土星的大氣活動有更多的觀察，包括看到表面的風暴生滅。



土星的北半球風暴，圖片取自NASA。

慧眼發掘臺灣的天文優勢

回到臺灣之後，葉老師了解國內的條件不可能再有類似的計畫，他重新評估適合臺灣的天文計畫。

此時中央大學在鹿林山所設的天文臺，在光學觀測上已經有良好的基礎，短短數年間研究團隊發現數百顆小行星，另外也有彗星、超新星，同時對變星、類星體也有長期的觀測計畫。而中美掩星計畫（TAOS）的執行也累積了快速處理大量光學數據的能力。再加上臺灣的地理位置在低緯，可以觀察到許多南天目標，而地理經度也可與世界其他各主要天文臺相

PDF Compressor Free Version

輔，因此有很好跟人合作的優秀條件。

如今，鹿林天文台已經有些不錯的國際合作計畫，例如泛星計畫（Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System; Pan-STARRS）是由夏威夷大學所負責，針對整個天空掃描搜尋觀測，藉由影像對照尋找亮度或位置產生變化的天體，此計畫原意是找尋可能在地球軌道附近可能對地球產生影響的小型星或彗星，不過也適合做各項科學議題的探討。

葉老師表示，鹿林天文臺能做到這樣非常的不錯，不僅是科學研究者的能力夠，也代表在支援系統，如天文臺的管理，以及大量數據的傳輸、儲存、分析處理都具有相當的水準，因此當新興「時域天文學」發展起來時，中大天文所很自然就可其中找到自己的定位。

葉老師介紹最近中大跟加州理工學院合作的「帕洛瑪瞬變工廠」（Palomar Transient Factory, 簡稱PTF）計畫，這是一個完全自動化、廣角地巡天調查，旨在以可見光有系統地探索天體的瞬間變化。

中大這邊有章展誥博士與林省文博士均有良好科學貢獻。在其中以研究小行星自轉這主題。目前是認為小行星自轉週期分布曲線，

會缺乏較短的週期之原因是因為小行星的質量小，因此重力不大，沒辦法把表面物質吸引的很牢，如果轉速過快可能就分解了。發現小行星的自轉週期的分布曲線在3.2小時與2小時附近有兩個斷層。之所以會有兩個下降的陡坡，這就跟小行星的成分有關係。小行星大致可分為兩類，一個是S類，是以矽為主，密度較大，因此週期的最小極限是2小時；另一類是C類，是以碳為主，密度較輕，週期的最小極限就是3.2小時。

葉老師特別表示，這是相當有趣的發現，最重要的是要有想法，帶著想法去參加國際合作，這樣別人會很歡迎。尤其加州理工學院的水準相當高，培育出的校友有多人獲得諾貝爾獎，他們的天文學在過去也有非常領先的地位，其所屬的帕洛瑪天文臺（Palomar Observatory）在1940年代建立的口徑5米的望遠鏡，是當時最巨大的望遠鏡，是天文學家對許多天體觀察研究的據點。

然而現在有了10公尺口徑的Keck 望遠鏡，相較之下中小望遠鏡在很多方面不能跟他們比，但是大型望遠鏡的時間申請比較困難，很難對一般的天體長時間觀察，這就可由地面望遠鏡來做，因此帕洛瑪天文臺轉型來做時域天文學，針對超新星等主題有許多新的發現。中

時域天文學（Time Domain Astronomy）

這是專門研究天體隨時間改變的新興天文領域，其原因可能是因為天體運動或自身的變化所造成，包括超新星爆炸、變星、類星體、活躍星系核、掩星、公轉或自轉等。

雖然這類現象在過去一直會引人關注，但受限於技術一直無法有較大的進展，一直到近代資訊技術進步，且觀測設備改用全自動望遠鏡、CCD等儀器，人們才得以觀測大量的資料，有了新的發現，致「時域天文學」的興起，用以區別天文上常遇到的時間動輒上億年的尺度。

PDF Compressor Free Version

大在跟他們合作的時候，選擇跟他們不同的主題，各自從相同的影像數據中去找出自己的藍海，這樣的分工可避免競爭，葉老師特別稱讚這是很好的合作方式。

目前PTF的廣角範圍已達 7.3 deg^2 （相當於視野內可容納將近210個月亮），未來還會有Zwicky Transient Facility（簡稱ZTF），範圍更達到 47 deg^2 （相當於視野內可容納將近9000個月亮），一張圖片可容納的訊息將更多，資料庫的傳輸、儲存、維修，以及資料的分析都要想辦法更有效率。中大許多年輕研究員一起參與其中，提出想法、參與討論、承諾貢獻，並且達成目標，有新的發現，這是相當令葉老師高興的進展。

不過葉老師也提醒說，歐洲有許多國家天文做得很好，他們位於歐洲因此人才容易流通，合作對象很多元。臺灣的人口不多，人才少，跟國外的流通看到的只有美國那種大計畫，其實我們應該也注意其它國家的天文研究，也許可以有不錯的發展機會。

推廣科普， 關懷人文，關心教育

葉老師除了在尖端科學持續研究、帶領新人之外，他還常寫些科普文章到《科學月刊》、《臺北星空》來介紹天文知識，或者傳達更深的人文意涵，例如今年5月刊登於《科學發展月刊》的〈地球以外的家園—從電影「星際效應」說起〉一文，除了從科學的角度來解讀「星際效應」的橋段，還解析影片後面的訊息，希望人類正視全球暖化氣候變遷的這個議題，在還來得及挽救之前，政府各部門應思考可如何因應，利用自己的文化傳承和道德標準，引導社會採取正面的思想和行動，使得世界能夠永續發展。唯有如此，才有足夠的時間發展出更高的文明，破解時空旅行的密碼，找到並能前往十全十美的超級地球。

談到教育，葉老師認為，在我們的社會當中，缺少培養「不聽話」的文化，學生都乖乖的聽話，比較沒有自己的想法，也不會深入去思考，恐怕因此看不到領袖人才。領導人應該要有心胸，去找比自己更好的人來，勇於做一些創新、突破的事情，不要怕批評。

此外他還希望學校是個能激發學生對事情「好奇心」與「想像力」的地方。現在的學校只是不斷灌輸知識，讓學生以為記起來就可以，記越多越好，卻沒有動力去思考更進一步的問題，沒有能力去想可能的解答，更不用說去嘗試不同想法，無畏失敗，然後才能邁向成功。因此這樣的社會發展是很受侷限，大家辛苦犧牲卻只是更糟，看不到好的回報。

葉老師覺得有兩個國家的發展值得我們參考，一個是新加坡，另一個是以色列，他們能在資源缺乏的情況下有好的發展，很不容易。前者對領袖人才的培養很有步驟系統；而後者則是對想像力、好奇心的激發很有一套。這些雖然方式不同，但都很值得我們參考。

訪談最後，葉老師介紹一本特別的書《好奇心：生命不在於找答案，而是問問題》，這是好萊塢製作人布萊恩·葛瑟（Brian Grazer）以自己的經驗為例，透過對不同人的好奇發問，讓他獲得更多的智慧，並將其轉變成為自己事業與工作的成果，終致獲得奧斯卡金像獎的榮譽。

或許有人細看之後會對那人的行為不完全認同，但葉老師強調的重點在於，對待人，要能看到他的長處，有哪些值得學習的地方。他覺得布萊恩對事物的好奇心很值得臺灣的學生學習，我們可以從這方面去欣賞他，但也並非全然接受，能保有自己的看法。若能如此，這就是一大進步。

范賢娟：自由作家



製作人：劉登凱

版權：美國金華之聲廣播電台

主持人：黃心怡

解說導覽：劉登凱、張夢雯

廣播導讀

NASA/JPL 太空任務

文/ 吳岸明

劉登凱博士曾於1997年參訪臺灣國家太空中心，當時他正在火星探路者號計畫（Mars Pathfinder）裡負責太空船導航，現身說法讓太空中心人員感覺身歷其境。2015年10月10日JPL Open House，本輯中劉博士及張夢雯（南加大「公共行政」碩士）在JPL現場充當起導覽員，黃心怡（南加大「科學媒體」碩士）在棚內主持、串場，對NASA/JPL太空任務的背景知識有非常清楚的解說。在以「聽」為本的廣播中製作參觀導覽的節目，難度極高，三位主持人合作無間，表現可圈可點。劉博士因為本身就在JPL工作又實際參與火星探測計畫，對美國40年來的外太空計畫如數家珍，介紹JPL也等於在介紹人類太空發展史。由他們帶領參觀，聽眾彷彿看到太空船飛掠土星，環繞木星，登陸火星，然後發現太空探索的種種驚奇。

張夢雯在現場特別訪問好奇號（Curiosity）計畫主持人Dr. Jim Erickson，說明火星車的演進三部曲，從探路者號（Pathfinder）到精神號與機會號（Spirit and Opportunity），最後進化到好奇號（Curiosity）。也訪問火星一號（Mars One）華裔女太空人候選人邊思恩（Sue Ann Pien），她正在安排一系列的訓練，準備幾年後搭單程火箭到火星當移民。火星行程一趟要八個月已夠漫長，然後如何在那裡度過餘生更是一個大問題。但想想如果你是為人類逃離地球打前鋒，就像「絕地救援」（The Martian）一樣的處境，你願意挑戰嗎？絕地救援電影裡還說中國航天局可以幫忙把人從火星救回來，你覺得呢？

美國一直秉持發現新大陸的精神拓展太空領域，從火星、木星、土星、彗星的探索，再回到地球的觀測。人類的太空探索，聽眾朋友可以想成出國旅遊，畢竟最後還是要回到家裡。地球若不珍惜便毀滅，然後人類便被迫尋找其他星球遷徙。這不是不可能發生，人類逃離地球就像難民逃離家園一樣。星際探測需要強大推力的火箭，不是太空強權是辦不到。臺灣的衛星有福衛一號觀測電離層與海洋，福衛二號每日對地取像，福衛三號六顆星密集量測全球氣象，近期將發射福衛五號遙測衛星與福衛七號氣象星系，對地球的觀測與守護並沒有缺席。

吳岸明：國家實驗研究院國家太空中心資深研究員

聽更多...

『美國金華之聲』 <http://usachineseradio.com>

『科技與生活』 <https://soundcloud.com/stephanie-zhang-16>

（感謝劉登凱博士與美國金華之聲廣播電台無償授權臺北天文館使用）

延伸閱讀：『科技與生活』第66期 人類的火星探測

<https://soundcloud.com/stephanie-zhang-16/66a>



劉登凱、邊思恩、張夢雯和黃心怡攝於JPL。(由右至左)



<https://www.youtube.com/watch?v=faW Gm3HTW7A&list=PLzYYnhQIXmVFsvyXS1gMltcgKe5T-ZZxt&index=5>



地光一現、石破天驚？ 謎樣的地震光

大地震發生前、發生期間或發生過後，總會有民眾聲稱目擊到一些特殊的異常現象。這些異常現象，可說是包羅萬象，不勝枚舉。例如：天空中的「地震雲」、海洋裡的「地震魚」、陸地上生物（蚯蚓、蛇、螞蟻）的異常行為、鯰魚變急躁、或某些耳鳴異聲等等的現象；其他或如特殊的聲響——「地鳴」（Earthquake Sound）等，偶而亦被民眾提及。此外，在地震發生區域的天空中，有時候會出現外觀多樣化的「閃光」異象，有些「閃光」外形恰似「不明飛行體」，多數人認為這些曇花一現的「閃光」即是「地震光」（或稱為地光，Earthquake Light）。神秘的「地震光」不僅引起人們的好奇，而且也造成地震學家們的關注，想要進一步了解「地震光」的成因，作為地震前兆的指標。

「地震光」之謎——世界各地事件

國內外有關「地震光」事件的記載，雖然資料不少，但它彷彿「閃電」一般，稍縱即逝，人們對於「地震光」是否確實存在於自然界，始終無法以科學的觀點證實。發現「地震光」事件的區域遍及世界各地，有些「地震光」的觀察記載或原始資料，提供給地震學家們研究的參考。

日本地區

1968年在日本松代發生一系列地震期間，於垣岡地震觀察站拍攝到「地震光」照片。2011年東京發生規模7.5大地震，有藍色的「地震光」被發現。

中國大陸地區

1652年3月23日安徽霍山地震記載陳述有發現紅色的「地震光」（引文：「…丑時地震，自西南起，紅光遍地，…」）。



圖1. 2011年東京地震疑似「地震光」被發現。

圖片來源：http://www.share-international.org/magazine/old_issues/2011/2011-05.htm

1804年11月1日湖南沅陵的居民在地震前也看到（引文：「紅光為匹練，自西而東，沒於地」）。1970年雲南通海大地震，在峨山縣城附近天空約300公尺以上的高度，有「紅色柱狀光」出現。

歐洲地區

1755年，瑞典哲學家康德記載：「幾次地震的前兆是天空出現強烈的閃電。1911年11月德國近埃丙根（Ebingen），有位婦女報告說，看到光暈沿地面「像蛇」隨著地震發生開始移動。」

蘇聯地區

塔什干（Tashkent）是烏茲別克科技文化中心，歌劇院、博物館林立，在1966年大地震塔什干市幾乎全毀。大地震發生期間，一位工程師「聽到左方傳來發動機隆隆的響聲，同時閃現出耀眼的白光，…地震過後，光也就暗下來了。」

「地震光」是謎團？ 還是幽浮？

不明飛行體（Unidentified Flying

Object，UFO）又稱幽浮，是指漂浮或飛行在天空的物體，其來歷不明、性質亦不清楚。在地震發生前、後，有些人會看到空中出現球形的發光體－「地震光」，甚至還會認定此發光現象可能是「幽浮」出現。2011年3月11日日本東北地方外海規模9.0地震，並引發40.5公尺的海嘯，其規模7.4餘震，在東京就出現類似幽浮的「地震光」。1915至1952年間，美國新墨西哥州也曾經出現多次「地震光」幽浮事件，這些事件被認為與該地區連續發生規模4至5的地震有關。此外，美國洛杉磯地區是地震發生頻繁的區域，在大地震發生前，震央地區上空民衆曾經觀察到多次「地震光」的幽浮現象。這些奇異的「地震光」，幽浮愛好者經常當作不明飛行體來研究。幽浮之「地震光」現象是否與地震有關，地球科學家們非常好奇，做進一步研究以解開「地震光」之謎。

地震光可能是地震前兆？

大地震發生時或發生前、後，某些生物異常行為常被人們認為是地震前兆的現象，並且藉用這些異常行為，當作是「預測」地震的方法。例如：深海魚出現淺海、鯰魚會變得急躁、有些人耳鳴異聲等等生物異常行為不勝枚



圖2. 球形的發光體看起來像幽浮或「地震光」。

圖片來源：<http://www.designntrend.com/articles/10008/20140104/bizarre-earthquake-light-mystery-solved-arent-ufos-video.htm>



圖3. 大地震前出現的「地震光」。

圖片來源：<http://strangesounds.org/2012/12/strange-earth-phenomenon-earthquakes-can-cause-strange-lights-to-appear-in-the-sky.html>

舉。但是，生物異常行為特徵，大都無具體的科學依據。過去發生大地震時，偶而有人們會觀察到一些發光的現象－即所謂的「地震光」。以中國大陸1976年的唐山大地震為例，一位護士在大地震發生時，曾發現奇特的紅紫色雲；此次大地震造成重大傷亡，估計有24萬人喪生。1999年土耳其的伊茲米特市（Izmit）大地震，天空出現了一個球狀的發光體，類似「地震光」，一場劇烈的地震襲擊了這一城市，有1萬7千多人在這次地震中喪亡。大地震震前的「地震光」現象，目擊者觀察到的形狀有許多不同外觀：常見者有帶狀、柱狀、片狀、弧狀等形狀。「地震光」的顏色也是多樣的，青白色、紅色、白色、紫色等。「地震光」與生物異常行為不同，因為它是一種發光的物理現象，若能找出「地震光」生成的原因，或許就可將它作為地震前兆的指標之一。

「地震光」的成因

世界各地的科學家對「地震光」成因有探討研究者，都有不同的說法或主張，眾說紛紛，莫衷一是。截至目前為止，「地震光」尚



圖4. 呈現不同顏色的「地震光」。

圖片來源：<http://strangesounds.org/2013/11/reading-signs-before-a-quake-does-nature-warn-when-a-big-earthquake-is-coming.html>

無法以科學上的研究作具體的解釋。它的成因較常見的假說包括：氣體放電現象、岩石晶體產生電場、地下水流動、...等等主張。中央氣象局《地震百問》對於「地震光」（又稱地光）的解釋如下所述：大地震時常發現聲、光出現，對聲音的發生，認為可能是由彈性波而來。至於閃光，則難以解釋。認為可能是斷層摩擦充電，並隨之放電或電網短路所致。加拿



圖5. 疑似地震前兆的地震光。

圖片來源：<http://www.jimonlight.com/2010/01/16/the-phenomenon-of-earthquake-lights/>



圖6. 加拿大研究團隊發現，具有垂直斷層的區域發生地震產生「地震光」。

圖片來源：<http://www.livescience.com/42311-earthquake-lights-happen-at-rifts.html>

大一組研究團隊主張「地震光」成因與地質斷層有關。

「地震光」與斷層的關係

地殼或上部地函 (mantle) 因受應力作用，破裂而急速的運動，發生斷層 (fault)；所謂斷層即為岩石中的破裂面，沿此破裂面兩側岩層發生相對的移動。根據斷層面兩側岩石位移的方式，斷層種類可分為正斷層、逆斷層和平移斷層。2014年加拿大一組由羅伯特·德里歐 (Robert Thériault) 博士領導的研究團隊在具有垂直斷層的特殊地質構造的區域進行有關「地震光」的研究，具有垂直斷層的區域，包括義大利、希臘、萊茵裂谷 (Rhine rift) 等裂谷地區。2014年羅伯特·德里歐研究團隊研究發現，震央在陸地的地震，因為板塊磨擦，產生裂縫，具有晶體結構的地函，帶有導電性，電流就從斷層帶竄出地表，接觸到大氣，發生電離作用，會產生閃光現象，即所謂像幽浮的「地震光」。如果「地震光」與地質構造的關係可以被確認做進一步的解釋其成因，未來「地震光」或可做為地震預警的指標之一。

參考資料

何春蓀 (2006) 普通地質學，五南圖書出版有限公司。

徐明同 (1979) 地震學，黎明文化事業股份有限公司。

中央氣象局《地震百問》

<http://scweb.cwb.gov.tw/NewsContent.aspx?ItemId=10&CId=62&loc=tw>

Thériault R et al. 2014. Prevalence of Earthquake Lights Associated with Rift Environments. *Seismological Research Letters*, vol. 85, no. 1, pp. 159-178; doi: 10.1785/0220130059

<http://news.sinchew.com.my/node/428717?tid=1#sthash.7jPkZHLw.dpuf>

<http://news.sinchew.com.my/node/428717?tid=1>

<http://scitechvista.most.gov.tw/zh-tw/articles/c/0/9/10/1/84.htm>

<http://www.twword.com/wiki/%E5%9C%B0%E9%9C%87%E5%85%89>

高銘鴻：任職於臺北市立天文科學教育館

什麼？一邊上廁所還能一邊學恆星演化？！

日本人熱愛天文是眾所皆知的，但您能想像一邊上廁所，還能一邊學習恆星演化嗎？原來這是由日本國立天文台（National Astronomical Observatory of Japan，簡稱NAOJ）的學生所發起的「天文廁紙」（Astronomy Toilet Paper，簡稱ATP）計畫。可惜，目前僅在日本國內販售，一捲大約兩百元日幣左右，有計畫前往日本旅行的朋友，不妨多帶幾捲廁紙回來，送禮自用兩相宜喔！

日本人熱愛天文是眾所皆知的，但您能想像一邊上廁所，還能一邊學習恆星演化嗎？原來這是由日本國立天文台（National Astronomical Observatory of Japan，簡稱NAOJ）的學生所發起的「天文廁紙」（Astronomy Toilet Paper，簡稱ATP）計畫。可惜，目前僅在日本國內販售，一捲大約兩百元日幣左右，有計畫前往日本旅行的朋友，不妨多帶幾捲廁紙回來，送禮自用兩相宜喔！

這捲廁紙以6張為一個循環，70公分6小張的廁紙中，就說盡了太陽型恆星100億年的歷史，從宇宙中的氣體分子雲中誕生了原恆星，逐漸脫離雲繭，形成金牛座T型星，進入

壯年時期的主序星和行星系統，用盡燃料的老年時期膨脹成為紅巨星，最後將氣體拋回太空，以行星狀星雲畫下生命的句點。

恆星的生死輪迴以氣體開始，也以氣體結束，這些氣體又將成為下一代恆星、行星，更包含你的身體、和你現在舉目所及一切事物的原料。這樣壯闊的循環，是不是也和我們的消化循環有著異曲同工之妙呢？下次上廁所時，不妨好好思考一下這個問題吧！

更多照片和販售地點請看這裡：<http://www.tenpla.net/atp/>



分子雲

即使是在接近真空的宇宙中，仍有極少量的氣體存在，氣體中有些特別濃密的部分稱為分子雲（暗雲），宇宙中閃亮的恆星就是從這些暗星雲中誕生出來，分子雲因為本身的重力而塌縮，並分裂成一塊塊，密度較高的部分就是分子雲核心，也就是恆星寶寶誕生的地方。

宇宙豆知識

夜空中閃閃發亮的星星也會歷經誕生和死亡的過程。星星是從飄浮在宇宙中的氣體開始輝煌的一生，也在噴發出氣體後結束生命，下一代的星星又從這些氣體中誕生。這捲廁紙呈現出類似太陽恆星的璀璨的一生。

註：「豆知識」即為「小知識」之意



原恆星

分子雲的核心會因自身的重力收縮，恆星寶寶（原恆星）就由此誕生，恆星寶寶和太陽這類的成年恆星不同，還不會有核融合反應，氣體和塵埃會在恆星周圍聚集形成旋轉的圓盤，再繼續往原恆星落下，讓原恆星越長越大。原恆星也會向兩極噴出氣體噴流。

宇宙豆知識

圖中天體的規模大小以「天文單位」（Astronomical Unit）來表示，一天文單位也就是太陽和地球的平均距離，約為1億5000萬公里。太陽和冥王星的距離約為40 AU，太陽離最近的恆星約有27萬AU。



金牛座T型星+原行星盤

當原恆星周圍的氣體和塵埃逐漸消散，我們就能看到恆星寶寶從雲氣中誕生，氣體和塵埃仍然會在恆星周圍以原行星盤的形式環繞著，天文學家認為像地球和木星這樣的行星就是從原行星盤中形成的。這樣的恆星開始能被可見光觀察到，周圍還有氣體和塵埃形成的圓盤，就稱為金牛座T型星。

宇宙豆知識

天文學家不只用可見光，還用「不可見」的光——像是無線電波、紅外線、紫外線、X射線——這些電磁波來觀察宇宙。不同波長的電磁波能幫助我們觀測、理解不同的天文現象要。



主序星和行星系統

終於恆星邁向稱為主序星的穩定階段，在恆星的核心進行核融合反應，產生我們所看見的星光。恆星的壽命是由質量決定，越重的恆星壽命越短，越輕的恆星壽命越長。像太陽這樣的恆星大約可以在主序帶活100億年，目前的太陽已經有50億歲，還可以再活50億歲。在這個階段原行星盤中的氣體和塵埃已經逐漸形成行星。

宇宙豆知識

目前我們已經在太陽系外發現超過100個系外行星了，大部分都是像木星這樣巨大的行星，但是隨著觀測儀器和技術的進步，很快我們就能發現像地球這麼小的行星了。

註：自克卜勒（Kepler）太空望遠鏡升空後，發現系外行星的數量大幅增加，截至2016年5月19日，已確認的系外行星有3268顆。也已經發現不少類似地球大小的行星，詳細資料可參考<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>。





文/ 孫桂琴

秋天是浪漫的，冬季是神秘的，仰望秋涼似水的漫天星空，以及在冬夜探索神秘的夜空，星星顯得特別耀眼閃亮，彷彿正向你我訴說許多神秘、浪漫的古老神話故事。在這一季的「星姊姊說故事」活動中，我們也特別安排了有趣又神秘的故事等著大家，包括黃道十三宮的星座愛的故事—天秤座、蛇夫座，星座冒險故事—天蝎座、人馬座，以及王族星座：英仙座、仙女座、仙王座、仙后座，要與小朋友們一起分享與同樂！

星座愛的故事—天秤座、蛇夫座

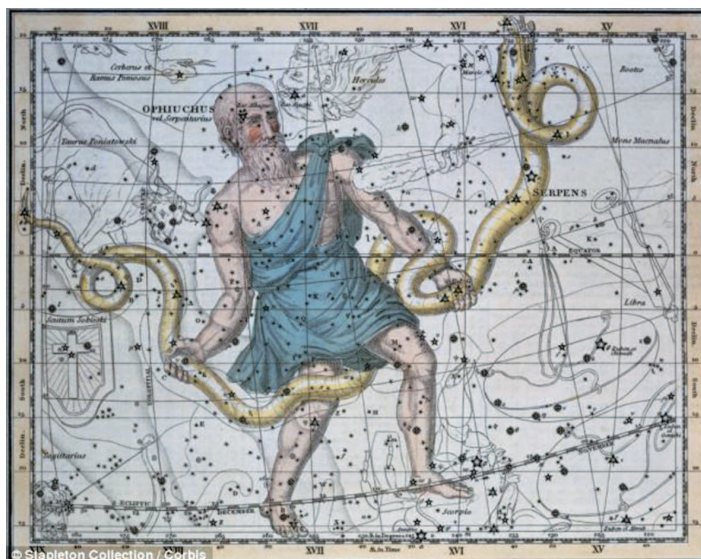
天秤座由四顆星星所組成的平行四邊形，屬於春季的星座。這把天秤，正是希臘神話中正義女神阿絲特利亞用來評量人間是非善惡的工具，代表著公平與正義。

在神話故事中，人與神在遠古時代是一起生活的。但是，自普羅米修斯降下天火至人間，讓人們有了智慧與文明，得罪了天神宙斯。宙斯製造了潘朵拉的盒子，讓人間釋放出貪婪與邪惡等罪惡因子，引發一連串不幸的爭鬥與戰爭，人間自此成了煉獄。這讓原先與人類和平相處的眾神們，紛紛回到了天界。不過，正義女神終究沒有放棄對人類的最後一絲希望，在她與海神進行的一場競賽中，她以代表生生不息的愛與希望的橄欖樹，象徵對人類的最後希望，感動了眾神，贏了海神所變幻出的湧泉。宙斯為了紀念此事，特地將正義女神隨身所攜帶的秤，往天上一拋，成為現在的天秤座。

「蛇夫座」—醫神亞斯克雷比奧

斯，被世人尊崇為醫學之神，是太陽神阿波羅和克洛妮絲公主所生的兒子。對公主用情至深的太陽神，由於誤信寵物烏鴉的謠言，殺害了心愛的公主，正當公主倒下之際，阿波羅發現公主早已懷有身孕，於是祂將腹中的孩子搶救出來，這個孩子就是亞斯克雷比奧斯。阿波羅特地將他送到博學之師—凱龍（人馬座）處學習，成為一位優秀的名醫。

他的醫術愈來愈高超，甚至瀕臨死亡的病人，他也都能將其治癒。造成到陰間地府報到的人數不斷地降低，得罪了冥王黑地斯，特別





PDF Compressor Free Version

向天神宙斯告狀。宙斯只好命令雷電之神將亞斯克雷比奧斯給打死，並將他升上了天，成了蛇夫座。蛇夫座手上緊握的巨蛇座，提供了他醫療用的蛇毒，也成了特別的象徵。

星座的冒險故事

— 天蠍座、人馬座

獵戶座堪稱冬季最美麗的星座，而出現在夏季，亮眼的十一月黃道星座—天蠍座，在神話故事中，與獵戶座互為天敵，在星空中永不相見。

獵戶座的主角—獵人奧利恩是海神波賽頓的兒子，天生的神力，讓他成了威名遠播的狩獵者，他的傲慢得罪了眾神，希拉乃派出了大蠍子去懲罰奧利恩。當奧利恩滿載著豐富的獵物出現時，大蠍子悄悄地用力往前螫了奧利恩一口，強烈的毒性讓英勇的奧利恩不支倒地，在倒地的同時也壓死了這隻毒蠍子。獵人與蠍子雙雙同歸於盡，大蠍子與獵人奧利恩雙雙升上了天，成了天蠍座與獵戶座。

人馬座的故事，與大英雄海克力斯有關。話說海克力斯在執行十二項不可能任務途中，經過恩師凱龍處所，順道去拜訪。凱龍屬於一種半人半馬的族群，這是一個具有獸性的凶猛族群。但凱龍卻是一位允文允武的好手，善良又高貴，被喻為「山中的賢者」。

凱龍看到海克力斯的到訪，非常高興，拿出好菜以及自己所釀造的好酒招待。海克力斯一下就喝完了這些好酒，意猶未盡地央求恩師再拿些美酒來。凱龍因為德高望重，被賦予保管人馬族人所釀美酒的重任。但是因為美酒味道相當濃郁，一旦開啓將立刻引來半人馬族人，而這些人馬族可是不好惹的。海克力斯仗

著本身的神力，無視於恩師的勸誡，執意開啓酒缸，且愈喝愈順口，就將一罈罈的酒缸打開喝光了。人馬族人聞到了酒香，紛紛前來與酒醉的海克力斯抗爭，居中協調的凱龍就在這一場混戰中，被海克力斯浸泡過蛇毒血的箭射中了，這讓擁有不死之身的凱龍痛不欲生。於是海克力斯向天神宙斯祈求，收回了凱龍不死之身，將他升上天，成為人馬座。

星空中的王室家族

秋季星空以飛馬四邊形為指標，可找尋附近的王族星座：英仙座、仙女座、仙王座、仙后座。英仙座是關於英雄柏修斯的故事，他背負天生的宿命要去殺死蛇髮女妖梅杜莎。當他完成任務，乘著飛馬途經海中時，發現一位美麗的公主被綁在岩石上，成為大海怪鯨魚的祭品。原來是因為王后到處炫耀自己與女兒的美色，勝過海中的女神們，得罪了海神。海神波賽頓發動海嘯懲罰這個國家，最後更要求將公主當做祭品。柏修斯以砍下的梅杜莎人頭讓海怪變成石頭，救起了公主，而後與公主過著幸福美滿的生活。而在英仙座與仙女座附近，就圍繞著飛馬座、仙后座與仙王座，以及不遠處的鯨魚座，這就是屬於秋季王族星座的故事。

十月活動主題：

10月08日(周六).....星座愛的故事-天秤座

10月22日(周六).....星空中的王室家族

十一月活動主題：

11月12日(周六).....星座的冒險故事-天蠍座

11月26日(周六).....星座愛的故事-蛇夫座

十二月活動主題：

12月10日(周六).....星座的冒險故事-人馬座

12月24日(周六).....歲末特別活動

孫桂琴:臺北市立天文科學教育館「星姊姊說故事」志工



天機不可洩漏

常言道：天機不可洩露。這句話是大家再熟悉不過的日常生活用語了，尤其是想故弄玄虛時更是好用。但仔細想想，這個詞組合，不免對於「天機」這兩個字產生疑惑？為何「天機」不可洩露？

「天機」指的又是什麼？天底下真的有秘密神秘到如此不可洩漏的地步？任何秘密都會有解密公布答案的時間，獨獨天機這個秘密，可沒有解密的時間。今天就來為各位揭曉真正的「天機不可洩漏」！

其實這句話可是相當天文的，而且還是蘊藏非常厲害的中國漢代「天文尋星的技巧」，保證你一定不會相信，看完這一篇，你一定會認同「天機一定不可洩漏」。

要解釋這句話，首先要從揭露「秘密」開始，天底下到底有什麼樣的秘密，是如此不可以洩露的呢？這裡的秘密指的是「個人的秘密」？還是「國家的秘密」呢？當然！如此重大的秘密，一定是國家級的囉！每個國家都有許多不能為人所知的秘辛，而其中那些是最為重要的呢？是國防？外交？內政秘辛？還是百官汙吏？司法人員瀆職？抑或是天災？寒害呢？雖然以上都夠「八卦」，但相信聰明的讀者，一定馬上可以猜出來，其中最重要的莫過於「軍事機密」了，這可是攸關整個國家的興亡。沒錯，此天機蘊藏著與戰爭有關的秘密。

翻開中國夏商周秦漢歷史，整個中國古代歷史的興衰與更替，都和北方民族南向侵略的戰爭息息相關。如果能夠在事先知道侵略時機，並且做好萬全準備，就可以適時地避免戰爭發生。所以，北方民族南侵的時機，是一件非常重要的機密，它關係到整個國家的生死存亡。而想要打贏勝仗，除了戰時必須要有充足「軍需物資」，也要有「戰術戰略」。但就算打贏勝仗，往往也會

造成百姓大量的死亡，和財務上嚴重的損失。因此，要做到「能打」、「能戰」、「能勝」且在人員物資損失最少，才是真正的勝戰。

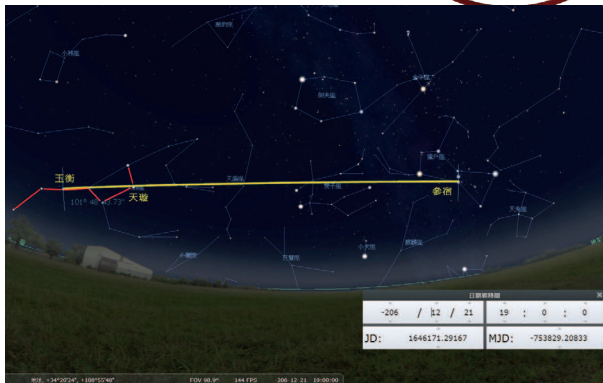
在歷史上，各軍事專家共通認為要做到如此，最有效的方法，就是「能預知戰爭發生的時間」，並且能在發生戰事前，把戰爭所需軍需物資做好萬全的準備，以及事先做好致命的埋伏。如此對南侵的敵人做一個出奇制勝的一擊，使北方民族慘敗，這是每個君主皇帝夢寐以求的方法。而這個預知北方民族南侵時機能力，到了西漢末期，發明「斗綱建月」天文曆算方法，才漸漸的被發展出來。

中國在經歷夏商周秦漢這數千年的時間，統計後發現，每次北方民族南向侵略時，在黃昏時刻，東方偏南地平線上總會出現一顆亮星，因此後人將這顆亮星的名字，用北方民族來稱呼它。就如遇到來自非洲的外國人，我們會用他的「來源地名稱」非洲，來稱呼他為非洲人般。而這顆亮星，就是入夜後的第一亮的恆星【天狼星】，用「狼」這個字，是因為漢代主要的北方民族為匈奴，匈奴人的聖山為肯特山，漢書中稱為狼居胥山，狼居胥山是黑龍江上游鄂嫩河和克魯倫河的兩河發源地，這個區域是匈奴人主要活動區域，所以漢代常用「狼」來代表匈奴，天狼則是指匈奴人。同樣在北宋蘇軾《江城子·密州出獵》詞中「會挽雕弓如滿月，西北望，射天狼。」也可以在【天狼星】附近看到【弧】、【矢】兩星官。

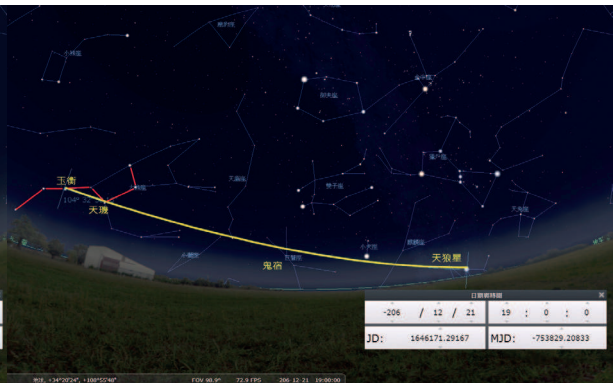
中國西漢發明「斗綱」天文尋星方法，最初被用來預測生活上的時節月份與日期。例如，判斷過年的指標星官—參宿，在西漢司馬遷《史記·天官書》中，有「魁枕參首」字詞來找尋參宿。大家不覺這個詞很奇怪嗎？為何「魁枕」與「參首」並列，到底是有何用意？其實「魁枕參首」是漢代發明的尋星方法。首先，先解釋「魁枕」是什麼？很多古書將「魁枕」意指北斗七星中【天璇】、【天機】兩星，但根據個人的研究，「魁枕」指的應該



PDF Compressor Free Version



魁枕參首



天機不可洩漏

只有北斗七星中【天璇】，而沒有【天璣】。讓我們再複習一下，上期提到過西漢最偉大天文發明「斗綱建月」，斗綱以【玉衡】為中心，由【天樞】經【玉衡】到【搖光】這三顆星星連線為「斗綱」。同樣的方法，只要從【玉衡】往【天璇】方向連線延長，便可以找到代表一年開始三陽開泰的三陽（參宿腰部三星）的第一顆參宿一，這便是「魁枕參首」這句話的用意。

由於西漢長久以來遭受北方匈奴鐵騎連年南侵騷擾邊境，因此，當時太史令常想，若能將「斗綱建月」這個預測時間的方法，也同樣運用在預測匈奴南侵騷擾時間，這樣便可以在發生戰事前通知皇帝。有充足時間徵調軍需物資，並對人員軍隊加以訓練，是戰勝不二法門，看到這，大家一定會想到過去在《台北星空》第55期〈當季星空〉專欄中，曾經提到有一個與軍需物資準備有關的星官【鬼宿】，在【鬼宿】『積屍氣』旁邊的四顆星官，「積兵」、「積糧」、「積馬」和「積秣」，代表準備軍需物資。國家開始對百姓徵調戰爭所需兵糧馬秣，並加以調教管理，對於人員、馬匹精實訓練成為一支虎賁軍隊，並提前將軍隊帶到匈奴南侵騷擾路上做致命性埋伏，便可獲得空前大勝利，同時也能使匈奴慘敗，再也無力南侵騷擾。

於是太史令發現了預知代表北方民族南向侵略的時間【天狼星】升起的方法，只要從【玉衡】往【天璣】方向連線延長，便能找到【天狼星】的位置。而其中神奇的是，在這條連線途

中，它經過了準備軍需物資星官【鬼宿】，這星官與【天狼星】同出現在一個季節的星空，在古代兵書《青山隱逸叢書》中就提到這兩個是與戰爭相關的星官。這的確是一個十分神奇的秘密，而這個秘密關係到整個中國國家生存戰爭勝敗關鍵。那麼你覺得還可以輕易地洩漏這神奇的方法嗎？當然是不可以的囉！所以，以【天璣】尋找代表北方民族南侵時機的【天狼星】方法是絕對不可以洩漏！【天璣】不可洩漏！「天機不可洩漏！」。在初春晴朗無雲的夜晚，不妨可以試試看，由北斗七星【玉衡】往【天璇】尋找【參宿】，【玉衡】往【天璣】連線找【天狼星】。下期將介紹「子虛烏有」，子虛為何又烏有呢？請靜待下期揭曉！

星官位置：以大清欽定典圖為參考依據

- 【天樞】、【天璇】、【天璣】、【玉衡】、【搖光】星官：位於大熊座
- 【天狼星】、【弧】、【矢】星官：位於大犬座
- 【參宿】、【觜宿】星官：位於獵戶座
- 【鬼宿】星官：位於巨蟹座

參考資料：

1. 《四庫全書史部史記天官書》
2. 《四庫全書史部隋書天文志》
3. 《四庫全書子部天文算數類靈臺秘要》

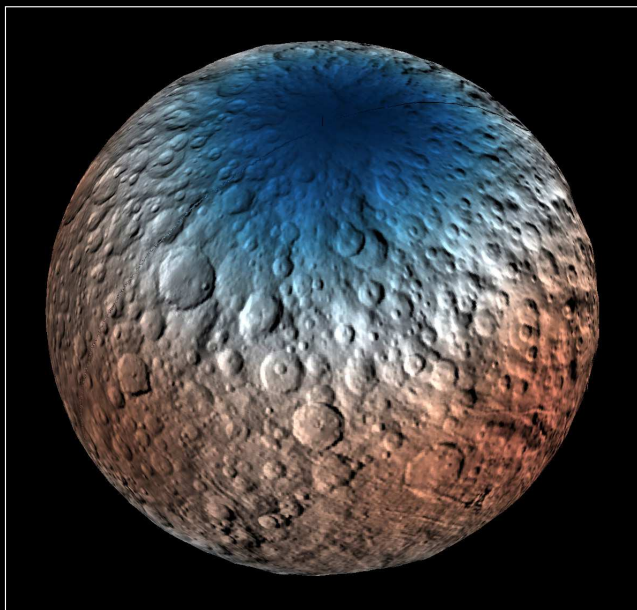
趙瑞青：任職於臺北市立天文科學教育館
施炫呈：臺北市立天文科學教育館志工

穀神星神秘亮點

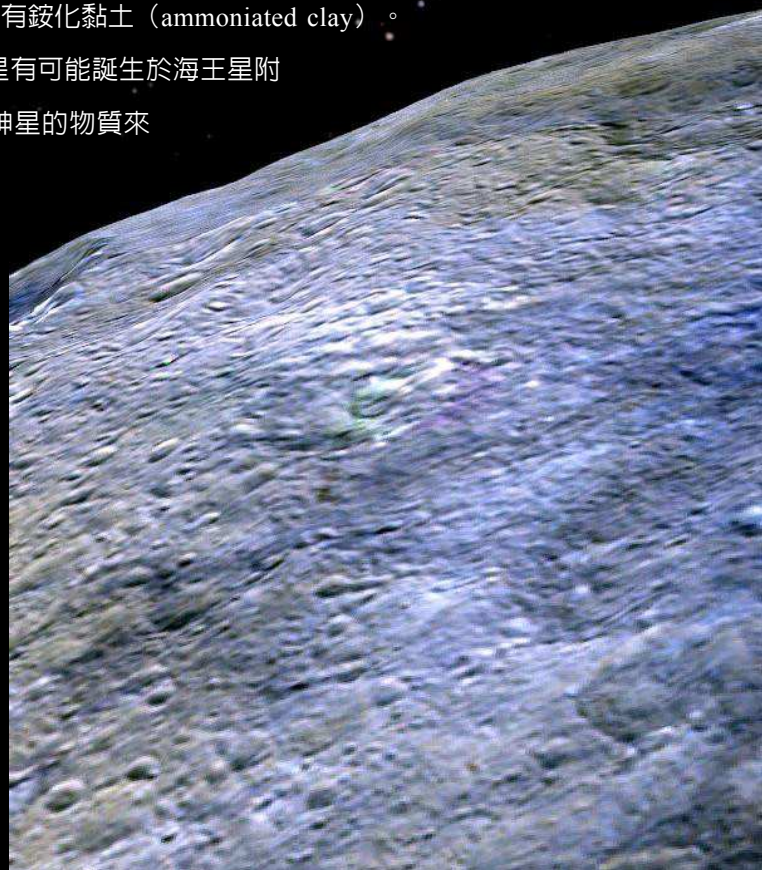
曙光號在2011至2012年環繞灶神星14個月之後，在2015年3月6日抵達穀神星，成為第一個拜訪並繞行矮行星的太空任務。穀神星是太陽系主小行星帶中最大的天體，直徑達950公里，它的質量佔小行星帶總質量的三分之一。

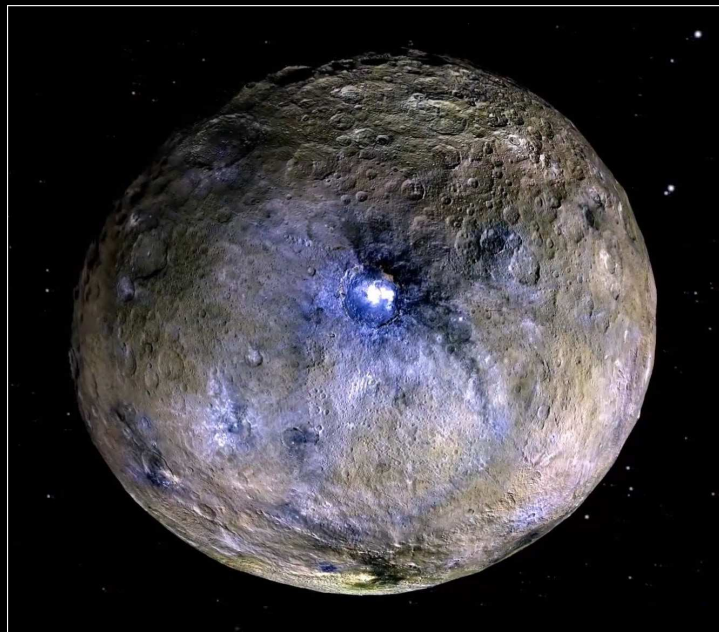
穀神星奇特之處是擁有神祕的亮斑，曙光號已發現130個，其中最明亮的亮斑出現在92公里寬，4公里深的Occator隕石坑中心。科學家認為明亮物質是名為六水鎂礬($MgSO_4 \cdot 6H_2O$)的瀉鹽，可能淺層的冰、鹽混合層，經過撞擊後暴露出來。

此外，透過曙光號的 γ 射線與中子偵測器 (GRaND)，顯現出氫原子在穀神星淺層一米深分布狀況。其中藍色標示可能為高水分子比例區域，棕色為低水分區域。初步分析，顯示在穀神星高緯區仍分佈較大量的水冰。此外，穀神星上也含有銨化黏土 (ammoniated clay)。由於銨通常分布於太陽系外側的天體，因此穀神星有可能誕生於海王星附近，之後才向內遷移到小行星帶中，或是形成穀神星的物質來自於太陽系的外側。

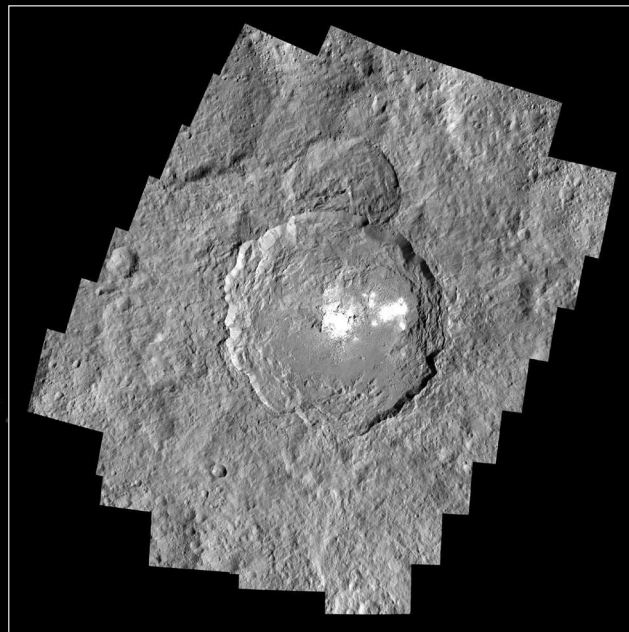


γ 射線與中子偵測器 (GRaND)，藍色標示可能為水冰區域





最明亮的亮斑出現在Occator隕石坑

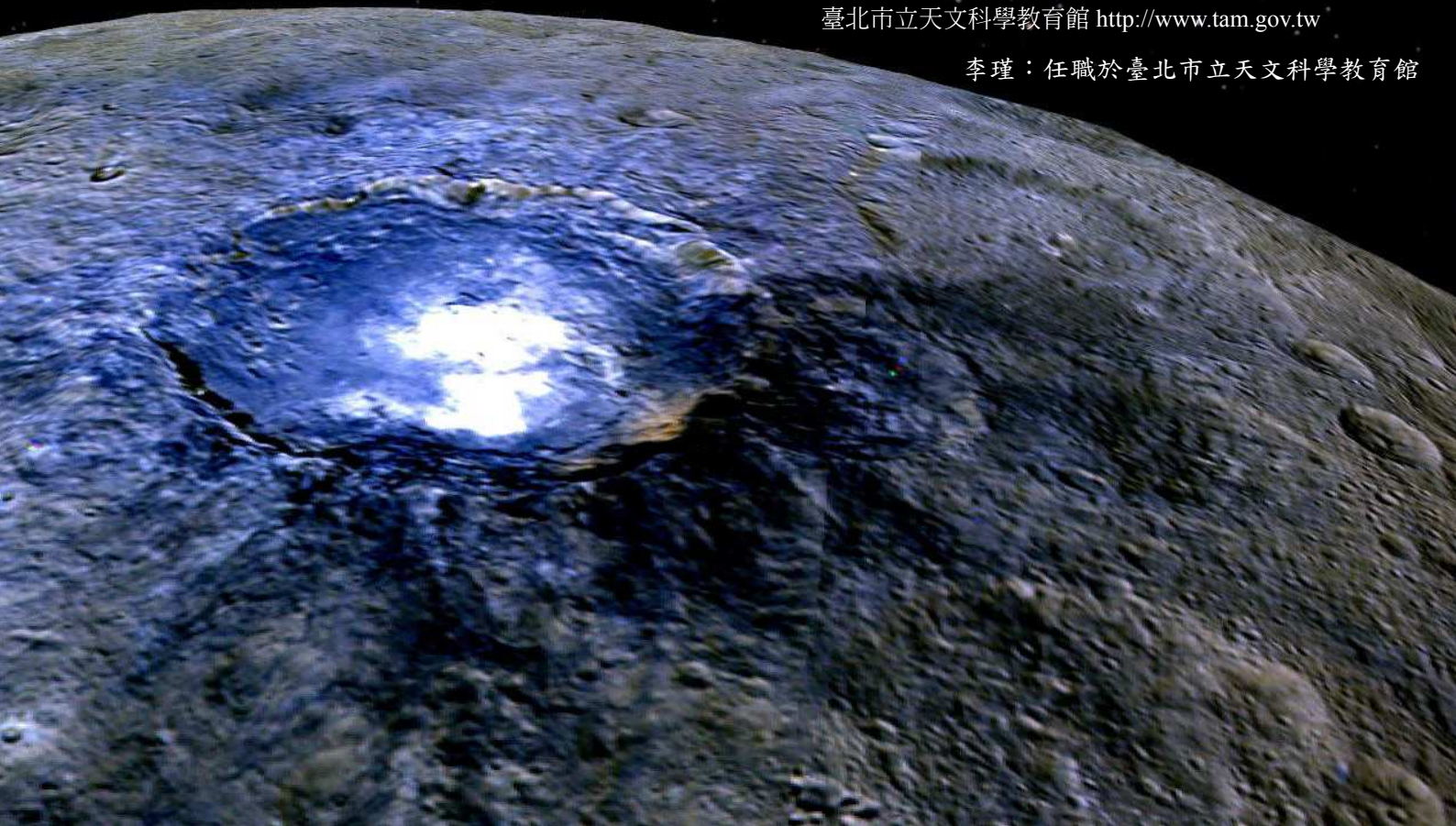


Occator隕石坑92公里寬，4公里深

參考資料: 曙光號任務 dawn.jpl.nasa.gov

臺北市立天文科學教育館 <http://www.tam.gov.tw>

李瑾：任職於臺北市立天文科學教育館



明亮物質可能是六水鎂礬

觀星 道遊 五分山



地圖來源：
Google 地圖

文/ 徐毅宏
圖/ 陳慶鴻

觀星導遊

臺北近郊觀星熱點



五分山是很好的觀星地點，天氣晴朗時滿天星斗，看見銀河也不是難事。如果星星看累了，還可以看看遠方海面上的漁船燈光。等到晚上過去，稍微堅持一下，還可以看看東方的日出。（陳慶鴻先生提供）

在夜晚仰望星空是多麼有趣，但在臺北市由於光害、地形氣候等等緣故，讓觀星成為一件不容易的事，這一期要重新回到山區，介紹位於東北角，山頂有著氣象雷達站的五分山。

海拔不高僅有757公尺的五分山，因東北角附近無高山遮蔽，視野廣闊，尤其西方至東南方幾乎無遮擋；周遭僅距基隆市區較近的北方略有光害。雖鄰近風景區，但傍晚之後幾無人車進入，可以說是除高山外觀星很好的地點。在氣候方面，與之前介紹的幾個地點類似，秋冬因受鋒面與東北季風影響天氣較為不好，且易有地形雨，夏季會是相對比較好的觀星季節。

五分山需經由106號縣道轉支線上山，距離臺北市區有一段距離且多為山路，所需時間長，建議開車上山較為合適，騎乘機車需注意安全。大眾運輸工具均無直接到達。

徐毅宏：臺北市青少年發展處 交流服務課課長
陳慶鴻：天文攝影同好



遠離市区的五分山是觀星的好地點，常常會有許多天文愛好者前往，圖中就是一次同好的「武裝演習」場景。由於只有一條道路上山，且五分山附近除了觀測站（夜間未開放）並沒有其他建築或設施，上山時請事先準備相關用品。

交通方便性



觀星精彩度



環境便利性





NGC 1333

黃榮正

時間：2015/12/14

地點：合歡山昆陽休息區

儀器：Takahashi EM200 Temma2，Takahashi Epsilon 130D

William Optics Star 71mm APO f/4.9

Nikon D800 ISO1600 ,360SesX60

DeepSkyStacker,RegiStar,Photoshop CC 影像處理

說明：天空裡的暗雲氣是天文攝影不容易拍攝的目標之一，NGC1333附近有著豐富的雲氣，利用兩隻望遠鏡同時拍攝增加曝光量，每隻望遠鏡各曝光三小時，累計共曝光六小時才將美麗的雲氣拍下來！

PDF Compressor Free Version

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

