

天聞

中華民國 114 年
夏季號



中研院天文所季報
ASIAA Quarterly Press
<http://www.asiaa.sinica.edu.tw>

從星辰到深海的 太陽系探索

太陽系太空探索的輝煌篇章

作者 周美吟

人類對太陽系的探索在本世紀已取得非凡進展！這些太空任務造訪了行星、衛星、小行星和彗星，揭密太陽系的過去、現在與未來，為了解宇宙的形成與演化提供豐富的資料。來自各國的太空機構正以前所未有的頻率將探測器送往各個行星與小天體，以下是筆者挑選數項近期具有代表性的任務：

行星與衛星的深度之旅

水星，這顆最靠近太陽的炙熱行星，一直以來都是太空探測的挑戰對象。美國國家航空暨太空總署（NASA）的信使號（MESSENGER）於 2011 年進入水星軌道，是首艘繞行水星的太空船。它詳細繪製水星表面地圖，顯示其豐富的火山地形、全球磁場的偏移，以及極地永久陰影區中令人驚訝的水冰分布，顛覆我們對這顆酷熱行星的認知。信使號的任務持續到 2015 年，最終墜毀在水星表面，完成其科學使命。

火星這顆紅色天體，自古以來就吸引著無數目光，至今已有超過 20 枚探測器成功著陸。其中 NASA 的毅力號（Perseverance）仍在火星表面執行任務，深入分析火星的地表和岩石結構，尋找古代生命跡象並採集樣本，這些樣本預計於 2030 年代由「火星樣本取回任務」

帶回地球。毅力號還攜帶機智號（Ingenuity），是首架在火星上進行動力飛行的直升機。目前也還有 7 個各國發射的軌道器仍繞行著火星，進行觀測任務。

作為太陽系中最大的行星，木星擁有強大的磁場、極端的氣候系統，以及超過 90 顆已知衛星。NASA 的朱諾號（Juno）自 2016 年抵達木星後，展開前所未有的近距離觀測，為我們揭開這顆巨行星的內部構造與動力學之謎。朱諾號以極橢圓軌道環繞木星，得以穿越極區並深入探測磁場與重力分布，暗示著木星核心可能比預期更大，甚至存在由氣體混合而成的模糊邊界。朱諾號還飛掠數顆主要衛星進行觀測，這些資料將為探討木星衛星的起源與是否具有生命潛力奠定基礎。



近年 NASA 主導或參與的行星科學太空任務。©NASA

土星的探索則由卡西尼 - 惠更斯 (Cassini-Huygens) 計劃書寫了輝煌的一頁。自 2004 年進入土星系統以來，當中的卡西尼號拍攝了壯觀的土星環影像，探究土星環中冰粒和塵埃的運動，並詳細觀測土衛二 (Enceladus)、土衛六 (Titan) 及其他衛星。其中土衛二表面噴發出的水蒸氣和有機分子，讓科學家推測其地下可能存在液態水海洋；土衛六是唯一擁有濃厚大氣層的衛星，卡西尼號發現其地表有由甲烷和乙烷組成的湖泊和河流。計畫中的惠更斯號還成功在土衛六著陸並傳回資料，是首具在外太陽系天體完成登陸的探測器。

穿越遙遠邊疆：冥王星的初次特寫

現歸類為矮行星的冥王星曾經是太陽系九大行星之一，但它的獨特地位仍然讓人著迷。新視野號 (New Horizon) 於 2006 年發射，2015 年首次近距離飛越冥王星，傳回超乎想像的細節影像。它揭示了冥王星表面的冰火山和地質活動，稀薄的大氣層由氮氣和甲烷組成，是一個活躍且充滿變化的冰冷世界。

小行星的秘密：隼鳥號與歐西里斯號

小行星就像太陽系的活化石，保留早期的原始物質，可以幫助我們回溯太陽系的誕生。在太陽系小行星的探索中，日本的隼鳥號與美國的歐西里斯號 (OSIRIS-Rex) 是研究亮點。隼鳥號和隼鳥 2 號 (Hayabusa & Hayabusa2) 分別成功從糸川和龍宮兩顆小行星取樣，歐西里斯號則前往小行星貝努，將樣本帶回地球，發現其中含有有機分子和揮發物，幫助我們了解太陽系的原始物質及生命起源。由本所尚賢研究員領銜組成的台灣團隊，經過多年努力，也在今年獲得龍宮小行星樣本進行分析，參與探索初始太陽系的前沿科學，結果讓我們拭目以待。

彗星追逐：羅塞塔號的壯舉

彗星由冰和少量岩石組成，被認為是太陽系最古老、最原始的天體。如果說卡西尼號是探索土星的先鋒，那麼羅塞塔號 (Rosetta) 則是追逐彗星的勇士，計畫目標是揭開彗星的秘密，讓我們更了解這些來自太陽系邊緣的「時間膠囊」。羅塞塔號於 2014 年到達 67 號週期彗星 (67P/Churyumov-Gerasimenko)，並成功釋放著陸器菲萊 (Philae)，首次完成彗星表面著陸。羅塞塔號發現彗星中

存在豐富的有機分子，甚至包括胺基酸的前體，這些物質可能與地球生命的起源有關。

未來的探索之路

未來，更多令人期待的太空任務正在展開。歐洲太空總署 (ESA) 與日本宇宙航空研究開發機構 (JAXA) 合作的貝皮可倫坡號 (BepiColombo) 於 2018 年發射，由 ESA 的「水星行星軌道器」與 JAXA 的「水星磁層軌道器」組成，目標是深入研究水星的地形、組成、磁場與磁層結構。貝皮可倫坡號已在 2021 年首次飛掠水星，預計將於 2025 年進入穩定軌道並展開長期觀測。這項任務將延續信使號的成果，進一步解開水星的地質與磁場之謎，探討類地行星的演化。

2023 年 ESA 發射的木星冰衛星探測器 (JUICE) 和 2024 年 NASA 發射的歐羅巴快船 (Europa Clipper)，將深入探索木星冰封衛星的潛在宜居環境，尤其是有地下海洋和表面裂縫的木衛二 (Europa)。新一代小行星任務如露西號 (Lucy) 與靈神星軌道器 (Psyche)，也將持續揭開太陽系的祕密。這些計畫不僅讓我們更了解宇宙的演化，也將推動人類技術與智慧的進一步發展。

每一次探索，都讓我們更接近解答那些古老的問題：我們從哪裡來？我們是否孤單？而你，或許就是下一個書寫太空探索新篇章的人。



新視野號拍攝到的冥王星高解析度彩色影像。©NASA/JHUAPL/SwRI



韋伯太空望遠鏡拍攝的木星、土星、天王星、海王星。

©NASA/ESA/CSA/STScI/R. Hueso (UPV)/I. de Pater (UC Berkeley)/T. Fouchet (Observatory of Paris)/L. Fletcher (Univ. of Leicester)/M.H. Wong (UC Berkeley)/J. DePasquale (STScI)/Matthew Tiscareno (SETI Institute)/Matthew Hedman (University of Idaho)/Maryame El Moutamid (Cornell University)/Mark Showalter (SETI Institute)/Leigh Fletcher (University of Leicester)/Heidi Hammel (AURA)



歐羅巴快船任務

作者 許翔聞 任職於科羅拉多大學 / 歐羅巴快船號表面塵埃分析儀的副主持研究員

歐羅巴：行星科學界的海洋之星

2024 年 10 月 14 日，美國國家航空暨太空總署 (NASA) 最新的旗艦級行星探測任務『歐羅巴快船號』(Europa Clipper) 自佛羅里達州卡納維拉角 (Cape Canaveral) 甘迺迪太空中心升空，搭乘 SpaceX 的重型獵鷹火箭前往木星系統。開啟了自 1610 年伽利略發現四顆環繞木星的衛星以來，人類探索歐羅巴 (木衛二) 的新高峰。

歐羅巴是四顆伽利略衛星中最小的一顆，大小與月亮相仿，約 3.6 天環繞木星一圈，軌道半徑約 67 萬公里。即使在光害嚴重的城市裡，用雙筒望遠鏡或小型天文望遠鏡就能觀測到伽利略衛星及木星的壯麗身影。

依據航海家太空船 (Voyager 1、2) 1979 年飛掠傳回的高解析度照片以及後續伽利略任務 (Galileo mission, 1995–2003) 的觀測，行星科學界普遍認為，在歐羅巴遍佈複雜地質結構的表面冰層與其矽質核心之間，存在著厚達 100 公里的液態水海洋。近年，越來越多觀測證據顯示，木星與土星等巨行星對其衛星產生的潮汐加熱作用遠比預期複雜，甚至能促使表面冰層下形成穩定的液態海洋。如歐羅巴般存在地底液態海洋的衛星數量遠高於預期 (譬如土衛二 Enceladus)；這類具備地底液態海洋的天體，現今統稱為『海洋世界』

(Ocean Worlds)。液態水是類地球生命存在的必要條件之一，歐羅巴及其他太陽系的海洋世界也因此成為研究行星系統起源、動力學演化、以及天文生物學的首要探索目標。

探索『海洋世界』的歐羅巴快船號任務

為深入了解這片神祕的地底海洋，歐羅巴快船號任務的核心目標，是探索歐羅巴表面冰層的地質結構、化學組成、以及衛星內部構造，包含冰層厚度、海洋深度及性質。為了減少木星磁球層的高輻射劑量，歐羅巴快船號將會繞行木星而不是歐羅巴；在為期四年的主任務期間 (2030 年至 2034 年)，歐羅巴快船號將有四十多次近距離飛掠量測歐羅巴的機會，能全面繪製歐羅巴的地質樣貌，以及觀察物理、天文化學等現象。為達成這些科學目標，歐羅巴快船號搭載了十組科學儀器系統：

- EIS (Europa Imaging System) 影像系統將擷取高解析度影像以研究表面性質及其經歷的地質活動；
- MISE (Mapping Imaging Spectrometer for Europa) 紅外線光譜儀將搜尋表層冰中之有機物質、鹽及水合物組成；
- E-THEMIS (Europa Thermal Emission Imaging System) 熱紅外成像儀負責尋找表面相對高溫區域以探測可能的現存地質活動；
- Europa-UVS (Europa Ultraviolet Spectrograph) 紫外線光譜儀著重在觀測表面冰層及外氣層成分；
- REASON (Radar for Europa Assessment and Sounding: Ocean to Near-Surface) 透地雷達除了搜尋冰下液態水層的存在，也會用來研究表面冰層及外氣層特性。
- ECM (Europa Clipper Magnetometer) 磁力儀及 PIMS (Plasma Instrument for Magnetic Sounding) 電漿儀器將於近距離飛掠時，量測歐羅巴地底海洋感應木星磁場的擾動以研究海洋厚度及其導電性質、電解質含量；
- MASPEX (Mass Spectrometer for Planetary Exploration) 氣體質譜儀以及 SUDA (Surface Dust Analyzer) 表面塵埃分析儀分別會偵測釋放自表層的外氣層氣體分子、以及微隕石撞擊激起的噴發物，用以研究可能源自地下海洋的有機物和鹽分；
- 重力及電波科學研究 (Gravity & Radio Science) 則會使用太空船傳訊電波受到的都卜勒效應來量測歐羅巴的重力場、用以推測其內部結構。

歐羅巴快船號計劃的科學目標，並非專注於直接偵測外星生命，而是從更宏觀的行星科學角度來觀察、理解歐羅巴的物理化學環境，從全方位了解歐羅巴地底海洋的適居性（Habitability）。這樣的目標乃是建立於目前的人類太空探索科技、研究經費、以及對搜索外星生命的學術理解之間的平衡策略。從另一個角度來看，不論人類最終能否在歐羅巴地底海洋中發現生命跡象，歐羅巴快船號的研究也能提供珍貴的線索、用以推斷生命存在及演化的必要條件。

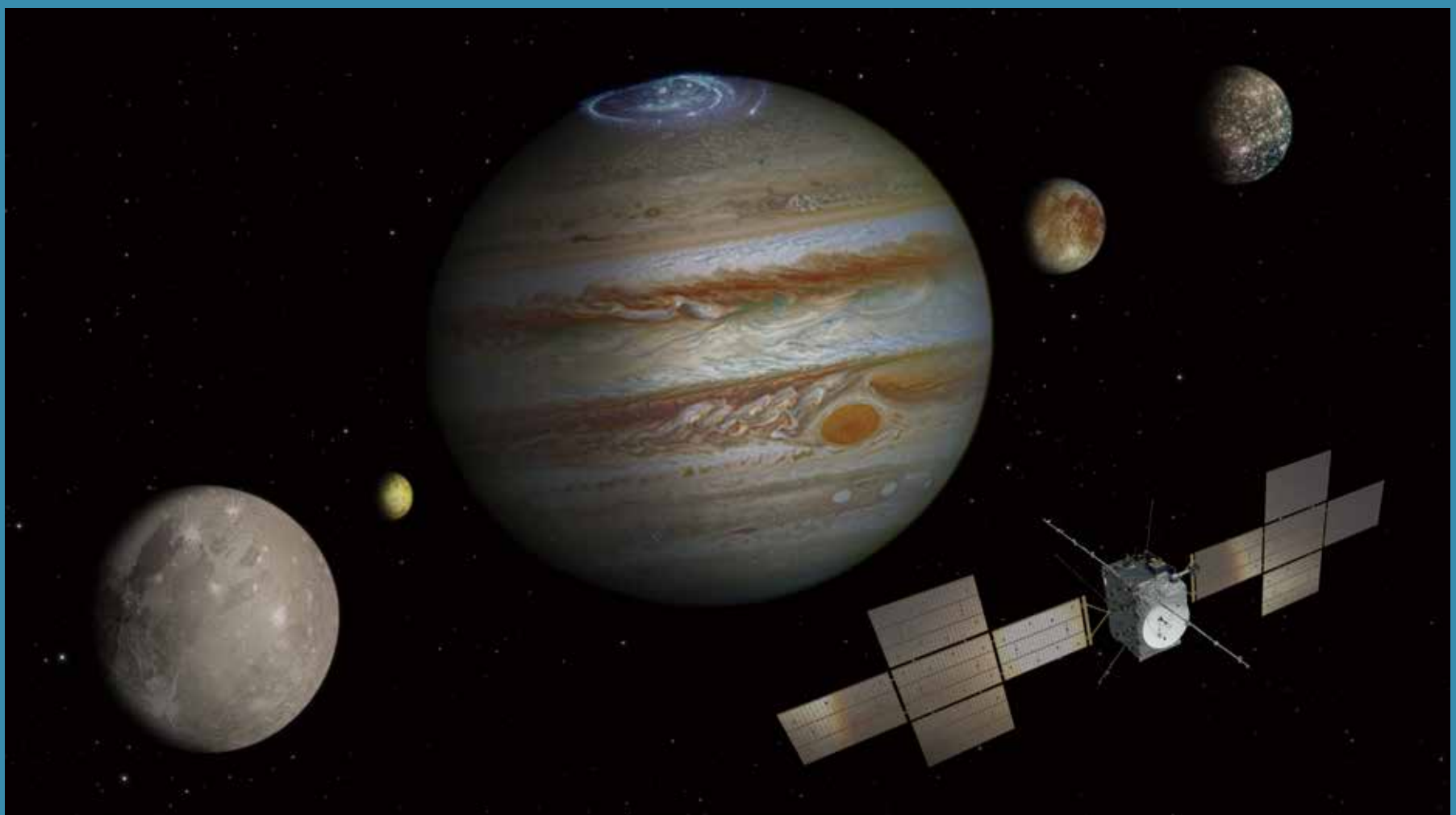
一加一大於二

相較於專注在歐羅巴，歐洲太空總署（European Space Agency）於 2023 年發射的木星冰衛星探測船 JUICE（Jupiter Icy Moons Explorer）將會對木星系統有全面性的研究，並會於任務最終期進入環繞木衛三（Ganymede）的軌道，對全太陽系最大的衛星進行近距離高解析度觀測。兩大太空總署的旗艦任務——歐羅巴快船號以及木星冰衛星探測船——將先後於 2030 及

2031 年抵達木星開始研究。儘管這兩大任務的科學目標不盡相同，其間的協同觀測機會可用來探討特定現象之時間或空間變化。譬如：歐羅巴可能的冰火山噴發、或是木星磁球層結構——兩台探測器可以近距離從不同角度觀測，是外太陽系探索前所未有的罕見機會！這兩大旗艦任務之間的國際科學交流及合作，更能作為新生代行星科學家成長、學習的平台。



歐羅巴快船號示意圖。©NASA/JPL-Caltech



木星冰衛星探測船示意圖。© ESA/ATG medialab/NASA/J. Nichols (University of Leicester)/JPL/University of Arizona/DLR

五年後的行星科學

考慮其形成環境和我們熟悉的地球迥然不同，研究巨行星以及其衛星系統提供了科學界更寬廣的視野來理解太陽系的形成，以及宇宙中生命的可能演化過程。探測外太陽系的海洋世界天體將提供前所未有的新觀測及理論，絕對是未來十數年行星科學的重要課題。五年後抵達木星系統的歐羅巴快船號和木星冰衛星探測船任務將是個新世代的開端，而行星科學、太空科學、以及天文生物學將會更緊密的結合。值得一提的是，對於資料量相對局限的外太陽系研究來說，跨領域研究知識與能力的重要性並不會

隨著人工智慧的發展而降低；相反地，聯想思考的能力以及宏觀性的科學素養更會是推進創新的必要條件。

從歐羅巴出發的未來探索視野

歐羅巴快船號雖然聚焦於木衛二，但它所承載的意義遠遠超出一顆衛星的研究。這項任務也為未來的深空探測技術打下基礎，包括太陽能在外太陽系應用的極限挑戰、高輻射環境下電子儀器的可靠性、以及精準軌道操控與通訊能力的實踐。這些經驗將有助於人類日後前往其他海洋世界，像是土衛二或土衛六

（Titan）等更遙遠的天體。此外，歐羅巴快船號的觀測資料也可能為後續的登陸任務鋪路，例如 NASA 曾提出的概念任務「歐羅巴登陸器」（Europa Lander），其目標是在冰層表面直接採樣並分析物質成分。從軌道飛掠到實地探測，歐羅巴代表的是一條從遙測邁向直接證據、由想像走向發現的探索之路。自古以來，人類從自然中的山水花草鳥獸學習、求知、汲取靈感，這與歐羅巴快船號對歐羅巴地底海洋的探索在本質上並無區別。當我們在星辰之間尋找另一個可能孕育生命的地方時，歐羅巴或許正是最接近答案的一站。



歐羅巴的地底液態海洋想像圖。和其他許多海洋世界相比，歐羅巴的特別之處在於其地底海洋相鄰於其岩質核心，海水與岩質物質的交互作用可能為提供生命發展及演化的可能條件。©NASA/JPL-Caltech

天聞季報編輯群感謝各位閱讀本期內容。本季報由中央研究院天文所發行，旨在報導本所相關研究成果、天文動態及發表於國際的天文新知等，提供中學以上師生及一般民眾作為天文教學參考資源。歡迎各界來信提供您的迴響、讀後心得、天文問題或是建議指教。來信請寄至：「臺北市羅斯福路四段1號 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11樓 中央研究院天文所天聞季報編輯小組收」。歡迎各級學校師生提供天文相關活動訊息，有機會在天聞季報上刊登喔！

發行人 | 彭威禮 執行主編 | 周美吟 美術編輯 | 王韻青、楊翔伊 執行編輯 | 曾耀寰、劉君帆

發行單位 | 中央研究院天文及天文物理研究所 天聞季報版權所有 | 中研院天文所 ISSN | 2311-7281 GPN | 2009905151

地址 | 中央研究院 / 臺灣大學天文數學館 11樓（臺北市羅斯福路四段1號） 電話 | (02) 2366-5415 電子信箱 | epo@asiaa.sinica.edu.tw

