

近年來的太空 任務與發現

探索太陽系的奧秘

文/ 許仁愷

歐羅巴快船（Europa Clipper）。圖片來源：NASA

探索的開端

自20世紀中期以來，隨著科技的飛速發展，人類太空探索邁入了新的階段。1957年，蘇聯成功發射了史普尼克1號（Sputnik 1），開啓了太空競賽，隨後美國的阿波羅計畫（Apollo）成功將人類送上月球，奠定了現代太空探索的基礎。隨著航太技術的發展，行星際探測任務成為了解太陽系結構和演化的重要手段。

深入日冕、太陽風 和磁場的奧秘

太陽探測的故事可以追溯到20世紀的NASA先鋒系列（Pioneer），這些探測器首次近距離觀察到太陽風和磁場，為我們打開了認識太陽的全新視野，並提供了關鍵的科學數據。隨後，太陽神號

（Helios）在1970年代觀測了日冕物質拋射和日冕洞，讓我們更了解太陽的活動。1995年，歐洲太空總署（ESA）與美國太空總署（NASA）合作的太陽及太陽圈探測器（Solar and Heliospheric Observatory, SOHO）持續提供多波長的太陽觀測數據，監測太陽風暴，並發現了數千顆掠日彗星。

近年來，帕克太陽探測器（Parker Solar Probe）於2018年發射，成為首艘深入日冕的探測器，目的在解答為何日冕溫度遠高於太陽表面，以及太陽風如何加速等長久未解的問題。帕克太陽探測器進入距太陽表面僅600萬公里的區域，首次看到「磁場翻轉」（switchbacks），為太陽風加速提供了新的解釋。同時，太陽軌道飛行器（Solar Orbiter）於2020年發射，專注觀測太陽極地區域，拍攝的高解析度影像首次捕捉到表面微小的「營火」（campfires）現象，並提供了關於太陽磁場演化的重要資訊，對預測太陽週期和太空天氣影響有重大幫助。

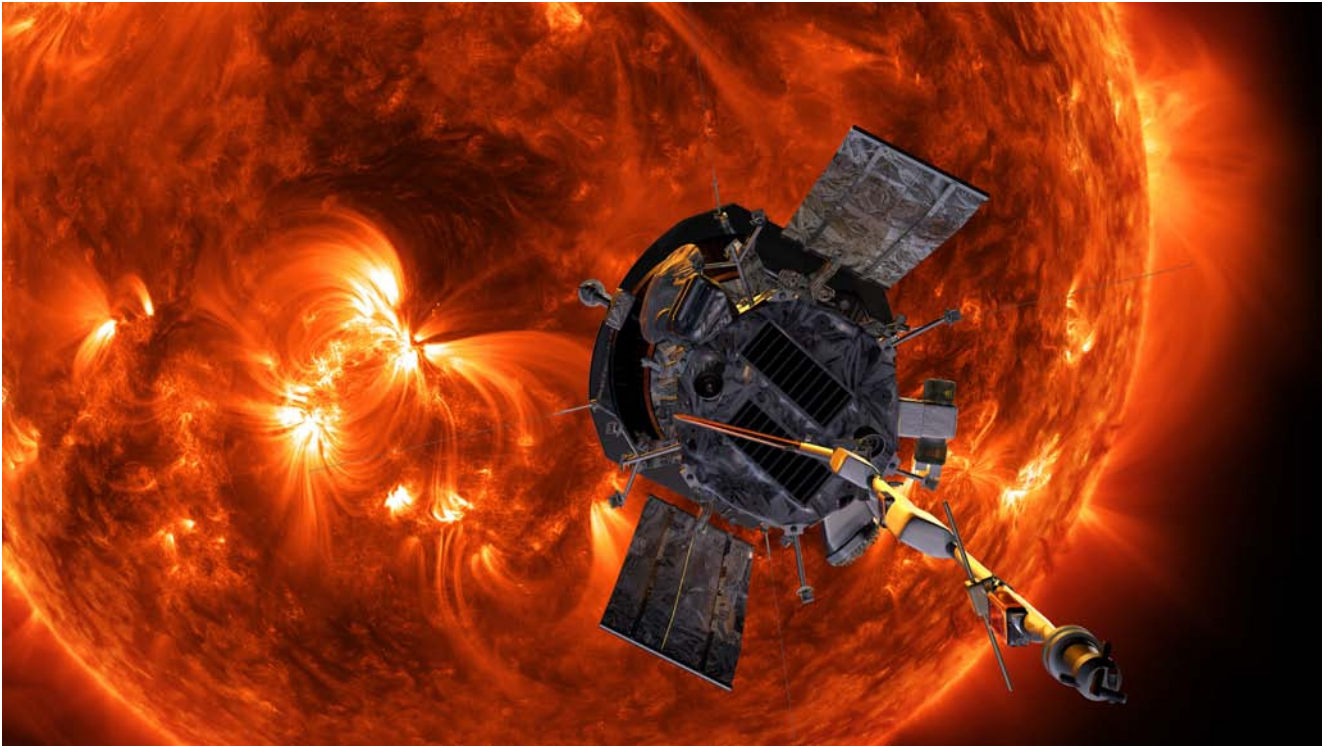


圖1. 帕克太陽探測器將於2024年12月24日挑戰「觸碰太陽」，以每小時70萬公里（195公里/秒）的速度飛越太陽，接近至距離太陽表面620萬公里，創下探測器速度最快且最接近太陽的紀錄。探測器將以高速穿越溫度高達1,400°C的環境，收集太陽環境的數據，這是太空探索中最具挑戰性和意義的成就之一。圖片來源：NASA

水星探索的新篇章

水星的探測歷史相對有限，主要的關鍵任務包括水手10號（Mariner 10）和信使號（MESSENGER）。信使號於2011年成為首艘進入水星軌道的探測器，詳細觀測了水星的地質結構、磁場以及極地水冰的分布，發現水星表面存在大量因撞擊形成的峽谷和斷層，並確認了其磁場是由內部活躍的金屬核心產生的。最新的貝皮可倫坡號（BepiColombo）由ESA和JAXA合作於2018年發射，預計2025年進入環水星軌道。該任務包含兩艘軌道器：水星行星軌道器（MPO）和水星磁層軌道器（MMO），將深入研究水星的地形、內部結構、磁場及外氣層，並測試廣義相對論在強引力場下的預測，重點關注過去的火山活動、地殼運動及大氣成分（鈉、氫），為探索水星的演化史提供全面數據。

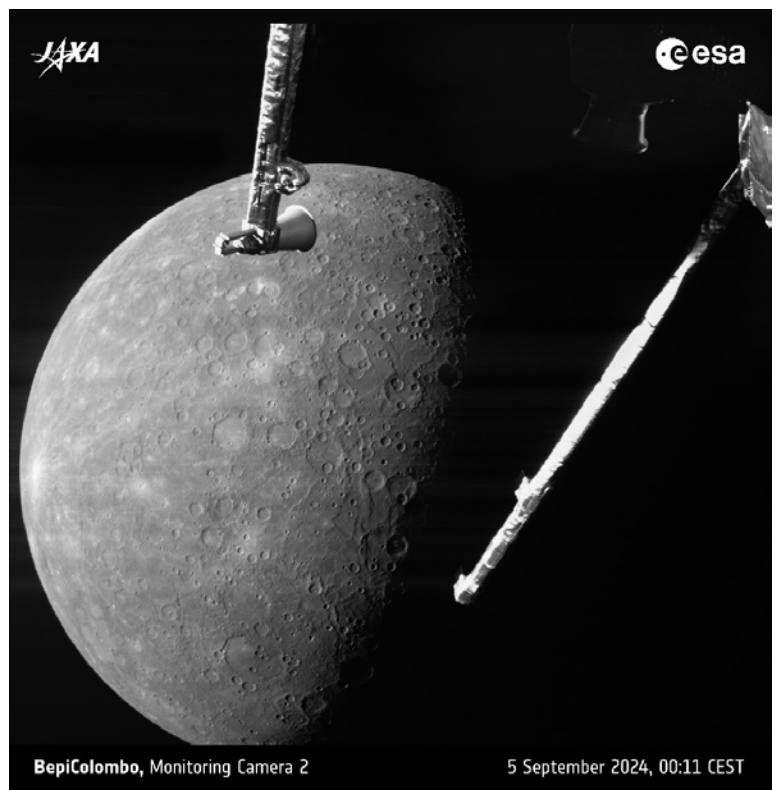


圖2. 貝皮可倫坡號在飛掠水星時拍攝的南極影像顯示，從未受陽光照射的隕石坑可能蘊藏著水冰。圖片來源：ESA



圖3. NASA即將展開的DAVINCI (Deep Atmosphere Venus Investigation of Noble gases, Chemistry, and Imaging) 與VERITAS (Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, and Spectroscopy) 任務將重新探索金星，尋找液態水的證據並研究極端氣候。DAVINCI將使用飛掠和下降探測器深入研究金星的雲層與表面，VERITAS則將繪製地形圖並分析地質活動。這是自1990年代以來NASA首次重返這顆地球的姊妹行星。圖片來源：NASA

未完待續的金星探索

儘管充滿挑戰，但人類從未停止對金星的探索。1960年代，美國的水手2號 (Mariner 2) 和蘇聯的金星計畫探測器 (Venera) 在極端高溫和高壓環境下，成功傳回寶貴的科學數據，讓我們得以了解金星的大氣組成和表面狀況。1989年，NASA的麥哲倫號探測器 (Magellan) 利用雷達技術穿透金星的濃厚雲層，首次繪製出詳細的金星地形圖，展現出火山地形和過去火山活動的痕跡。

重返月球之旅

自1959年蘇聯的月球2號 (Luna 2) 首次撞擊月球表面後，1969年，阿波羅11號 (Apollo 11) 成功將人類首次送上月球，並帶回大量岩石和月壤樣本，這些樣本至今仍是月球地質與演化研究的重要基礎。近年來，隨著技術進步和國際合作，月球探測再次成為焦點，並帶來重要科學突破。中國的嫦娥工程 (Chang'e Program) 自2004年啟動，成功實現多次軟著陸、繞月飛行以及樣本返回任務，特別是嫦娥五號 (Chang'e 5) 和嫦娥六

號 (Chang'e 6) 帶回的月球樣本，提供了大量關於月壤和地質結構的資料。同時，印度的月船1號 (Chandrayaan-1) 於2008年首次發現月球極地存在水冰的證據。2023年，月船3號 (Chandrayaan-3) 成為首個在月球南極軟著陸的探測器，用於研究極地環境和水冰。2009年發射的月球偵察軌道衛星 (Lunar Reconnaissance Orbiter, LRO) 繪製了月球的3D地圖，確認了極地水冰的存在，提供了月球資源開發的重要依據。這些探測結果確認了月球極地水冰和多樣的地質結構，有助於推進未來的資源開發和基地建設。



圖4.透過阿提米絲計畫，NASA將建造月球基地和環月球軌道的月球門戶 (Gateway)，讓機器人和太空人能進行更深入的探索與科學研究，標誌著美國重返月球的努力，也為未來的火星探索做好了準備。圖片來源：NASA

火星的水冰與生命之謎

自20世紀末以來，火星探測在地質特徵和適居性 (habitability) 研究方面取得了重大進展。2001年的火星奧德賽號 (Mars Odyssey) 發現火星表面存在水冰資源，並繪製了礦物分布圖。火星快車號 (Mars Express) 首次在火星大氣中探測到微量甲烷，引發了對火星上活躍地質或微生物活動的討論。精神號 (Spirit) 和機會號 (Opportunity) 探測車找到了火星曾經存在水的證據，而2008年鳳凰號 (Phoenix) 則在火星北極直接探測到水冰。

火星偵察軌道器 (MRO) 自2006年以來提供了前所未有的高解析度地表影像，幫助科學家精

確地分析火星地形特徵，並為其他探測任務提供導航資訊。火星大氣與揮發物演化任務 (Mars Atmosphere and Volatile Evolution, MAVEN) 觀測到火星大氣層逐漸變薄，解釋了火星如何從可能適宜生命居住的環境變為荒涼的沙漠。

好奇號 (Curiosity) 探測車在火星表面進行調查，發現古代湖床沉積物中含有硫酸鹽和黏土礦物，顯示火星過去曾存在持久的液態水環境。毅力號 (Perseverance) 在耶澤洛隕石坑 (Jezero Crater) 採集的岩石樣本中發現碳酸鹽礦物，暗示這些礦物可能形成於古老的水體中，記錄了火星早期的潮濕環境。此外，毅力號攜帶的機智號 (Ingenuity) 無人直升機成功完成了多次飛行，展示了在火星低密度大氣中進行空中探測的技術潛力。



圖5. 火星樣本返回任務將由毅力號 (Perseverance Rover)、樣本取回登陸器 (Sample Retrieval Lander)、火星上升載具 (Mars Ascent Vehicle)、樣本回收直升機 (Sample Recovery Helicopters) 及地球返回軌道器 (Earth Return Orbiter) 共同合作，完成首次從火星帶回樣本的歷史性任務。圖片來源：NASA

木星風暴下的秘密

自1973年先鋒10號 (Pioneer 10) 首次飛掠木星以來，木星探測不斷深入。隨後，先鋒11號、航海家1號和2號也進一步觀測木星，詳細描繪了木星的磁層、環系統和大氣結構。伽利略號 (Galileo) 是首個進入木星軌道的探測器，在1990年代發現了木衛三 (Ganymede) 擁有獨立的磁場和稀薄大氣層。卡西尼號 (Cassini) 和新視野號 (New Horizons) 在飛掠木星時獲取了有關木星大氣動態、風暴和極光的數據，為後續研究提供了更多視角和資料。

2016年，朱諾號 (Juno) 探測器進一步推動了木星研究。它發現木星風暴的深度遠超預期，大紅斑的深度達到350公里，這是過去觀測所未能發現的。朱諾號還拍攝了木星的極地氣旋，展示出木星大氣的複雜結構。此外，朱諾號的觀測表明，木星可能擁有由岩石和金屬氫構成的「模糊」核心，

這可能源自早期行星形成時的巨大碰撞，為行星形成和演化的理論帶來了新的挑戰和觀點。



圖6. 歐洲太空總署的木星冰月探測器 (JUICE) 將於2031年抵達木星系統，詳細觀測木星及其三顆大型衛星；木衛二 (Europa)、木衛三 (Ganymede) 及木衛四 (Callisto)。該任務將深入探索木星的複雜環境，並研究這些衛星的結構特性及其作為潛在生存環境的可能性。2034年12月，JUICE 將進入木衛三的軌道，展開近距離的科學探測。圖片來源：NASA

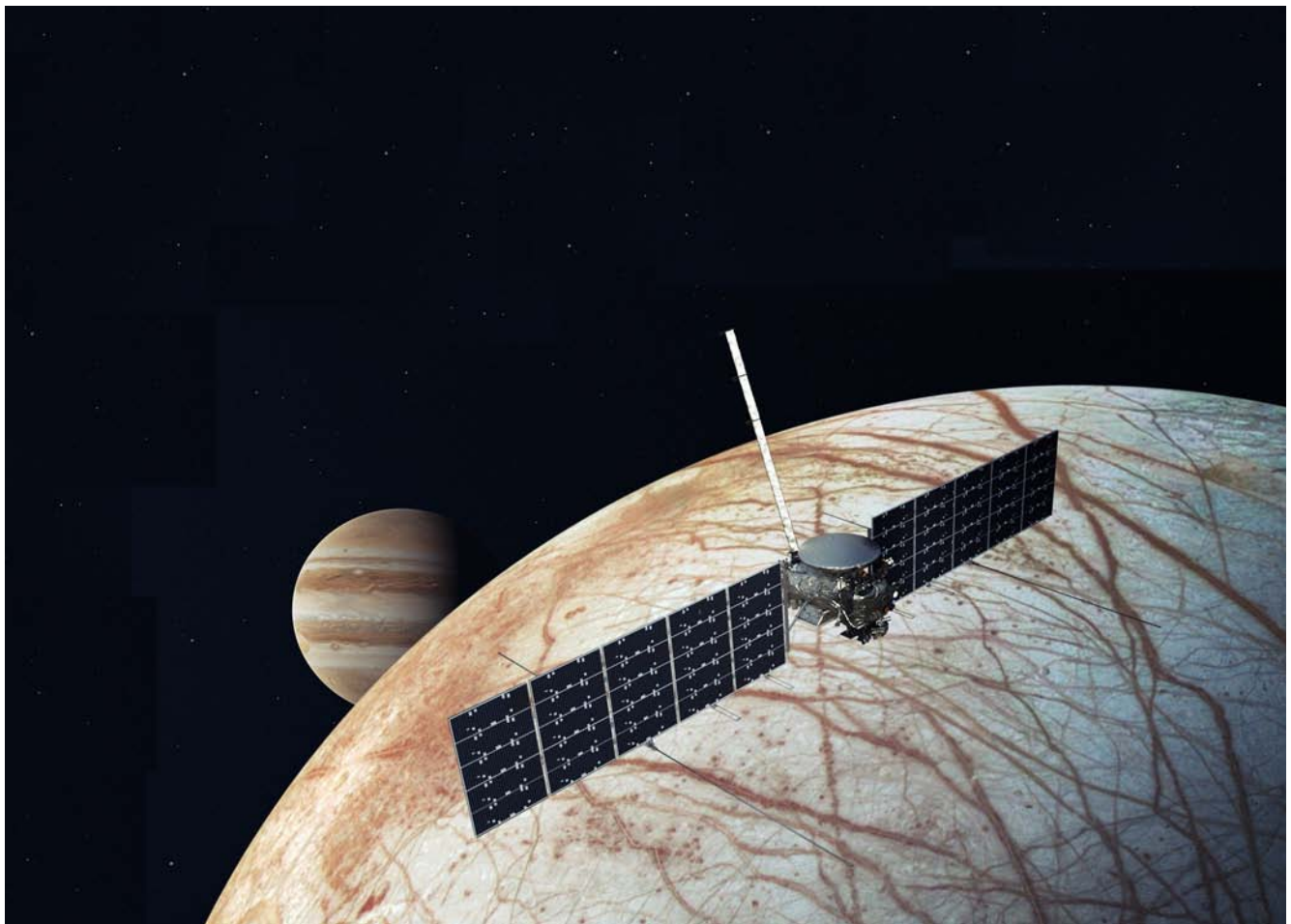


圖7. 已經於2024年10月14日發射的歐羅巴快船 (Europa Clipper)，將詳細的觀察木衛二 (Europa)，近距飛越觀測其冰層與液態海洋的跡象，探索適合生命存在的可能性。圖片來源：NASA

土星與冰下海洋的潛在生命

土星的首次探索始於1979年，當時先鋒11號成功飛掠土星，首次看到F環和環縫的結構。隨後，航海家1號和2號相繼飛掠土星，帶回了更詳細的環系統和衛星圖像。探測結果顯示，土星環由冰塊和塵埃構成，結構複雜多樣，包含多層的小環（ringlet）和螺旋密度波（spiral density wave）。航海家任務（Voyager）深入探測了土衛六（Titan）的氮氣和甲烷大氣，並首次發現有機分子形成的霧霾層，激發了對其生命潛力的研究。

土星探索的重大突破源自1997年發射的卡西尼號（Cassini），這項NASA、ESA和義大利太空總署（ASI）合作的任務於2004年進入土星軌道，展開13年的詳細觀測。卡西尼號發現土衛六（Titan）表面有液態甲烷湖泊，並透過惠更斯探測器（Huygens）成功著陸，確認了其表面存在液態甲烷與乙烷，並測量了大氣中的氣壓、溫度及主要成分，這些發現證實了土衛六上存在地球以外的液態環境，進一步加深了我們對其的理解。此外，卡西尼號在土衛二（Enceladus）發現了羽狀噴泉，證實冰層下存在全球性液態水海洋，成為尋找太陽系內潛在生命的重要依據。

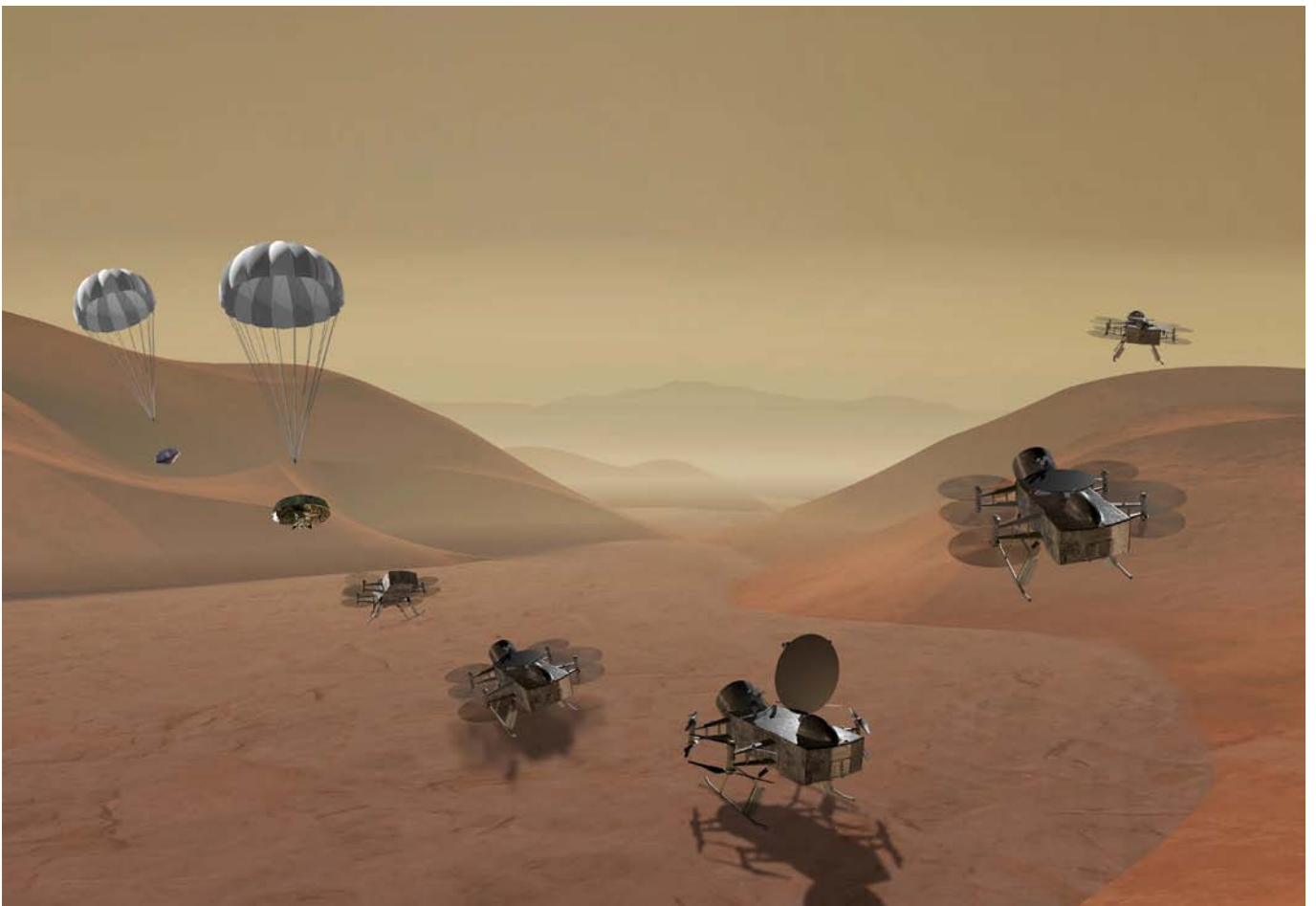


圖8. 預計於2028年發射的蜻蜓號（Dragonfly）任務，將在土衛六表面進行多地點探索，為尋找生命跡象及研究前生物化學進展提供關鍵資料。圖片來源：Johns Hopkins APL

天王星與海王星的新發現

天王星與海王星的探測主要依靠1980年代的航海家二號任務。1986年，航海家二號飛掠天王星，發現了10顆新衛星，觀察到其富含甲烷的冰冷大氣層和獨

特的磁場結構，並拍攝了五顆主要衛星和兩個新環帶的影像。1989年，航海家二號飛掠海王星，收集了大量有關其大氣層、環系統及海衛一（Triton）冰火山活動的數據。然而在此之後，對天王星和海王星的研究主要依賴於地面和太空望遠鏡的遠距離觀測。



圖9. 2022年，詹姆斯·韋伯太空望遠鏡對天王星(左)和海王星(右)進行了重要觀測，捕捉到天王星的多個環和衛星，詳細描繪了天王星環系統的多層結構。同年，JWST清晰呈現了海王星的大氣層及環系統細節，讓科學家得以更深入了解海王星的動態與結構特徵。圖片來源：NASA, ESA, CSA, STScI

冥王星的新視野

2015年7月，新視野號（New Horizons）經過9年的飛行，成為首艘近距離觀測冥王星的探測器。新視野號近距離的拍攝了冥王星及其最大衛星冥衛一（Charon（Charon））的影像，並繪製了詳細的地

質與地形圖，發現了如冰火山和巨大的氮冰原「史普尼克平原」（Sputnik Planitia）等複雜多樣的地形特徵。新視野號還測量了冥王星大氣層的逃逸速率和組成，發現冥王星表面有地質活動的跡象，包括冰火山和地表變化。

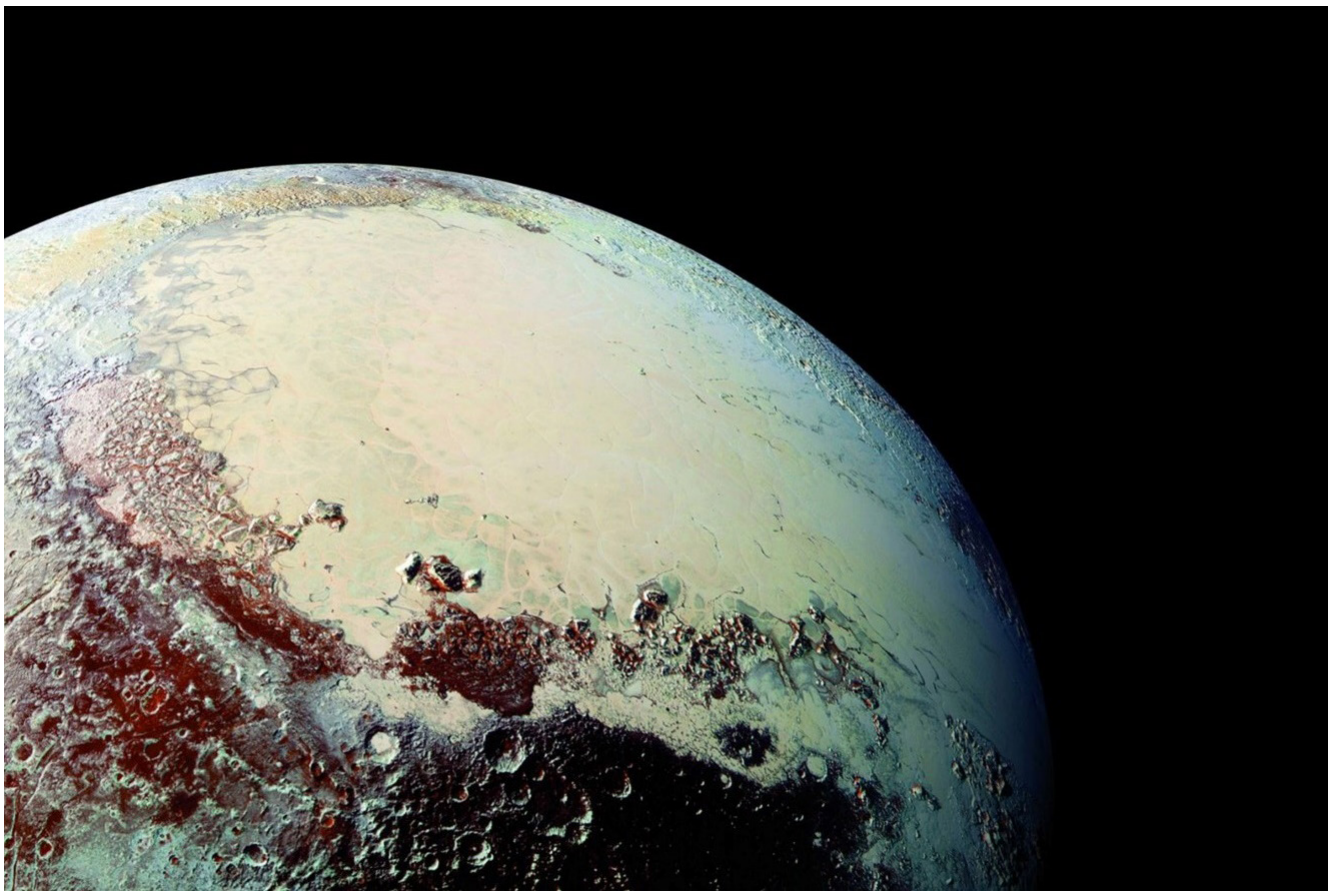


圖10. 新視野號LORRI相機於2015年拍攝的影像展示了冥王星的複雜地形，包含畫面下方深色的貝爾頓區（Belton Regio，舊稱為克蘇魯區Cthulhu Regio）和上方淺色的史普尼克平原，反映了冥王星的地質活動。圖片來源：S.A. Stern et al.

太陽系生命起源的線索

太陽系小天體的探測對於理解太陽系的起源至關重要，這些天體保存了早期太陽系的關鍵資訊。隼鳥二號（Hayabusa2）於2018年成功從龍宮小行星（162173 Ryugu）採集樣本並返回地球，讓科學家得以分析早期太陽系物質的組成。NASA的OSIRIS-REx任務於2020年從貝努小行星（101955 Bennu）採集樣本，並於2023年帶回，發現碳和水的存在，對於理解生命的可能起源和太陽系的化學組成具有重要參考價值。

羅塞塔號（Rosetta）對彗星67P（67P/Churyumov-Gerasimenko）的探測也取得了多項科學發現。菲萊登陸器（Philae）成功登陸彗星表面，首次測量了彗星的物理和化學特性，發現表面覆蓋著堅硬的冰層和多種有機分子，顯示彗星可能攜帶形

成生命的基本成分。羅塞塔號還觀察到彗星的噴氣活動，並研究這些活動如何隨彗星距離太陽的變化而變動，為彗星的物理性質和動力學特性提供了新數據，進一步解釋了其演化過程。

結語

自20世紀中期以來，人類不斷推進太空探索，從地球軌道到深入太陽系。這些任務帶來了令人驚艷的發現，從木衛二冰層下隱藏的海洋、土衛二南極噴發的冰冷羽狀噴泉，到火星曾經存在液態水的證據，這些發現挑戰並改變了我們對太陽系生命潛在環境的認識。隨著航太技術的進步和國際合作的加強，人類將邁向更遠的深空，開創新的太空時代。

許仁愷：中央大學天文研究所博士後研究



圖11. 預計於2026年到達的赫拉號（Hera）任務，將成為全球首艘探訪雙小行星系統Didymos和Dimorphos的探測器，為行星防禦技術鋪路，並探索小行星防禦和資源開發的新可能性。此外，露西號（Lucy）正在前往木星軌道附近的特洛伊小行星群，這些天體將提供有關太陽系早期歷史的重要線索。圖片來源：ESA