

文/ 許仁愷

木星，這顆在太陽系中最大的氣體行星，一直牽引著人類探索宇宙的好奇之心與冒險精神。然而，直到1610年，伽利略·伽利萊（Galileo Galilei）利用他的望遠鏡才首度揭開了木星的面紗。自那以後，我們便不斷進行木星的探索，透過多次成功的太空探索任務，以太空船、衛星和探測器進行調查與觀測。

探索木星的旅程

從先鋒計畫到朱諾號的里程碑

從1970年代開始，對木星的探索步伐踏上了正軌，先後成功地讓先鋒10號（Pioneer 10）和11號（Pioneer 11）、航海家1號（Voyager 1）和2號（Voyager 2）飛越木星，接著派遣了伽利略號（Galileo）進行木星繞行，甚至直接將探測器送入木星的大氣層。在卡西尼號（Cassini）飛往土星的路上，它還順帶觀察並詳細拍攝了木星，而在新視野號（New Horizons）追尋冥王星和古柏帶的路途中，也順道完成了相似的任務。在2016年7月，美國太空總署（NASA）成功地將朱諾號（Juno）送進木星系統，讓我們有機會對這顆巨大的行星進行更深入的研究。

然而，即使科技日新月異，我們在探測木星的過程中仍然遇到許多挑戰。木星的非固體表面以及強大的輻射環境對於探測器來說是一大挑戰。例如，當先鋒11號飛越木星時，所遭遇的輻射超出了設計師的預期，導致部分重要的圖像資料丟失。儘管後續的探測器，像航海家進行了輻射保護的改良，但仍然無法完全抵擋木星強烈的輻射。舉例來說，伽利略號在進行為期8年的木星繞軌任務期間，所受到的輻射劑量超出設計的範疇，導致探測器的各種儀器和系統多次出現故障。這種強烈的輻射不只對探測器的運作造成影響，還會引發電弧現象，並導致探測器進入安



全模式，結果導致數據丟失，甚至影響探測器的時間系統，使其無法準確地進行時間的同步和定位。

在面臨眾多挑戰之下，科學家們不斷突破限制，運用創新科技進一步探索木星，揭開太陽系的神秘面紗。這些持續的努力不僅擴大了對這顆巨大氣體行星的知識，也推動了太空科技的前進。在宇宙探索的旅程中，挑戰無疑是重要的一環。每次的嘗試都深化了對木星的理理解，並豐富了對過往飛掠任務（Flyby

Mission）和繞軌任務（Orbiter Mission）的認識。下面，將回顧這段探索的歷程，細數過去の木

星探索任務。輻射帶進行了深入的研究。透過它們的觀察，確認了木星主要由液態氫及氦所組成，並在1974年首次觀察到木星極區和大紅斑壯觀的景象。

1979年，航海家1號與航海家2號延續了先鋒計畫的腳步，繼續揭開木星的神秘面紗。這兩項任務不只研究木星的磁場、衛星與輻射環境，更首次發現木星環系統的存在。進一步地，它們細緻觀察了大氣中雲帶內的風暴和氣旋結構，並將近距離拍攝的木星大氣影像呈現給全世界，讓人們

短暫相遇 木星的飛掠任務

先鋒10號和11號，作為1973年和1974年的先鋒計畫的主角，首次踏足木星這片神秘的星域。這兩艘太空探測器為我們提供了對木星及其伽利略衛星的近距離觀察，並對木星的大氣、磁場和



圖1. NASA及歐洲太空總署（ESA）已經展開或即將推進一步系列的木星探索任務。其中，NASA的木衛二快船（Europa Clipper）與ESA的木星冰月探測器（Juice）將是下一步即將進行的重要科學任務。圖片來源：ESA

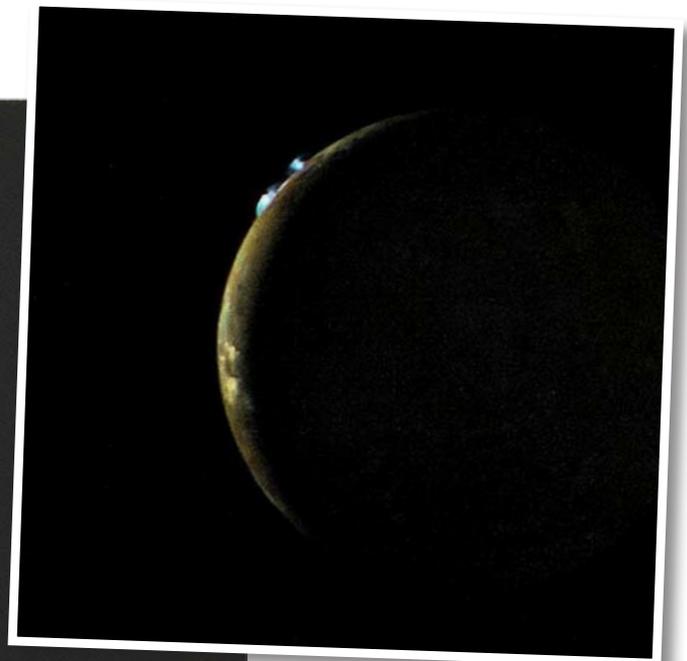
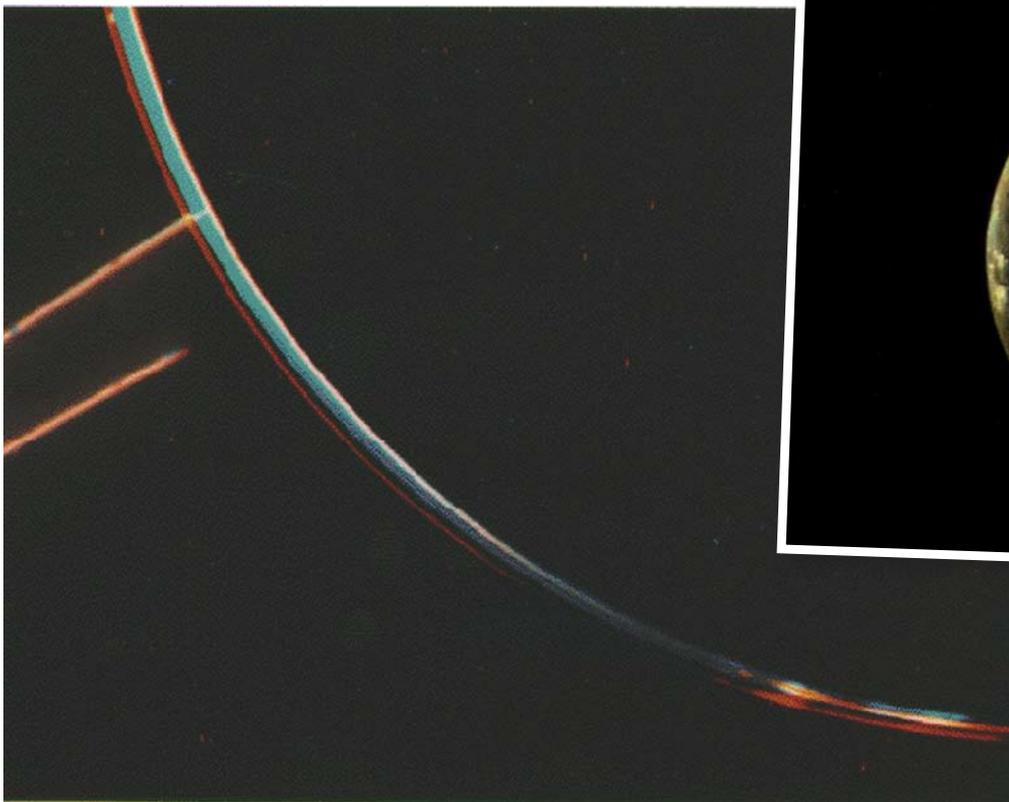
理解到大紅斑其實是一場逆時針方向旋轉的巨大風暴。航海家計畫也大大提高了我們對伽利略衛星的理解，最大的意外發現就是在木衛一埃歐上觀察到火山活動，這也是首次在地球以外的天體上發現活躍的火山。此外，航海家所拍攝的照片揭示了木衛二歐羅巴表面的交叉線性特徵，暗示其可能擁有厚度約30公里的冰殼，並在其下可能存在深達50公里的液態水海洋，這可能與潮汐加熱引起的地質活動有關。

接下來的尤利西斯號 (Ulysses) 在1992年飛越了木星的北極，這次操作不僅為其後續前往繞太陽南北極的高傾



圖2. 先鋒10號所拍攝的木星和其兩大衛星，木衛二歐羅巴（左下）和木衛三甘尼米德（右下）的合成照片。請注意，這裡的行星和衛星比例並非按照真實大小來呈現。圖片來源：NASA

↓圖3. 航海家2號首次拍攝到木星微弱的環。圖片來源：NASA



↑圖4. 航海家2號捕捉到木衛一埃歐的火山噴發。圖片來源：NASA



圖5. 由卡西尼號拍攝盤旋於木星南極的帶狀風暴影像。圖片來源：ESA



圖6. 卡西尼號於2000年捕捉到最詳細的木星真實色彩合成圖像。圖片來源：NASA

角軌道提供了必要的引力輔助，也為我們對木星磁層的了解提供了寶貴的數據。儘管尤利西斯號並未配備照相機，但其載有的儀器深化了對木星磁層的理解。在2000年卡西尼號前往土星的途中飛越了木星，並捕捉當時最精細的木星影像。這些影像揭示了木星大氣層中交錯的深淺帶狀結構，以及帶狀結構中明亮的上升氣流風暴。此外，卡西尼號還發現了位於木星北極附近與大紅斑一樣大的深色漩渦區。卡西尼號透過紅外線影像揭示了極區的風帶運動現象，還觀察到木星環中的粒子形狀不規則，這些可能是木星的衛星在受到微隕石撞擊後

產生的碎片。

2007年，新視野號在前往冥王星途中飛越了木星，利用木星的重力助推效應，大幅提高飛行速度，縮短了通往冥王星的旅程。新視野號在此次飛越木星的過程中，也並未放過對木星系統的科學觀察，帶來了對木星、其衛星以及其磁場和輻射環境的新見解。

透過這些飛掠任務，包括先鋒計畫、航海家計畫、尤利西斯號、卡西尼號和新視野號等，讓我們對木星的認識有了初步的突破，但要完整探索這顆巨大的氣態行星，需進行長期的繞軌觀

察。接下來將介紹木星的繞軌任務，進一步揭開木星的神秘面紗。

深度揭秘 木星的繞軌任務

伽利略號是木星探測史上的重要里程碑，1995年，伽利略號成為首個繞行木星的太空船，開啓了長達8年的探索之旅。任務中有許多首次的發現和驗證，揭示木星大氣層中氫雲的存在，確認木衛一埃歐上異常頻繁的火山活動，以及在埃歐軌道上發現稱為埃歐電漿環的複雜電漿現象，這種現象能產生強大的電流，與木

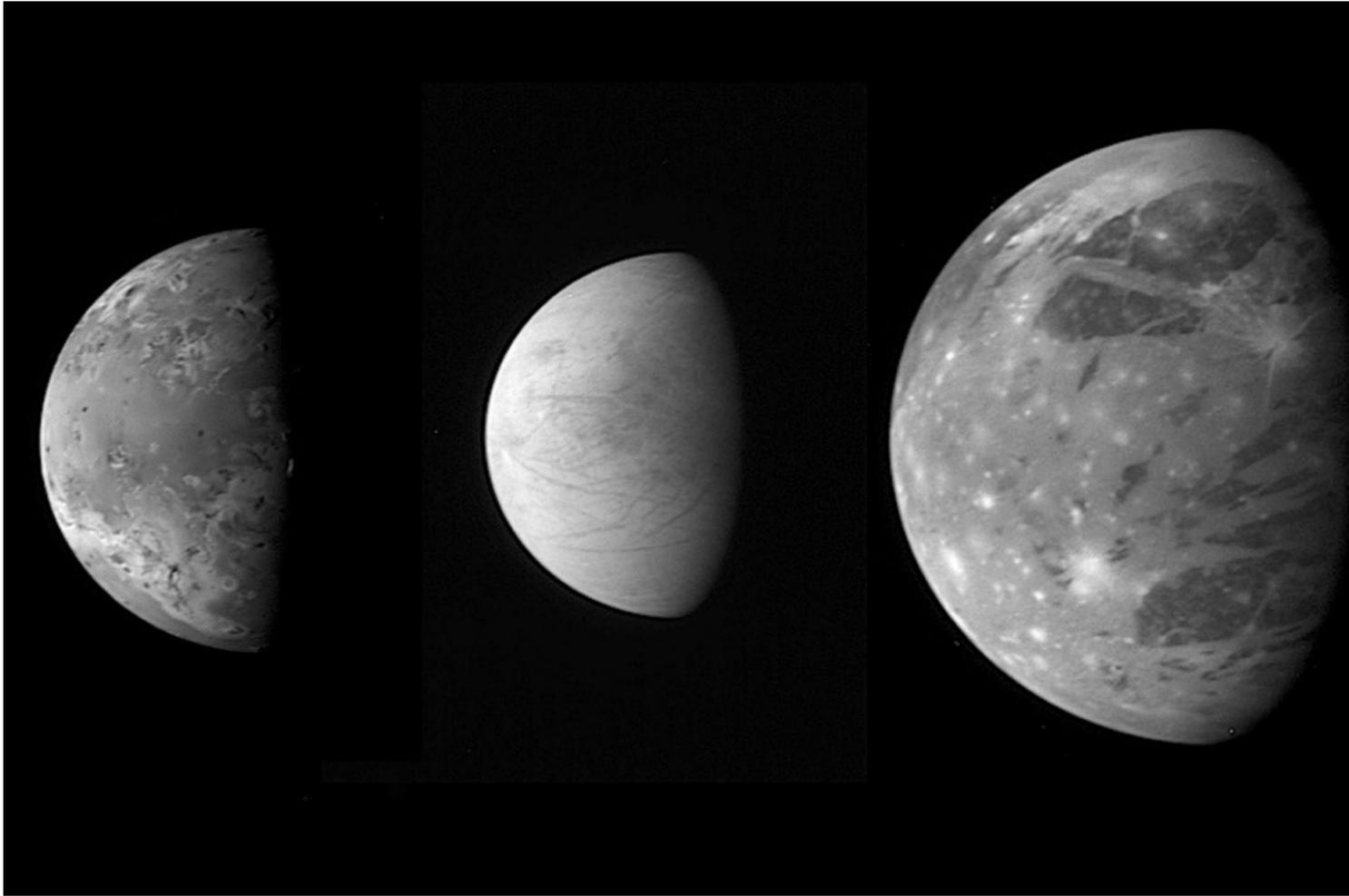


圖7. 新視野探測器揭示木星四大衛星的奧秘，左起木衛一埃歐、木衛二歐羅巴、木衛三甘尼米德及木衛四卡利斯多。圖片來源：NASA

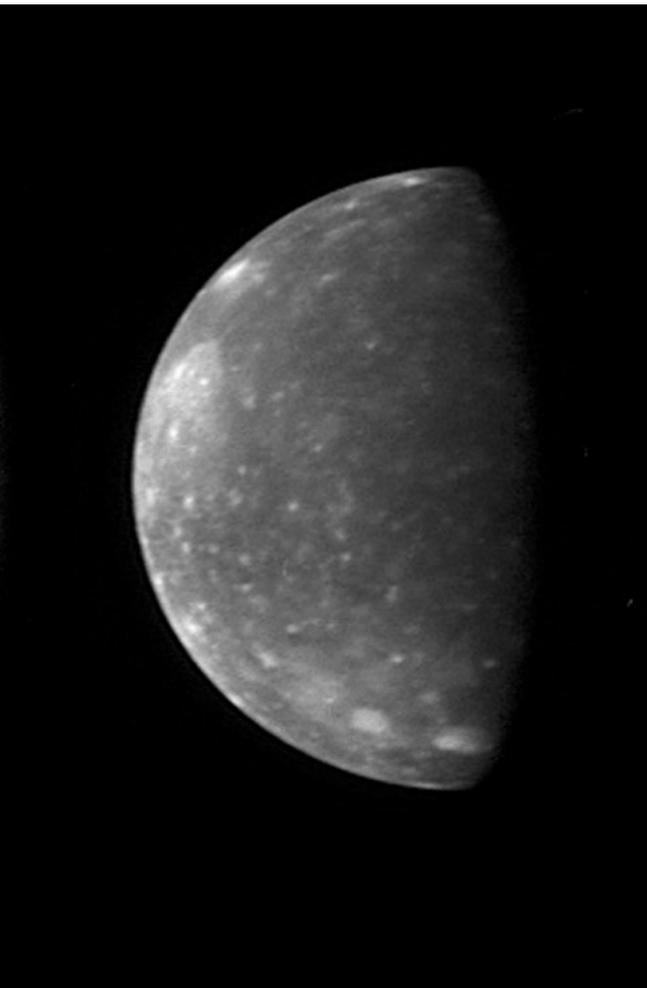
星的磁力線產生交互作用，發出類似燈塔光的無線電訊號，只有在隨著木星自轉時將該訊號掃過探測器時，才能接收到。然而，眾所周知的是伽利略號對木星冰衛星的研究，這是首次提供證據，支持木衛二歐羅巴冰面下可能存在液態海洋的理論，這也為尋找外星生命的可能性開啓了新的門路。在木衛三甘尼米德周圍發現了強大的磁場。在歐羅巴、甘尼米德和木衛四卡利斯多的可見表面之下可能存在液態鹽水層，並且都具有稱為表面邊界外氣層（Surface-bound exosphere）的稀薄大氣層。最後，於2013年NASA在歐羅巴的冰冷表面上發

現了與有機物質相關的「類黏土礦物」（Clay-like minerals）。這項發現表明歐羅巴可能曾經或正在經歷小行星或彗星的碰撞，進一步提高了在這個冰冷衛星下尋找生命的希望。

圖8使用NASA的伽利略號任務收集的數據，展示了木衛二歐羅巴表面首次檢測到類黏土礦物。在伽利略號的近紅外線繪圖光譜儀（Near-Infrared Mapping Spectrometer, NIMS）所拍攝的假色數據中，類黏土礦物以藍色呈現，而富含水冰的表面則以紅色顯示。科學家推測，這些類黏土礦物可能源自小行星或彗星的

撞擊，因為這些原始天體通常富含這類礦物，且往往攜帶有機化合物。

2011年，NASA成功地將朱諾號送入太空，開始了對木星全新而深入的研究。朱諾號於2016年進入木星的繞極軌道，任務主要是解析木星的結構、重力、磁場以及探索極區的磁層。朱諾號為我們提供了許多前所未見詳細的木星觀察數據，包括對木星閃電的理解，以及人類首次從木星北極的視角看到的極光、磁場和大氣層的深入研究。然而，朱諾號的發現並不止於此，在朱諾號掠過木星南北兩極的過程中，紅



外線的影像（Jovian Infrared Auroral Mapper, JIRAM）呈現穩定幾何排列的極地氣旋結構。朱諾號還發現木星磁場在其各個不同區域，無論是靠近赤道，還是接近南北兩極，其磁場的強度和方向都存在著明顯的差異。這種錯綜複雜的磁場結構，超出了我們先前的理論預測。最令人驚訝的是，通過微波輻射計（Microwave radiometer, MWR），朱諾號確認了木星表面那些呈紅白色的帶狀條紋，實際上是源於數百公里深的大氣層。此外，朱諾號對木星內部的觀察結果讓我們對木星核心的理解產生了顛覆性的影響。原來，木星的核心可能並不完全是固態的，而是一個由岩石和金屬氫混合構成的模糊核心。科學家推測這個模糊核心可能源於木星在形成初期發生的碰撞。朱諾號帶來的發現不僅豐富了我們對木星的認識，也為我們理解太陽系的起源提供了關鍵的線索。

透過伽利略號和朱諾號這兩次的繞軌任務，為我們對太陽系的基本特性提供了更多理解，並促使我們對可能存在的外星生命進行更多的思考。這些新的知識將引導我們的未來太空探索，為我們在繼續探索宇宙的道路上提供新的可能性與希望。

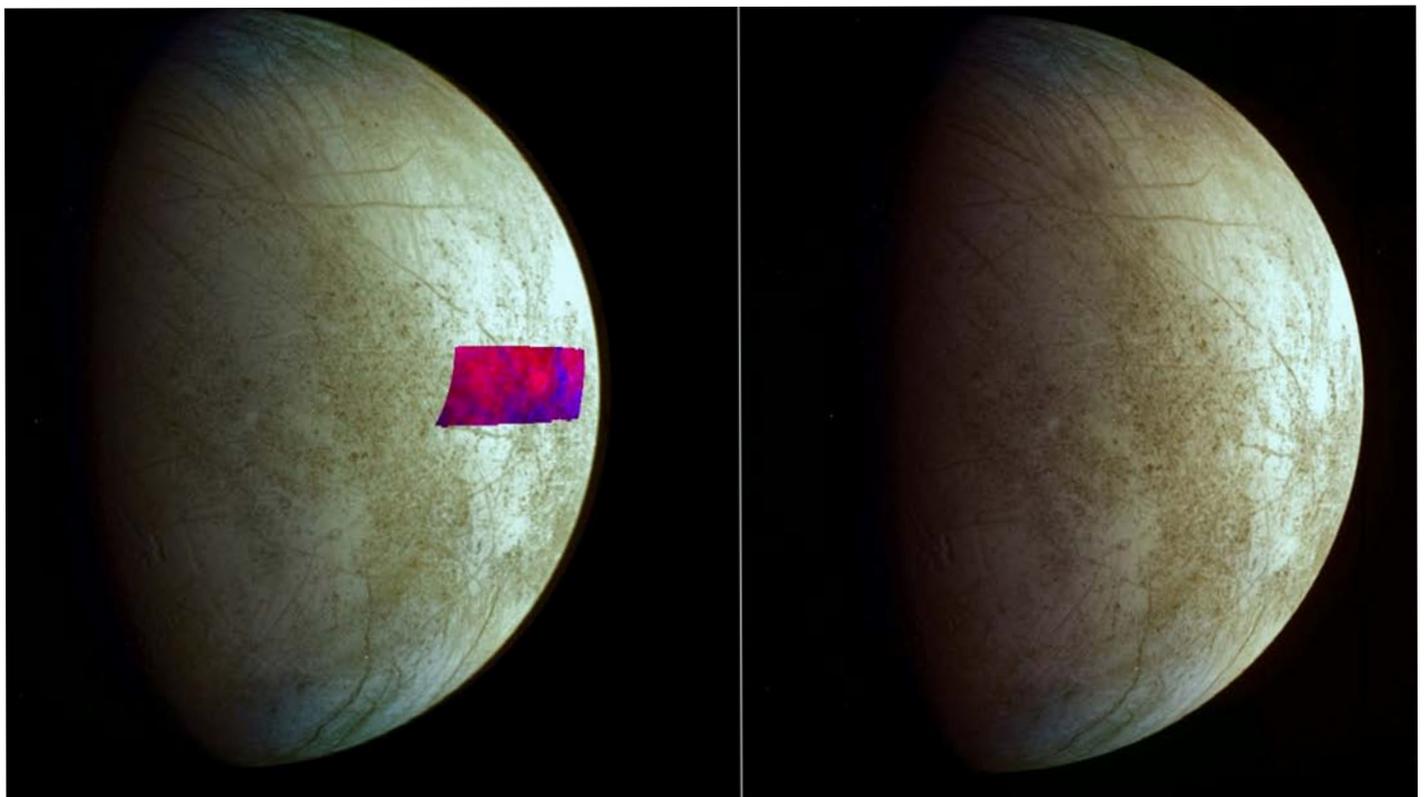


圖8. 歐羅巴表面首次檢測到類黏土礦物。圖片來源：NASA

凍土疆界 木星冰月的探訪

現在，我們正緊密關注歐洲太空總署的J u i c e任務進程。Juice已於2023年4月14日發射，並預計於2031年抵達木星系統，將深入探索木星的大氣層、磁層和環系統，同時也將研究木星的三大衛星——歐羅巴、甘尼米德

和卡利斯多是否具備支持生命存在的條件。Juice將仔細觀察歐羅巴，並展開首次對甘尼米德為期3年的繞行任務，詳細探究甘尼米德的地表形態、內部結構和可能存在的地下海洋，此外，Juice也將研究甘尼米德的磁場特性，包括其與木星磁層的交互作用。同時，卡利斯多這顆表面滿佈隕石撞擊坑的衛星，也是Juice任務

的重要探索目標，科學家相信其地下深處可能藏有一片巨大的海洋。Juice任務將進一步深化我們對木星系統的理解，並可能為尋找外星生命的可能性提供新的線索。期待透過Juice的探索，更深入地揭開木星及其衛星的神秘面紗，並將人類的視野推向更遙遠的宇宙空間。

許仁愷：中央大學天文研究所
博士後研究員

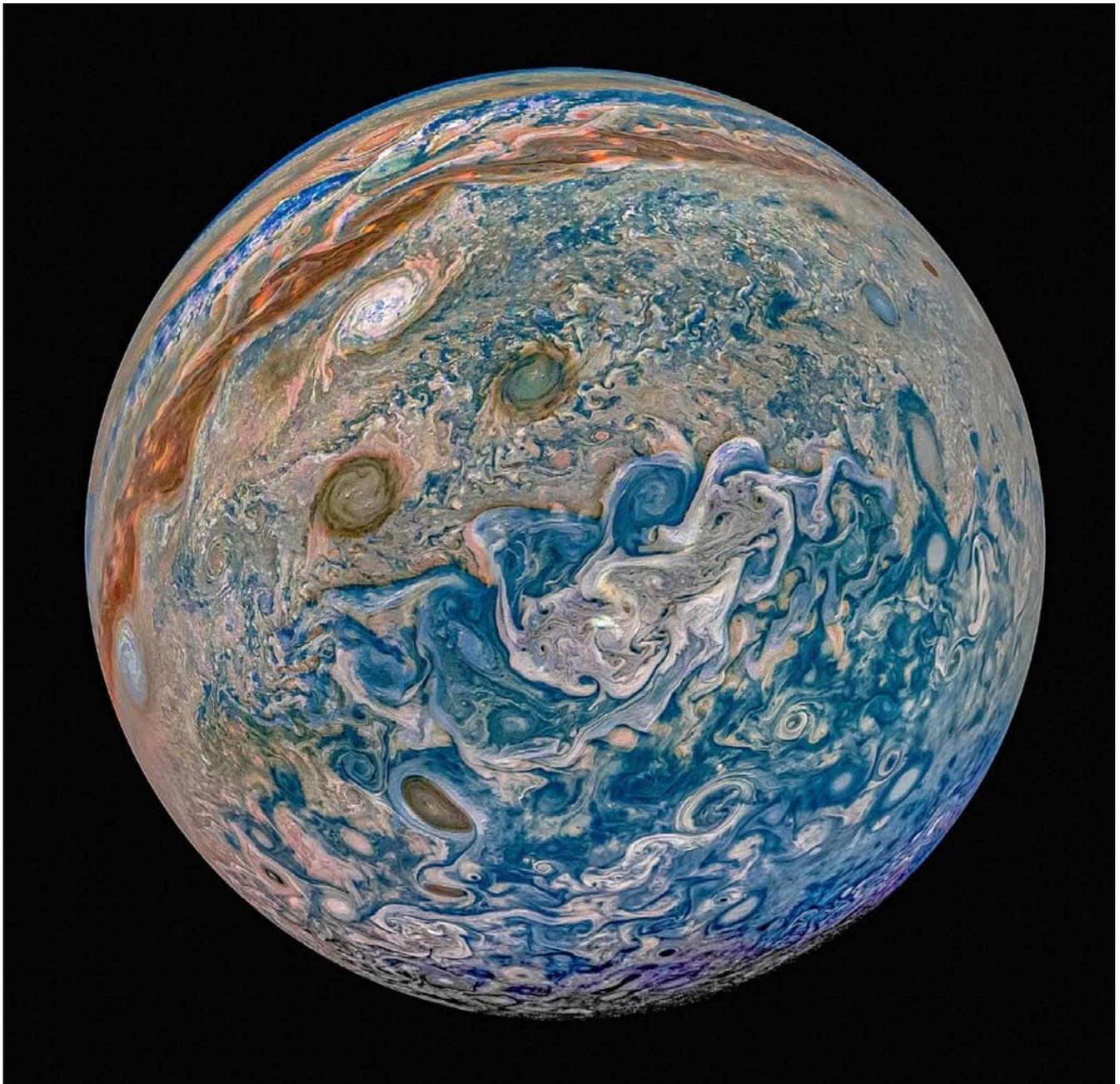


圖9. 朱諾號近距離飛越木星的壯麗照片。圖片來源：NASA

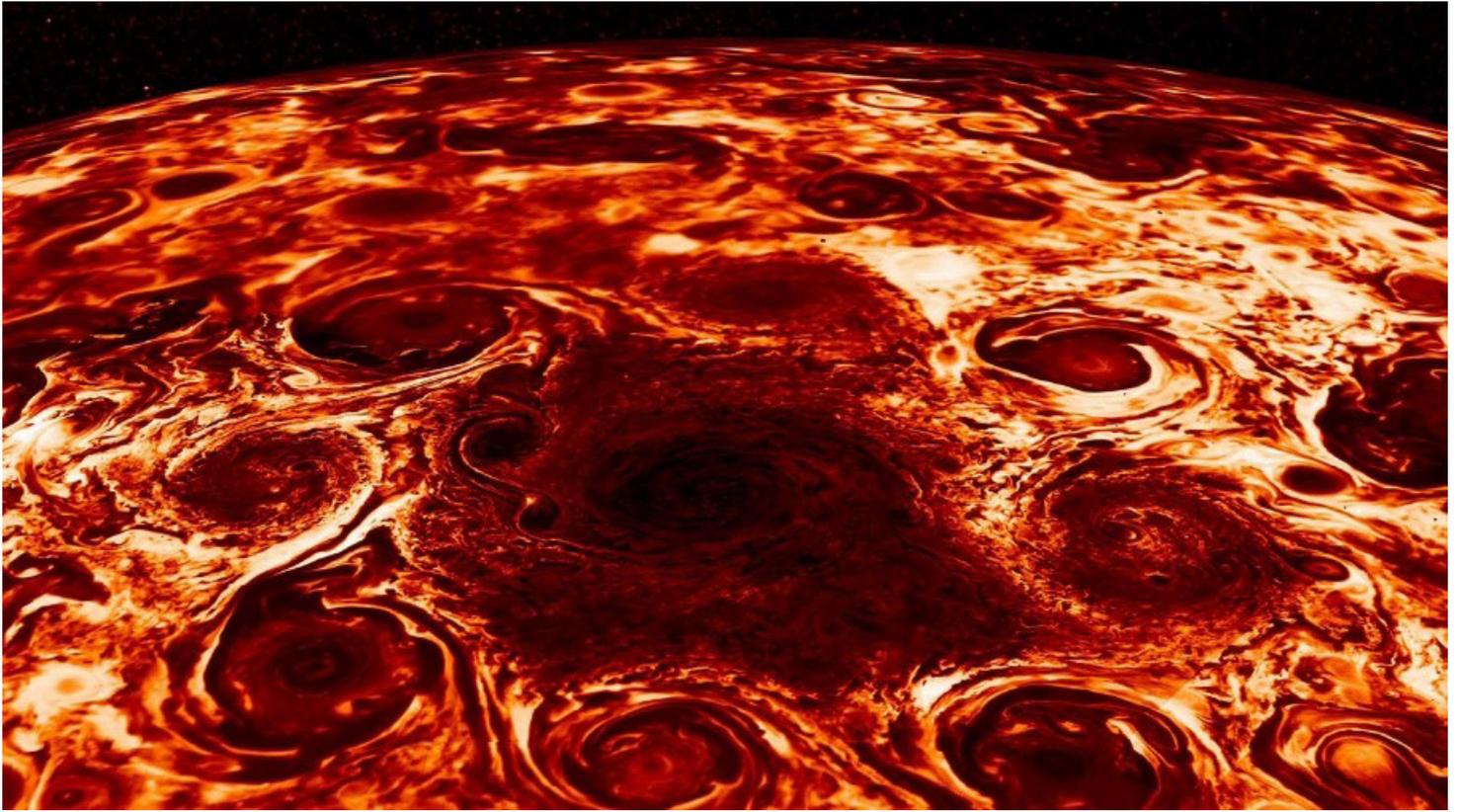


圖10. 由朱諾號拍攝，紅外線下木星北極的極地氣旋風暴奇景。圖片來源：NASA

YouTube相關影片：



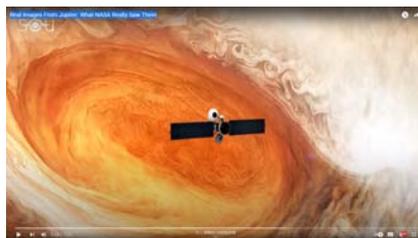
JPL and the Space Age: Saving Galileo
<https://www.youtube.com/watch?v=aezcXjKYZkM>



Jupiter's 3D Atmosphere Revealed by NASA's Juno Spacecraft
<https://www.youtube.com/watch?v=PeQ7JEkBxLE>



Uncovering Jupiter's Secrets | Planet Explorers | BBC Earth
<https://www.youtube.com/watch?v=qDLWe9FKgso>



Real Images From Jupiter: What NASA Really Saw There
<https://www.youtube.com/watch?v=R6K4M4Q09Kw>



Jupiter 101 | National Geographic
<https://www.youtube.com/watch?v=Ptkqws1bLY8>