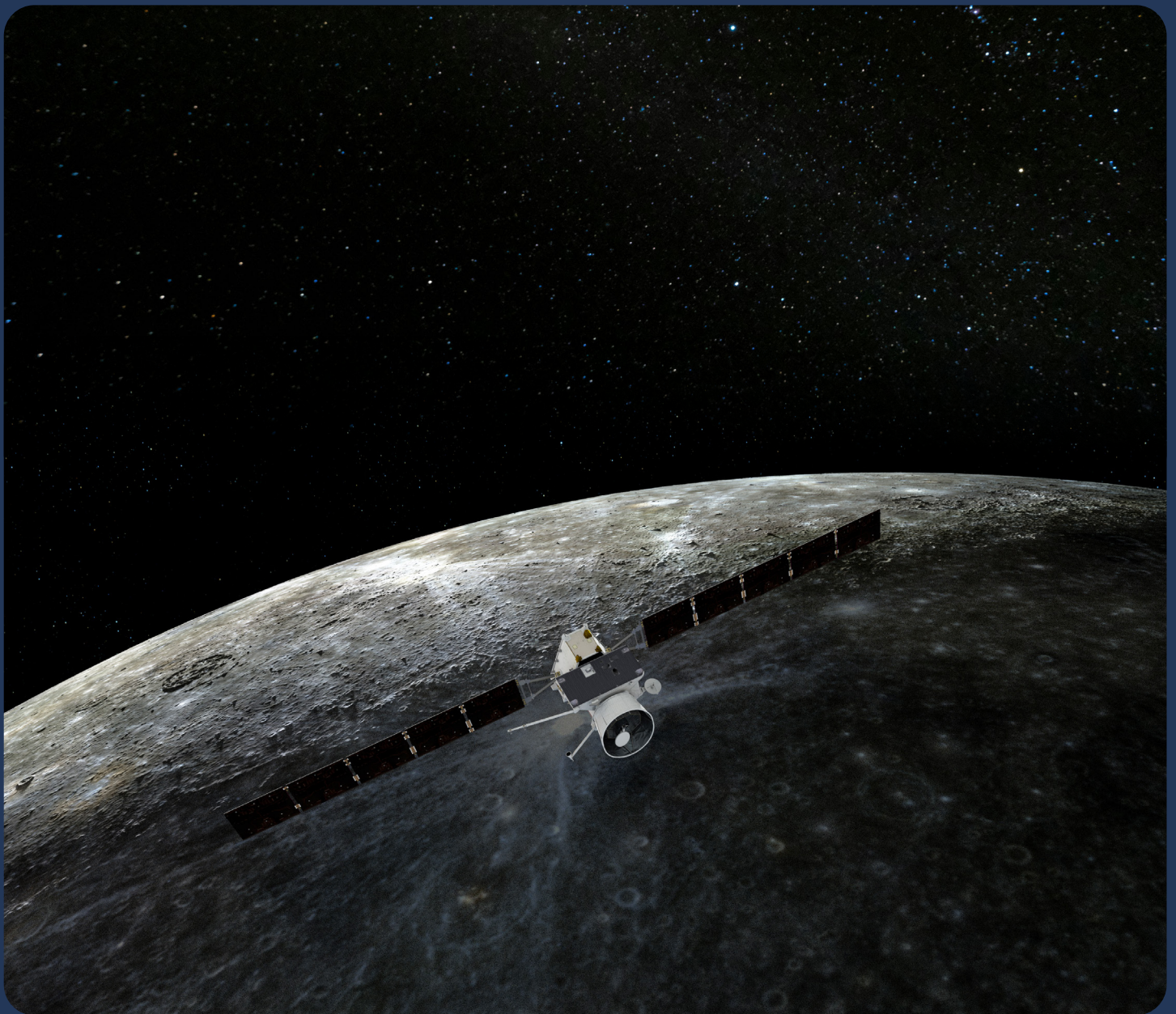


貝皮可倫坡號水星探測任務

貝皮可倫坡號太空探測器在2025年1月8日第6次飛掠水星。這不是第一次人類派遣探測器前往水星，歷史上曾有3次太空任務，包含1973年的水手10號及2011年的信使號。這次是人類歷史上第三次有太空探測器造訪水星，它將試圖解開信使號在圍繞水星公轉4年後，所新發現的謎團。本期的天文教室，將帶大家了解貝皮可倫坡號太空任務的規劃，並帶大家一同跟著貝皮可倫坡號發現水星的新面貌。

文／周毅桓



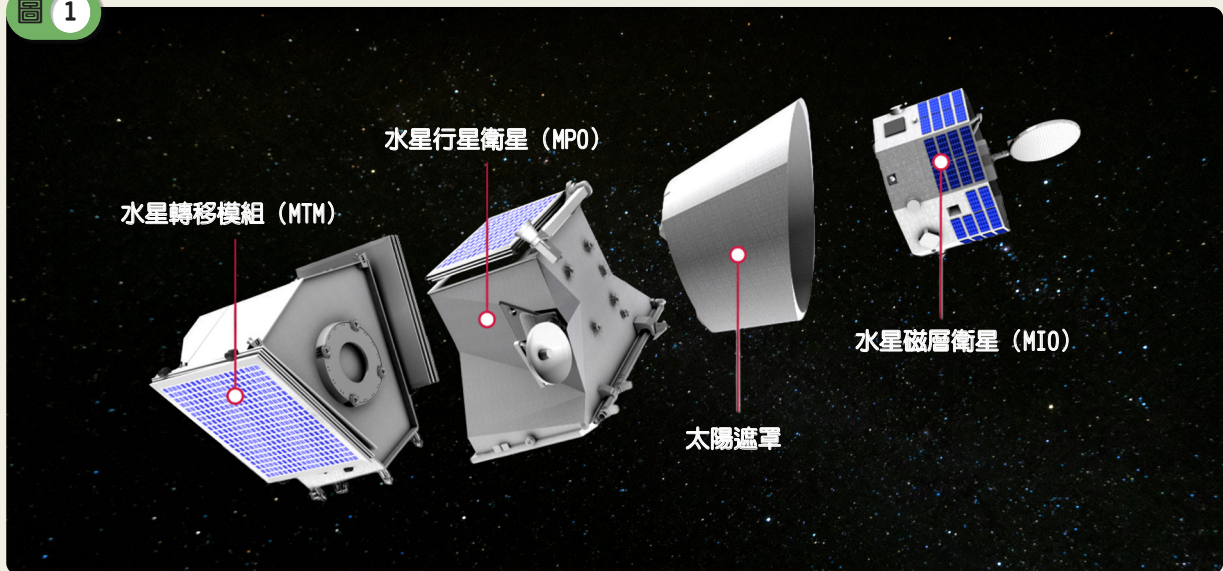
貝皮可倫坡號飛越水星示意圖。圖片來源：ESA/ATG medialab

兩架探測器組合的太空任務

貝皮可倫坡號是歐洲太空總署（ESA）與日本宇宙航空開發機構（JAXA）首次共同合作的太空任務，由兩架探測器組合而成。其中水星轉移模組（MTM）負責運送兩架探測器抵達水星，在進入水

星公轉軌道後，兩架探測器將會分離。由JAXA開發的水星磁層衛星（MIO）將繞著水星的極區公轉，並進行水星磁層與磁場的觀測。由ESA開發的水星行星衛星（MPO）則將下降至適當的高度，詳細的觀測水星的地表，如圖1、圖2。

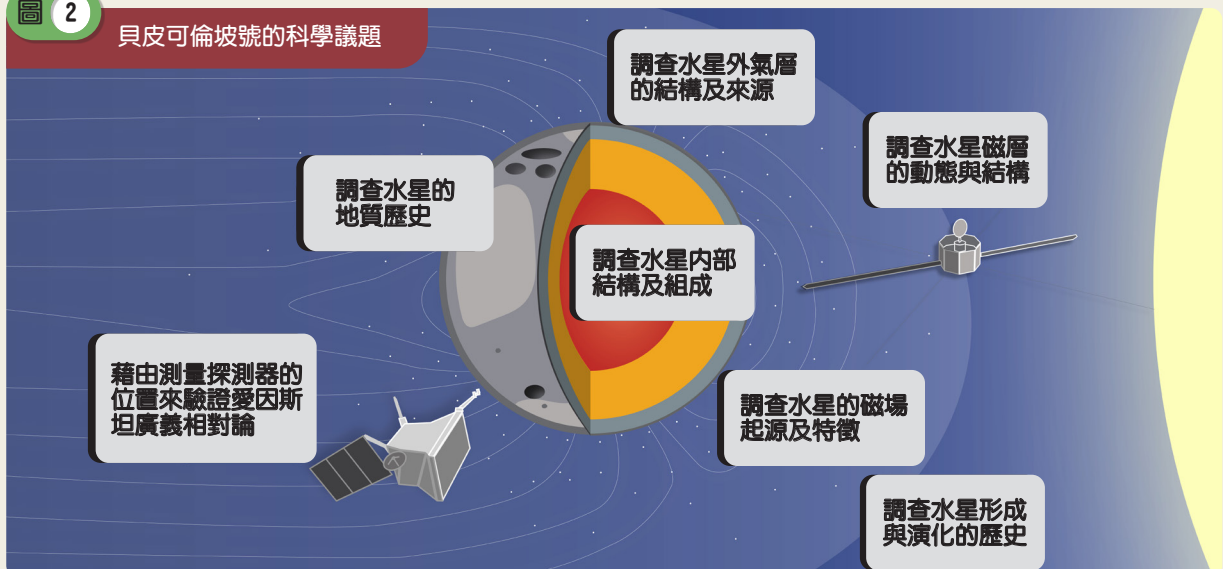
圖 1



貝皮可倫坡號的構造示意圖。圖片來源：ESA

圖 2

貝皮可倫坡號的科學議題



貝皮可倫坡號的任務內容示意圖。圖片來源：ESA

解讀信使號捎來的加密訊息

信使號在2011年抵達水星，進行4年的觀測，不

僅揭露了水星的許多特質，更發現水星隱藏著許多謎團等待貝皮可倫坡號去解開，如圖3~圖10。（詳見臺北星空第115期《信使號水星探測任務》）

是顆活躍的行星？還是死寂的星球？

信使號拍攝到水星表面有一定範圍的火山地質景觀，證實水星在早先的一段時期中曾有大規模的火山活動。

在這張照片中，左上方有一道光滑的條狀結構，是信使號發現的火山熔岩流遺跡。這道熔岩流流入右側隕石坑中，幾乎將這個隕石坑完全填滿。

貝皮可倫坡號將能更進一步了解在不同時期水星的火山活動的形式有怎樣的變化。

圖 3

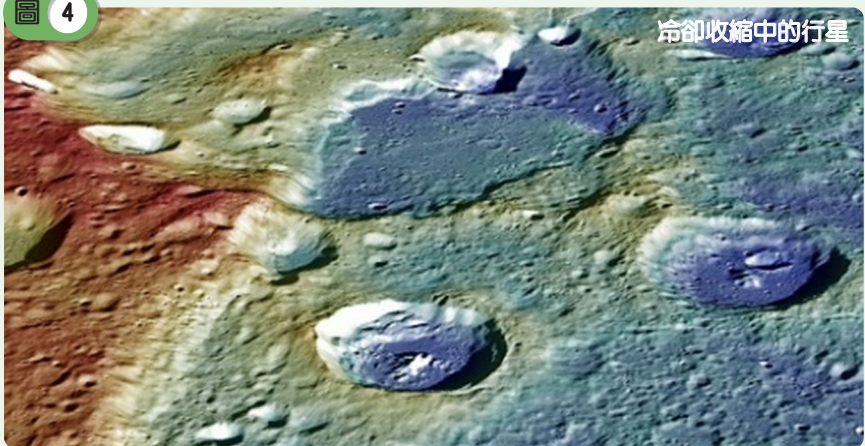


大規模的火山地形遺跡

信使號發現在水星的表面上，有著一道道跨過隕石坑的斷崖，是水星整顆行星正在冷卻收縮的證據。根據科學家的研究，水星半徑可能已經收縮了7公里左右。

貝皮可倫坡號將觀測水星表面，特別是南半球的表面，來研究水星隨著時間的經過是如何冷卻收縮，藉此了解一顆沒有板塊構造的行星冷卻的過程。

圖 4



冷卻收縮中的行星

為什麼水星顏色這麼暗？

水星表面的反照率只有0.14左右，使水星表面看起來比較暗。

信使號發現水星表面含有的碳可能是造成水星顏色比較暗的主要原因之一。但這些碳元素的來源究竟是來自地底的岩漿還是來自太空中，科學家們還不是很確定。

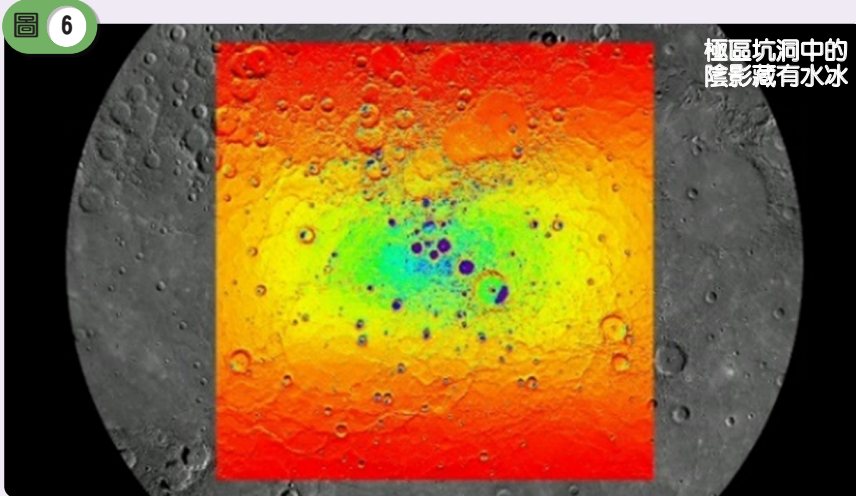
貝皮可倫坡將會仔細調查這些碳的本質與豐度，來釐清碳的來源。

圖 5



表面含碳的暗色星球

水星上真的有水嗎？



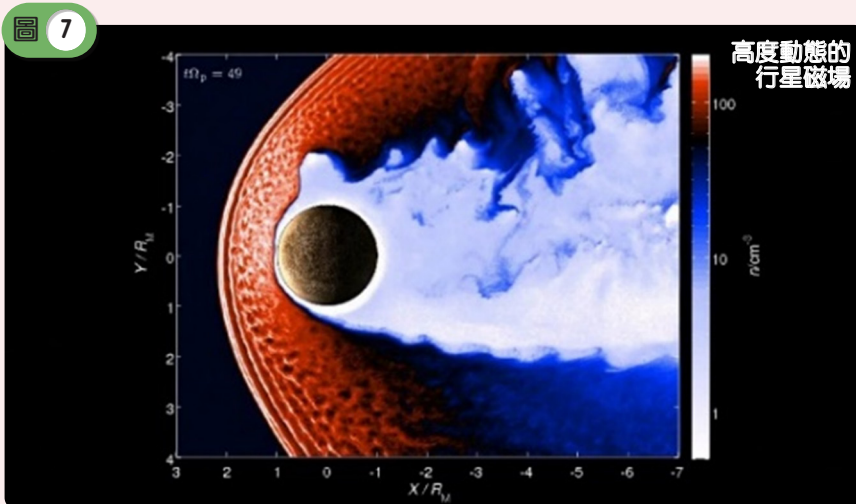
信使號最先發現在水星北極區域的坑洞中，在陽光照射不到的陰影處，有一些可能是水冰所組成的沉積物。

這張照片是信使號在紅外線波段觀測到水星北極表面的溫度分佈圖，紅色的部分溫度高達 270°C ，紫色的區域位於隕石坑的深處，溫度低到零下 215°C ，這樣的低溫已足夠使水冰存在於水星表面。

信使號也利用中子光譜儀進行觀測，發現水星極區的中子通量似乎比較低，提供了另一個間接證據。

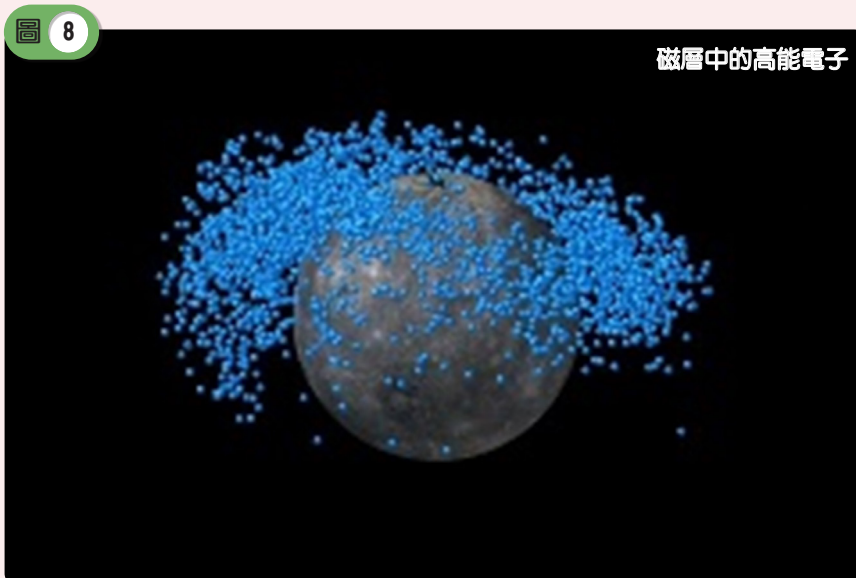
貝皮可倫坡號將利用不同的儀器對這些區域進行更深入的觀測。

水星磁場是怎麼產生的呢？



信使號發現水星具有一個高度動態的行星磁場。水星的磁場強度雖然比較弱，約只有地球磁場的1%，但水星磁場的尺度比較小，而且離太陽比較近，行星磁場與太陽光的交互作用，使水星具有一個快速變動的行星磁場。

貝皮可倫坡號的兩架探測器，將藉由它們不同的軌道，提供有關水星磁層、太陽光與水星地表之間互動的特殊視角。



信使號也測量到水星被一層高能量的電子包圍，這些高能量電子是水星磁場中長期存在的一部分，但關於這些電子的來源和從磁場中損失的過程，科學家們並不是很清楚。

貝皮可倫坡號將會觀測水星南半球的磁場分佈狀況，以跟信使號先前取得的北半球數據相結合，來取得水星完整的磁場結構。

水星最初是怎麼誕生的呢？

信使號的伽馬射線光譜儀在北半球高緯度地區觀察到鉀的濃度特別高，這代表水星是顆富含揮發性元素的星球。這些元素在中溫下會蒸發，由於元素鉀比鈦更容易揮發，因此比較這兩種元素在水星上的含量，就可以知道這顆星球在形成時的環境溫度。

科學家們原先認為水星距離太陽比較近，因此誕生時的高溫可能使揮發性物質揮發殆盡。結果信使號的發現，完全推翻了科學家們的猜測。

科學家們猜想水星最初有可能是在離太陽比較遠的地方誕生，然後才來到它現在的位置。

究竟水星最初是如何誕生的？仍需等待貝皮可倫坡號抵達水星後去嘗試解開。

圖 9

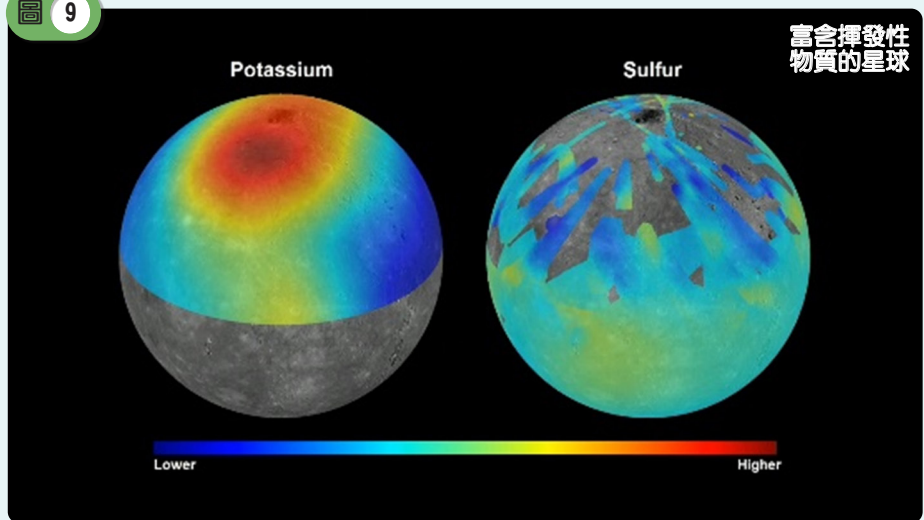


圖 10

信使號發現水星的表面有一些年輕的空洞構造。科學家們認為這是因為太陽光的照射或隕石撞擊的熱能使水星表面的揮發性物質昇華，而留下了這一些底部光滑平整的空洞構造。

貝皮可倫坡號將藉由高解析度的觀測儀器，將從紫外光波段到紅外光波段仔細的調查水星的化學組成，來深入了解這些物質的形成方式。

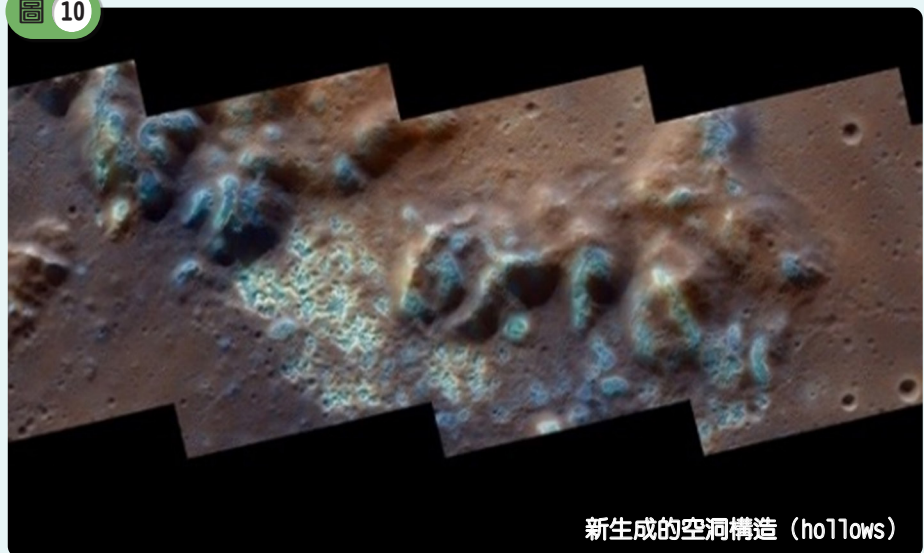


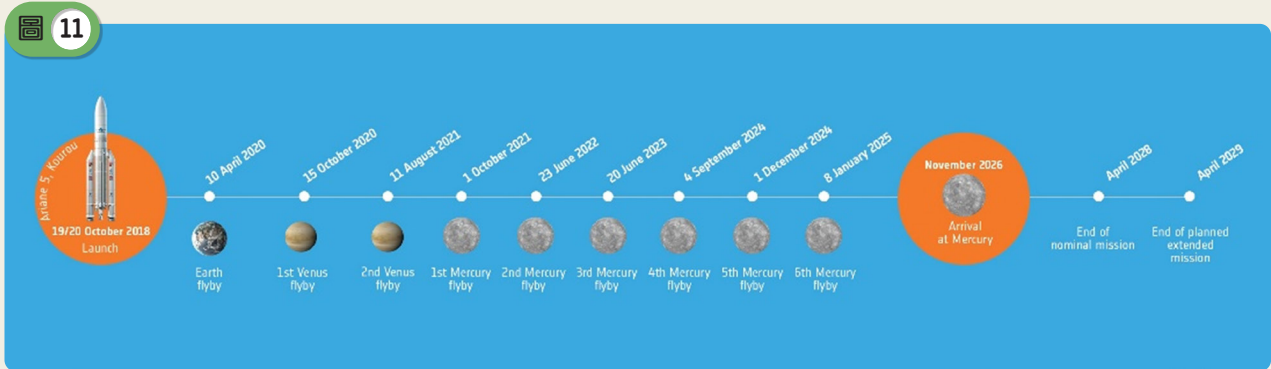
圖3~圖10。圖片來源：NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

離地球很近，卻比冥王星更難到達的水星

貝皮可倫坡號於2018年升空後，歷經1次地球飛越、2次金星飛越及5次水星飛越後，終於在今年（2025）1月25日完成第6次飛越。原先計畫於今年底抵達水星，進入水星軌道公轉，研究團隊卻發現探測器離子推進器的引擎推力似乎出了一點狀況，為了保險起見，研究團隊決定將原本預定的時程推遲1年，探測器預計將於2026年底抵達水星，如圖11。

雖然水星距離地球的直線距離不到1個天文單

位，但前往水星的路途卻相當困難。這是因為貝皮可倫坡號在升空後，就會不斷消耗燃料，由於太陽強大的重力，使貝皮可倫坡號在靠近水星的過程會不斷的加速，這將會使探測器在抵達水星時因速度過快而無法被水星的重力所捕捉。使得探測器在升空後，必須無時無刻的使用反向推力，來抵抗太陽的重力。但即使如此，探測器仍然需要透過多次行星重力的協助來減速，如圖12，這也是為什麼貝皮可倫坡號必須經過3顆行星、9次的飛越，歷時7年以上才能抵達水星的原因。相較於2006年升空的新視野號，僅花了9年的時間就抵達遠在45個天文單位外的冥王星，就能知道這趟任務的困難之處。



貝皮可倫坡號的任務年表。圖片來源：ESA



運用主引擎噴射產生的反作用力進行減速過程的貝皮可倫坡號。圖片來源：ESA

同名紀念款太空任務

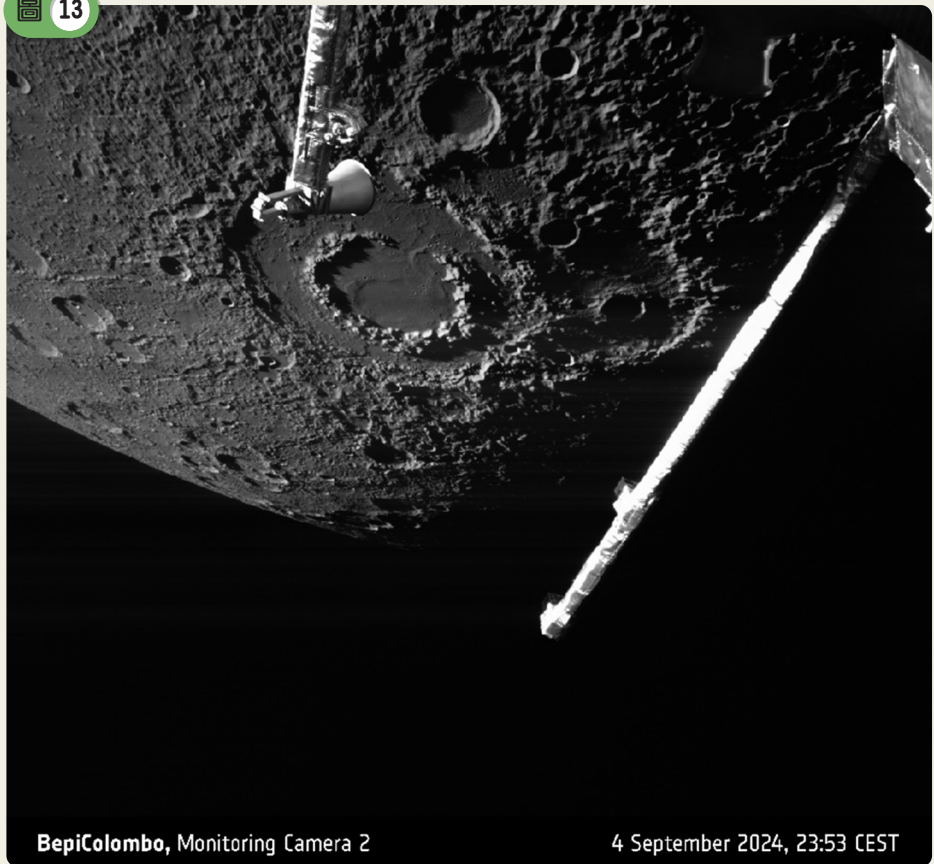
貝皮可倫坡號升空後由於太陽重力的干擾，需要經過9次行星重力減速跋山涉水才能抵達水星。這個問題先前水手10號與信使號都曾遇到過。在當時，是由義大利數學家貝皮可倫坡教授，首次提出利用金星重力減速的構想，計算出探測器前往水星的路徑與方法，並在水手10號初次升空時實驗成功。這次的太空任務，正是為了紀念這位義大利數學家，而取了相同名稱。

貝皮可倫坡號的自拍照

這是貝皮可倫坡號第4次飛越水星時，監視相機拍攝到的照片，監視相機拍攝這張照片的原因，是為了檢查探測器自身的狀況，不過在探測器背景的水星顯然更搶鏡。

畫面中央是水星的韋瓦第隕石坑，以著名的義大利作曲家韋瓦第的名字命名，它的直徑約為 210 公里。科學家們認為隕石坑中的峰環可能是小行星或彗星撞上水星時所形成，但形成的過程科學家們還不是很清楚。峰環之間有一個明顯的空隙，熔岩流從這裡進入並淹沒了這個區域，如圖13。

圖 13



貝皮可倫坡號第4次飛越水星時，監視相機拍攝到探測器一部分的構造。影像來源：JAXA/ESA

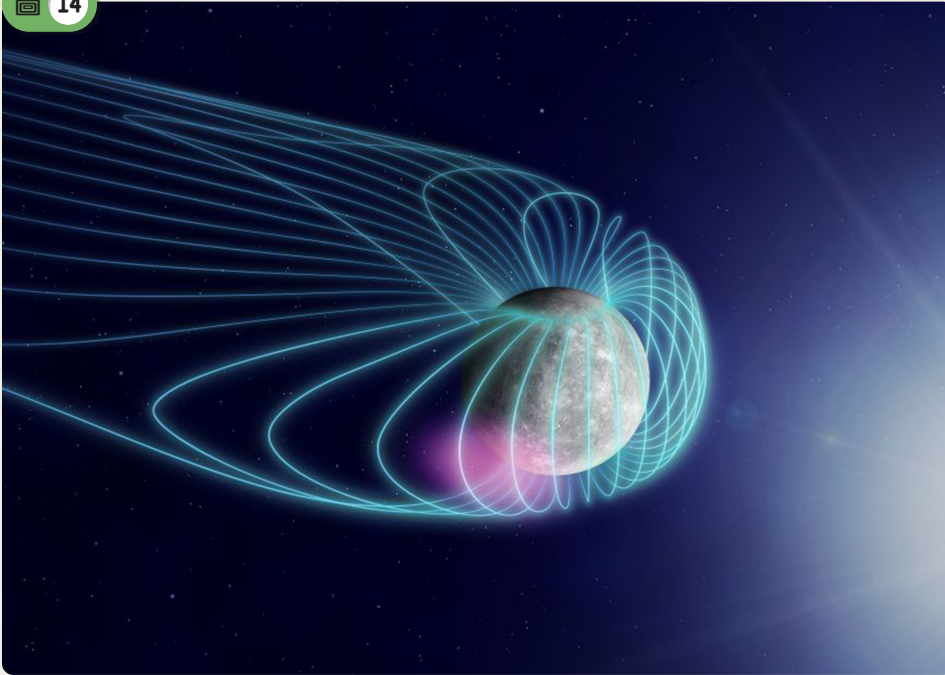
發現水星極光

貝皮可倫坡號發現，水星上和我們的地球一樣也有極光。發生的原因是由於在水星的早晨，低空中會產生一種名為合唱波（chorus waves）的電磁波，這種

電磁波能散射並加速在水星磁層中的電子，當這些電子撞上水星表面時，就會發出X射線波段的極光。由於極光發出的波段是在可見光的區域之外，因此肉眼看不見，如圖14。

周毅桓：臺北市立天文科學教育館

圖 14



水星上極光的波長，主要落在X射線波段，因此肉眼無法看見。圖片來源：ESA

參考資料：

1. ESA, From Messenger to BepiColombo. Retrieved from https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/BepiColombo/From_Messenger_to_BepiColombo
2. NASA, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Carnegie Institution of Washington, Top 10 Science Results and Technology Innovations. Retrieved from <https://messenger.jhuapl.edu/index.html#top10>
3. ESA, TGiuseppe 'Bepi' Colombo: Grandfather of the fly-by Retrieved from https://www.esa.int/About_Us/50_years_of_ESA/Giuseppe_Bepi_Colombo_Grandfather_of_the_fly-by
4. JAXA, Discovery of local chorus waves that unlock the source of Mercury's electron acceleration and aurora! Retrieved from <https://www.isas.jaxa.jp/en/topics/003540.html> (Sep 15, 2023)
5. ESA, BepiColombo's best images yet highlight fourth Mercury flyby. Retrieved from https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/BepiColombo/BepiColombo_s_best_images_yet_highlight_fourth_Mercury_flyby (May 09, 2024)
6. ESA, Top Five Mercury mysteries that BepiColombo will solve. Retrieved from https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/BepiColombo/Top_Five_Mercury_mysteries_that_BepiColombo_will_solve (April 09, 2020)
7. 周毅桓 (民112) 。信使號水星探測任務。臺北星空。第115期。Retrieved from https://tam.gov.taipei/News_Content.aspx?n=FDE741762D625CD4&sms=E756759C10260173&s=7B93B1223B75BD8B
8. Roger Freedman, Robert Geller, William J. Kaufmann. (2019) . Universe 11 Edition. New York, United States of America: Macmillan Learning.

YouTube 相關影片：

- 貝皮可倫坡號水星探測任務
https://youtu.be/xHHfUnmkXi4?si=SC5_F8dlh5gxAOQT
- 貝皮可倫坡號第6次飛越水星縮時攝影
https://youtu.be/Drh5agiQYzE?si=9zPV8C_0WUUnnDywu
- 貝皮可倫坡號-飛行路徑與任務時間軸
<https://youtu.be/BK3F4fmqtbA?si=NgJFvAj98nuPHA5D&t=38>