

文/ 周毅桓

信使號

水星探測任務

為了了解水星的面貌，NASA的信使號（MESSENGER）在2004年升空，2011年進入環繞水星的軌道，開始為期4年的觀測，並在2015年結束觀測任務。信使號帶回了許多珍貴的水星影像，並揭露了許多水星的特質。隨著這些新發現，引出一些科學家至今未能解開的謎團。本期天文學教室，將帶大家深入認識水星，並藉著信使號的影像，帶大家一探水星的奧秘。

圖片來源：NASA

6道關鍵問題 等待信使號觀測解答

在信使號出發前，水手10號（Mariner 10）探測器曾在1975、1976年時3次掠過水星，除了拍攝到水星45%的表面影像之外，並藉由測量水星重力偏轉探測器的幅度，測量到水星的質量約地球的0.05倍，但平均密度卻和地球差不多。考慮地球的質量相較水星大許多，自身重力的收縮將使地球有較高的平均密度。但水星的質量很小，卻有著和地球差不多的密度，表示自身是由密度較高的物質所組成。水星在未受到自身重力收縮時的密度約 $5.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，這意味著水星至少有60%

質量應為金屬核心，因此，水星核心的半徑應為其半徑的75%以上。

天文學家提出了3個理論嘗試解釋水星富含金屬核心與密度較高的原因。一是水星在形成前，太陽星雲在靠近太陽的地方，輕的矽質微粒與重的金屬微粒被分開，輕的矽質粒子掉進了太陽，留下重的金屬粒子區域形成水星，但這個說法無法預測矽酸鹽礦物成份的改變。二是巨大的熱量將水星形成時外層的岩質外殼蒸發，留下金屬核心，依照這個說法的預測，水星將會缺乏揮發物質（volatile elements）。三是水星在內部物質完成分餾後，受到其他原行星的撞擊，使地殼與上部地函脫落，撞擊產生的高熱也

可能使水星缺乏揮發物質。了解水星的密度及核心鐵含量為何這麼高的原因，是信使號的任務首要目標。

其次，水手10號拍攝到水星的表面布滿了隕石坑，這符合天文學家的猜測，因為行星若半徑較小，使行星表面積與體積的比值較大，導致內部熱能向太空散失的速率較快，致使行星冷卻亦快，造成行星內部缺乏熱能驅動，無法有活躍的地質活動將表面長期受到的隕石撞擊留下的坑洞彌平。因此，行星表面的隕石坑越密集，表示該區域形成時的地質年紀越古老，反之，表面越少隕石坑，表示該區域形成時間越年輕。水星質量與體積較小，

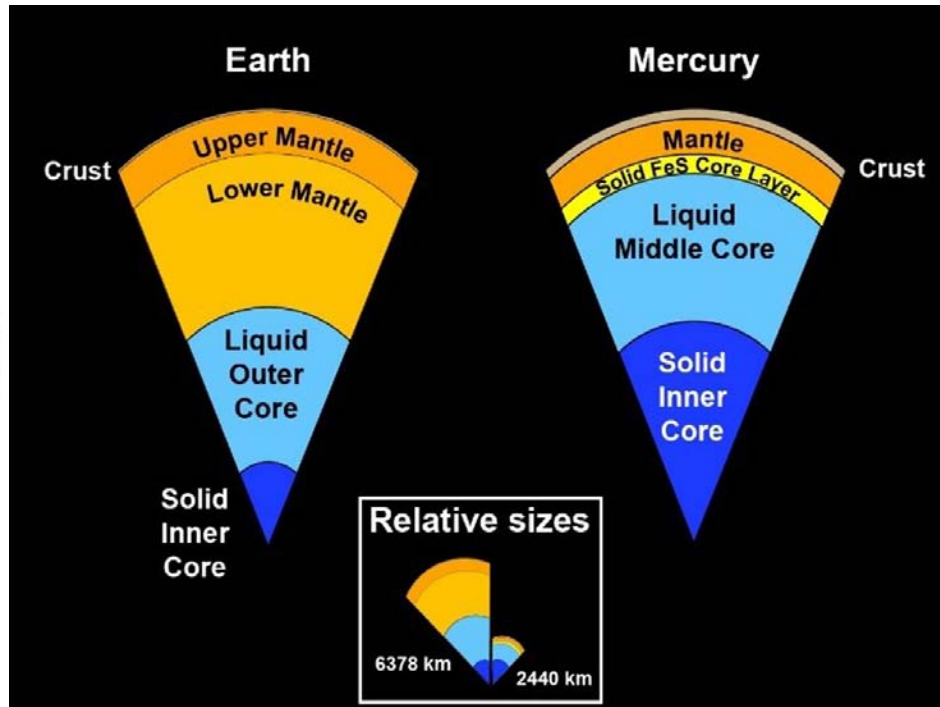
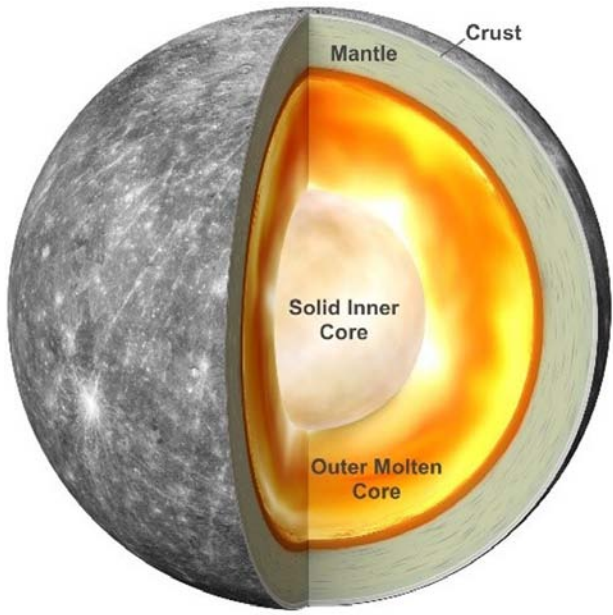


圖1. 水星的鐵質核心半徑約有2,074公里，佔行星半徑的85%，可能具有部分熔融的外核心。圖片來源：NASA's Goddard Space Flight Center（左）、NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington（右）

與表面布滿坑洞的觀測結果一致，但水手10號傳回的影像中，似乎水星有一些火山活動形成的平原。這些平原是什麼時候形成的？水星的火山活動大約活躍在哪個年代？天文學家希望藉由信使號的觀測來拼湊出水星過去的地質史。

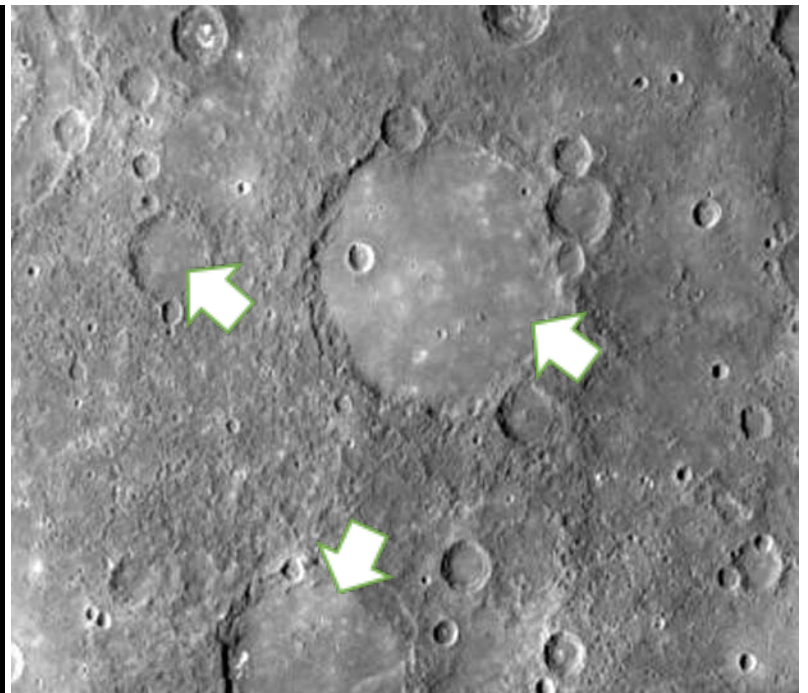
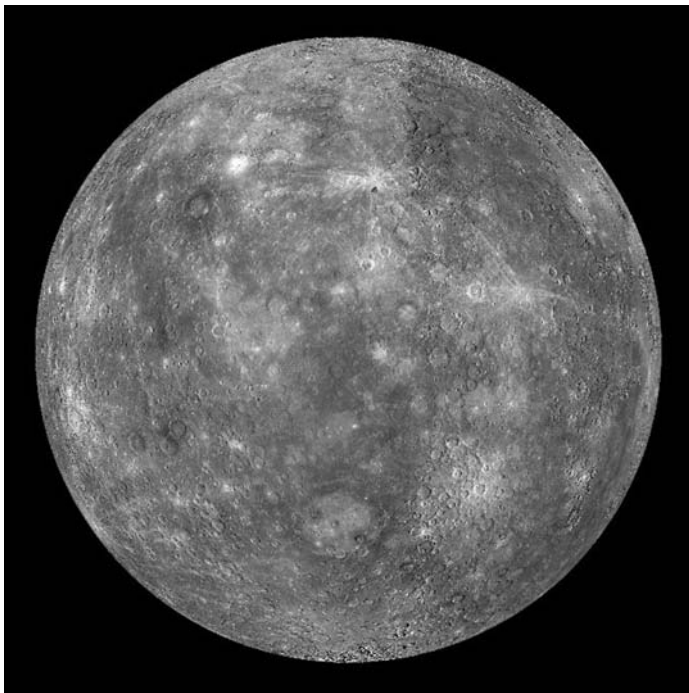


圖2. 左側為信使號在2011年拍攝到完整的水星表面，可以見到表面布滿了隕石坑。右側為水手10號在2000年拍攝到水星表面在古老的盆地中，可以看到年輕的平原存在，似乎是火山活動的遺跡。圖片來源：NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

水手10號在飛掠水星的過程中，雖然測得水星可能有磁場，強度約為地球磁場的1%，但磁場強度與來源有很大的不確定性，天文學家希望進一步了解水星的磁場結構。

早在1991年天文學家就發現雷達回波顯示水星的兩極含有一些反射率較高的物質。這些反射率較高的物質，有可能是水冰嗎？水星表面在部分區域溫度高達430°C，仍可能含有水嗎？天文學家希望能在這趟任務中獲得確認。

相較於地球與金星，水星的大氣非常稀薄，幾近完全沒有大氣。但仍然被一層稱為外氣層（exosphere）的氣體所包覆，由於這層氣體過於稀薄，水星外氣層中的氣體分子不與其它分子相碰撞，而是於地面碰撞後反彈至外氣層中。但這層外氣層不是穩定的存在，天文學家認為水星上可能有揮發物質（volatile）補充外氣層。找到水星表面重要的揮發物質，是信使號水星探測任務的第6個目標。

信使號的重大發現

所有問題在信使號開始環繞水星觀測後，得到

進一步的解答。首先，信使號發現在水星的兩極確實有水冰的存在，水冰存在於隕石坑中接受不到太陽光照射的永久陰影處。水星表面因無大氣重新地均勻分布來自太陽光的熱能，因此表面各區域溫度約在430°C至零下220°C不等，為水冰存在於水星表面提供了有利的環境。

信使號觀測到水星表面有一些熔岩流及火山沉積物的火山活動遺跡（圖4），其中觀測到最年輕的火山活動遺跡約為10億年左右。而水星表面有一道道跨過隕石坑的懸崖（圖5），暗示著水星整個行星正在冷卻收縮。除此之外，信使號還觀測到水星表面布滿了一些特殊的空洞（圖6）。這些空洞總共約445群，占地面積約57,400平方公里。由於和日照率有相關性，科學家推測有可能是因為太陽光的照射使其中的揮發物昇華，造成了空洞的產生。

信使號觀測到水星的外氣層由於反射太陽光，使外氣層中的鈉原子呈現橘色的狀態，部分鈉原子被太陽風帶離了水星，這讓水星在太空中看起來拖了一道明亮的鈉原子的尾巴。水星的外氣層由氫、氦、氧、鈉、鈣，及由信使號觀測到的鎂所組成。其中氫與氦是由太陽風所補充，其它的則可能由撞擊水星的隕石或水星表面的岩石所提供。這些物質

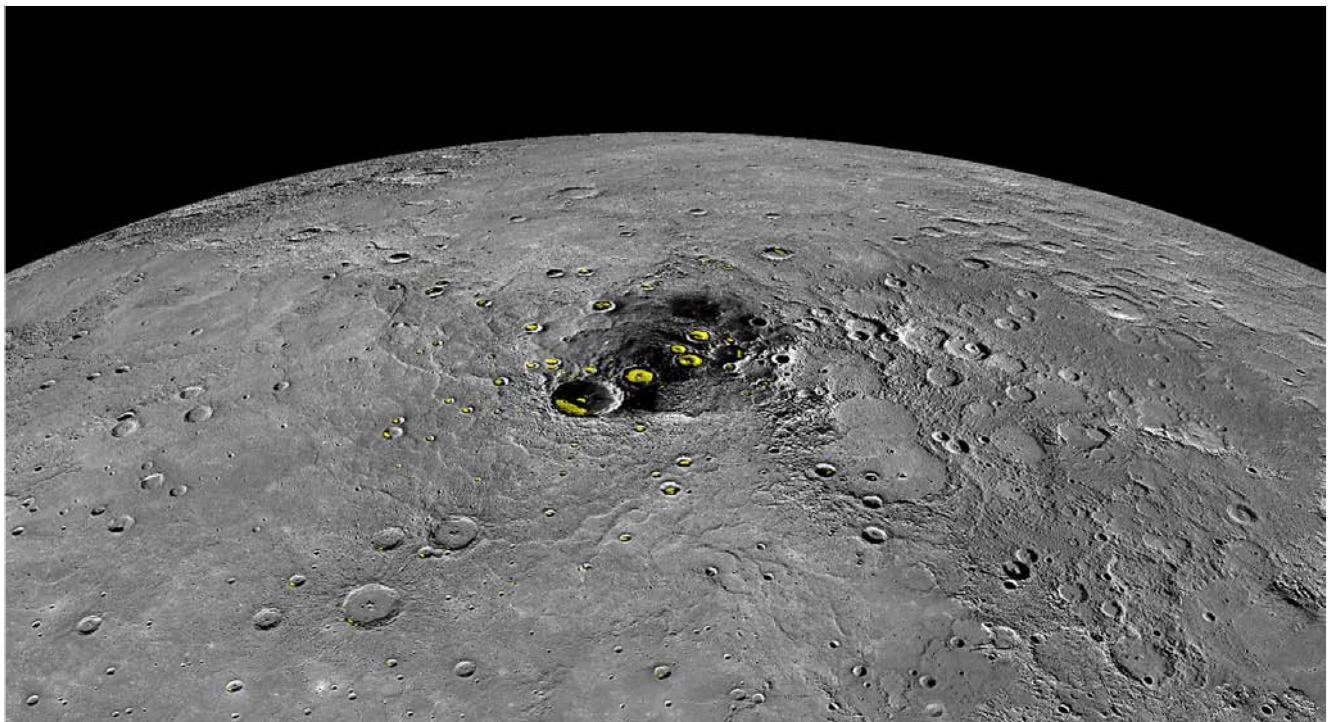


圖3. 水星北極的區域含有水冰，照片為信使號拍攝影像，黃色部分為合併阿雷西波天文臺的雷達回波影像，即為水冰的位置。圖片來源：NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

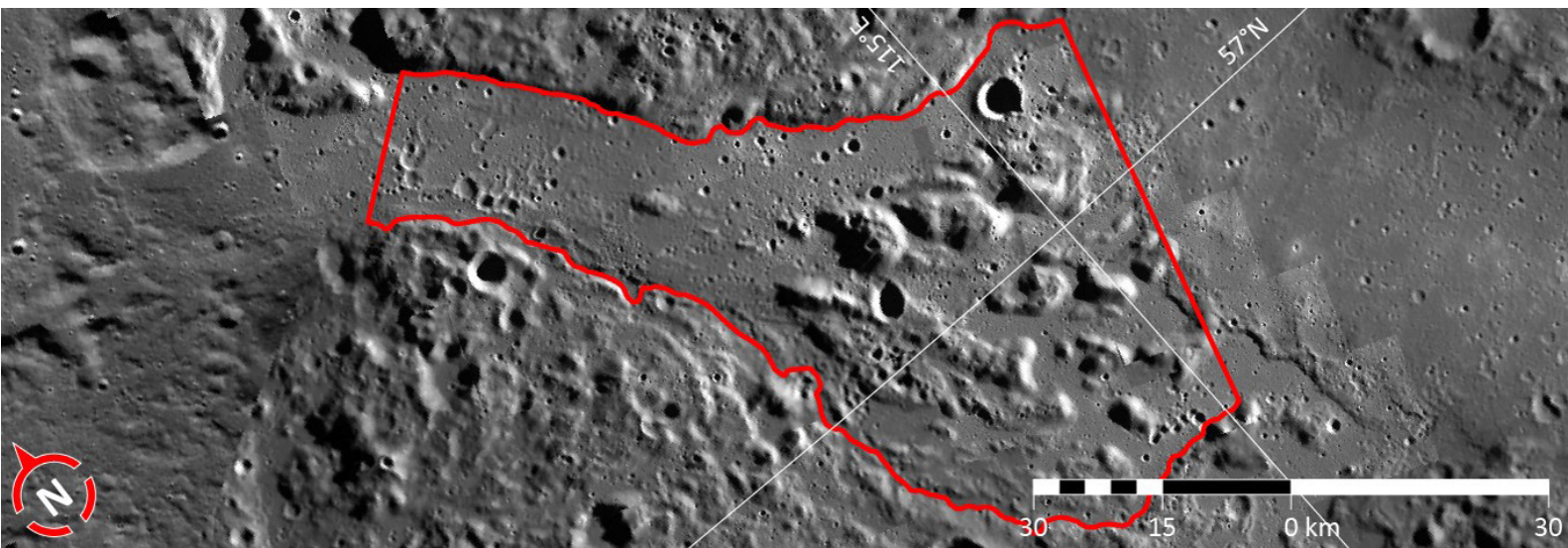


圖4. 信使號發現水星表面火山活動的遺跡，表示水星曾有一段活躍的火山活動時期。圖片為一道被稱為吳哥谷（Angkor Vallis）的熔岩流遺跡。圖片來源：NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

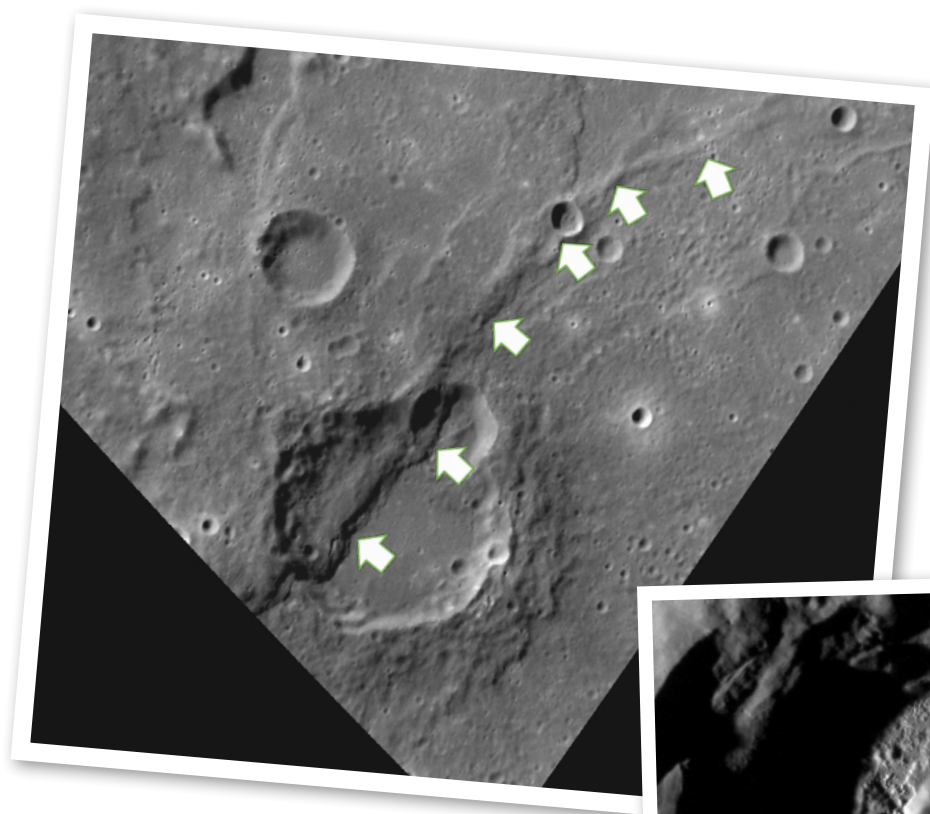


圖5. 信使號在水星表面發現了一道道的懸崖，這是水星整顆行星正在冷卻收縮的證據。圖片來源：NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

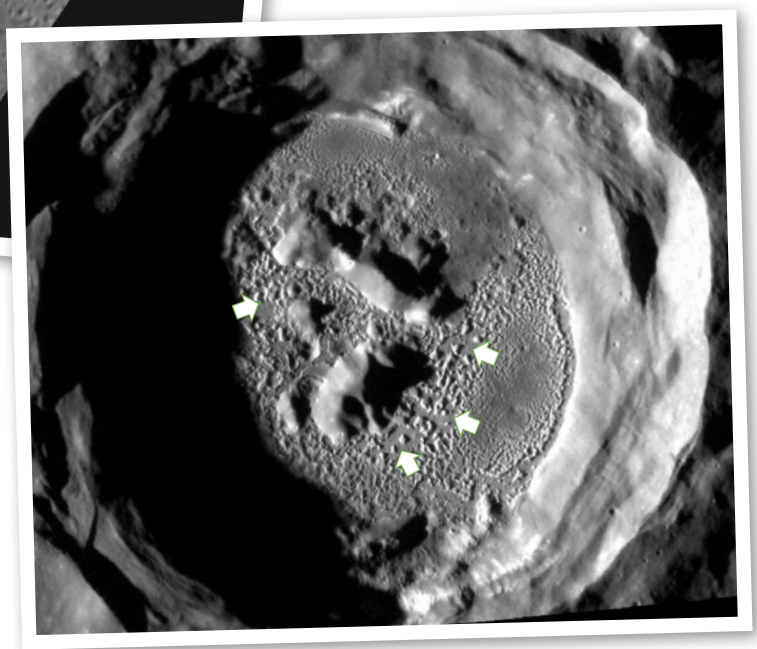


圖6. 水星表面布滿了許多空洞（hollows），是水星表面最年輕的地質活動。這張照片是信使號2013年所拍攝的柯特茲撞擊坑（Kertész crater），可以看見撞擊坑底部表面較細的反光凹陷處，皆是空洞構造。圖片來源：NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

可能由撞擊所導致的岩石汽化；或是可能在太陽光照射下表面岩石的元素蒸發；也可能是受到太陽風或行星磁場的高速帶電粒子撞擊而噴射出；或可能是由水星內部擴散出去……等數個過程交互作用所產生的結果。

信使號觀測到水星具有完整的行星磁場，雖然磁場強度只有地球磁場的1%，但相較之下，比水星大許多的金星卻沒有行星磁場，火星則可能曾經一度有行星磁場，但持續不久就停止了。考量水星的質量較小許多，表面又布滿坑洞，就水星質量與表面坑洞密度來推測，水星的地質活動可能已經停止。而信使號的觀測結果，水星的行星磁場可能已經持續了至少30多億年，這表示水星內部仍有足夠的熱能存在、內部仍有部分是熔融狀態，才可能藉由行星自轉，帶動內部熔融區域帶電粒子的環流，以電磁感應的方式產生感應的行星磁場。信使號並觀測到水星的行星磁場中心，約位在水星核心北方約488公里的位置。水星的磁場中心偏離了行星核心約20%行星半徑的距離，但在太陽系具有磁場的行星中，沒有如同此大偏移比例的行星磁場中心。而水星每58.6天自轉1圈，如何以這麼緩慢的自轉速度產生感應磁場？水星磁場中心為什麼有這麼大的偏移？直到目前為止，天文學家還仍感到疑惑。

信使號在探索任務中最重要的發現是水星富含揮發物質。揮發物質需要在比較低溫的環境才能存在於行星表面，而這暗示著水星有可能是在離太陽較遠的地方形成。而前面所提到水星形成的3個理論，也因為此項發現而各自產生重大的瑕疵，使天文學家思考修正現有太陽系形成理論的可能性。

信使號的探索成果擴展了天文學家對太陽系的認識，接下來

將由日本宇宙航空研究開發機構（JAXA）及歐洲太空總署（ESA）攜手合作的貝皮哥倫布號（BepiColombo）接手探測任務，探測器於2018年升空，預計將於2025年進入環繞水星軌道。這趟任務是否能進一步解答信使號留下未解的謎團，且讓我們拭目以待。

周毅桓：臺北市立天文科學教育館

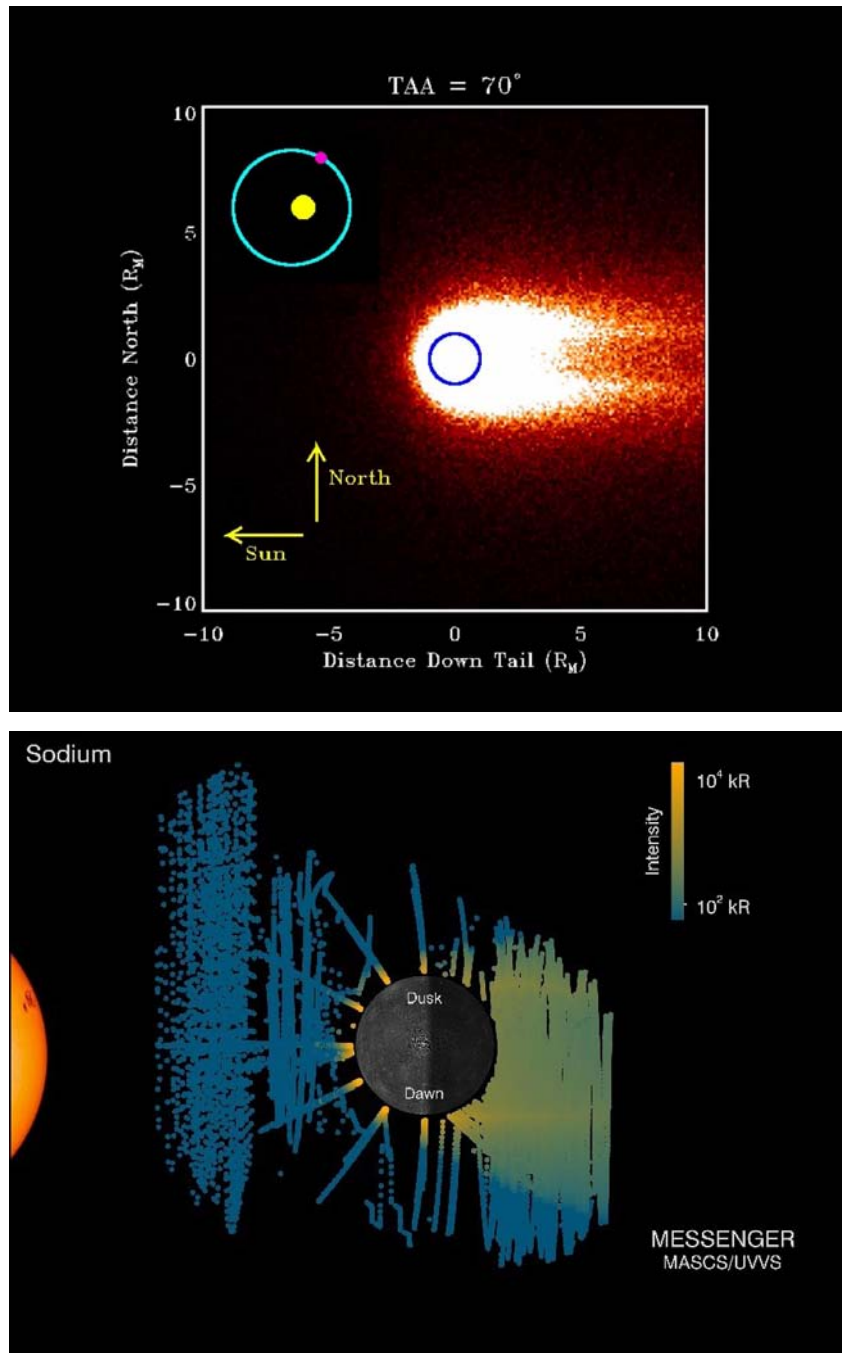


圖7. 水星外氣層的鈉原子尾巴，水星外氣層的鈉原子反射太陽光，使自身呈現橘色光芒。太陽風將鈉原子帶離外氣層，而使水星在太空中拖了一道明亮的尾巴。圖片來源：NASA/GSFC/Matthew Burger（上），NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington（下）

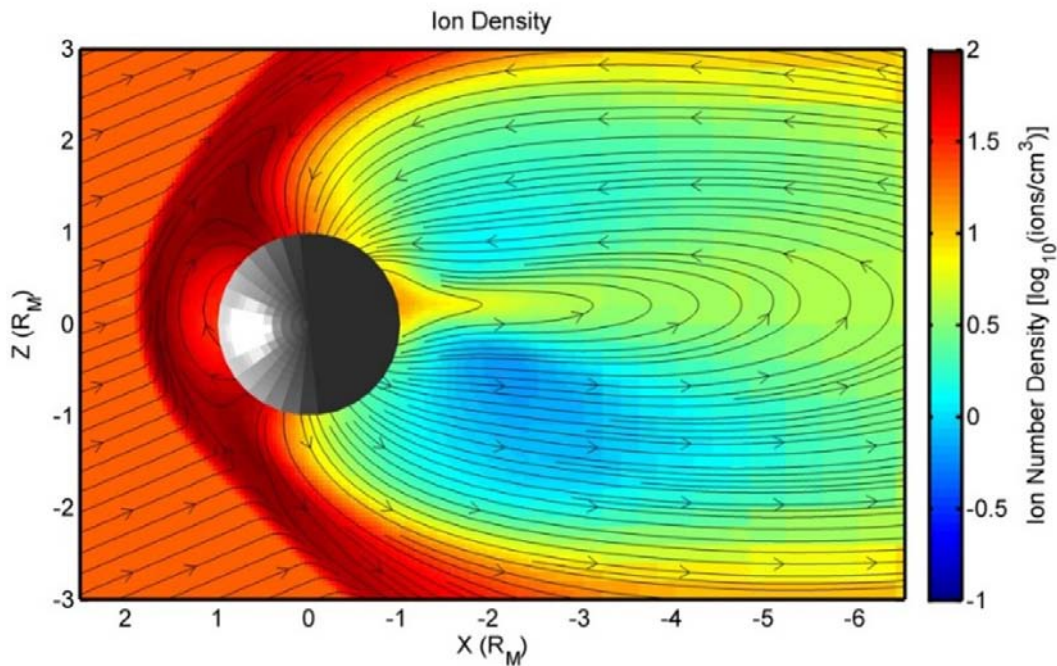


圖8. 水星有完整的行星磁場，磁場強度約為地球的1%。因其磁場的尺度較小及較靠近太陽的因素，磁場處在高度動態的變動中。圖片來源：NASA/GSFC/Mehdi Benna

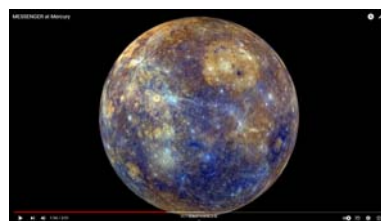
參考資料：

1. Sean C. Solomon, Ralph L. McNutt Jr., Robert E. Gold, Deborah L. Domingue. (2007). MESSENGER Mission Overview. Space Science Reviews 131, 3-39 doi: 10.1007/s11214-007-9247-6
2. Rebecca J. Thomas a, David A. Rothery a, Susan J. Conway a, Mahesh Anand (2014). Hollows on Mercury: Materials and mechanisms involved in their formation. Icarus 229, 221-235 doi: 10.1016/j.icarus.2013.11.018
3. Ken Croswell. (2015). Ancient Mercury had a magnetic field. Retrieved from <https://www.science.org/content/article/ancient-mercury-had-magnetic-field> (May 7, 2015)
4. NASA, The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Carnegie Institution of Washington. (2011). MESSENGER Mercury Orbit Insertion Press Kit. Retrieved from https://www.nasa.gov/pdf/525164main_MercuryMOI_PK.pdf (March 18, 2011)
5. MESSENGER, Unlocking the Mysteries of Planet Mercury. Top 10 Science Results and Technology Innovations. Retrieved from <https://messenger.jhuapl.edu/index.html#top10>
6. MESSENGER, About the Mission to Mercury. Why Mercury. Retrieved from <https://messenger.jhuapl.edu/About/Why-Mercury.html>
7. Roger Freedman, Robert Geller, William J. Kaufmann. (2019). Universe 11 Edition. New York, United States of America: Macmillan Learning.

YouTube相關影片：



信使號-解開水星的奧秘
<https://youtu.be/UVVerBya6l4>



信使號-水星觀測任務中
<https://youtu.be/ENwD31EDFjc>



Mercury 101
<https://youtu.be/OKBjnNuhRHs>