

冥王星 (Pluto) 在1930年由天文學家湯博 (Clyde Tombaugh) 發現，最開始時，冥王星曾被認為是太陽系第九顆行星，但隨著觀測資料的累積，冥王星被發現質量大小只有不到月球的20%，繞太陽公轉軌道離心率高，軌道面也有很大的傾角，不像太陽系其他行星那樣，公轉軌道大致在同一個平面（黃道面）上，軌道也接近圓形。

2005年時天文學家布朗 (Mike Brown) 在古柏帶 (Kuiper Belt) 發現了閼神星 (Eris)，它的質量甚至比冥王星還大，隨著越來越多和冥王星差不多大小的古柏帶天體被發現，於是在2006年的時候，冥王星被國際天文聯合會分類為矮行星，冥王星從太陽系的九大行星中除名。但即使冥王星不再被歸類於行星，它依舊是科學家十分感興趣的研究對象，NASA計畫在2006年時派遣一艘太空探測器前往冥王星，這趟太空任務命名為新視野號 (New-Horizons)，本期天文學教室將跟著新視野號，一探冥王星奧秘。

寒冷而活躍的世界

新視野號 冥王星探測任務

文/ 周毅桓

圖片來源：JHUAPL/SwRI

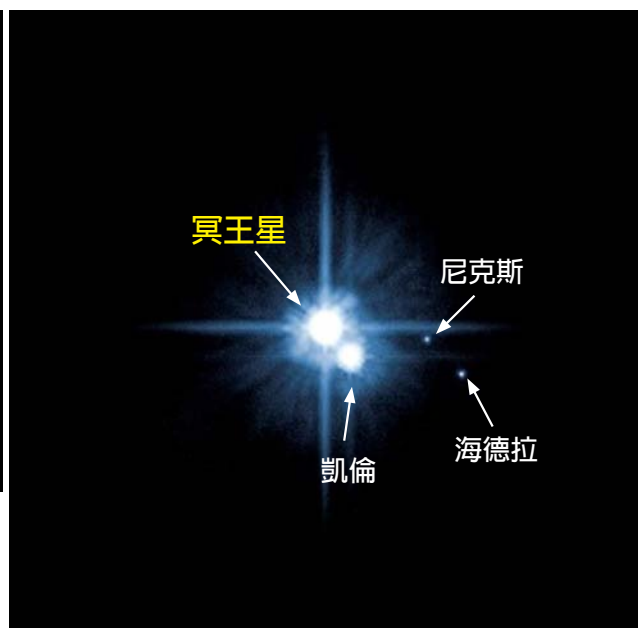


圖1. 上圖：冥王星與衛星凱倫的照片，由哈伯太空望遠鏡在1994年第一次成功解析衛星凱倫並拍攝到，畫面中左邊是冥王星，右邊是衛星凱倫。圖片來源：ESA/ESO NASA（上）。

右圖：哈伯太空望遠鏡在2006年初次發現冥王星另外兩顆衛星尼克斯（Nix）及海德拉（Hydra），照片中央是冥王星和衛星凱倫，右邊藍色小光點為新發現的兩顆衛星。圖片來源：NASA, ESA（右）。

寫在探測器出發之前

在新視野號出發前，天文學家就已經發現了冥王星的其中3個衛星，在新視野號前往的路程中，哈伯太空望遠鏡又發現了另外兩個（圖1）。這5個衛星中，衛星凱倫（Charon）的半徑約為冥王星的0.5倍，質量約為冥王星的12%。這讓冥王星與衛星凱倫成為太陽系唯一的雙矮行星系統，彼此繞著共同的質心旋轉，並以潮汐力鎖定對方，公轉的同時，彼此永遠以同一面相互對望著。

冥王星和衛星凱倫的特性有很大的反差，例如冥王星的表面反照率很高，而衛星凱倫的反照率偏低、冥王星有明顯的地表特徵，像是兩極的冰帽，而衛星凱倫地表幾乎沒有明顯的特徵、冥王星有大氣，它的大氣密度約為火星的300至600倍，而衛星凱倫則幾乎沒有大氣。這讓科學家感到疑惑，如果這組雙矮行星系統是同時生成的，為什麼會有這麼大的差異？這樣的差異究竟是可

以歸因於兩個天體的質量、大小和組成物質的差別，或是兩者最開始就是經由不同的機制形成的？在新視野號出發前，科學家猜測，或許是冥王星和其他天體相撞，噴發的岩石碎片聚集成衛星凱倫圍繞著冥王星公轉。但這僅僅只是猜測，科學家們希望這次任務能傳回一些關鍵的證據，來印證猜測的真實性。

另外科學家發現冥王星可能主要是由冰和有機物所組成，和海王星的衛星海衛一（Triton）在密度、大小、表面組成非常相似，海衛一以逆行的方式圍繞海王星公轉，科學家猜測海衛一本來也是古柏帶天體，被海王星的重力所捕獲，成為海王星的衛星。而在航海家2號1989年飛掠海王星時，拍攝到海衛一表面有冰火山活動（圖2）。冥王星上也可能有冰火山存在嗎？科學們對於這次任務充滿期待。

科學家還有一個關注的議題，是冥王星大氣層的狀態。冥王星繞

太陽公轉的橢圓軌道較為扁平，而且傾斜，有時會比海王星更靠近太陽，這使得冥王星表面溫度差大，季節變化比地球複雜很多。另外，冥王星的大氣中，有一氧化碳、甲烷、氮氣這三種氣體隨著季節變化在冥王星的表面與大氣中以固態或氣態的形式轉化著存在的方式。相較於地球上，只有水氣這一種氣體會在極區大規模的從空氣中凝結成冰，當到夏季氣溫升高時，水冰融化成水最後化為水氣進入大氣中。

此外，科學家認為冥王星的外層大氣分子的熱能，足以使氣體分子脫離冥王星微弱的重力束縛，正在向外脫離大氣中。科學家們認為這個過程，地球過去也曾發生過，在地球剛形成時，因地表溫度較高，大氣中較輕的氫與氦等氣體脫離大氣層，向外散逸至太空中，使地球大氣成份轉變成較適合生命演化的成份組成。但這個過程直到當時，還不曾其他行星，甚至系外行星觀測過。在這個部分，冥王星提供了一個絕佳的現場觀測樣本。

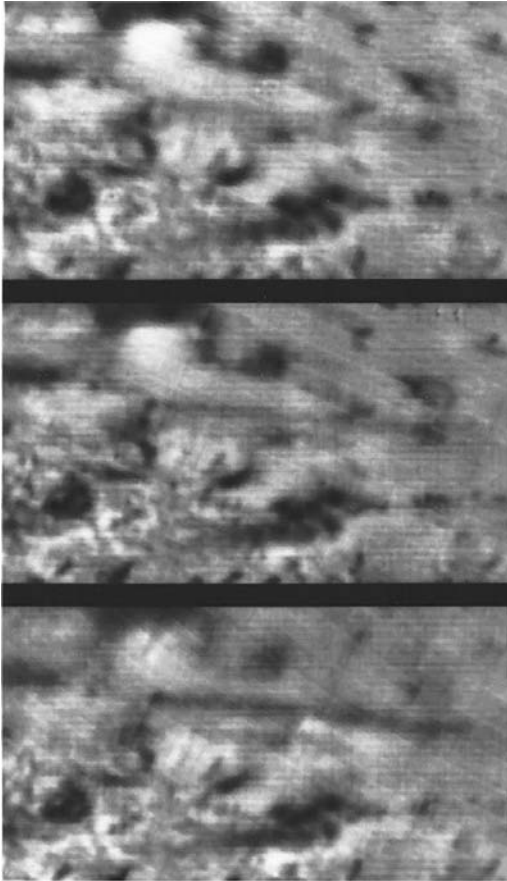


圖2. 上圖是航海家2號探測船 (Voyager 2) 在1989年飛掠海王星時拍攝到海衛一的照片，在新視野號抵達冥王星前，科學家猜測冥王星的地表很可能和海衛一很相似。左圖是三張縮時攝影，航海家2號發現海衛一有冰火山活動，在畫面正中央偏左一點，可以看到暗色的煙塵上升到空中，並跨過照片畫面正中央向右側飄過。圖片來源：NASA/JPL/USGS (上)。NASA/JPL (左)。

新視野號抵達冥王星

新視野號在2006年升空，在2007年的時候掠過木星，藉由木星強大的重力加速，以每小時83,600公里的速率朝冥王星前進，並在2015年時抵達冥王星。

當冥王星的照片回傳時，震撼了NASA的科學家們 (圖3)。

照片中右下角有一個心形的，非常年輕的冰河地形，心形的左上角，靠近畫面中央的部分，科學家將它命名為史波尼克平原 (Sputnik Planitia)。這是至今發現到太陽系內規模最大的冰河地形。這個史波尼克平原形成的位置並非偶然，這個位置是一個冷阱，比周遭更為低溫的表面在這裡將氮凝華成冰，氮所結成的冰在這裡堆積成冰層，這裡的冰層至少厚達4公里。厚重的冰層使冥王星的



圖3. 新視野號在2015年7月13日距離冥王星4萬5,000公里時拍攝到的色調加強照片，照片包含了部分可見光與紅外線波段的影像，照片上可以看到，冥王星具有紅色的地表，畫面右下角地表覆蓋了一個心形的冰河地形，地表上的隕石坑非常少，在右下角冰河上幾乎沒有隕石坑的蹤跡，代表冰河地形非常年輕，可能不到1千萬年。圖片來源：NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute。

自轉軸失去平衡，加上與衛星凱倫對冥王星施加的潮汐力相結合，使史波尼克平原無時無刻都必需面對著衛星凱倫，這迫使冥王星的自轉軸發生傾斜，並跟著史波尼克平原自轉。在那次自轉軸傾斜發生時，造成冥王星大部分的地表上出現了許多鋸齒狀的巨大斷層。

科學家推測史波尼克平原可能是約40億年前，因為一個古柏帶天體撞擊所產生的一個巨大隕石坑，盆地底部薄弱的地殼，使藏在冥王星地殼之下的「海洋」侵入，並朝地殼薄弱處向上推擠，然後氮在這個地方的頂部堆積成冰層。（圖4）

最讓科學家驚訝的發現，是在冥王星冰層地殼

底下，藏有一層覆蓋整個星球的海洋。科學家發現冥王星地表上有一些長達數公里的斷層，並深入地殼下方，這些斷層產生的原因，很可能是因為冥王星的冰層地殼下方，海洋開始結冰。在地球上，液態水到攝氏零度時會開始結冰，結成冰後，水冰的體積會膨脹，但若像冥王星這樣極度寒冷（表面溫度約攝氏零下223度），結成的水冰會開始收縮。於是在冥王星的地表的冰層地殼產生了一道道長達數公里的斷層。由於冥王星的溫度如此的低，若是整層海洋結冰，將使冥王星整顆星球發生收縮，但根據新視野號的照片，並沒有任何地質證據證明冥王星已經發生了收縮。科學家推斷，在冥王星厚達200公里的冰層地殼下方還存在著大量的正在結冰中的液態水。這意味著，即使到了今天，冥王星的地表還正在生成新的斷層。此外，科學家在冥王星的地表發現了許多冰火山（cryovolcano）口，以及由這些冰火山口流出來的冰熔岩（cryolava）流遺跡（圖5）——冥王星是一顆地質活動非常活躍的星球。

為了測量冥王星的大氣結構，新視野號在通過冥王星後，科學家利用掩星法，從地球發射一道電磁波，電磁波經冥王星的大氣折射後由新視野號接收到，藉此測量冥王星的大氣結構。科學家並利用太陽光穿過冥王星的大氣層並折射後，由新視野號進行觀測，以取得冥王星的大氣組成成份。

結果發現，冥王星大氣層由氮、甲烷和一些微量的一氧化碳與光化學產物所組成，在相同的大氣壓下，冥王星大氣等壓面高度比地球大氣高一些，最頂層溫度最高，溫度一路往地表降低，地表大氣壓力大約是地球的十萬分之一，高空中氮氣分佈比較少，低空中甲烷分佈較多。冥王星大氣頂層溫度比科學家預期低了25%，這導致冥王星大氣頂層比預期中還緻密，這讓氮氣的逃脫速率比科學家預期的還低10,000倍，這與衛星凱倫的紅色表面相吻合。科學家認為，凱倫捕獲了冥王星大氣逃脫的甲烷及乙炔、乙烯等光化合物，落到衛星凱倫表面，使星球表面呈現紅色。在冥王星掩星時，新視野號拍攝到冥王星的大氣層下方，覆蓋了一層霧霾，這層霧霾是由托林（tholin）所組成，托林是在低溫下由氮、甲烷及乙炔等化合物所形成的聚合物，這與冥王星大氣組成成份相一致，這層細細的霧霾散射了太陽光藍光的部分，使新視野號看到藍色的光芒。（圖6）

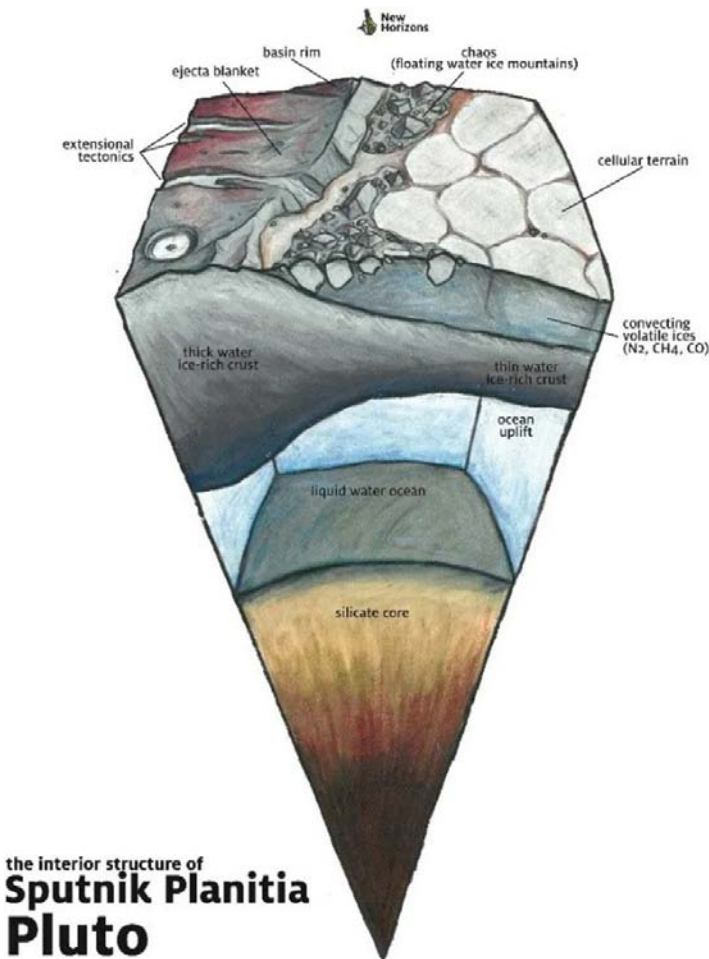
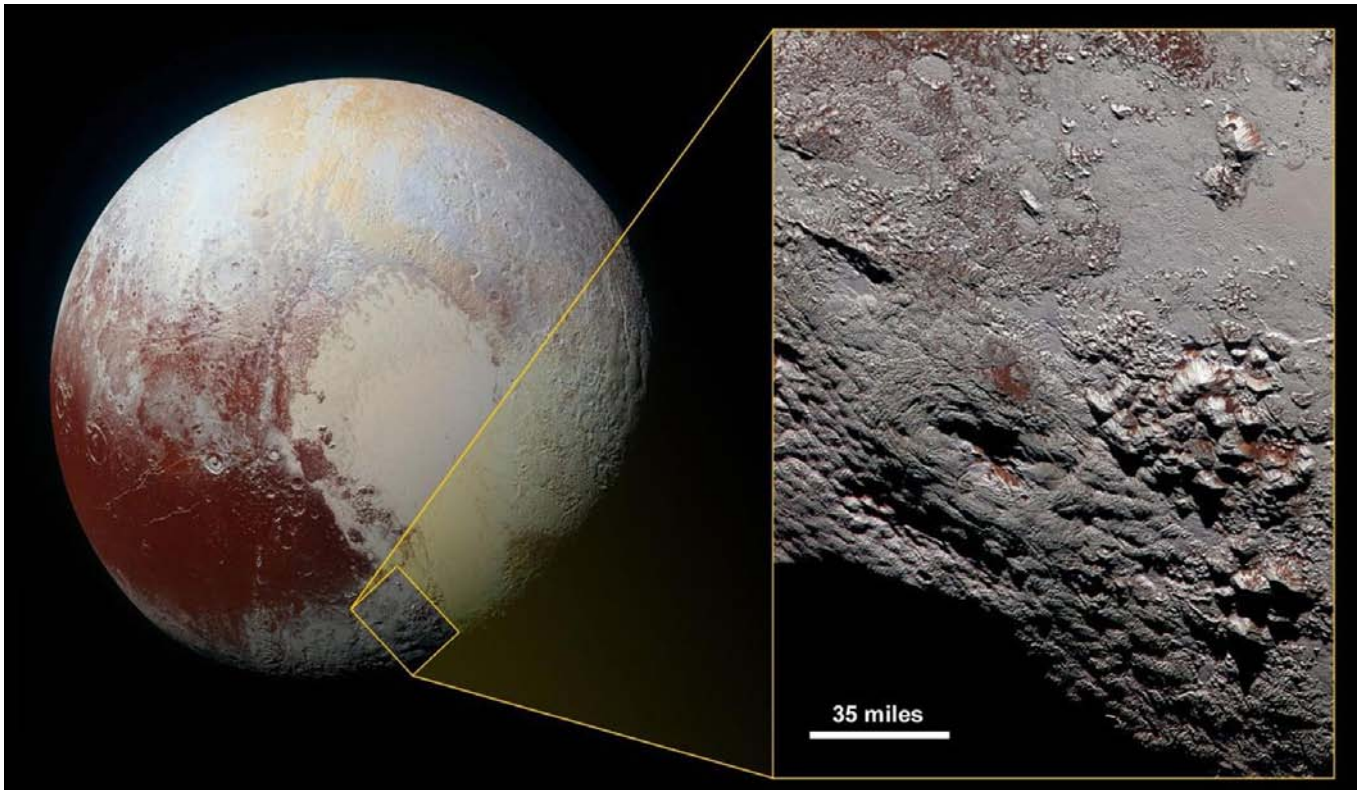
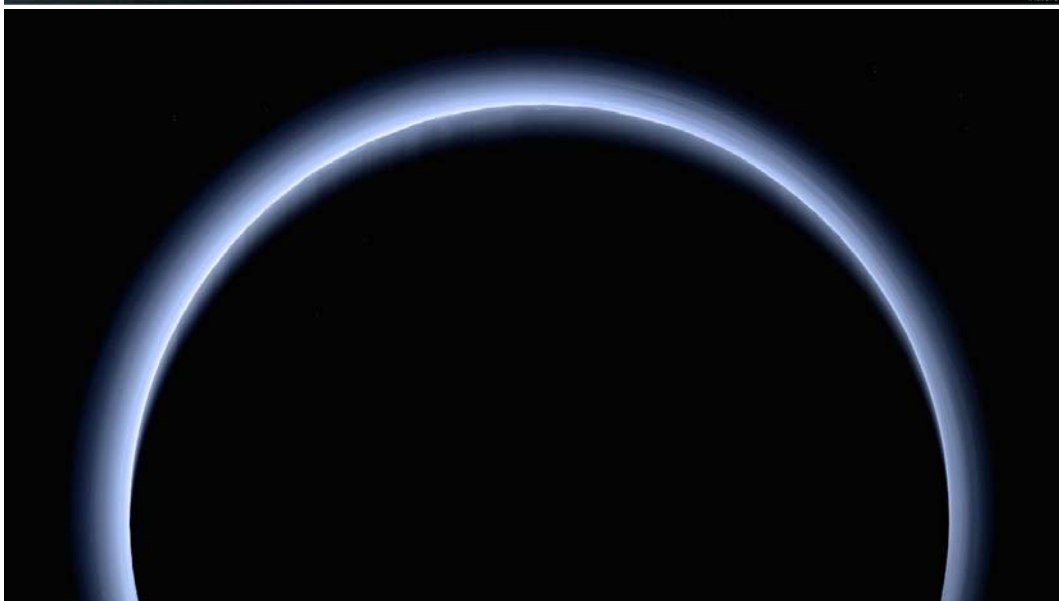
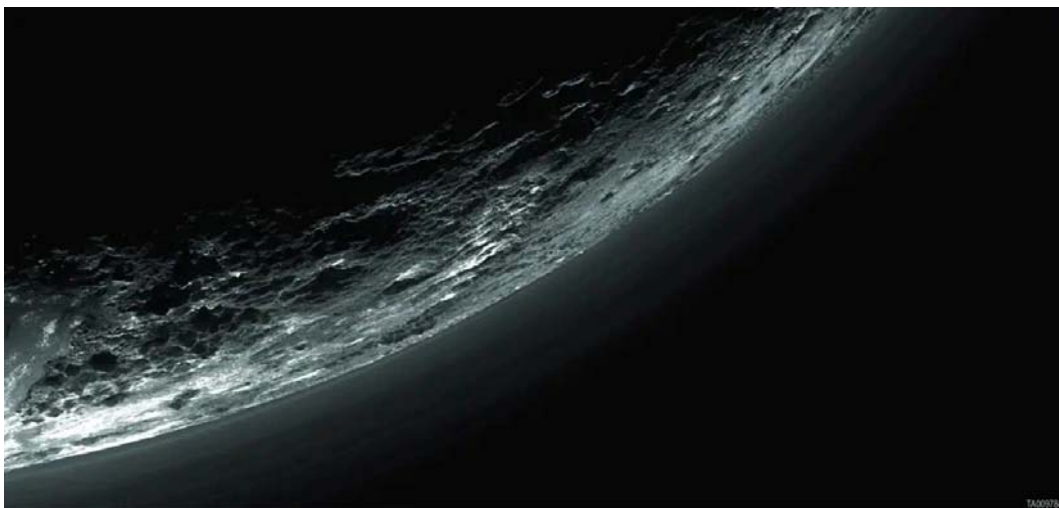


圖4. 科學家以新視野號的觀測資料建構出冥王星在史波尼克平原下方的地質構造模型。可以看到在岩層核心上方覆蓋著一層由水組成的海洋，海洋上方覆蓋著一層冰層地殼。在史波尼克平原下方的冰層地殼比周圍還薄，底下的海洋向這個薄弱處向上推擠。然後氮在這個地方的頂部堆積成冰層。圖片來源：James Tuttle Keane（NASA JPL）。



↑圖5. 新視野號在冥王星表面上拍攝到了一些冰火山山口和冰熔岩流遺跡，這些遺跡推測不超過10億年，雖然沒有拍攝到噴發中的冰火山，但這說明冥王星至少曾有一度有活躍的冰火山活動。圖片來源：NASA/JHUAPL/SwRI。



←圖6. 新視野號在通過冥王星，進入冥王星的陰影後，拍攝到冥王星的大氣層中覆蓋了一層霧霾。上圖中，離地表最近的那一層即是霧霾。下圖中，這層霧霾散射了太陽光，使冥王星外圍發出美麗的藍色光芒。

圖片來源：NASA/JHUAPL/SwRI（上圖），NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Southwest Research Institute（下圖）。

科學家發現，冥王星內部的熱能向外部散逸，使史波尼克平原表面的氮冰產生對流胞（圖7）。而史波尼克平原表面的氮冰，在白天溫度較高時會昇華為氮氣，晚上時會重新凝華為氮冰，而由於冥王星是由西向東自轉，使空中產生西風。這使得史波尼克平原成為驅動冥王星大氣環流來源（圖8），而新視野號在冥王星表面看到的沙丘、史波尼克平原西側有被風吹拂過的條紋（圖9），則是冥王星盛行西風的證據。

新視野號也拍攝到衛星凱倫（圖10），可以看見衛星凱倫的北半球地形比較高，南半球比較平坦。科學家認為這兩個區域都是由衛星凱倫地殼下方的海洋凍結後膨脹所形成。北半球因膨脹得較多，使地勢較崎嶇。南半球則是冰熔岩流穿破冰火山口或其它裂縫向外溢流，覆蓋整個南半球。

最後，在新視野號所拍攝到的照片中，最讓科學家感到意外的是冥王星地表上幾乎都是較大的隕石坑，數量也比預期的少很多（圖11）。由於冥王星上並沒有已知的地質活動可以完全消除小型隕石坑，科學家大膽猜測可能是古柏帶缺乏較小的天體，導致冥王星上幾乎找不到小型隕石坑，科學家們正在試圖提出適當的模型解釋這個大膽的猜測。

新視野號傳回了許多觀測證據，改寫了科學家對冥王星的猜測，刷新了許多科學家對太陽系外圍的認識。任務還沒結束，新視野號在2015年掠過冥王星後，繼續往古柏帶前進，在2019年時掠過古柏帶天體「天空小行星」（小行星486958, Arrokoth），並在今（2023）年擴展任務，繼續前往太陽系的邊界。



圖7. 若將新視野號拍攝史波尼克平原的照片放大，可以發現一個個寬約10公里的多邊形結構在表面翻騰，科學家認為這是冥王星內部熱能向外部逃逸的過程中，驅使史波尼克平原下方上的氮冰發生對流。這些多邊形即為對流胞，溫度較高的冰從多邊形中央升起，溫度較低的冰從邊緣沉降。圖片來源：NASA/Johns Hopkins APL/Southwest Research Institute。

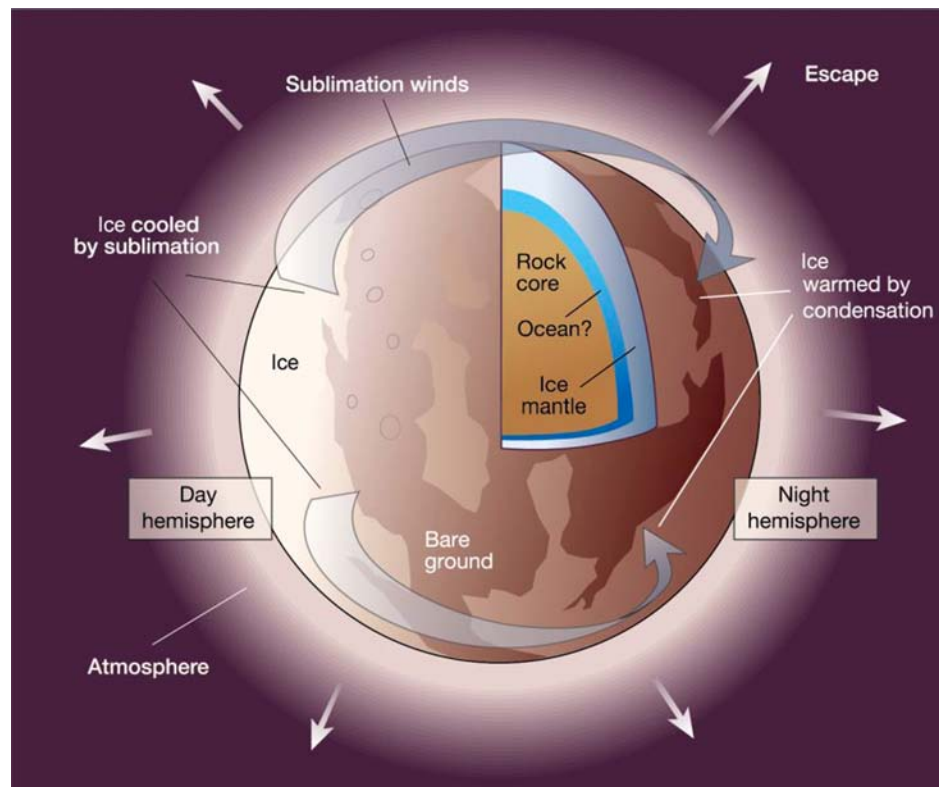


圖8. 科學家根據新視野號的觀測資料，建立冥王星內部及大氣結構模型，可以看到冥王星的大氣層是單胞環流結構，行星風是西風，面對的太陽的一側氮冰昇華，背對太陽的一側凝華，形成對流胞。圖片來源：NASA/Johns Hopkins APL。



圖9. 新視野號拍攝到史波尼克平原西側有一些類似地球上「沙丘」的構造，科學家推測這些「沙」的來源是西北側的水冰山脈。圖片來源：NASA/Johns Hopkins APL/Southwest Research Institute。



圖10. 新視野號拍攝到的衛星凱倫，科學家認為衛星凱倫過去曾經有大規模的冰火山活動。圖片來源：NASA/Johns Hopkins APL/Southwest Research Institute。



圖11. 新視野號拍攝到冥王星上的隕石坑都比較大，而且密度不高。
圖片來源：NASA/Johns Hopkins APL/Southwest Research Institute。

參考資料：

1. Jeremy Rehm. (2020). 10 Cool Things We've Learned About Pluto. Retrieved from <https://hub.jhu.edu/2020/07/21/10-things-we-learned-about-pluto/> (July 22, 2020)
2. NASA, The Johns Hopkins University Applied Physics

- Laboratory. (2015). New Horizons Pluto Flyby Press Kit. Retrieved from <https://pluto.jhuapl.edu/News-Center/Resources/Press-Kits/NHPlutoFlybyPressKitJuly2015.pdf> (March 18, 2015)
- 3 New Horizons, NASA's Mission to Pluto and the Kuiper Belt.

The Pluto System. Retrieved from <https://pluto.jhuapl.edu/Pluto/The-Pluto-System.php>

4. NASA Science Editorial Team. (2018). 10 Things: Looking Back at Pluto. Retrieved from <https://science.nasa.gov/missions/new-horizons/10-things-looking-back-at-pluto/> (July 16, 2018)
5. NASA, Jet Propulsion Laboratory. (2016). First Stellar Occultations Shed Additional Light on Pluto's Atmosphere. Retrieved from <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia20590-first-stellar-occultations-shed-additional-light-on-plutos-atmosphere> (May 18, 2016)
6. NASA, Pluto: Facts. Retrieved from <https://science.nasa.gov/dwarf-planets/pluto/facts/>
7. NASA, New Horizons. Retrieved from <https://science.nasa.gov/mission/new-horizons/>
8. Roger Freedman, Robert Geller, William J. Kaufmann. (2019). Universe 11 Edition. New York, United States of America: Macmillan Learning.

周毅桓：臺北市立天文科學教育館

YouTube相關影片：



新視野號影像將人類的知識帶往太陽系的邊界
<https://www.youtube.com/watch?v=EJxwWpaGoJs>



新視野號在冥王星的科學新發現
<https://www.youtube.com/watch?v=dWr29KIs2Ns>



新視野號造訪古柏帶天體-天空小行星
<https://www.youtube.com/watch?v=b9YcPB0qAig>