

文/ 高銘鴻

美國國家航空暨太空總署（NASA）卡西尼-惠更斯號土星探測任務，發現土星最大的衛星土衛六有許多類似地球上的地質與地形特徵，這些發現除了增加生命存在於泰坦上的機會外，同時也可以證明泰坦是一顆活生生的星球。



泰坦_{土衛六}的地質探測



圖1. 探測土星的卡西尼號太空船。圖片來源：ESA

卡西尼-惠更斯號任務

卡西尼號

泰坦是土星最大的衛星，也是太陽系第二大衛星，1675年法國籍天文學家喬瓦尼·多梅尼科·卡西尼（Giovanni Domenico Cassini）發現土星光環中間有條暗縫—卡西尼環縫。土星探測任務卡西尼號就是以他的名字命名。1997年10月15日卡西尼號發射升空，2004年7月1日進入環繞土星的軌道，於2017年9月15日進入土星大氣層中墜毀，並結束探測任務（圖1）。

惠更斯號

1655年3月25日荷蘭天文學家克里斯蒂安·惠更斯（Christiaan Huygens）發現土星衛星泰坦，惠更斯號以他的名字命名，2004年12月25日惠更斯號與母船卡西尼號分離，並在2005年1月14日降落在泰坦。其任務是探測泰坦的大氣層與地貌。（圖2）。

地質上的發現

火山活動

在太陽系中具有火山活動的天體有：地球、冥

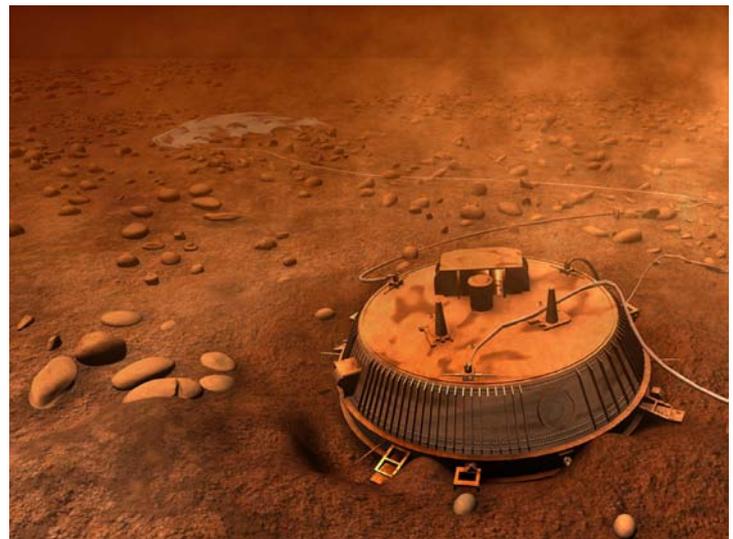


圖2. 在泰坦上實地探測的惠更斯號。圖片來源：NASA

王星、穀神星、木衛一、木衛二、土衛二、土衛六、海衛一。火山活動的證據顯示天體內部有高溫的岩漿。在低溫的天體上，來自天體內部的能量，使得水、氨、甲烷等等的揮發物噴發，則形成冰火山。2019年4月美國亞利桑那大學行星科學研究團隊利用「主成分分析（principal components analysis, PCA）」方法，分析卡西尼號的可見光和紅外映射分光計儀器數據，來尋找甲烷來源，意外發現一條長度達約6,300公里的冰帶，推測很可能是冰火山活動的遺跡，低溫火山可幫助科學家確定：泰坦上是否存在或曾經存在過生命（圖3）？

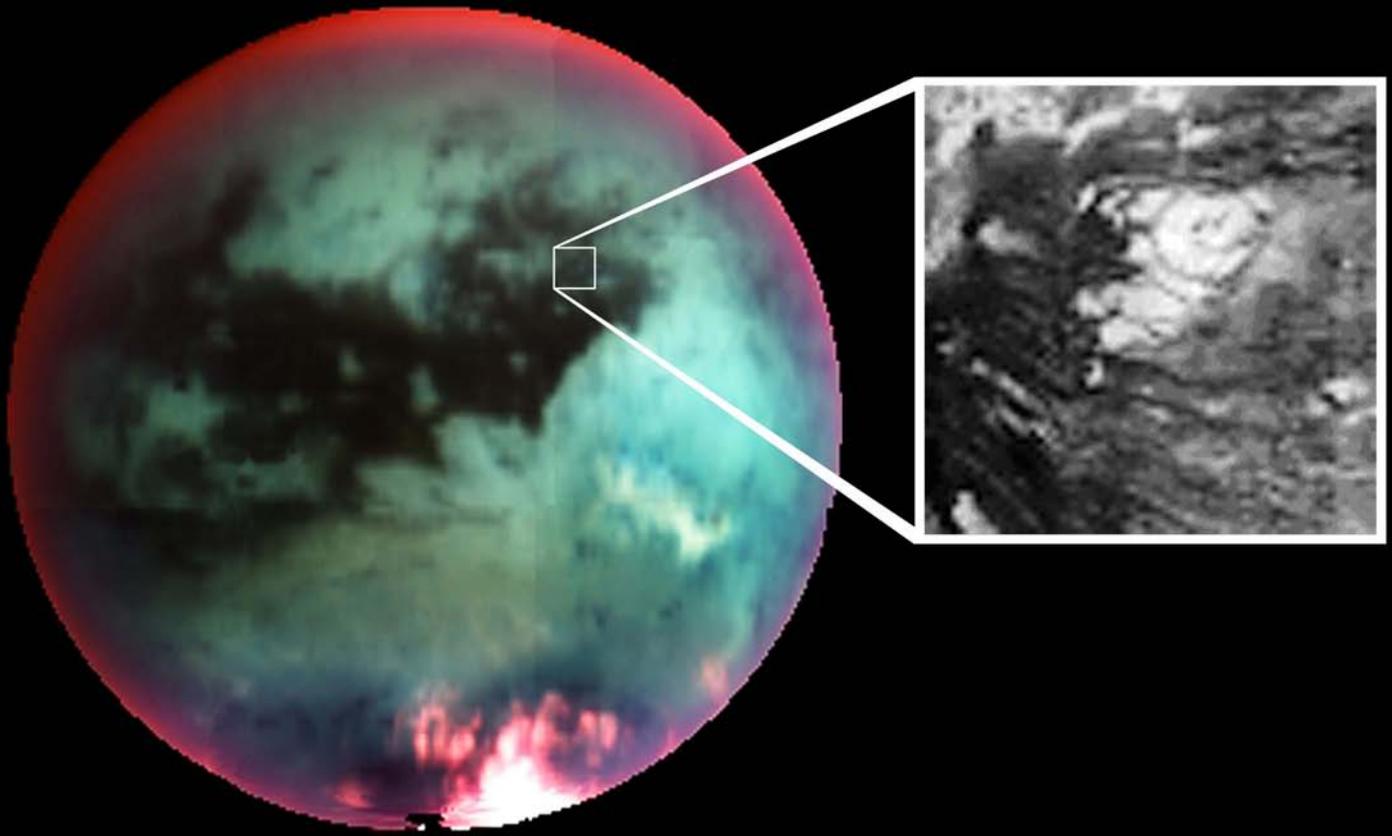


圖3. 泰坦上的低溫冰火山。圖片來源：NASA

「水文循環」的甲烷海（Seas）

水文循環在地球風化作用中扮演極為重要的因素之一。長期以來科學家一直認為泰坦可能存在由液態碳氫化合物（甲烷和乙烷）組成的湖泊和海洋。2014年卡西尼-惠更斯號任務的資料顯示，麗姬亞海（Ligeia Mare）主要由純甲烷組成，乙烷有可能最終進入海底地殼（圖4）。

如地球上的水循環一般，泰坦上的液態甲烷也會經歷蒸發、凝結與降水等等循環過程。泰坦的「水文循環」導致泰坦外表發生顯著的變化，根據惠更斯號的探測資料顯示，高度8到30公里之間的對流層存在甲烷雲，而且會下甲烷雨。

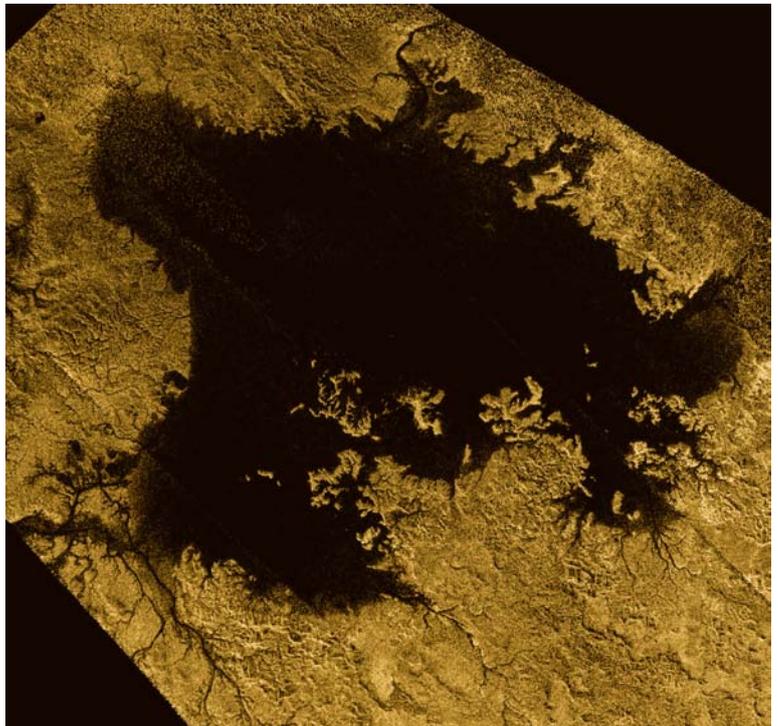


圖4. 泰坦的第二大海麗姬亞海（Ligeia Mare）主要由純甲烷組成。圖片來源：NASA

神秘的湖泊 (Lakes)

泰坦上湖泊覆蓋的地表面積較少，集中在兩極附近。2006年7月卡西尼號飛越泰坦期間獲得大量證據顯示表面存在流動液體，並且與湖泊的形態相似，在泰坦的表面和大氣中活躍著水文循環。2007

年1月，科學家們根據觀測結果宣佈「土星衛星泰坦上存在甲烷湖泊的確鑿證據」。2013年卡西尼號的觀測顯示湖泊的地理分佈和其他地表特徵。(圖5)

Titan's North Polar Lakes and Seas as revealed by the Cassini Titan RADAR Mapper

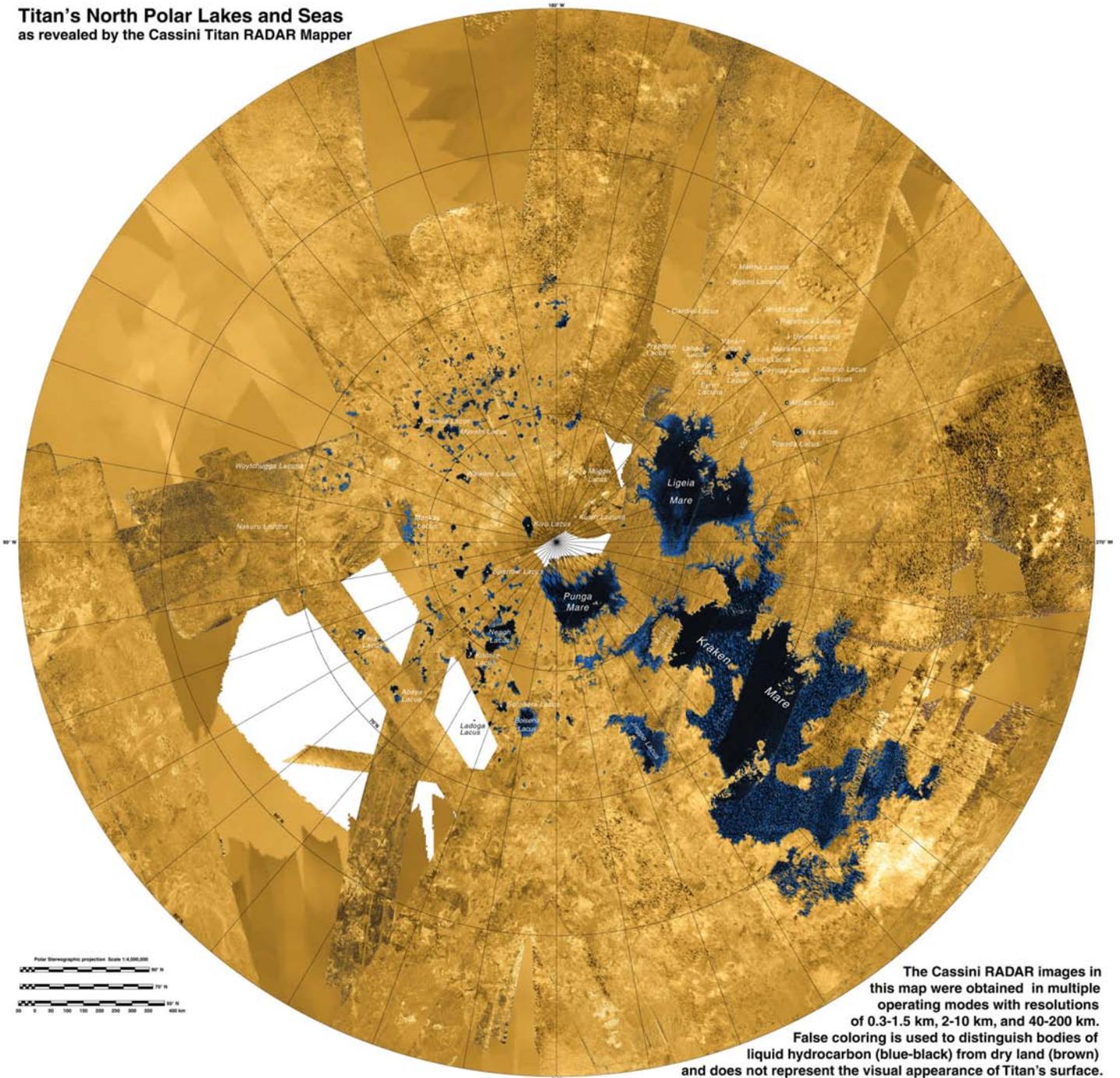


圖5. 泰坦上北極地區含有甲烷和乙烷的湖泊。圖片來源：NASA

特殊的沙丘 (Dunes)

卡西尼號任務的雷達數據分析揭示了土星衛星泰坦上沙丘的區域差異。沙丘的大小和圖案隨高度和緯度而變化，沙丘地帶是泰坦上第二大主要地貌，僅次於均勻的平原，約佔地表面積的13%。它們平均寬1到2公里，長數百公里，高約100公尺。科學家們研究發現沙丘的大小受高度和緯度兩個因素控制，他們認為泰坦上的沙子不是由矽酸鹽組成，而是由從大氣中沉澱出來的固體（碳氫化合物）組成。了解沙丘的成因、大小和分佈，對於研究泰坦的氣候和地質極為重要，因為沙丘是甲烷與乙烷循環的重要線索，與地球上的水循環相似（圖6）。

翻滾的岩石—冰礫 (Ice Cobbles)

依據卡西尼號分析雷達數據，科學家推斷出泰坦上岩石的直徑至少為幾公分，甚至達到幾公尺。這些岩石可能起源於「世外桃源 (Xanadu)」地勢較高的冰基岩的一部分。美國科學家認為，這些岩石很像在地球上經河流搬運、棱角被磨圓的岩石。泰坦上降水沖刷巨石和碎屑，並將它們帶到下游。泰坦上的降水是由液態甲烷和乙烷形成的。惠更斯號在泰坦上觀察到了如地球上河流中岩石，並顯示出泰坦上洪水氾濫的跡象，其中沉積的鵝卵石（直徑約2至20公分）。泰坦上的季節變化，讓科學家們有機會觀察到甲烷流過河道的過程，並了解泰坦的氣候（圖7）。

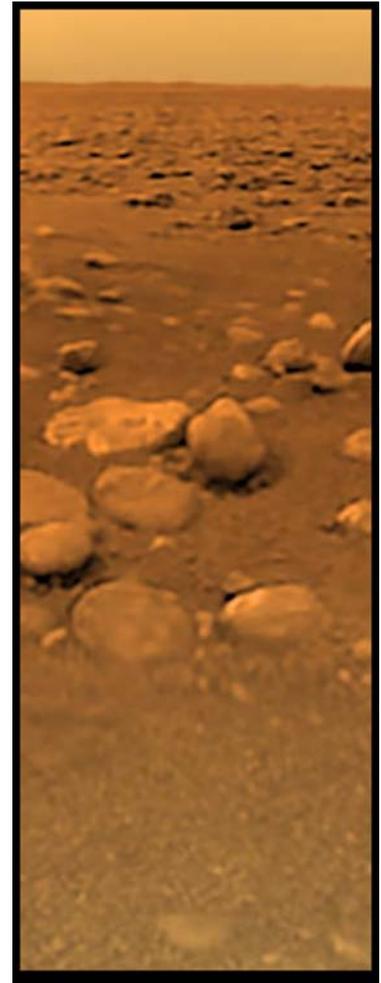


圖7. 泰坦上的岩石—冰礫。
圖片來源：NASA

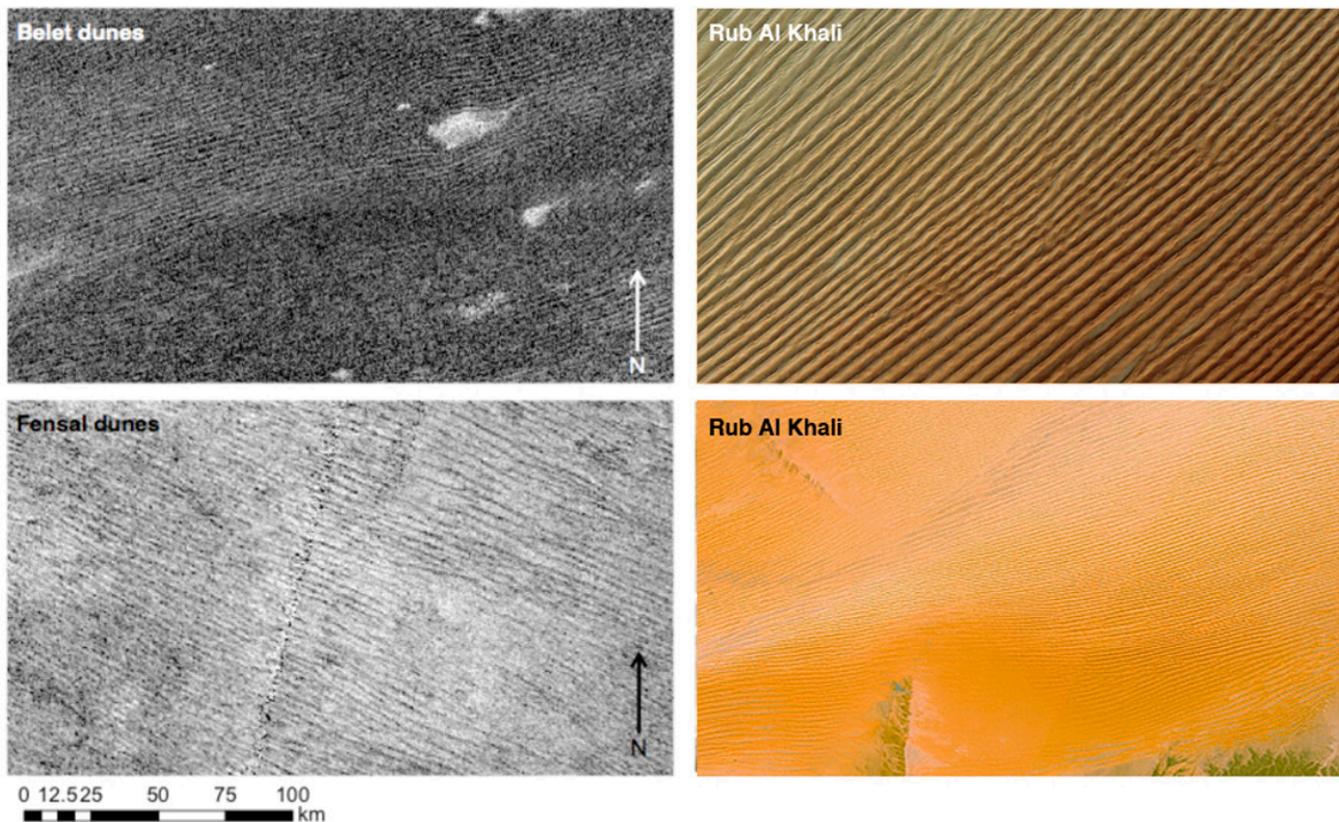


圖6. 泰坦上不同形態的沙丘。圖片來源：ESA

廣闊的河道 (River Channels)

卡西尼號雷達圖像顯示泰坦表面低緯度和中緯度地區長達數百公里的各種河道。雷達圖明亮處，表示存在粗糙易散射光之物質；黑暗處，則表示存在平滑易吸收光之物質。於中緯度和高緯度地區，顯示山谷寬度可達3公里，深度可達數百公尺，與地球上許多河道的排水網絡相似。狹窄的河道匯入寬闊的河流，匯入一片廣闊、黑暗的低地。2008年卡西尼號的雷達測繪儀在「世外桃源」邊緣觀測到不尋常的河道，這是該地區最寬的河道。科學家們認為，泰坦上的許多河道都是由強烈甲烷暴雨侵蝕地表而形成的。

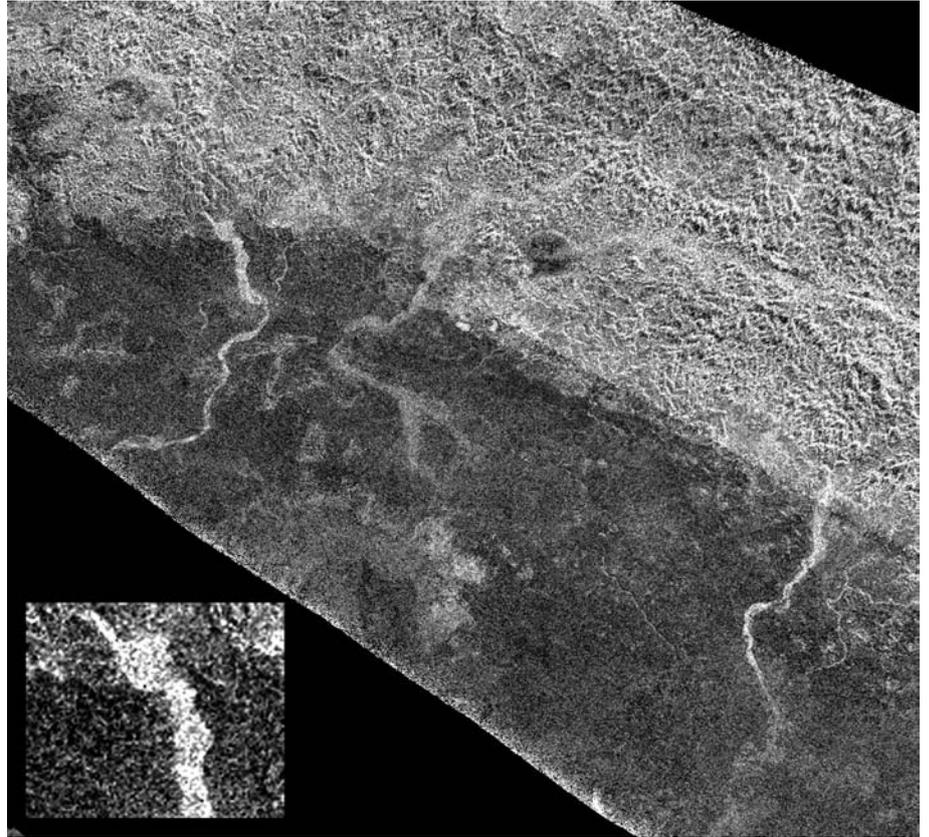


圖8. 泰坦上「世外桃源」地區的河道分佈。圖片來源：NASA

地質上的發現 及其涵意

卡西尼-惠更斯號土星探測任務結束後，在土星最大的衛星泰坦上發現許多地質作用的證據，譬如：冰火山的火山活動、「水文循環」的甲烷海與湖泊、特殊的沙丘、翻滾的岩石（冰礫）與廣闊河道的分佈，這些重要的發現顯示泰坦是一個地質活躍的星球。此外，泰坦上是否有生命存在？待繼續深入研究。

高銘鴻：臺北市立天文科學教育館

YouTube相關影片：



Traveling To Saturn | What NASA's Cassini Spacecraft Saw?
<https://www.youtube.com/watch?v=PMF8gvurM0A>



Titan Touchdown
<https://www.youtube.com/watch?v=msiLWxDauA>



NASA's Cassini Spacecraft: A Journey's End
<https://www.youtube.com/watch?v=gPdgsPTNhc>