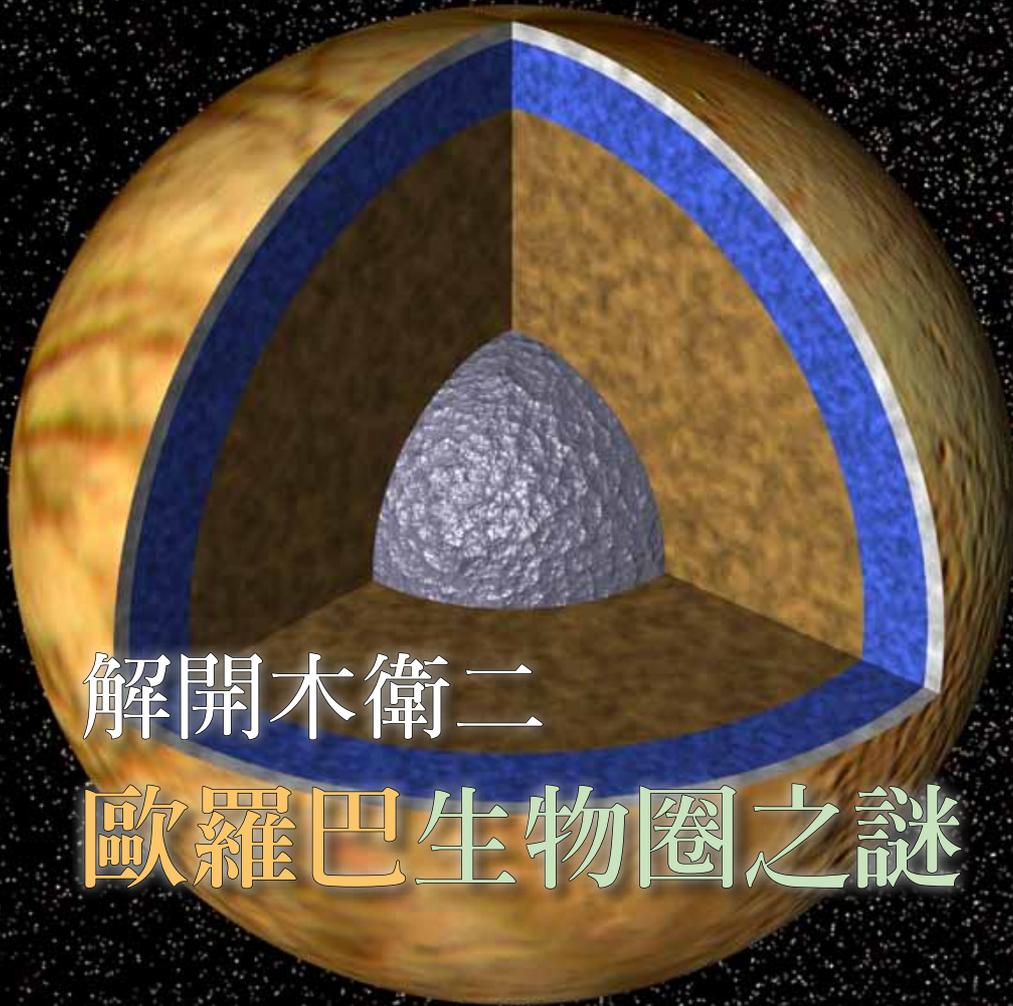




文/ 葉永烜

歐羅巴的表面滿蓋水冰，極少碰撞彈坑，很可能在幾千萬年以至幾億年前還是一片溶水。因此在表層冰殼之下，可能還存在有地下海洋，可不可能孕育生命？



## 解開木衛二 歐羅巴生物圈之謎

在1979 NASA的「航海家」(Voyager) 1號太空船飛越木星系統時，發現木衛二歐羅巴的表面滿蓋水冰，而且極少碰撞彈坑的跡象，**再再**表示歐羅巴的表面非常年輕。很可能在幾千萬年以至幾億年前還是一片溶水。因此在表層冰殼之下，可能還存在有地下海洋。

而差不多在航海家1號航向木星前進的同時，在地球海洋幾公里下的底部，發現在完全沒有陽光的暗處，竟然有微生物以致蝦蟹魚類組成的生物態系統，團聚在地氣或岩漿出口的地方。**此發現**引起行星科學家和太空生物學家的興趣，開始問：到底歐羅巴的地下海洋可不可能也一樣地在孕育生命？

在90年代的「加利略」(Galileo) 木星任務，針對歐羅巴做了很多勘察工作。圖1是NASA在最近發表的歐羅巴面對木星半球的一張合成圖。這張圖片並沒有像以前的加工，加插其它色彩以增強對比，所以是原來的顏色。在這裏可以看到歐羅巴表面有著各種形式的地質結構。存在長度可達1500公里的裂縫，或者是分裂成好幾塊又再拼合的冰殼（見圖2）。從可見光和紅外線觀察資料的比較，我們知道歐羅巴表面有些區域只有純冰，但其它的區域則是含有微量的雜質，這些雜質可能是由於行星際空間的塵粒碰撞而產生，也可能部份是來自地下海洋的物質。

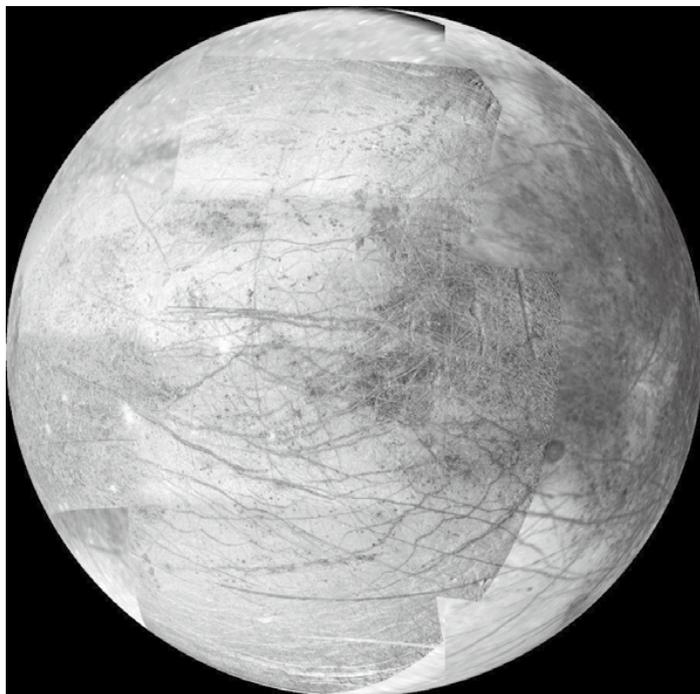


圖1. 木衛二歐羅巴對著木星一面的地貌。圖片來源：NASA/JPL.



圖2. 歐羅巴表面上的輪轉線式的裂縫結構。圖片來源：NASA/JPL.

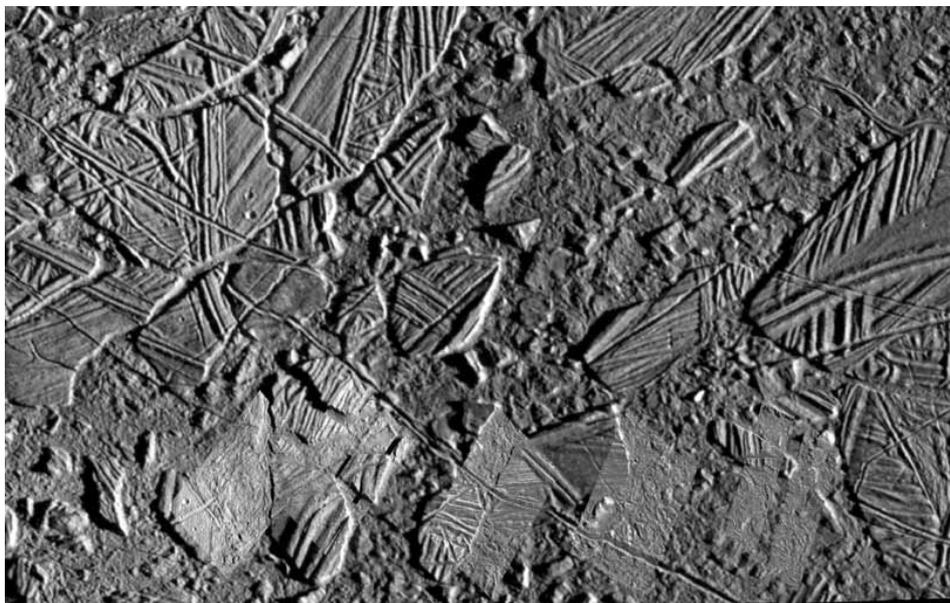


圖3.歐羅巴表面上的一個混沌地區。圖片來源：NASA/JPL.

木星龐大的潮汐力作用，使到木衛一**埃歐**(IO)有著整個太陽系中最為強烈的火山活動。雖然歐羅巴離開木星較遠，但潮汐力效應亦不小。歐羅巴軌道的離心率( $e$ )是0.009。所以每次環繞木星走一圈，都會在不同的軌道距離，經驗到不同的潮汐力，歐羅巴表面冰殼的應力作用，因之也有週期性變化。如果冰殼某處有一個裂口，裂縫可能隨著應力場的時間變化而傳播，由此形成一些輪轉線型的裂縫結構。這個力學模型的一個主要假設是歐羅巴的冰殼不會太厚，應在幾公里左右，不然，冰殼便不會因潮汐應力而裂開。

但如圖3所示，在歐羅巴表面有些由不規則的碎塊組成的地質構造，與潮汐作用並無關係。反之有些地質學家指出如果歐羅巴冰殼厚度超越幾十公里，則水冰本身的固態對流作用，讓溫度高、密度輕的冰塊向上移動至表面，便可能產生該處表殼的破裂，這便是所謂「厚冰層理論」和「薄冰層理論」兩個不同的學派的形成。這個科學爭論對於有興趣到歐羅巴找尋生命的計劃有莫大的影響。原因是如果冰層只有幾公里的平均厚度，那便有可能找到

比較薄的冰層，鑽個洞用潛水深測器進行偵察。但假如平均厚度是幾十公里到一百公里，則找到入口的機會便是非常小。所以，對歐羅巴表面冰殼構造的仔細調查變成NASA正在準備的「歐羅巴任務」的主要目的了。

圖4是NASA現在的歐羅巴計畫的太空船樣子。除了一對太陽能板外，有一排天線，可用兩個頻率(9 MHz和60 MHz)的無線電波，作為雷達測量冰層的厚度和分佈情況。太空船將圍繞木星飛行45次之多，每圈都作近距離飛越歐羅巴。最近距離其表面只有25公里。所以太空船上的中性氣體和離子質譜儀可以有機會測量大氣層的成份，檢查除了主要的氧分子和水分子外，還有沒有與生物有關或生物出現前的有機分子。由於木星磁球層的帶電高能粒子通量非常高，使得歐羅巴太空船上的電子元件和科學儀器容易損傷，整個任務因此可能只有不超過兩年的壽命。

由於機會難得，NASA在討論添加一個登陸器，降落歐羅巴表面，進行各種化學分析的實地測量。這將是一個很獨特的機會，而所用的

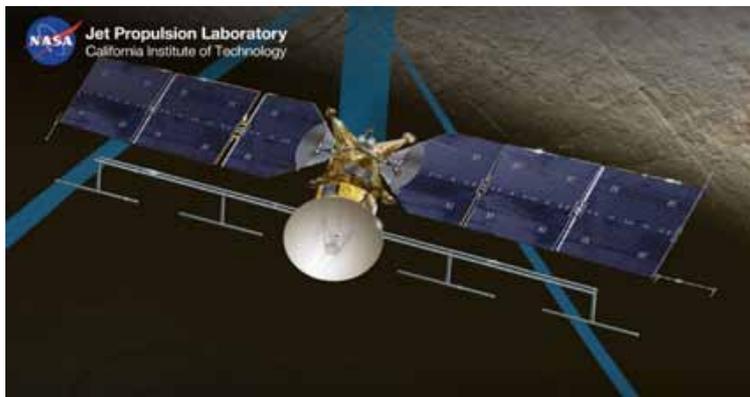


圖4. NASA 歐羅巴太空船的可能模樣。  
圖片來源：NASA/JPL.

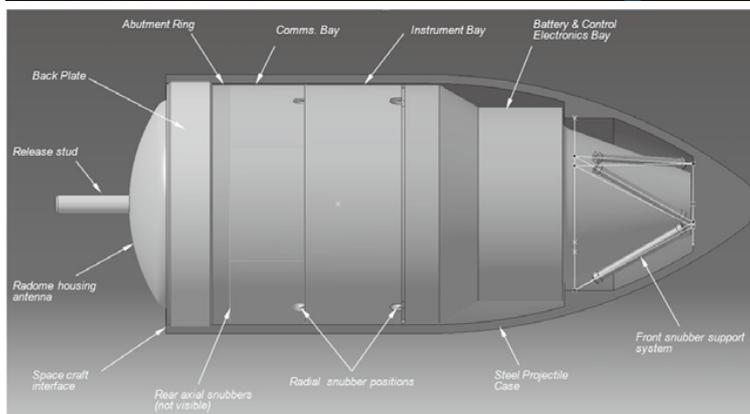


圖5. 可能由歐洲太空局提供的歐羅巴穿孔器。  
圖片來源：<https://solarsystem.nasa.gov/docs/p447.pdf>

登陸技術會和「好奇號」火星登陸器的天空起重機方法相似。同時NASA亦在和歐洲太空局（ESA）研議，由ESA提供一個登陸器或者穿孔器，由NASA太空船攜帶到木星軌道釋放插入歐羅巴表面。這樣的合作形式便是相當類似當年

NASA和ESA的卡西尼土星計畫。所以雙方都摩拳擦掌躍躍欲試。說不定真有機會成功。

葉永烜：國立中央大學天文所教授

### ★ 本文相關影片推薦



異星海洋：NASA的歐羅巴任務

[https://www.youtube.com/watch?v=NNNdf\\_LDjCY&list=PLzYYnhQlXmVE20sNEJEV3yw0WbFsjUi1T&index=3](https://www.youtube.com/watch?v=NNNdf_LDjCY&list=PLzYYnhQlXmVE20sNEJEV3yw0WbFsjUi1T&index=3)



生機無限的衛星

<https://www.youtube.com/watch?v=GQD0SBF7yEs&index=4&list=PLzYYnhQlXmVE20sNEJEV3yw0WbFsjUi1T>