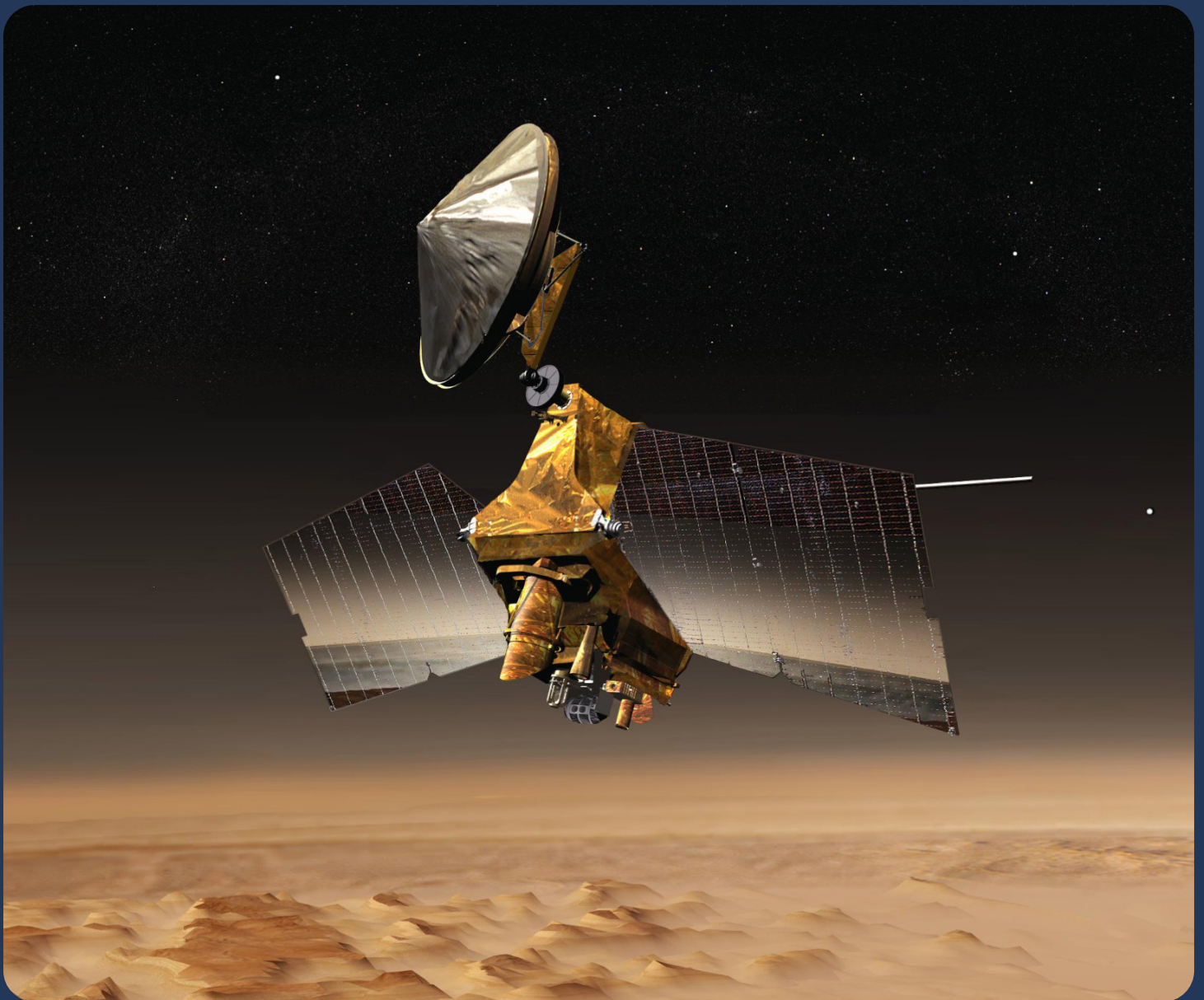




## 從黑洞到火星—打造國、高中自主學習新體驗

在數位學習日益盛行的今天，各式線上資源正幫助國高中師生拓展課堂以外的學習。臺北天文館自主學習專區是一個極具啟發性的例子，透過主題式教材帶領學生從神秘黑洞到火星探險，將複雜的科學原理融入實際學習中，啟發求知熱情。本文將於黑洞專區與火星專區中，各挑選一個單元進行介紹，說明自主學習專區內容如何與國高中的學校課程接軌。

文／段皓元



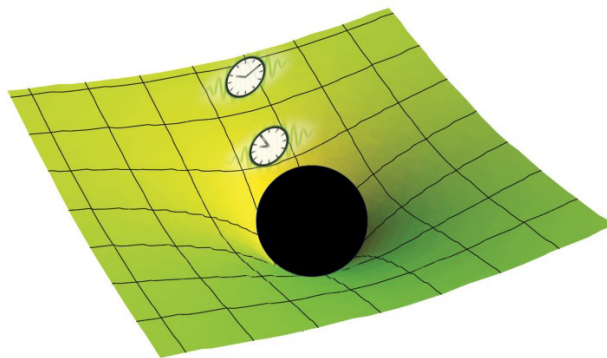
位於火星低軌道上的「火星偵察軌道衛星」想像圖。在《解碼「火星偵察軌道衛星」的軌道祕密》單元中，學生需要運用國中所學的物理與數學觀念，解答衛星繞行火星的相關問題。圖片來源：NASA

## 黑洞學習專區單元舉例： 時間膨脹效應

以**黑洞專區**中的「時間膨脹效應」為例，此單元針對高中學生設計，利用相對論概念說明強重力場中時間流逝的相對變化。教材中不僅提及愛因斯

坦相對論基本概念，還運用數學模型讓學生透過公式，理解時間膨脹對於接近黑洞觀察者與外界觀察者之間的關係。與高中物理課程中相對論、近代物理的內容相呼應，補充了傳統課本中較為抽象的理論。學生不僅能夠藉此掌握學習的核心概念，更能培養批判性思維，學會在日常生活中應用科學原理解釋自然現象。

### 時間膨脹效應 單元內容



#### 黑洞專區

#### 第7單元：時間膨脹效應

-----本課程適合高中以上-----

根據愛因斯坦的狹義相對論，測量相對高速運動的慣性座標系統時，在該座標的時間會減慢，或稱為時間膨脹。時間膨脹效應的公式為：

$$\text{公式 7-1: } T_0 = \frac{T}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

T為相對移動中的坐標系時間。

$T_0$ 為相對靜止後測到相對移動中的坐標系時間。

c為光速。

而從廣義相對論的等效原理，我們可以把重力位能與動能的速度做相對應的轉換，即當你在距離質量M的黑洞中心距離為r的地方，速度v為：

$$\text{公式 7-2: } v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

G為萬有引力常數： $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2/\text{kg}^2$  (牛頓 公尺<sup>2</sup>/公斤<sup>2</sup>)

當在質量M的黑洞的事件視界時，速度即為光速：

$$\text{公式 7-3: } c = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

R為黑洞的半徑。

將公式7-2、7-3帶入7-1，即得到：

$$\text{公式 7-4: } T_0 = \frac{T}{\sqrt{1-\frac{2GM}{rc^2}}}, \text{ 且 } r > \frac{2GM}{c^2}$$

從公式7-4得知，在距離黑洞越近的地方，時間過得越慢！而時間在事件視界上將靜止（無限膨脹）。

練習7-1:

請計算當你在距離一個太陽質量黑洞中心10公里的地方，相對於遠處靜止觀察者而言，時間膨脹效應是多少？

練習7-2:

假設現在有一艘太空船，從地球出發前往遠處的黑洞。請分別以地球的觀察者，以及太空船上的觀察者，描述太空船抵達黑洞之前的場景。

#### 相關檔案

07時間膨脹效應\_學習單 pdf(192.31 KB)

07時間膨脹效應\_解答 pdf(207.00 KB)

表 1 黑洞學習地圖

這份自主學習教材以黑洞為主題，專為國中7年級以上的學生設計，旨在為學校數學和物理課程提供額外挑戰和補充。你也可以下載「[布雷克的黑洞之迷](#)」繪本著色畫，發揮創意為這場黑洞探險之旅描繪出屬於自己的色彩！

我們設計了13個單元，從簡單到複雜，你可以自由選擇適合自己的單元。教材中使用了一些代數數學技巧，來幫助你理解黑洞的概念。雖然每個單元都與黑洞有關，但這不是一個全面涵蓋所有黑洞知識的課程。例如，我們沒有討論重力波與黑洞之間的關係，但你可以本網站的[天文新知](#)中搜尋相關的內容。

每個單元提供的資訊可能不是最新的，但你可以在單元最後的延伸閱讀部分找到最新的黑洞知識。此外在[天文新知](#)當中，也可以閱讀天文學的最新研究成果。

單元	主題	適合年級	使用到的數學或物理觀念
前言	<a href="#">什麼是黑洞？</a>	全年齡	無
1	<a href="#">我們與黑洞的距離</a>	國中7年級以上	直角坐標、畢氏定理
2	<a href="#">質量與半徑的關係</a>	國中7年級以上	斜率、一元一次方程式
3	<a href="#">史瓦西半徑</a>	國中8年級以上	代數、指數
4	<a href="#">重力</a>	國中9年級以上	萬有引力
5	<a href="#">義大利麵效應</a>	高中以上	潮汐力
6	<a href="#">軌道速度</a>	高中以上	動能及位能轉換
7	<a href="#">時間膨脹效應</a>	高中以上	相對論
8	<a href="#">重力紅移</a>	高中以上	相對論、都卜勒效應
9	<a href="#">能量輸出</a>	高中以上	能量單位、質能互換
10	<a href="#">吸積盤</a>	高中以上	多元多次方程式
11	<a href="#">噴流</a>	高中以上	三角函數
12	<a href="#">銀河系中心黑洞</a>	高中以上	克卜勒定律
13	<a href="#">事件視界望遠鏡</a>	高中以上	角度計算

## 火星學習專區單元舉例： 解讀火星隕石坑的撞擊印記

火星專區中的「火星隕石坑的撞擊印記」單元，專為國中學生設計。該單元以火星表面的隕石

坑為例，探討撞擊事件如何形成獨特的地貌特徵，同時結合國中課程的幾何學概念，計算撞擊後隕石坑的輪廓比例，了解輪廓比例與撞擊角度有關。這不僅使學生能夠從宏觀角度認識火星環境，也將數學中的比例、幾何圖形實際應用於探究宇宙奧秘。

### 火星隕石坑的撞擊印記 單元內容

#### 火星專區

#### 第5單元：火星隕石坑的撞擊印記

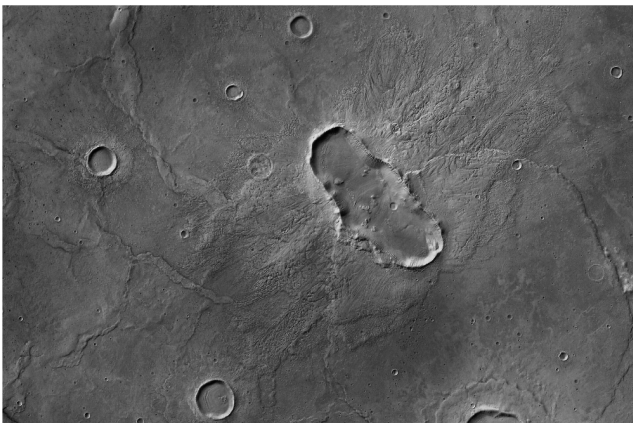
隕石坑是當物體撞擊行星或衛星等岩質表面時形成的。撞擊會在表面留下圓形或不規則的凹痕，隕石坑周圍通常環繞著被拋射出的物質。這些噴射物不僅提供撞擊過程的信息，也包含行星表面下方結構的線索，因此成為科學家研究的重點。

火星表面顯示的隕石坑數量明顯多於地球，這反映了兩者環境的差異。地球的大氣層較厚，能夠燃燒或破壞大部分進入的隕石，阻止其形成巨大的撞擊。此外，地球表面受到風化作用以及地震和火山活動的頻繁地殼改變，使許多古老的隕石坑逐漸被抹去。相較之下，火星的大氣層較稀薄，無法有效防禦隕石進入，而其表面地質活動緩慢，因此保存了大量隕石坑的痕跡，提供研究撞擊歷史的寶貴資料。

隕石撞擊的角度會顯著影響隕石坑的形態。當物體以小於20度的角度撞擊火星時，隕石坑往往呈現不規則形狀，且噴射物質沿撞擊方向呈蝶形分布。有些區域甚至可能缺乏噴射物覆蓋。為了分析這些特殊形態，科學家會測量隕石坑的圓度比值 (circularity ratio) 來推估隕石撞擊地表的夾角。

圓度比值的公式為： $(4\pi A) / (P)^2$ ，A為隕石坑面積，P為隕石坑周長。

如果圓度比值低於0.925，通常表示撞擊角度較低，並與蝶形噴射物分布相關。研究這些特徵有助於揭示撞擊事件如何改變行星表面的地質結構與演化過程。

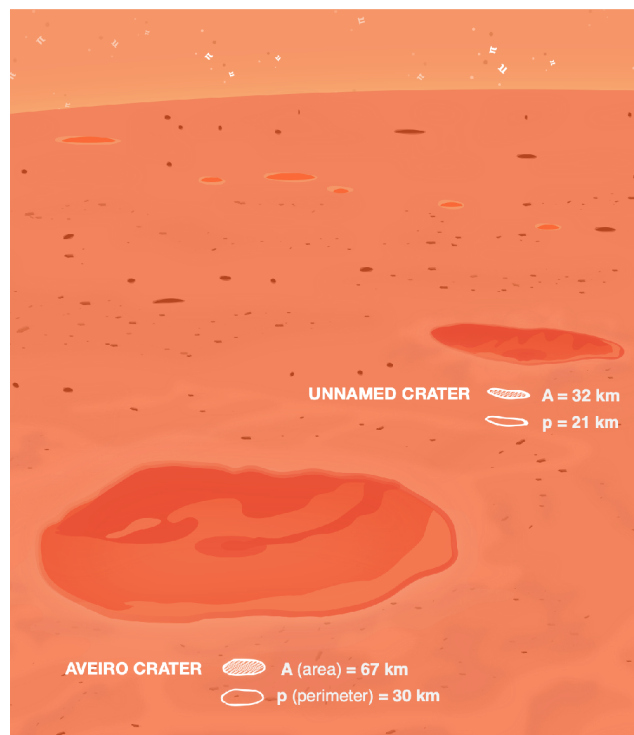


圖說：由歐洲太空總署火星快車號 (Mars Express) 拍攝的火星蝶形隕石坑。畫面中可見一個大型狹長撞擊坑，長約24.4公里、寬約11.2公里，最大深度約650公尺，低於周圍平原地帶。此次撞擊產生的噴射物沿隕石坑向外延伸，包括位於西北與東南方向的兩個顯著舌狀區域，呈現典型的蝶形分布。資料來源：ESA

問題：

下圖為火星上兩個隕石坑的示意圖，分別為：

1. Aveiro隕石坑：面積 (A) = 67平方公里，周長 (P) = 30公里。
2. 未知隕石坑：面積 (A) = 32平方公里，周長 (P) = 21公里。



請計算這兩個隕石坑的圓度比值，並判斷其中哪一個可能具有蝶形噴射物分布。

參考資料：['Butterfly' impact crater in Hesperia Planum](#)

延伸閱讀：[火星上有個熊臉隕石坑？](#)

#### 相關檔案

05火星隕石坑的撞擊印記 pdf(1.60 MB)

05火星隕石坑的撞擊印記\_解答 pdf(1.60 MB)

表 2 火星學習地圖

這份自主學習教材以火星為主題，專為國中學生設計，旨在為學校數學和物理課程提供額外的挑戰與補充。

教材共設計了7個單元，學生可自由選擇適合自己的內容。透過運用數學技巧，幫助理解數學在火星任務中的實際應用。雖然各單元皆與火星相關，但本教材並非全面涵蓋所有火星知識的課程。單元中提供的資訊可能未必是最新資料，但每個單元的延伸閱讀部分將引導你探索最新或相關的火星研究。

第0單元：火星基本知識

第1單元：「機會號」的輪子總共轉幾圈？

第2單元：「好奇號」的探險與打滑的輪子

第3單元：解碼「火星偵察軌道衛星」的軌道祕密！

第4單元：火星沙塵暴吹不到的地方

第5單元：火星隕石坑的撞擊印記

第6單元：「洞察號」的火震紀錄

第7單元：「機智號」的飛行任務

此外，你也可以透過天文新知以及天象預報獲得更多與火星相關的最新資訊。

## 學習與延伸閱讀搭配，共創自主學習

上述兩個單元分別展現了天文館如何利用自主學習教材引領學生，從抽象理論走向實際應用。

透過黑洞中時間膨脹效應的探討，學生學會從數學模型中解讀宇宙規律；而火星隕石坑的單元則讓學生從數學知識實際解釋自然現象。附帶連結的「天文新知」作為搭配的延伸閱讀，進一步加強學習成效。

## 對國、高中學生 與教師的啟發

對於國、高中學生與教師而言，這樣的**自主學習專區**不僅豐富了傳統課堂的內容，也提供了一個跨領域整合的範例。教師可將黑洞與火星等主題引入科學、數學等課程，透過案例探討啟發學生自主學習與探究精神。同時，「**天文新知**」和「**天象預報**」等資源更可作為課堂補充材料，讓學生在家中亦能持續學習並進行自我評量。

對學生來說，這是一個開啓宇宙探險之門的契機。當他們能夠利用自主學習專區深入瞭解時間膨脹與火星地貌等最新的天文概念時，不僅能培養對科學的濃厚興趣，更能在自主學習的過程中獲得解題與批判思考的能力。這樣的學習模式，有助於培養學生「學會學」，即學會如何學習的能力，為未來的深造打下堅實的基礎。

臺北天文館**自主學習專區**以黑洞與火星為主題，結合「**天文新知**」和「**天象預報**」等多元線上資源，成功打造了一個跨領域、互補且啟發性的學習環境。這種模式既滿足了國高中學生對科學知識的好奇，也為教師提供了創新教學的靈感與工具。未來，隨著數位學習資源的不斷進步，這樣的自主學習與正規課程結合模式，必將成為提升教學品質與學生學習成效的重要途徑。

段皓元：臺北市立天文科學教育館

### 參考資料：

臺北天文館火星學習地圖

[https://tam.gov.taipei/News\\_Content.aspx?n=B28FF83AAE77C9DD&sms=946749C7A7CCF015&s=88031B7101F4AACCC](https://tam.gov.taipei/News_Content.aspx?n=B28FF83AAE77C9DD&sms=946749C7A7CCF015&s=88031B7101F4AACCC)

臺北天文館黑洞學習地圖

[https://tam.gov.taipei/News\\_Content.aspx?n=A2F7381512F89DFB&sms=8DB4DFD3C6946BB3&s=4B5893FDE69CAF7F](https://tam.gov.taipei/News_Content.aspx?n=A2F7381512F89DFB&sms=8DB4DFD3C6946BB3&s=4B5893FDE69CAF7F)

臺北天文館「**天文新知**」

[https://tam.gov.taipei/News\\_Photo.aspx?n=EF86D8AF23B9A85B&sms=F32C4FF0AC5C2801](https://tam.gov.taipei/News_Photo.aspx?n=EF86D8AF23B9A85B&sms=F32C4FF0AC5C2801)

臺北天文館「**天象預報**」

[https://tam.gov.taipei/News\\_Link\\_pic.aspx?n=B64052C7930D4913&sms=2CF1F5E2E0B96411](https://tam.gov.taipei/News_Link_pic.aspx?n=B64052C7930D4913&sms=2CF1F5E2E0B96411)

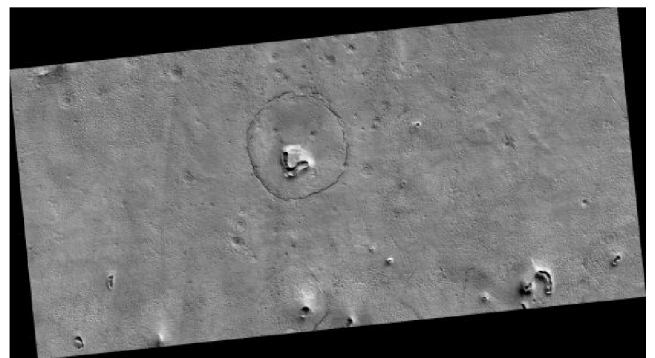
### 火星隕石坑的撞擊印記 搭配的延伸閱讀

天文新知

火星上有個熊臉隕石坑？

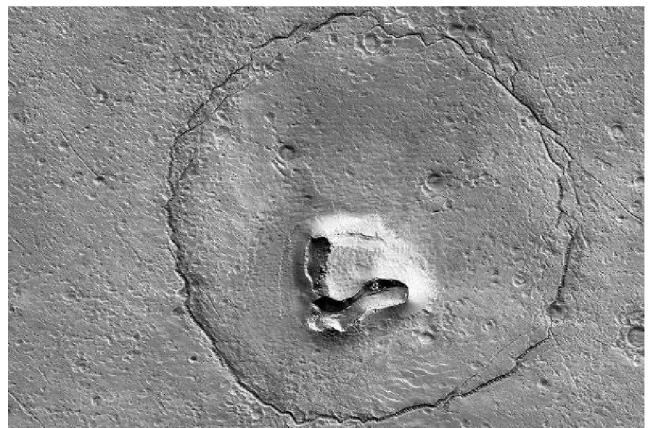
上版日期：112-01-29

臉部幻覺或空想性錯視是一種心理現象，人們常有在沒有生命的物體中看到人臉的傾向或錯覺，例如看到月亮上的人，或在吐司上看到耶穌的臉。但這次在火星上新發現的隕石坑，看起來像熊的臉，這可能是熊臉症的一個例子。



圖說：火星上熊臉隕石坑的區域。圖片來源：NASA/JPL-Caltech/UArizona。

多年來，我們透過火星偵察軌道衛星（MRO）的高解析度成像科學設備（HiRISE）在火星上看到了一些有趣的隕石坑，例如塞東尼亞區著名的「火星人臉」，或一頭大象和一隻鳥。而這次看到的火山口，不可否認看起來的確像熊的臉，那麼到底什麼可能造成在火山口中間形成了一個形狀像熊鼻子的奇怪特徵呢？



圖說：火星上的熊？圖片來源：NASA/JPL-Caltech/UArizona。

研究人員表示這座山丘上有個V形塌陷結構（鼻子）、兩個隕石坑（眼睛）和一個圓形的斷裂圖案（頭部）。而此圓形斷裂圖案可能是由於埋在撞擊坑上的沉積物沉降造成，也許鼻子是火山口或泥漿噴口，沉積物可能是熔岩或泥流？事實是由什麼造成呢？只要有一天我們自己去了火星，就有機會可以好好探索這個隕石坑，找出究竟是什麼讓這個隕石坑看起來像一頭熊，並且可以使用由HiRISE資料所創建的地圖來進行定位，如此便可以輕易地在火星上展開這樣的冒險，若是沒有這樣的地圖，我們在火星上的旅程將寸步難行。（編譯／趙瑞青）

資料來源：[UNIVERSE TODAY](#)