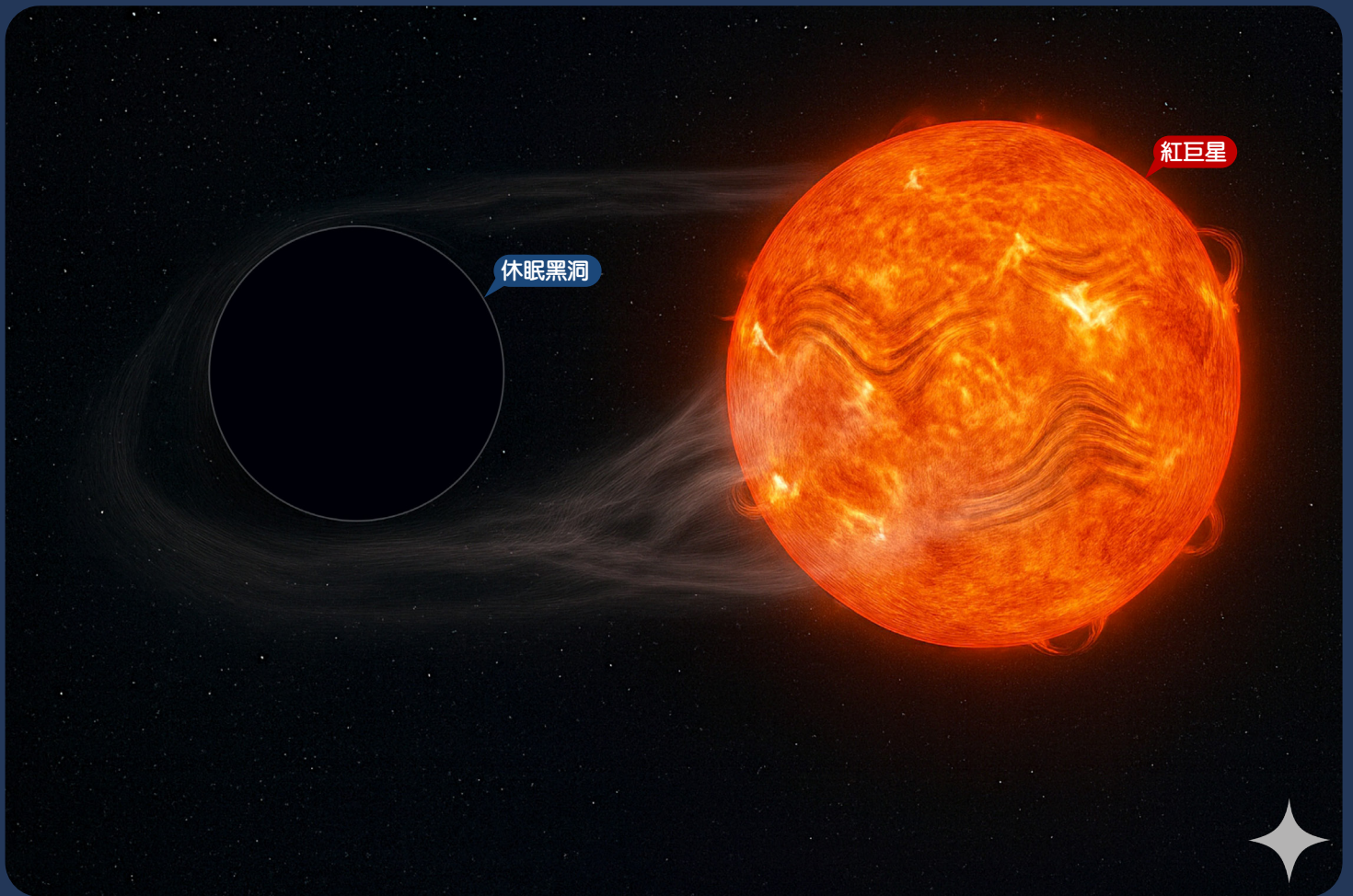


## 休眠黑洞旁那顆「返老還童」的恆星

文／林建爭

在浩瀚的宇宙中，多數讓人驚嘆的事件都伴隨著強烈的光芒，例如超新星爆發，或黑洞吞噬恆星時噴發出的X射線。然而，宇宙中還潛藏著另一類深沉、寂靜的事件：它們不發光、不發熱，靜靜地隱身於黑暗之中，這就是「休眠黑洞」（dormant black hole）。



Gaia BH2系統的想像圖，一顆紅巨星繞著一個肉眼不可見的休眠黑洞運行。天文學家透過研究紅巨星表面震動波模式來了解這個系統的歷史。圖片來源：Google/Nano Banana Pro生成

如上圖所示，要找出這些隱形的宇宙巨獸，天文學家無法直接觀測到它們，而必須像偵探般，仔細觀察它們的「舞伴」。最近，由夏威夷大學天文研究所Daniel Hey博士領導的研究團隊，利用最先進的「星震學」技術，透過「聆聽」一顆遙遠恆星

內部的聲音，不僅確認了休眠黑洞系統Gaia BH2的性質，更揭開了其伴星一段不為人知的「整容」歷史。這項研究刊登於天文期刊，展示了科學家如何透過恆星的「心跳」節奏，看穿它試圖隱藏的真實年齡。

## 聆聽恆星的脈搏 星震學的奧妙

我們無法飛至數千光年外的恆星採樣，那麼天文學家如何研究恆星內部？答案就藏在恆星光芒的微小變化裡。恆星內部會持續震盪，產生「星震」（starquakes），類似地球的地震波傳播方式，這些震盪造成恆星細微且週期性的亮度變化。研究這些震動的科學，就是「星震學」（asteroseismology），如圖1。

Daniel Hey博士的研究團隊利用美國太空總署（NASA）的「凌日系外行星巡天衛星」（TESS）資料。TESS原本設計用來尋找系外行星，但因其對光度變化具有高敏感度的特性，使它意外成為絕佳的「恆星聽診器」。研究團隊分析了Gaia BH2系統中那顆紅巨星伴星的光變曲線，試圖解讀它的「天體之歌」，利用凌日系外行星巡天衛星進行星震學分析的三步曲，如圖2。

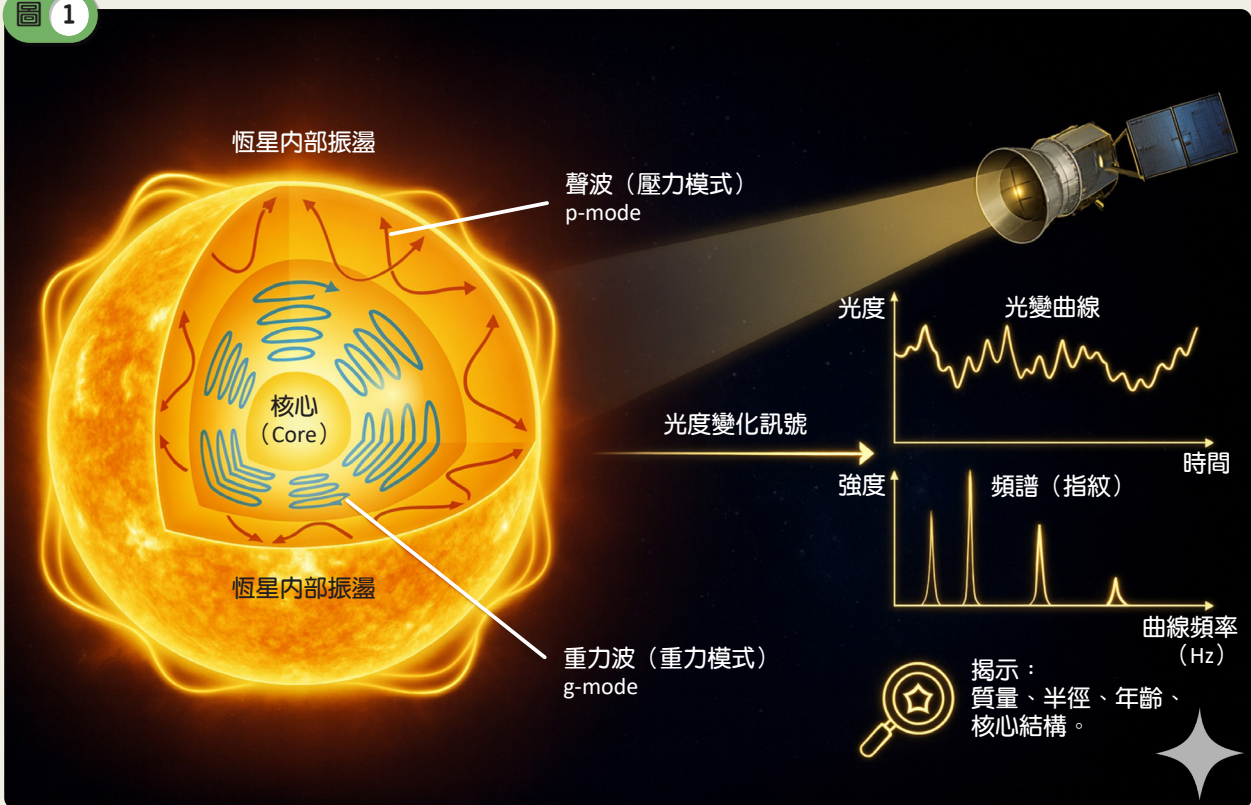
## 古老的血液 年輕的心臟

當研究團隊利用凌日系外行星巡天衛星資料分析出這顆紅巨星的震動頻率時，一個矛盾的結果出現了。他們藉著星震學，透過分析恆星內部的震盪模式，估算出這顆紅巨星的質量約為太陽的1.2倍，「物理年齡」約50億年，與我們的太陽年齡相仿。而對於一顆質量與太陽相近的恆星來說，應該正值壯年，而非處於恆星演化末期的紅巨星階段。

然而當他們分析這顆恆星的光譜時，卻發現它是一顆典型的「富含 $\alpha$ 元素」（alpha-rich）恆星。這意味著它不僅有氫、氦，還有各種重元素。一般認為，富含 $\alpha$ 元素的恆星通常是在銀河系早期歷史中形成的，所以它的「化學年齡」應該非常年老，遠大於50億年。

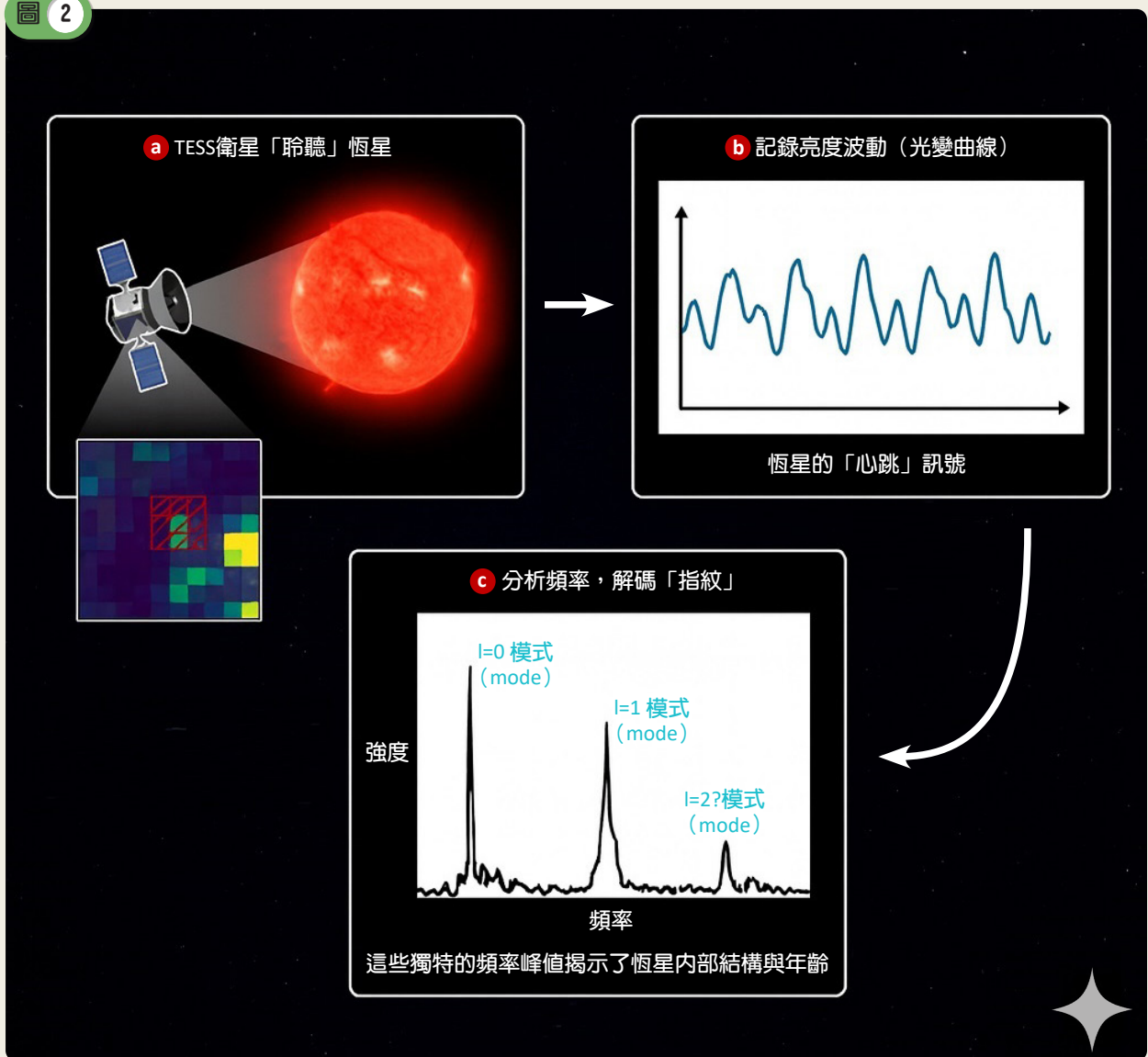
換句話說，它的「骨骼化學成分」像百歲老人，但它的「心臟跳動」卻像四十歲壯年。這樣的矛盾意味著這顆恆星必定經歷了非凡事件。

圖 1



如何利用星震學解碼恆星秘密的示意圖。圖片來源：Google/Nano Banana Pro生成

圖 2



利用凌日系外行星巡天衛星進行星震學分析的三步曲。**a** 顯示凌日系外行星巡天衛星觀測目標星的光度；**b** 呈現目標星的「光變曲線」；**c** 分析光變曲線的頻率成分，解析出反映恆星內部結構與年齡的獨特「指紋」。圖片來源：Google/Nano Banana Pro生成

## 異常迅速的自轉

研究團隊也結合了地面望遠鏡的長期觀測資料，包括全天自動超新星巡天（ASAS-SN）與小行星撞擊地球預警系統（ATLAS），進一步驗證了另一項異常現象：這顆紅巨星的自轉週期僅約398天。乍看之下不快，但對體積龐大、外層膨脹的同齡紅巨星而言，這已是異乎尋常的高速。

在正常情況下，一顆孤立演化的紅巨星會因體

積膨脹而自轉明顯變慢，就像溜冰選手張開手臂時旋速會減緩一樣。Gaia BH2的伴星卻呈現了與預期相反的高速自轉。該研究的共同作者Joel Ong博士認為：如果這種旋轉是真實的，那麼單憑恆星自身的誕生和演化是無法解釋的。這顆恆星必定是在某個時刻獲得了額外的角動量。

綜合「化學年齡與物理年齡不符」及「快速自轉」兩大線索，科學家逐步拼湊出這顆恆星過去的可能經歷。

## 一場宇宙級的「合併」事件

看似平靜的紅巨星，其實是一位倖存者。該研究團隊推測 Gaia BH2 系統的歷史可能不只包含目前的兩顆天體。這顆星在過去的演化歷程中，曾經與其伴星發生過劇烈的物質交互作用，它可能吞噬了該系統中其他恆星，或在黑洞形成時吸積了大量物質，如圖 3。

### 這場事件造成 返老還童及加速旋轉現象

- ①**返老還童**：新注入的物質增加了恆星的質量，讓它看起來比實際年齡更年輕、但更重。它原本可能是一顆小質量的古老恆星，吞噬物質後變成了現在看到的1.2倍太陽質量，模擬出的年齡也因此被「重置」為50億年。
- ②**化學疤痕**：它那看似古老的「富含 $\alpha$ 元素」的化學元素特徵，可能是它誕生時的原始環境留下的印記，或者是合併事件中某種化學元素的混合結果。

- ③**加速旋轉**：合併過程帶來了巨大的角動量，使它像被重新上了發條的陀螺，開始快速旋轉。

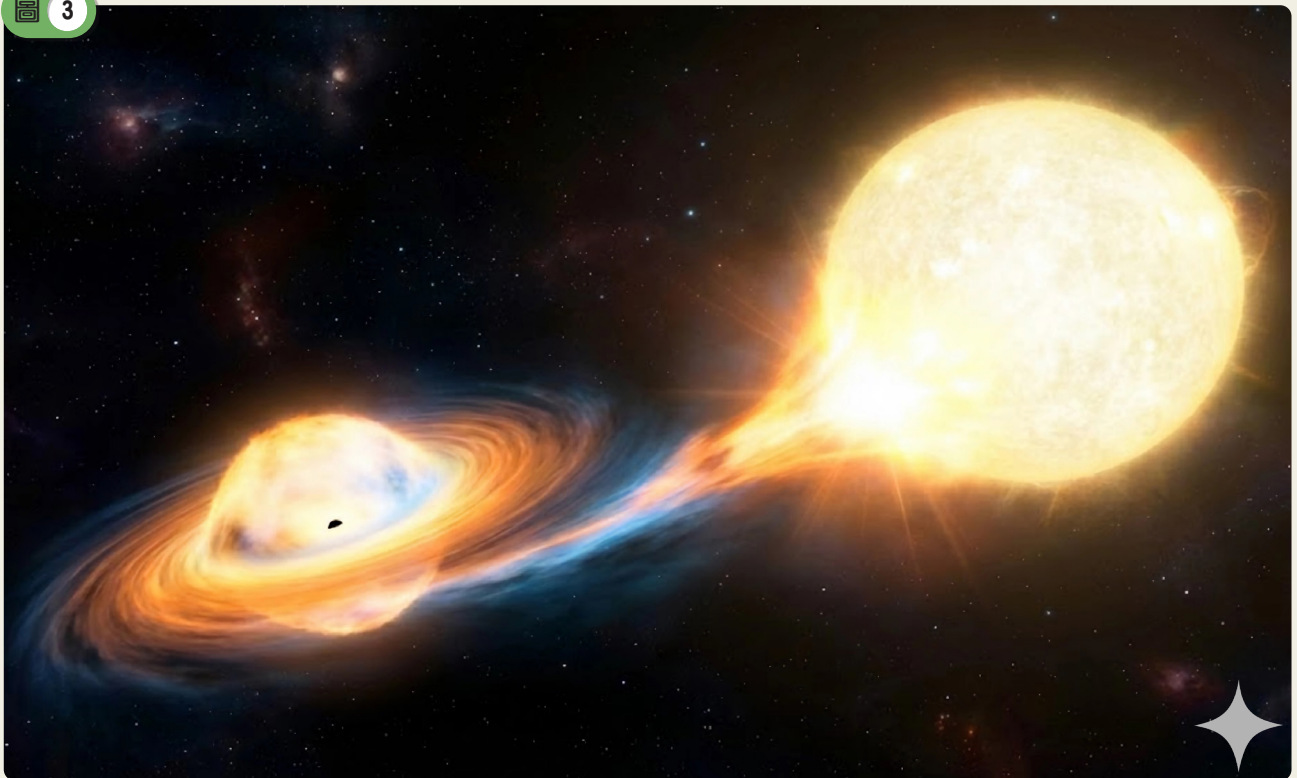
最終，這顆重獲新生的恆星穩定下來演化成目前我們看到的紅巨星，持續繞著身旁沉默的黑洞運行，直到近期才被天文學家發現。

## 解鎖黑暗宇宙的新工具

Gaia BH2的研究成果不只解開了其伴星的身世之謎，更是天文學的重要里程碑：這是人類首次利用星震學詳細剖析黑洞的伴星。研究團隊也同時分析了 Gaia BH3系統，一個擁有極度特殊伴星的黑洞系統。雖然理論預期它的伴星應該展現明顯星震，但觀測卻未偵測到任何振盪，暗示現行低金屬豐度恆星的理論可能需要修訂。

Gaia BH2與Gaia BH3都是休眠黑洞系統，因不會吞噬伴星而不發出X射線，科學家透過精確測量其伴星運動來識別它們，重塑我們對銀河系黑洞族群的理解。結合蓋婭巡天衛星（Gaia）對於恆星位置的精準

圖 3



恆星的吞噬與重生示意圖。現在我們看到的紅巨星可能曾經與另一顆恆星發生合併，或者從伴星那裡吸積了大量物質（如圖中吸積盤所示）。這個過程為它注入了新的燃料，重置了它的演化時鐘，並使其旋轉加速。圖片來源：Google/Nano Banana Pro生成

測量，如圖4，與凌日系外行星巡天衛星長期觀測所累積的各類型恆星的星震資料，如圖5，人類如今擁有前所未有的工具，可以研究宇宙中這些「隱形」黑洞。宇宙或許充滿沉默的黑洞雙星，它們不會發光，只以重力牽引其舞伴。通過聆聽這些伴星的「天體之歌」，我們等於握住了一把通往黑暗宇宙的新鑰匙。

下一次，當我們看到一顆恆星獨自在黑暗中跳著不合節拍的快舞時，或許在它身旁的陰影裡，正潛伏著一個沉默的巨人。

**參考資料：**

<https://www.hawaii.edu/news/2025/11/13/gaia-bh2-system-celestial-song/>

<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-3881/ac0e25>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroseismology>

**YouTube 相關影片：**

TESS Completes its Primary Mission

<https://www.youtube.com/watch?v=uOxuTLPAlzI>

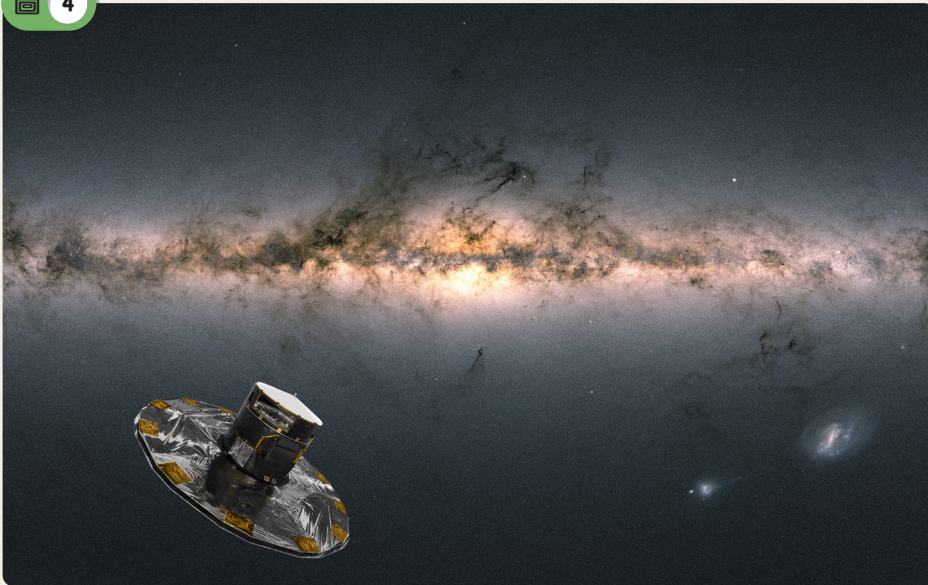
NASA's TESS Maps Red Giants Across the Sky

<https://www.youtube.com/watch?v=3O2P-OMnLxc>

林建爭：美國夏威夷大學天文研所泛星計畫博士後研究員

王品方：美國夏威夷專案文物修復師 校稿

圖 4



藝術家呈現的蓋婭巡天衛星想像圖。圖片來源：ESA

圖 5



美國太空總署的凌日系外行星巡天衛星觀測顯示，目前已發現超過15萬顆脈動紅巨星。龐大的觀測數據樣本有助於協助天文學家進一步探究銀河系的詳細結構。圖片來源：NASA's Goddard Space Flight Center/Chris Smith