

文/ 王彥翔

現形吧！ 星際塵埃

不知道讀者是否來過天文館的宇宙劇場看星星呢？近年來投射星星用的星象儀性能日益進步，每每讓觀眾大開眼界。然而，星象儀投射出來的星空和真實星空還是有決定性的不同，那就是相對於真實宇宙中的星星遙遠的距離，星象儀的星點僅僅投射在螢幕上而已。我們之所以難以認知到這項差異，就是因為真實天空裡的星星距離我們太過遙遠，人類不論位於地球上何處都難以察覺每顆星星之間的距離差異，因此自古以來人們都將星星視為鑲嵌在包覆地球的球殼上的物體。

雖然真實的星空看起來的確就像是星星鑲嵌在螢幕上一般，

然而，天上的恆星距離我們又有多遠呢？由於星空中的天體距離我們都十分遙遠，無法直接進行測量，因此需要靠著其他方法「旁敲側擊」出來。一般天文學家常用的方法原理大致有以下五種。

五種原理裏頭最簡單的就是**利用電磁波到達的時間**。由於電磁波在真空中的速度是相同的，不受觀測者運動狀態而有所改變，因此透過測量電磁波傳遞的時間就能得到其旅行的距離。例如利用雷達從地球上發射雷射光打向天體，測量雷射光往返的時間就能算出往返的距離，這個距離的一半就是地球與該天體之間的距離。這個方法最適合用在

太陽系內的天體距離測量，不過隨著距離越遠，反射回來的訊號也越弱，且所需的時間也會長到難以想像。

另一種常用的方法是**三角視差法**，其原理就是隨著天體距離遠近不同，在不同位置觀察天體的方向也會有所不同，其中的代表就是利用地球公轉運行，在不同的時間測量得到天體的周年視差。這種方法不需要知道恆星的物理性質，因此具有相當高的準確度，不過隨著天體越遠，周年視差也越小，所以能夠測量的只有太陽附近的恆星。

天文學家更常使用的方式則是**測光學法**，也就是比較天體

的實際亮度與地球上觀測到的亮度。其中的原理便是當光在真空中傳播，單位面積所分到的光能量會以距離的平方遞減，使得觀測到的天體亮度下降。因此，如果能利用天體的光譜或是變星的變光週期推知天體的實際亮度，便能藉由比較觀測到的亮度得知天體距離我們多遠。然而，若是天體的物理性質與預想有誤差，或是天體與觀測者之間有其他阻礙造成天體亮度下降，都會讓這項方法的可信度降低。

第四種方法則是推測星團等天體實際尺寸大小，並和觀測做比較。這種方式常常與都卜勒效應結合，測量天體在視線方向上的徑向速度，同時比較天體的大小變化，藉此得到天體的距離。最後一種方式同樣是利用都卜勒效應，測量天體在銀河系中的公轉運動或是星系因宇宙膨脹向後退的速度，也能得到天體在宇宙中的位置。

以上五種方法之中，測光學的方法最廣泛被使用於恆星距離的測量，然而實際上星星的亮度並不是單純的以距離的平方遞減。這是因為星際空間並不是完全的真空狀態，而是有許多的塵埃使得一部份的星光被吸收使亮度降低，造成「星際減光」現象。

星際減光對於距離的測量影響非常大，星際塵埃的分布與減光型態在空間上也不相同。目前對於星際塵埃的了解是它在可見光與近紅外線波段，較容易吸收短波長的光，最後只剩下偏紅色的光到達地球，產生「星際紅化」的現象。不過這也代表只要

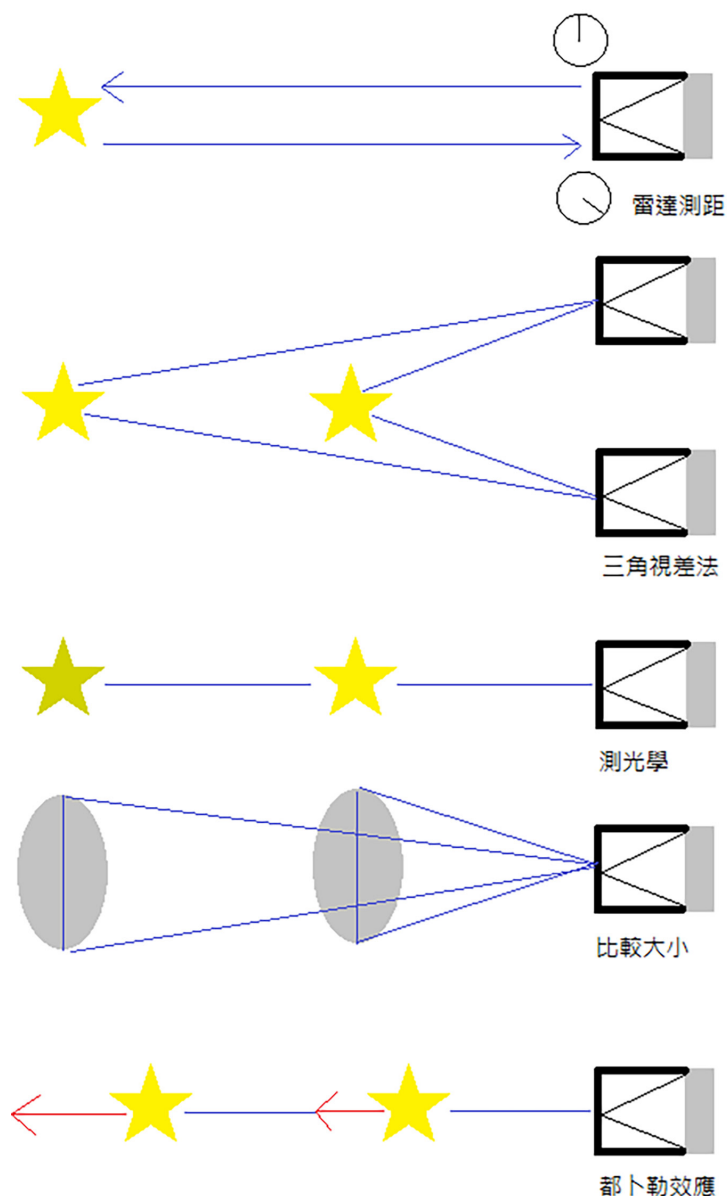


圖1. 測量天體距離的方法很多，由上而下分別是雷達測距、三角視差、測光學、比較大小和都卜勒效應等方法，每種方法也都有適合使用的對象與距離限制。

知道恆星真正的顏色，就能透過星際紅化的程度推知星際減光的程度，進而知道恆星實際的亮度。比方說主序星的光譜型與顏色在赫羅圖上有對應關係，天文學家便能從恆星光譜得到恆星真正的顏色。

在這個情況之下，透過推估星際減光的程度修正恆星的亮度，便能夠算出理想的距離。另一方面，星際減光的程度其實也

正反映了恆星與我們之間星際塵埃量。也就是說，透過有系統地針對大量不同方向和距離的恆星進行觀測，我們除了可以利用星際紅化程度推估恆星的距離，甚至可以獲得太陽系附近星際塵埃的3D立體分布。

美國卡夫利粒子天文物理與宇宙學研究所（KIPAC）的Gregory M Green使用了Pan-STARRS 1第一期巡天觀測

(PS1-DR1) 以及2微米全天巡天 (2MASS) 的資料建構星際塵埃的3D立體分布地圖。PS1-DR1 涵蓋範圍自赤緯-30度以北，包含了全天3/4的天區內恆星的 g_{pl} 、 r_{pl} 、 i_{pl} 、 z_{pl} 及 y_{pl} 等五個可見光到近紅外線電磁波波段；2MASS 則有 J 、 H 、 K_s 等三個近紅外線

波段。Green將至少出現在PS1-DR1中2個波段而且加上出現在2MASS波段總共超過4次的恆星挑選出來，總共選出了8億600萬顆恆星，之後以每200顆以上的恆星劃分出342萬個天區，並耗費250萬小時利用電腦模型同時進行天區內的星際紅化程度與恆星

距離分析，終於在去年發表了名為「Bayestar17」的星際塵埃分布圖。

Bayestar17以星際紅化程度做為星際塵埃的量化指標，這篇論文中也將普朗克衛星以塵埃放出的遠紅外線得出的結果與Bayestar17

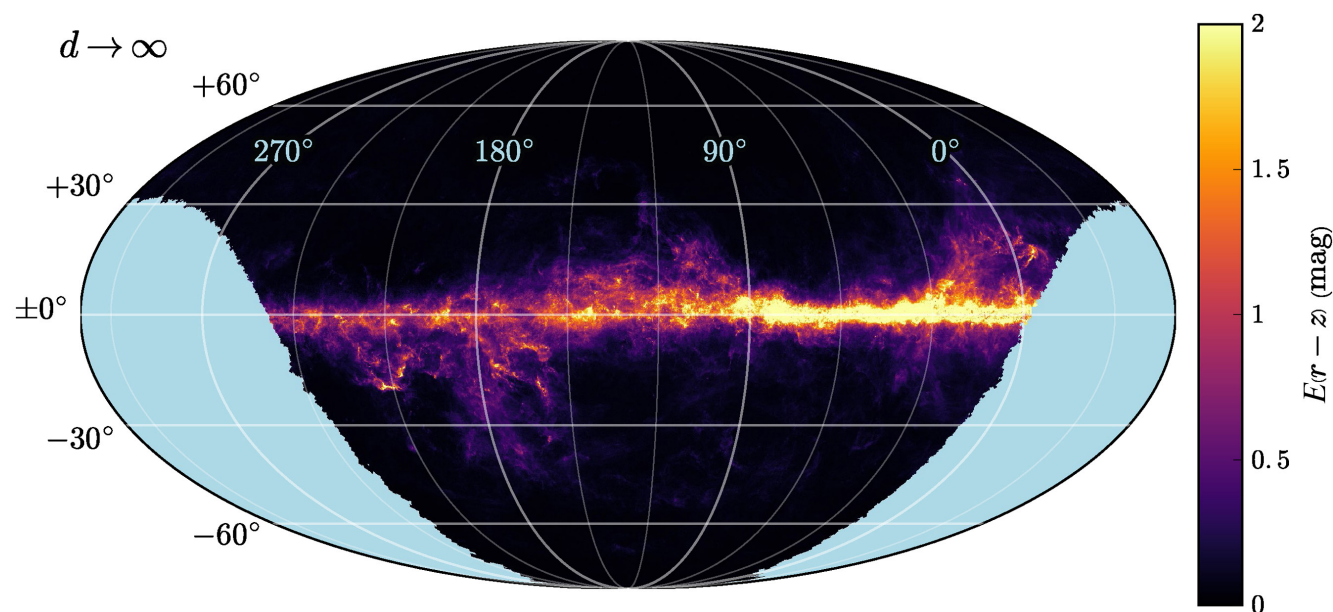


圖2. 這份論文所揭載的星際紅化分布圖，圖中的座標以銀河為基準，盤面為 $b=0^\circ$ 、銀河中心位在 $l=0^\circ$ ， $b<-30^\circ$ 的區域則不在這次研究的觀測範圍。圖中銀河盤面附近的星際紅化程度最高，也就代表著該方向的星際減光效應越強、星際塵埃越多。圖片來源：G. M Green(2018)。

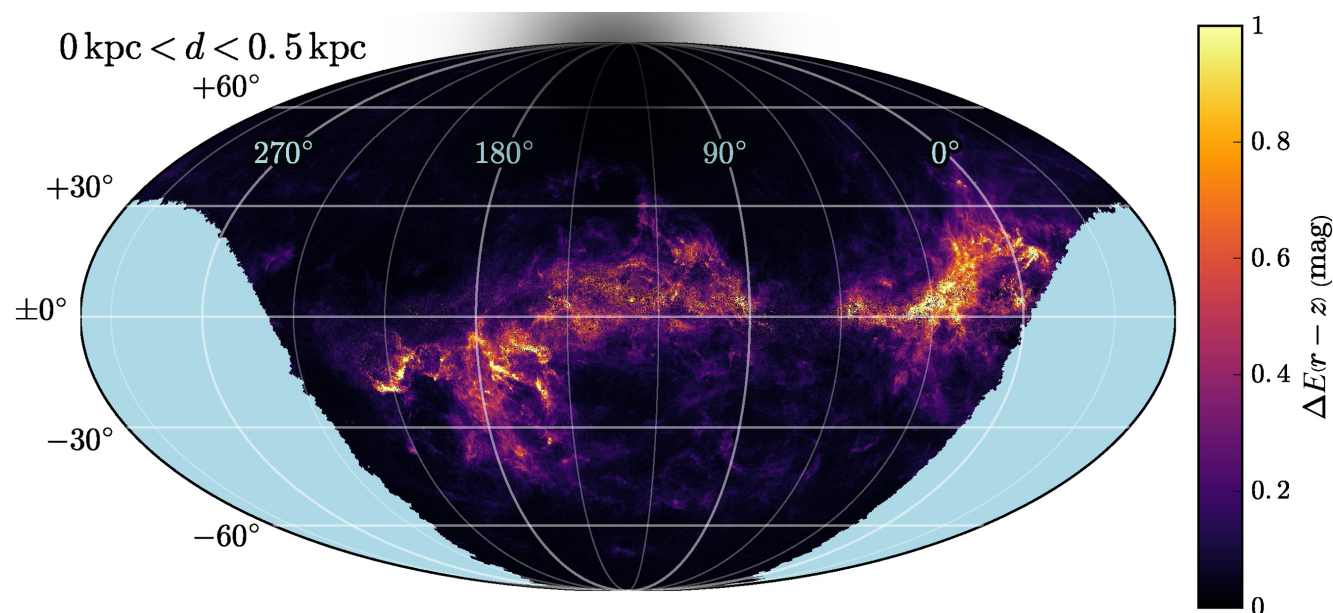


圖3. 太陽系附近500秒差距 (pc) 內的星際紅化分布圖，由於距離比較近，所以在天上的分布範圍看起來也比較廣。圖片來源：G. M Green(2018)。

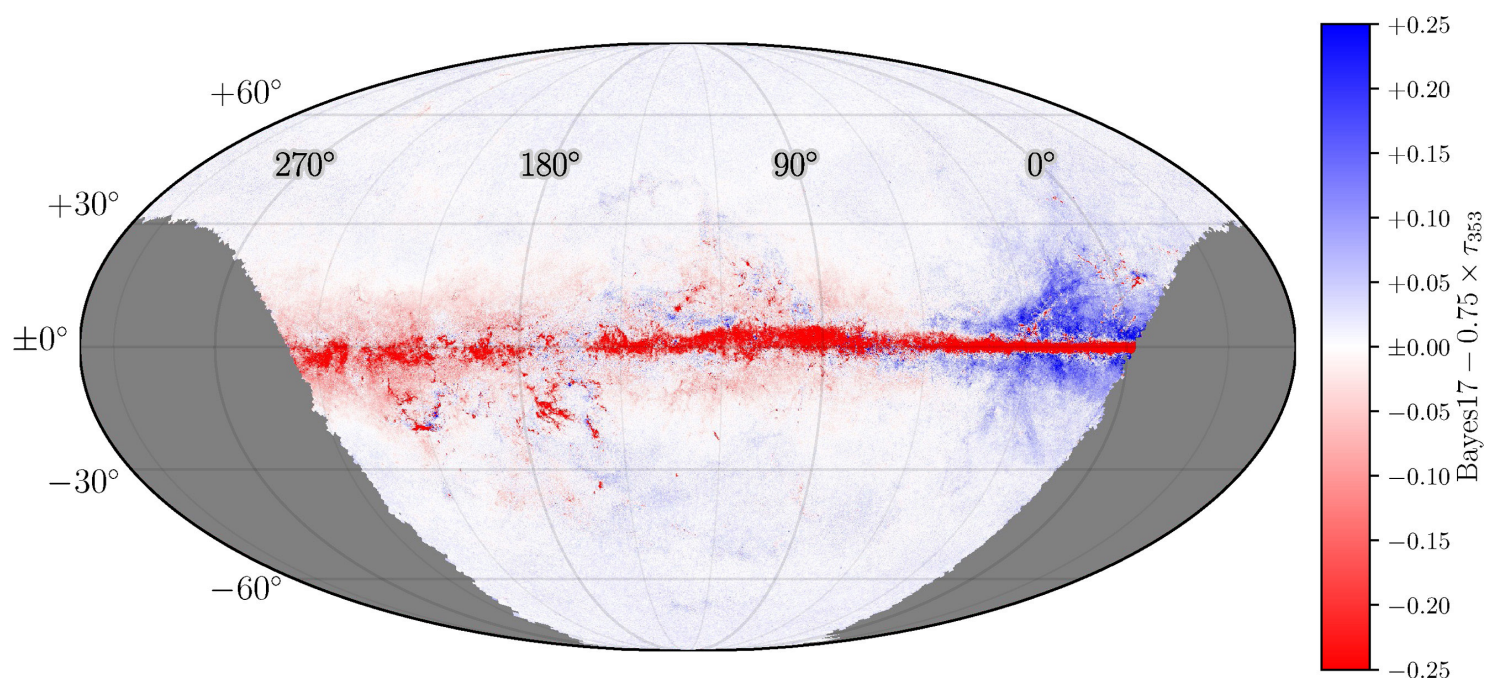


圖4. 偵測塵埃放出的遠紅外線的普朗克衛星推估的塵埃量與Bayestar17（圖2）的比較，越紅的區域代表普朗克衛星推估的塵埃量較多，越藍的區域則代表Bayestar17所推估的塵埃量比較多。圖片來源：G. M Green(2018)。

進行比較，結果如圖4。從圖4中可以看到在 $|b| > 60^\circ$ 的部分兩者相當一致；在銀河盤面方向，使用遠紅外線放射量推估的塵埃量明顯大於Bayestar17所推估的結果。論文作者認為會有這樣的差異是因為銀河盤面的星際塵埃太厚，導致遠處星光被減光至難以偵測其紅化狀況的程度，相對來說遠紅外線較能穿越星際塵埃，使得普朗克衛星所估計的銀河盤面塵埃量高於Bayestar17。另一方面，在 $45^\circ < l < 0^\circ$ 、 $15^\circ < b < 60^\circ$ 的區域內，Bayestar17所推估的塵埃量是大於普朗克衛星。由於該區域塵埃的位置分布在500pc以內，也許是太陽系附近的塵埃性質與銀河盤面有所不同的緣故。

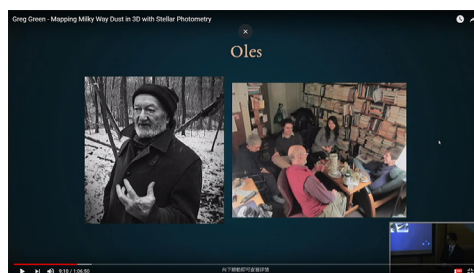
現今在太空中蓋亞（Gaia）衛星正在進行恆星的周年視差測量，而這份研究未包含到的觀測區域也正有望遠鏡的建設計畫，

透過更多的觀測成果，想必未來就能夠建立更為精細的星際塵埃的立體分布情形。雖然對於可見光觀測來說，星際減光無疑是個阻礙。不過在這份研究中，研究者反而將星際減光做為研究星際物質的重要手段，真可說是「事物的有用與否，端看利用者的思考態度」的最佳案例。

王彥翔：臺北市立天文科學教育館

參考資料：G. M Green et al., Galactic reddening in 3D from stellar photometry – an improved map, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 478, Issue 1, July 2018, P651–666, <https://doi.org/10.1093/mnras/sty1008>

YouTube相關影片：



Greg Green - Mapping Milky Way Dust in 3D with Stellar Photometry

https://www.youtube.com/watch?time_continue=15&v=huQcLw0lweQ