

掩星觀測——另闢蹊徑的天文觀測

文—林志隆·圖—林志隆、早水勉

科學研究源自於對自然的觀察，而觀察必然受到各種設備器材、經費，甚至方法本身的理論極限之限制。例如傳統的顯微鏡和望遠鏡都是光學設備，因此都受限於光學繞射原理而有其極限，無法再進一步去觀察更小的細節。這時，科學家不會只是坐下來抱怨，而是不斷地想方設法去繞過、穿過障礙繼續向前，這也是科學能夠不斷向前邁進的原因。

天文學使用的最基本器材就是望遠鏡，但是望遠鏡在天文上的功能不是只有放大(望遠)而已，它還有集中光線以提高亮度幫助我們看到更暗、更遠的物體的功能，所以望遠鏡的口徑越做越大，就是希望能夠收集更多的光線。現在許多大型望遠鏡已經做到相當於直徑10米以上，未來還有許多直徑20米、30米等級的望遠鏡在規劃當中。但是，且不說這麼大的望遠鏡建造起來曠日費時，即使完成了也只是把極限再往前推進一小步而已，在這些望遠鏡完成之前，科學家可不會甘心只是坐在一邊嘆氣。

從光學望遠鏡的解像力公式 $\theta = 116(\text{弧秒})/D$ (公厘)，可知口徑越大的望遠鏡除了集光力越好之外，影像也可以越清晰(可分辨的角度 θ 越小越細)。但是，望遠鏡能做的大小畢竟會有一些限制，在經費的限制上，未來口徑數十公尺的望遠鏡已經不是大部分國家所能單獨負擔得起了。但是，沒錢不應該是科學不進步的藉口，反而常常是突破的契機。

掩星觀測其實不是什麼新玩意兒，但是卻不斷被發掘出新的用途。據信最早被觀測到的掩星應該是月球遮蔽運行路線上的亮星，因為在月球運行的白道上就有4顆一等亮星。例如今(2017)年1月9日晚間將近11點時，臺灣就看到了月球掩掉了金牛座的一等星畢宿五，本館研究人員和中部多位同好都成功觀測或拍攝到掩入及掩出的過程，紀錄影片放在youtube上^(註1)，有興趣的讀者可以前往觀賞。

20世紀中期在人類有太空飛行能力之前，對於太陽系內許多天體的位置軌道測量和計算都不夠精確，甚至連月亮的位置都算不太準，所以必須靠月掩恆星的時間來精確測定月球的位置，甚至利用發生在月球邊緣的掩星閃爍(掠掩)來探索月緣的地形起伏(山和谷)。在美國的阿波羅計畫登陸月球之前，NASA更發動了全世界的業餘天文愛好者進行月掩星觀測以精確標定月球位置，以免到時太空船飛偏了一去不回。在阿波羅登月之後，一方面由於測量精確了，一方面也由於電腦的軌道運算能力進步了，所以月掩星的重要性就降低了。

當近的月亮用不上掩星觀測時，遠一點的東西可還蠻好用的，這個目標就是行星和小行星。但是，一方面行星軌道和月球軌道有交會，所以可能會被月球給掩住了，這叫月掩行星；另一方面行星或小行星也可能會掩住遠方的恆星，這是目前比較常見的掩星事件。

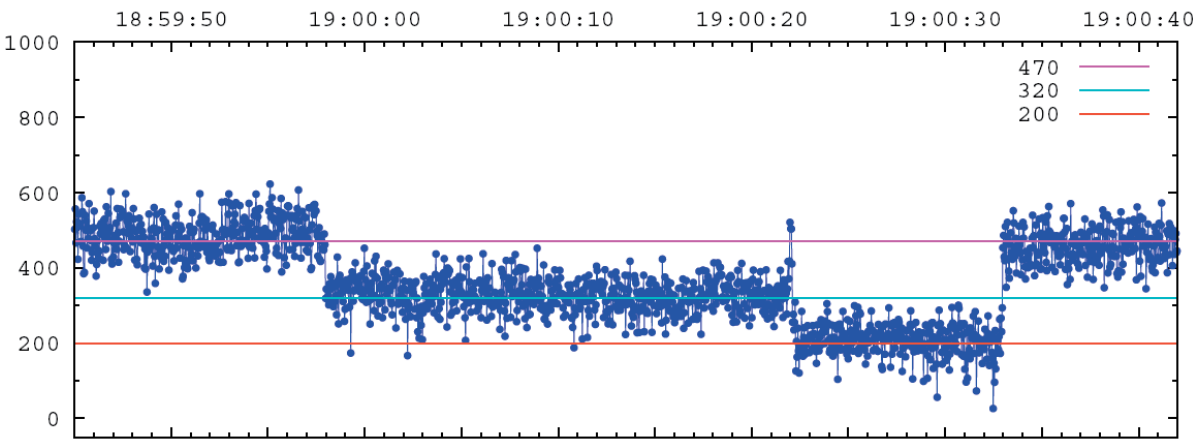


圖1 2006年10月18日(UT)晚間在臺中觀測到的84號小行星掩SAO 80166號恆星的光度變化圖。這樣的特徵通常表示被掩恆星其實不只一顆，而是多重恆星系統。同時間鹿林天文臺則沒有看到這樣的兩段式減光現象。(林志隆提供)

在天文學上，一般會把一個圓分成360度，每度分成60角分(或弧分)，每角分再分成60角秒(或弧秒)。理論上，口徑11.4公分的望遠鏡就可以分辨出相隔1個角秒的兩個點，如果是口徑11.4公尺的話，那應該會有0.01角秒的解析力。但是由於地球大氣擾動的關係，大部分地區連1個角秒都達不到(這稱為視寧度)。如果從地球上看到3個天文單位(AU)外的小行星帶，差1個角秒就差了約347公里，即使是用10公尺級的超大望遠鏡而且不考慮大氣擾動，也只能分辨出3公里等級的大小。

可是，掩星法卻可以輕易的在3個AU之外，甚至30個AU(海王星軌道)之外分辨出不到1公里的差別，因此對於一些需要精確位置的研究，就提供了非常有用的幫助。例如以前計算小行星軌道，因為每次測量的誤差都有上百公里，所以需要長時間而且非常多次的觀測紀錄，但是因為掩星的誤差可以輕易達到1公里以下，幾乎可以說一次觀測就抵得過以前上百次的資料。

掩星觀測通常會使用類似監視攝影機的錄影方式，一般可以每秒紀錄30格畫面。假設遠方的小行星移動很慢可以忽略，在相隔1/30秒的時間中地球會在繞日軌道上移動約1公里，如果記錄速度越快(每秒格數越多)，便能得到更小的誤差。

掩星觀測的重點是掩入(消失)和掩出(再出現)兩個階段，把兩者的時間差乘上移動速度便可以估出小行星的大小。如果有幾個地點同時觀測，還可以更精確的描繪出這個物體的輪廓(請參考日本薩摩川內市せんだい宇宙館網頁的範例)^(註2)。甚至有些學者還彙整同一小行星的多次觀測紀錄來推算小行星的3D立體樣貌^(註3)。但是除了前後兩個時間點之外，有時在過程中也會出現一些意外的驚喜，例如1977年3月10日Elliot, Dunham和Mink在觀測天王星掩星時意外發現恆星在被天王星遮蔽之前後有閃爍現象，因此而發現了天王星的環^(註4)；或如2014年在觀測小行星(10199 Chariklo)女武神的時候意外發現小行星也可以有環^(註5)。此外也曾多次用掩星方式發現小行星的新衛星^(註6)。本館研究人員也曾於2006年觀測到84號小行星(Sylvia)掩星過程有分段減光現象(圖1)，因而發現被掩的恆星有一顆光學望遠鏡分辨不出的伴星^(註7)。

近年，掩星觀測的對象又逐漸從小行星往外擴展到更遠的TNO(海王星外天體)。這裡的天體雖然不見得小(這麼遠還能被觀測到的，一般都有上百公里或更大)，但是望遠鏡怎麼看都還只是個小點，所以只能從亮度猜測其大小，這樣的誤差就很大了。因此在21世紀初有一群天文學家就想用多

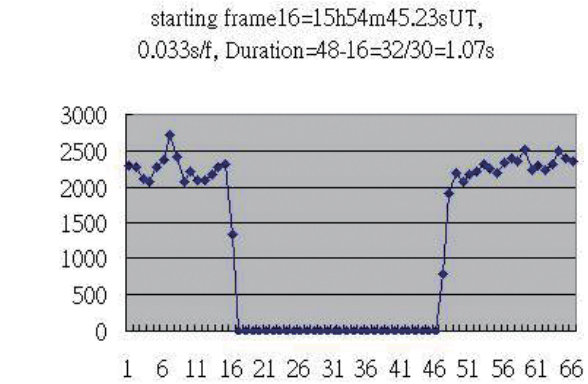


圖2 典型的掩星光度變化圖，此圖是2006年12月27日晚上所觀測到的1438號小行星(Wendeline)掩HIP 38332號恆星。(林志隆提供)

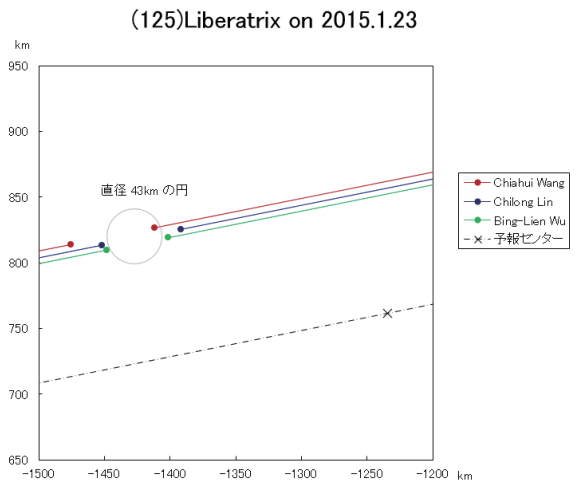


圖3 這是2015年1月23日本館研究人員和臺中一中的王家輝老師以及在彰化觀測的吳炳連老師分別觀測到的125號小行星(Liberatrix)掩星結果，把資料彙報到薩摩川內市せんだい宇宙館後，由早水勉先生繪製成本圖。(早水勉提供)

點掩星的方法來精確推估這些TNO的大小。這個觀測首次成功是在2009年由MIT的Elliot團隊在夏威夷群島觀測到編號55636的TNO掩星，由此推算的天體大小和之前的估計差了好幾倍^(註8)。此外，因為比冥王星還大顆而害冥王星被踢出大行星家族的閼神星(Eris)，也在2010年底被夏威夷大學的Sicardy團隊用掩星法精確測定直徑只有約2325公里，比原先估計的3000公里小了很多^(註9)。

掩星觀測所需的設備價格非常低廉，和大天文臺的造價相比幾乎是九牛一毛，所需的觀測技巧也不困難，如果好好運用的話也能提供許多貢獻。在過去這個領域並不為專業天文學家所重視，但是在望遠鏡越來越大越難做的情況下，部分天文學者已經注意到這些方法所能帶來的突破，未來應該還會有許多新的應用及發展出現。

^{註1} 掩入 <https://www.youtube.com/watch?v=zEZsxOtsSI>，掩出 <https://www.youtube.com/watch?v=5OuR3EdFCj0>。
^{註2} <http://sendaiuchukan.jp/data/occul/1701mandeville.html>
^{註3} http://www.asteroidoccultation.com/observations/Results/Data2012/20120409_Massalia_ISAM_Model1.png
^{註4} <http://www.nature.com/nature/journal/v267/n5609/abs/267328a0.html>
^{註5} <http://www.nature.com/nature/journal/v508/n7494/full/nature13155.htm>
^{註6} https://www.researchgate.net/publication/257657237_Occultation_Evidence_for_a_Satellite_of_the_Trojan_Asteroid_911_Agamemnon
^{註7} https://www.researchgate.net/publication/23787112_A_Close_Binary_Star_Resolved_from_Occultation_by_87_Sylvia
^{註8} <http://www.nature.com/nature/journal/v465/n7300/full/nature09109.html>
^{註9} <http://www.nature.com/nature/journal/v478/n7370/full/nature10550.html>