

## 類星體 50 年

金升光

雷達是二次大戰時的祕密武器，卻在戰後促進了電波天文學的快速發展。1960 年代有幾個重要的天文學發現，包括脈衝星（波霎）、宇宙微波背景輻射、以及本文的主題「類星體」最初都來自無線電波的觀測。我們的太陽不僅輻射出陽光，也放出無線電波，銀河與星系當然也不例外。但是，電波觀測的天空和肉眼所見大不相同。無線電波的波長是可見光的千倍以上，早年的電波觀測解析度不高，很難精確的決定某個電波源究竟是光學照片上的那一個天體。有些天體放出強烈的無線電波，經過確認的電波源就被依序編成目錄。有些在可見光照片中看起來似乎沒什麼特別，甚至於不易看見，直到天文學家發現隱藏在星光中的祕密。

### 類星電波源的發現

1960 年，天文學家首先辨認出一顆長得像 16 等星的電波源 3C 48（註一）。它和隨後被辨認出來的 3C 196 與 3C 286 都被當成前所未見的「電波星」(radio star)。當時，除了太陽，沒有看到其他星球發出強烈的電波，倒是有些信號來自超新星殘骸如蟹狀星雲和仙后 A、明亮的電波星系像是天鵝 A 和 M 87、以及銀河中心的方向。這些怪異的「電波星」在照片上看起來像不可解析的點光源，它們的光譜包含了一些強烈的發射線，沒人能認出究竟是那個元素的指紋，它們的光度也顯現出隨著時間的變化。1962 年，利用澳大利亞剛落成不久，直徑 64 公尺的電波望遠鏡透過三次月掩星（lunar occultation）的觀測，另一個電波源 3C 273（圖一）的位置、大小和分布被測量出來。這引起了美國加州理工學院施密特教授（Maarten Schmidt）的注意。在電波觀測到的位置附近有一個明亮又奇怪的 13 等「星」，旁邊還有一縷暗淡的輕煙或噴流。他用帕洛瑪天文台直徑 5 公尺的望遠鏡測得了這顆比冥王星還亮的天體光譜，與他先前測量 3C 286 的結果相似，和超新星、白矮星、行星狀星雲、太陽色球或日冕的光譜有所不同。

施密特照例準備發表他的觀測結果。忽然間他注意到 3C 273 有幾條光譜線似乎有些規律，和氫原子這宇宙中含量最多的元素的巴耳麥譜線波長相比竟然是一個固定值 1.16。原來這些沒人能辨認出來的奇怪光譜可以用類似都卜勒效應的紅移（redshift，符號  $z$ ）來解釋！除了 3C 273 的紅移 0.16 之外，3C 48 ( $z = 0.367$ )，3C 196 ( $z = 0.871$ )，3C 286 ( $z = 0.846$ ) 波長改變更多，也難怪先前沒有人能看出來。隨後，透過紅外光觀測 3C 273 的頻譜分布，也找到了另一條巴耳麥譜線  $H\alpha$ ，與先前的月掩星觀測結果同步於 1963 年 3 月發表，距今剛好半個世紀。

### 「Quasar」的小故事

類似太陽的一般星球光譜以吸收譜線為主，頻譜接近黑體輻射，有點像家裡黃光

或白光的燈泡，擁有特定的色溫。另一方面，如果紅移不大，這些貌似星球的天體顏色看起來特別的藍，提供了另一個觀測上快速篩選的途徑，因為準確測量光譜非常耗時，成本也高，用顏色來分辨就容易多了。天文學家陸續發現許多同類型的天體，稱為「類星體」(quasi-stellar object)，簡稱 QSO，會發出強烈無線電波的特稱為「類星電波源」(quasi-stellar radio source)。觀測結果顯示，類星電波源只占少數，約 90% 反而是屬於電波寧靜的天體。這冗長的英文名詞雖然準確的描述了這種新天體的特性，使用上並不方便。1964 年，旅美的丘宏義教授在社群刊物《今日物理》中首次採用了「quasar」一詞來代表類星電波源的縮寫。不過，隨著許多電波寧靜類星體的發現，就出現了像是「電波寧靜的類星電波源」(radio-quiet quasar) 這樣的矛盾名詞。知名的天文物理學家錢卓所主編的《天文物理期刊》就拒絕採用這說法，直到 1970 年，在施密特的堅持下，才在文章頁尾加上了編註，很不情願的讓「quasar」一詞過關。今天，如果不指涉到電波特性，類星體、quasar 或 QSO 通常都指同樣一類的天體。

### 活躍星系核

「電波星」的概念很難解釋這出乎意外的超大紅移，類星體的謎團與爭議持續了相當長的時間（註二）。當今的觀測結果顯示，類星體是「活躍星系核」(active galactic nucleus，簡稱 AGN) 的一種，距離地球非常遙遠，紅移主要來自宇宙膨脹。以 3C 273 為例，距離我們超過 24 億光年（約 7.5 億秒差距）。把它的亮度換算成絕對星等再和太陽相比不難發現，3C 273 輻射出的能量遠大於整個銀河系所放出來的能量。此外，從光度變化特性還可以看出這類天體活躍區域的直徑不會超過太陽系的大小。早在 1943 年，美國天文學家西佛 (Carl Keenan Seyfert，1911-1960) 就發現了一種核心異常明亮的星系，它們也擁有不尋常的發射譜線，這類天體稱為「西佛星系」(Seyfert galaxy)。有些譜線寬度顯示超過 500 km/s 相對於核心的高速運動，透露出這類星系核心的動力學結構。

一般而言，各種活躍星系核之間都有些相似和相異之處。在 Véron-Cetty 與 Véron 兩人 2010 年所編纂的第 13 版活躍星系核目錄中，把 quasar 定義成比（藍光）絕對星等  $M_B = -22.5$  還要亮，擁有星球般面貌的核心和寬的發射譜線，總共包含了 133 336 個天體。西佛星系的光度較暗。有些光度變化劇烈的活躍星系核甚至一度被當做是一顆變星，而擁有變星的名字，蝎虎座 BL 就是一個典型的例子。這類「蝎虎天體」(BL Lac objects) 看似點源，非熱輻射的連續光譜中可能只顯現微弱的譜線，可見光波段有明顯的偏振，有時也和部份激烈變化的類星體合稱「蠍虎 BL 型類星體」(blazar)。此外，隨著觀測技術的不同與進展，還有許多更仔細的分類以及介於普通星系與活躍星系之間的天體。

### 活躍星系核的統一模型

什麼樣的機制可以在如此有限的空間內產生足夠的能量？經過半世紀的研究，天

文學家普遍認為一個活躍星系核的能量應該是來自於星系核心超大質量黑洞（supermassive black hole）吸積周遭物質的過程。一個統一的模型或許可以解釋活躍星系核各種不同的分類和特徵（圖二）。首先，這黑洞的大小與質量有關，大致和太陽系行星軌道大小差不多。吸積過程會先在周圍形成吸積盤（accretion disk）。不同的中心質量、吸積物質的多寡都會影響吸積的速率。再來，吸積盤和盤面上下較低溫氣體的數量、幾何分布、觀測的角度都會改變光譜的特性。譬如說，寬的發射譜線極可能來自狹小鄰近核心區域的高速運動，容易被遮蔽；偏振光則可能來自盤面上下雲團的散射，還有帶電粒子在磁場中運動產生的同步輻射。更複雜的特徵像是電波活躍的星系核常伴隨著接近光速的噴流與電波瓣，有時候還造成超光速運動的假像（註三）。噴流的成因與組成並不清楚，也不確定黑洞自轉所扮演的角色。

透過簡單的「史瓦西度規」(Schwarzschild metric)可以研究球對稱不帶電的黑洞。然而，一直等到 1963 年，描述旋轉黑洞的「克爾度規」(Kerr metric)才被紐西蘭數學家克爾（Roy Kerr，圖三）所發現，距今也恰好 50 年！一般認為活躍星系核的中心是一個旋轉的黑洞。相對論學者所未能預期的超大質量黑洞是一個重要的天文物理課題，宜另由專文介紹。一方面它們是星球質量等級黑洞的百萬倍以上，提高了觀測的可能性，使得黑洞研究成為顯學；另一方面，除了少數鄰近的例子，這些大黑洞還是太遠、太小而看不清楚。目前僅能藉由 X 光觀測鐵原子 6.4 keV 的譜線（K $\alpha$ -line）形狀等間接的方法來測量黑洞自轉。即使透過電腦來模擬，如何將黑洞周圍如地球軌道般大小的物理與整個星系數十萬光年尺度的變化連繫在一起，仍是令人頭痛的問題。

### 從類星體看星系和宇宙的生成與演化

由於類星體非常明亮而遙遠，它們可以當做參考座標系來研究地球的自轉（註四），也適合若干宇宙論的相關課題（註五）。它們發出來的光很可能會被一路上的星系間介質等這些看不見的物質所吸收，產生複雜的吸收光譜，例如「來曼- $\alpha$  叢」（Lyman- $\alpha$  forest），透露出豐富的訊息。1979 年發現了由強重力透鏡效應產生雙重影像的類星體 Q 0957+561。A 與 B 兩個影像之間約有 417 天的時間差。這類孿生類星體提供了測量哈柏常數的另一個途徑。類星體本身並不是一個很好的標準燭光。目前，利用超新星觀測宇宙加速膨脹只能回推至紅移小於 2 的時代。了解類星體或許有機會進一步了解宇宙加速膨脹的歷史和暗能量的本質。

近年研究發現中心黑洞質量與星系核球（bulge）的特性有相當明顯的關連。不難想見，星系核心的超大質量黑洞與星系的生成演化之間應該有密切的關係，這也是熱門的研究主題。活躍星系核究竟活躍了多久？它們如何影響星系的星球形成與演化（「AGN 反饋」）？抑或是星系的形成過程促進了活躍星系核的誕生？大小星系相互碰撞、併合或相食（註六）的重要性如何？觀測結果顯示，年輕的宇

宙顯然有更多的類星體存在（圖四），相對安靜的銀河中心和類似星系是否也曾有個活躍的歷史？銀河系內星球般質量大小的黑洞（或中子星）吸積過程和類星體之間有什麼異同之處？無可否認的，對於黑洞吸積、噴流的形成與組成、活躍星系核的迅速生成與演化等基本問題，我們所知仍十分有限。新一代巡天和多波段觀測配合更精密的理論與模擬，或許能在未來 50 年揭開那核心外神秘的面紗。

註一：3C 48 代表 1959 年出版《劍橋大學第三版電波源目錄》中的第 48 號天體

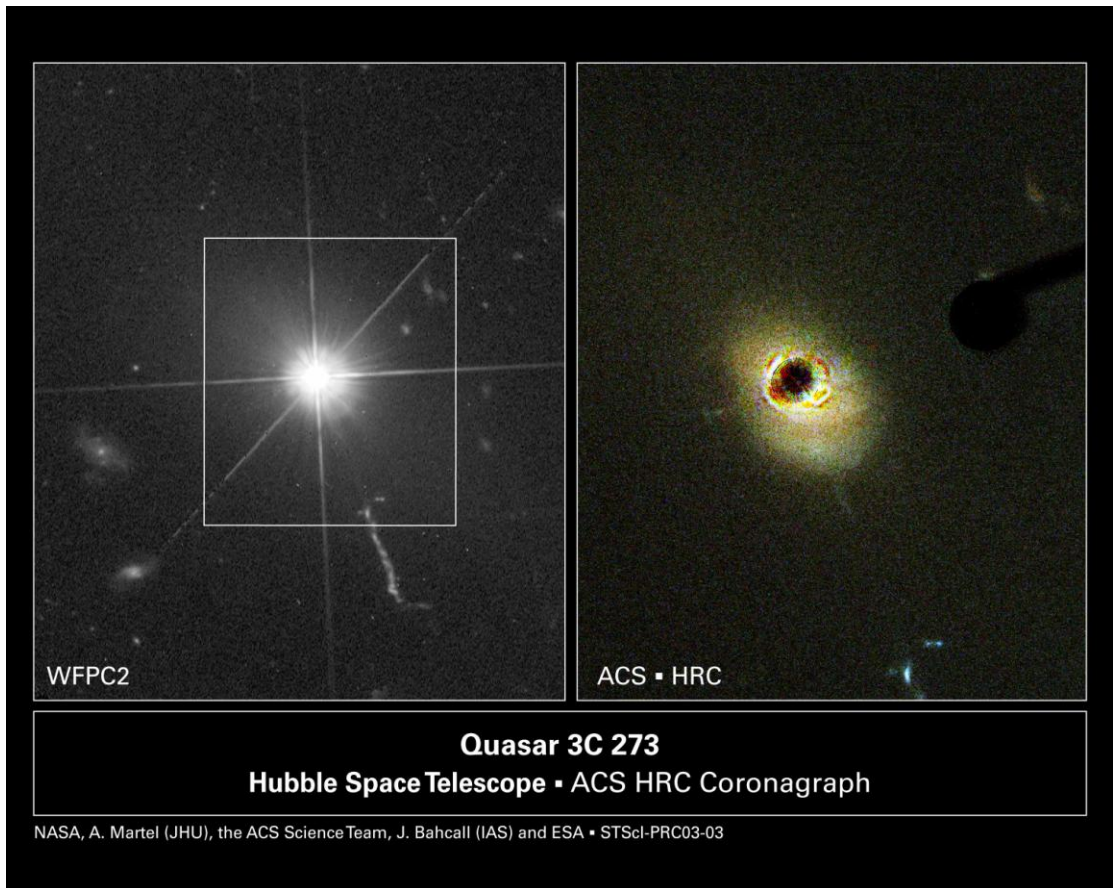
註二：陳文屏，〈宇宙中的一個謎——似星體〉科學月刊 12 卷第 8 期，1981 年。

註三：南仁東，〈活躍星系核的 VLBI 研究〉科學月刊 26 卷第 1 期，1995 年。

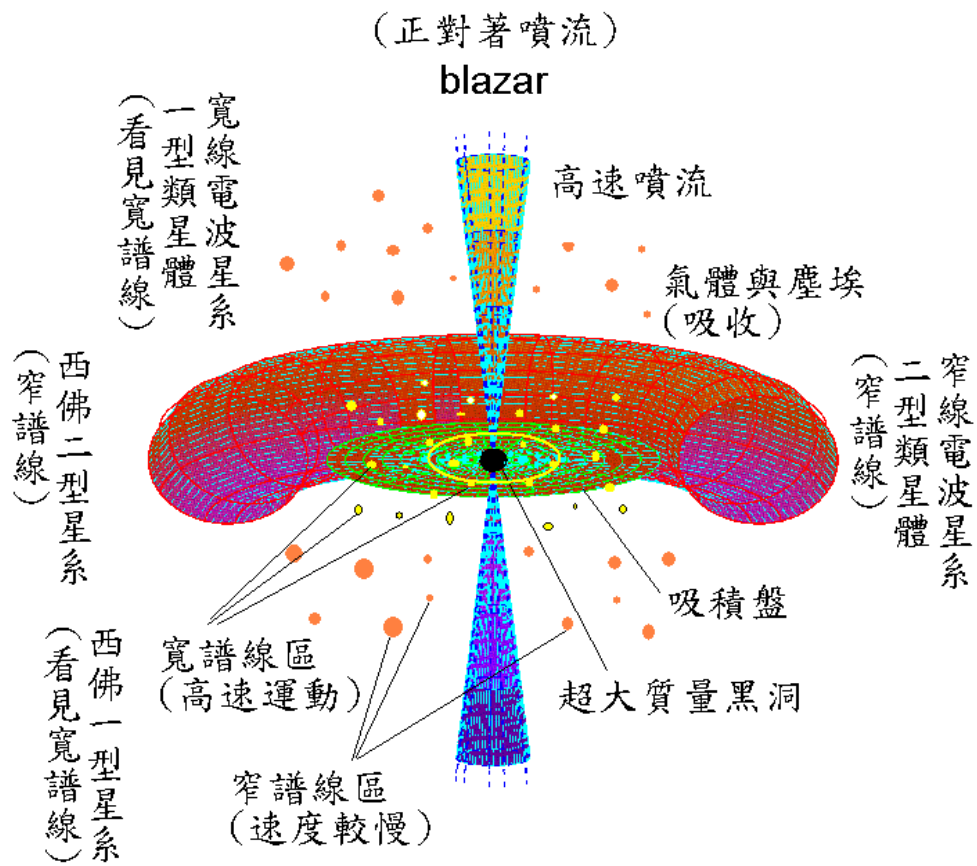
註四：趙丰，〈見微知著——話地球自轉〉科學月刊 21 卷第 11 期，1990 年。

註五：陳建生，〈紅移、似星體及宇宙〉科學月刊 24 卷第 1 期，1993 年。

註六：曾耀寰，〈當牛郎碰上織女——談星系的碰撞〉科學月刊 26 卷第 7 期，1995 年。



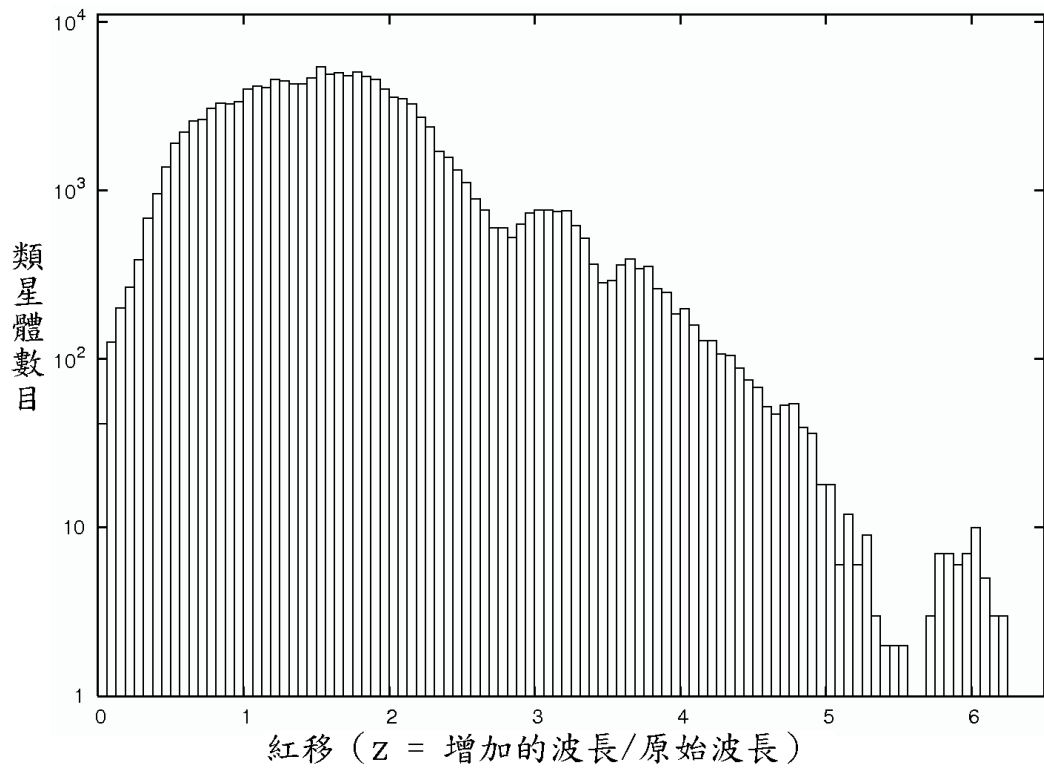
圖一：哈柏太空望遠鏡拍攝的 3C 273。近似點光源的明亮星系核心產生明顯的繞射光芒(圖左)。利用日冕儀遮蔽核心強光可以看見核心周圍的星系(圖右)。



圖二：活躍星系核的統一模型示意圖，或許接近活躍星系中心的真實情況？



圖三：克爾度規的發現人 Roy Kerr 於東華大學留影（作者攝於 2008 年 6 月）



圖四：133 335 個 quasar 的紅移統計。雖然來自不同望遠鏡觀測的涵蓋範圍有別，還是可以看出在  $z = 2$  附近類星體的數目特別多（資料來自 Véron-Cetty & Véron 線上版本，2012 年 2 月更新）。