

## [ 研究動態報導 ]

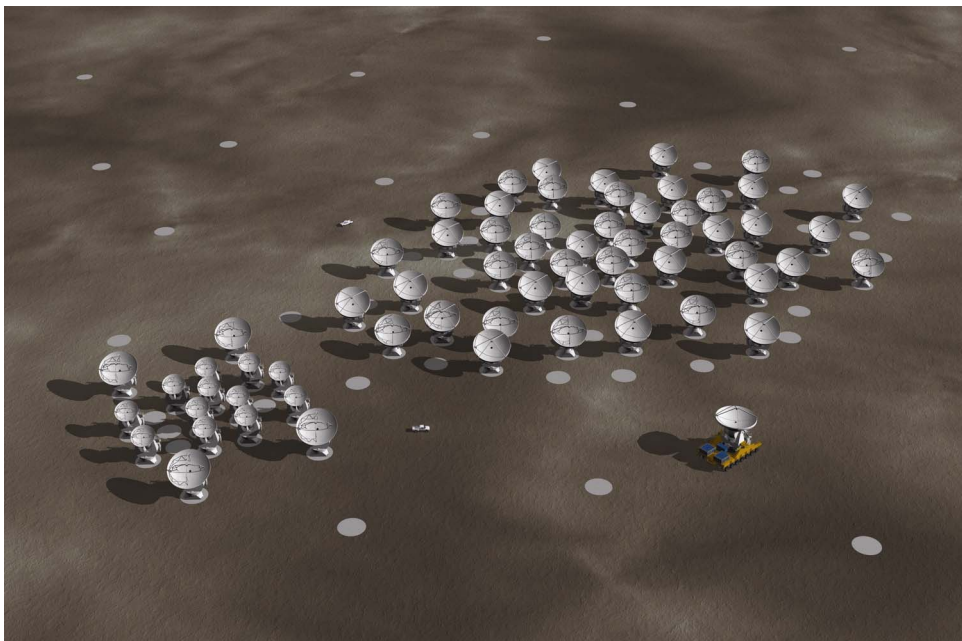
## 阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列 (ALMA)

中央研究院天文與天文物理研究所 天文教育推廣部門 楊淳惠

## 一、ALMA 簡介

宇宙浩瀚無垠，人類好奇心無限，儘管自古以來人們不斷用各種方法解讀從太空接收到的訊號，試圖分析宇宙的輪廓，並了解宇宙、太陽系以及生命的起源，但無奈受限於觀測儀器的極限，這些重要的問題至今還未獲得全面的解答。阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列 (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array; ALMA) 計畫便是為解決這些問題而生。ALMA 挑戰望遠鏡的極限，是目前世界上最大的地面望遠鏡興建計畫，所需經費估計將超過 10 億美元，相當於超過 300 億新台幣，單一國家或地區實在無法負擔此鉅額，所以此計畫主要由北美、歐洲和東亞各國合力合資進行，構思加建造前後花了將近 20 年，ALMA 終於將在今 2013 年竣工，並於三月舉辦啓用典禮，啓用後預計可運轉至少 50 年。

ALMA 座落於安地斯山脈西側、智利北部的阿塔卡瑪沙漠，同時具有高原地形與沙漠氣候，是全球數一數二乾燥的環境，連微生物都很難在此生存，可想而知，此區域大氣具高度透明度與穩定度，是設置望遠鏡的絕佳地點。ALMA 完工後將會有 66 座天線，包括由 50 座 12 米天線組成的主陣列，還有由 4 座 12 米和 12 座 7 米天線組成的緻密陣列 (如圖一)，具有龐大的集光面積，靈敏度將會比現有同波段望遠鏡高 100 倍，這代表若現有望遠鏡需觀測 100 小時才能收集到某種程度的資訊，ALMA 只需觀測一小時！不僅如此，其主陣列散佈至最大範圍時，可比擬一座直徑有 16 公里的天線，其角解析度將高達千分之一角秒，換句話說其空間分辨率將比哈伯太空望遠鏡好 10 倍，能看清楚 500 公里外的一元硬幣。ALMA 不僅可以觀測天體的影像，還可以接收精細的光譜資訊，相當於可以提供天體的



圖一 此為藝術家繪製的假想圖，呈現出完工後所有的 ALMA 天線，以最緊密的方式集結排列的情景。©ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)



圖二 由「ALMA－臺灣」團隊組裝及測試的 ALMA 前段次系統。©中研院天文所



圖三 (左) FESV1 梅花©ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)。(右) FESV2 藍鵲©中研院天文所

立體型態與化學資訊，加上其高解析力與靈敏度，勢必能為探索宇宙帶來革命性的影響。

## 二、臺灣的貢獻

臺灣透過與「ALMA－日本」團隊以及與「ALMA－北美」團隊的合作，參與了 ALMA 計畫。能夠參與如此的大型國際合作計畫，並非光有經費即可達成。臺灣毫米波與次毫米波（以下簡稱（次）毫米波）天文儀器技術與科學研究的經驗，自中央研究院天文與天文物理研究所（以下簡稱本所）籌備處成立時便開始累積，藉由和美國多所大學以及史密松天文台合作觀測和興建望遠鏡，本所一方面延攬並培養製作與研發（次）毫米波天文儀器的人才與能力，一方面也吸引不少國內外相關研究學者與海外學人歸國陸續加入研究行列。12 年來的經營，臺灣在

毫米與次毫米波天文學領域累積了豐沛的能量，也因此得到國際合作團隊的青睞與肯定，被邀請加入 ALMA 計畫。

迄今「ALMA－臺灣」團隊<sup>1</sup>已經為此計畫做出許多不可或缺的貢獻。舉例來說，臺灣團隊建立了「東亞接收機前段整合測試中心」(EA FEIC)，負責組裝及測試前段次系統，目前已完成了來自東亞（17 套）、北美（5 套）及歐洲（4 套）團隊的共 26 套前段次系統，並交付運送智利（圖二）；臺灣團隊還負責主導兩輛「前段維護特種車」(Front End Service Vehicle; FESV)的製造，兩輛 FESV 分別被命名為「梅花」與「藍鵲」（圖三），皆已運至智利並開始執行維護天線陣列的任務；本所與大學電機相關科系並持續進行高頻段接收機模組的研製。除此之外，多位軟體工程師參與了在美、德、日本的資料儲存與校準

<sup>1</sup>ALMA－臺灣」團隊包含了本所、中山科學研究院、磁震科技公司以及啓昌工業公司。

處理軟體系統開發；工程師與天文研究人員或是常駐，或是頻繁地往返智利，參與各項望遠鏡運轉的測試與準備。雖然 ALMA 還未竣工，但天線已陸續完成測試並運送至運轉基地，所以 ALMA 在 2011 年 9 月 30 日已經正式開放學術使用，利用現有的天線進行先期科學觀測。到目前為止，ALMA 已向全世界徵得兩千餘份觀測計劃書，其中只有三百餘份通過嚴格的審查，而台灣在激烈的競爭下總共通過了二十餘份計劃書，取得了亮眼的成績！

### 三、ALMA 科學目標

投注龐大的人力與金錢建造地表最強大的望遠鏡，天文學家就是爲了要進一步達到探索宇宙奧祕的目的。宇宙的起源爲何？地球的形成與起源爲何？生命與人類的起源又爲何？人類對週遭的認知，不斷的圍繞著這幾個「起源」的問題打轉。以下列出三項 ALMA 關於「起源」的重要科學目標：

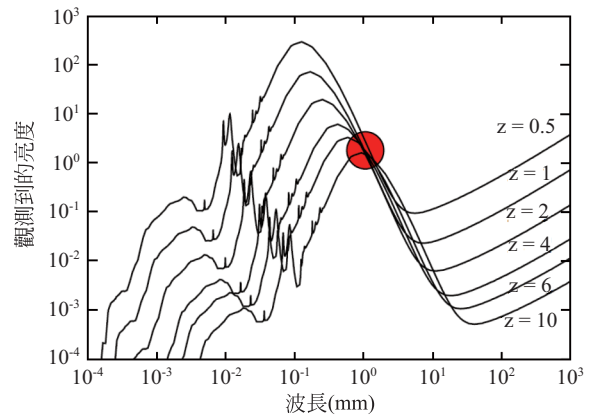
#### 1. 大爆炸(Big Bang)之後第一個星系如何形成

宇宙可能源於 150 億年前的一次大爆炸。大爆炸之後宇宙不斷膨脹和冷卻，相繼形成現有的星系、恆星、行星乃至生命。第一代星系距離我們非常遙遠，幾乎位於宇宙的邊緣，且因哈伯定律以極快的速度離我們遠去，星系光譜也因都卜勒效應向長波長端移動，產生高度紅位移。在次毫米波段，這樣的高紅移效應會讓遙遠星系的亮度與鄰近星系相仿（詳圖四），如果極遙遠宇宙存在發出次毫米波的星系，ALMA 將能輕易看到它們，如同帶我們深入宇宙的邊疆，告訴我們第一個星系是如何形成，或許還能告訴我們許多過去不爲人知的新現象。

#### 2. 太陽系的起源

自 1995 年發現了第一顆位於太陽系外的行星以來，天文學家已直接或間接地發現大約四千顆系外行星。然而，想探索行星系統演化的過程與機制，單單發現系外行星存在是不夠的，必須直接觀測到行星誕生的過程。目前天文學家普遍相信年輕恆星拱星盤是孕育行星的場所，拱星盤

<sup>2</sup>一個天文單位等於地球到太陽的平均距離。



圖四 同樣一個發出強烈次毫米波的星系，在各種不同距離下被觀測到的光譜。隨著距離增大或紅移(z)增加，光譜會往右下方移動。結果是，在次毫米波長(1 mm 附近)，觀測到的亮度幾乎不會改變(如紅圈所示)。但在其它任何波長，觀測到的亮度都會隨距離增加而大幅下降。這說明了要觀測遙遠的星系，在其它波長都會非常困難，但在次毫米可能就相對簡單。©中研院天文所／王為豪

是由冷的氣體與塵埃組成，誕生中的行星被包裹在其中，可見光與紅外線皆無法穿透，因此哈伯這一類的可見光望遠鏡基本上無能爲力。此外，這些冷原料輻射出的光波長落在(次)毫米波段，但現有此波段望遠鏡解析力不足，只能觀測到非常模糊的結構，因爲鄰近恆星距離我們大約數百光年，其拱星盤大小僅僅約數百天文單位<sup>2</sup>。足夠的角解析度(至少小於十分之一角秒)是研究行星形成的必要條件。相信 ALMA 的高解析力(千分之一角秒)能夠幫助我們解開行星形成的秘密。

#### 3. 生命的起源

宇宙自形成以來，有元素工廠之稱的恆星持續地生產各式重元素，元素又在星際中結合形成各式簡單或複雜的分子。建構生命的基本單元胺基酸分子是否也是在星際中形成，然後被帶到地球並孕育出生命呢？抑或是只有地球這個得天獨厚的環境才能形成呢？如果我們能在宇宙中



圖五 位於阿塔卡瑪沙漠 ALMA 陣列運轉基地的部份天線。今 2013 年一月底前，已有 55 座天線運達。  
©ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)

看到胺基酸分子或許就能回答這個問題，但現有望遠鏡靈敏度不足，無法偵測到只發出微弱訊號的胺基酸分子。ALMA 靈敏度高於現有同波段望遠鏡 100 倍，相信如果星際中有胺基酸分子，ALMA 將能看到它們，並告訴我們生命起源的故事。

雖說 ALMA 有上述三項重要的科學目標，可以容易想見實際上 ALMA 將會是一個多功能，或者是通用性的望遠鏡，能夠針對眾多天文研究領域提出貢獻。在 ALMA 的科學計畫書中便洋洋灑灑的列出了以下多面向的項目：

- 透過偵測星際塵埃的熱輻射以研究宇宙早期高紅位移星系的演化序列。
- 利用原子與分子光譜研究恆星形成中星系的化學成份與演化。
- 揭示星系核與類星體中心附近氣體的動力結構。
- 推導恆星演化後期拱星殼層內同位素與化學成份，以了解恆星內部的核反應過程。
- 提供太陽系內的彗星之彗核、小行星、古柏帶星體 (Kuiper Belt Objects) 以及行星與衛星的精確影像。
- 觀測太陽表面的活躍區域以了解粒子如何加

速的機制。

這些科學領域與目標其實主要仍是根據現有的研究基礎，將 ALMA 的能力發揮到極致。我們可以期待甚至保證 ALMA 將會做出一些目前完全無法想像的新發現，從而開創新的天文研究領域。

本文部份摘自呂聖元「ALMA 簡介」一文；原文發表在 2009 年六月「物理雙月刊」第 31 卷第 3 期 225-233 頁。

#### 參考資料

- [1] 以下 ALMA 相關網頁：  
<http://www.almaobservatory.org/>  
<http://www.eso.org/sci/facilities/alma.html>  
<http://alma.mtk.nao.ac.jp/e/>  
<https://science.nrao.edu/alma/index2.shtml>
- [2] 2009 年六月「物理雙月刊」第 31 卷第 3 期 225-233 頁。
- [3] 中央研究院天文與天文物理研究所「天聞季報」2011 年冬季號。
- [4] 中央研究院天文與天文物理研究所新聞稿「臺灣天文團隊於 ALMA 先期觀測計畫大放異彩」(發稿時間：2011 年 10 月 25 日)。