



# 阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列

## 探尋宇宙的起源

### 拱星盤

拱星盤是恆星形成的重要媒介，年輕原恆星吸收周圍雲氣成長為穩定的主序星，這個過程需通過拱星盤來進行。一般認為，在恆星形成的最終階段，拱星盤會逐漸消散，演變成行星系統。利用ALMA這座具有極佳靈敏度與角解析度的陣列，我們預期將得以揭開拱星盤的形成與演化之謎。

### 塵埃顆粒

以及氣體，是ALMA陣列鏡頭下最亮的物體。雖然塵埃質量不到氣體的1%，但我們所偵測到的輻射卻大多來自塵埃。塵埃在宇宙輻射和行星形成上扮演要角，這些塵埃一旦進入恆星形成區域內，有些會集結增長，最後塌縮形成行星。因為ALMA的靈敏度和解析度，天文學家有機會看到早期星系的第一顆塵埃，在觀測早期宇宙方面是不可或缺的利器。

### 星際介質

是分布於星際間的氣體與塵埃，是孕育恆星及其伴隨行星系統的搖籃，我們熟知的反射星雲、黑暗星雲、以及行星狀星雲，都是星際介質。利用ALMA對這些星際空間中複雜的化學成份進行更靈敏精細的觀測，將可揭開太陽系形成之初及其演化過程的奧秘，甚至為廣大宇宙中生命的起源及分布提供重要的線索。

### 高紅移星系

雖然位處宇宙的邊疆，但在次毫米波段，紅移效應會讓它們的亮度與鄰近星系相仿。如果在極遙遠宇宙有發出次毫米波的星系存在，ALMA將可輕易看到它們，得以帶我們深入宇宙的邊疆，告訴我們許多過去不為人知的新現象。



座落於智利北部的阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列（簡稱ALMA），預期將於2013年竣工，全面運作。ALMA望遠鏡觀測的波長範圍介於0.3毫米與9毫米之間。利用這座具有極佳靈敏度與角解析度的望遠鏡，小至太陽系中的行星、衛星或彗星、太陽系外的恆星形成，大至各式星系及宇宙的演化等重要天文課題，預期都將有突破性的進展。

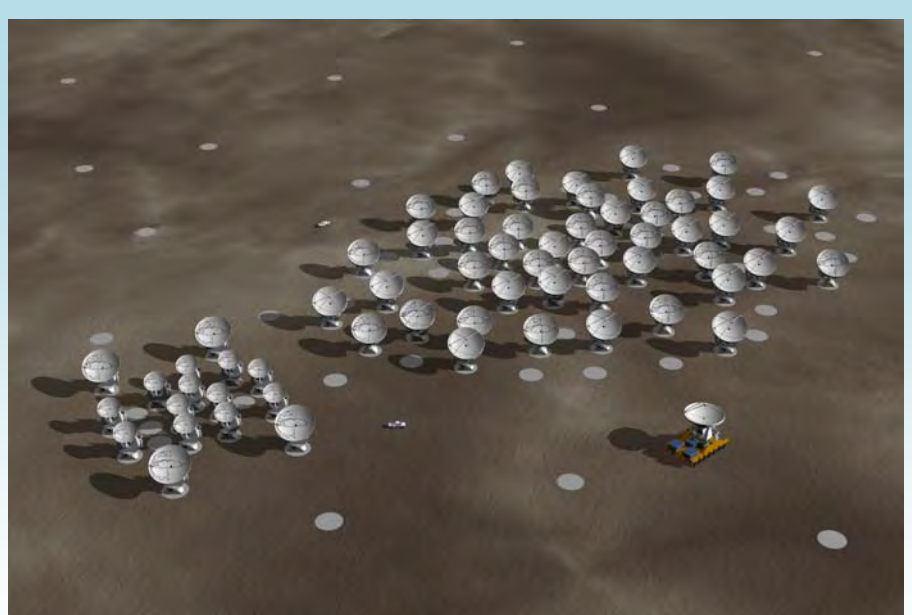


中央研究院  
天文及天文物理研究所

## 【ALMA】探尋宇宙的起源

自古以來，人們對星空就有無限的好奇，想知道星空為何如此深邃浩瀚，點點星光到底要告訴我們怎樣一個動人的故事。如今科技進步，不同波段太空及地面望遠鏡陸續升空，我們這一代有幸一窺究竟：原來這星空訴說著宇宙的起源，甚至生命的起源。

宇宙可能源於150億年前發生的一次大爆炸。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。為了深入了解箇中細節，ALMA計畫因此誕生。ALMA全名是 Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array，中文為阿塔卡瑪大型毫米波及次毫米波陣列，是北美，歐洲，及東亞多國合作的國際計畫。臺灣有幸經由北美及東亞參與此項全球有史以來規模最大、耗資最多的地面望遠鏡計畫，整個計畫所需經費超過10億美元。



圖說：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)

ALMA觀測的波長範圍在0.3毫米與9毫米之間，是哈柏太空望遠鏡無法觀測的範圍，用於探測低溫物質。陣列所在地—智利北部海拔五千米的阿塔卡瑪沙漠，是高原地形與沙漠氣候，大氣具高度透明度與穩定度，非常適合進行毫米波與次毫米波觀測。陣列建設工程始於2005年，預計2013年竣工。屆時整個陣列將有66座天線，包括由50座12米天線所組成的主陣列，以及由4座12米與12座7米天線所組成的緻密陣列，靈敏度將為現有同波段望遠鏡的一百倍。主陣列散佈的範圍，直徑大至16公里，使其空間分辨率高達哈柏太空望遠鏡的10倍，能看清500公里外的一元硬幣。

ALMA 這座陣列望遠鏡讓我們能看得更深遠，更詳細。運用 ALMA，對於宇宙的起源，星系、恆星、行星乃至生命形成等重要天文課題的研究，可望有突破性的進展。ALMA 初期應用所需的 16 座天線已經架設完成，靈敏度已超越現有同波段望遠鏡的 10 倍，並已於今年秋天投入應用。臺灣天文學家將利用申請到的觀測時間，對恆星、星系、銀河系中心超大質量黑洞等形成與演化作更深入的研究。（李景輝 特稿）

## 【臺灣之光】ALMA-臺灣

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（次）毫米波天文儀器技術與科學研究的經驗，自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。11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」團隊已經為此計畫做出許多不可或缺的貢獻。舉例來說，結合本地工業界的力量，臺灣團隊建置了「東亞接收機前段整合測試中心（East Asia front end integration center）」，負責組裝檢測接收機前段次系統並運送至智利；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。第一回的早期科學運轉觀測計畫選拔中，臺灣天文學家表現不俗，在全球約千中選百的競爭下，臺灣有九個觀測計畫脫穎而出。

總括來說，臺灣在（次）毫米波天文學領域，不論是軟、硬體，或科學研究，都擁有十分珍貴的人力、技術與經驗，而這些資源需要更多新世代年輕人的參與來傳承下去。（呂聖元 特稿）



圖說：智利ALMA總部前廣場上，臺灣國旗飄揚在會員國的旗海中。圖中人物，左邊是本所長賀曾樸，右邊是ALMA聯合觀測站主任Thijs de Graauw。©中研院天文所

## 【ALMA接收機中心之最】東亞接收機中心

正在智利沙漠興建的 ALMA，是有史以來最大規模的地面天文望遠鏡計畫。

ALMA 陣列天線接收機觀測的電波波段，從 30GHz 毫米至 950GHz 次毫米之間分成十個頻段，每一頻段由一個接收機模組筒匣 (Receiver Cartridge) 負責將天線接收訊號由射頻轉換成中頻，以方便信號處理。天線接收機可裝置十個頻段接收機模組筒匣，分別處理十個不同訊號波段。接收機模組筒匣則裝在系統的低溫恆溫器內，以維持 4K 溫度 (攝氏零下 269 度) 的運轉溫度。

ALMA 計劃中全球三個測試中心之一的「東亞接收機前段整合測試中心」是本所與中山科學研究院航空研究所合作建立，負責規劃安裝 ALMA 接收機模組筒匣的其中六個頻段。臺灣的任務是將來自各國的六個頻段接收機模組筒匣與相關零組件，組裝並進行低溫下的整合測試。確定接收機功能與特性符合 ALMA 規格要求後，再將整合後的接收機運送至位於智利海拔三千公尺的觀測基地。在這裡會將接收機與天線做最後整合，通過功能性驗證後，整個系統就被運送至海拔五千公尺的天線基地。全程所有的運送都需要特製的運送



圖說：ALMA 前段測試中心的電子工程師正在安裝儀器。©中研院天文所

器材與運輸工具來達成任務，運送前後也都會經過一系列詳細的測試和審查，以確保組裝與運送後的品質和功能皆符合 ALMA 的要求規範。

我們東亞接收機前段整合測試中心目前的測試品質與穩定度，都已達 ALMA 的要求。已完成交運到智利天線基地的接收機數量，是全球所有接收機中心之最，佔總交運量將近一半，可說是最有效率的接收機整合測試中心。（黃耀德 特稿）

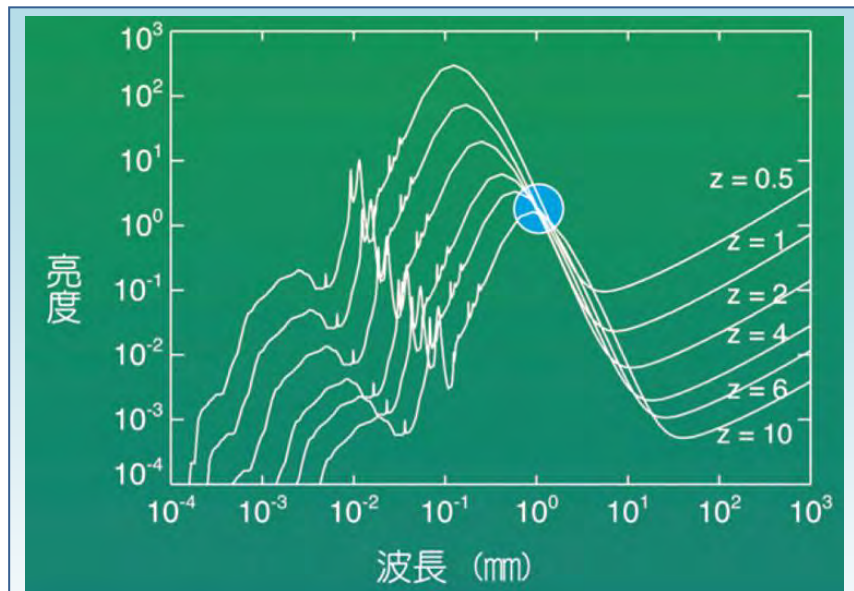
## 【ALMA應用】用次毫米觀測打破距離魔咒

次毫米觀測是瞭解宇宙的重要武器，除了可以告訴我們埋藏在塵埃中、可見光觀測無法看到的星系，也提供了一個探索宇宙邊疆的極佳工具，因為要看到極遙遠星系發出的次毫米輻射，會像看鄰近的星系一樣簡單。

一般而言，發光物體離我們越遠，看起來就越暗，這是我們熟知的平方反比律。譬如，我們可以輕易地看到家門口的路燈，但要看到兩百公里外的路燈就很難，因為距離讓路燈變暗了。因此，不論是用可見光、X射線、還是無線電觀測遙遠的星系，距離越遠，星系就越暗，觀測的難度也就越高。這樣的距離效應，就像緊箍咒一樣，緊緊地限制了天文學家研究遙遠宇宙的能力。

但是，對發出次毫米波的星系來說，前述緊箍咒並不存在。一個相同的、發出次毫米波的星系，把它擺在鄰近宇宙（譬如紅移等於1），跟把它擺在極遙遠的宇宙（譬如紅移等於10），它在次毫米波長看起來的亮度會是一樣的，不會因為距離變遠而變暗。這就好像有一盞路燈，把它擺在我們家門口，跟把它擺在天涯海角，看起來都會一樣亮。如果真有這種神奇的燈，我們就可以透過它來瞭解遠方的世界。這件神奇的事可以從附圖一來瞭解。

附圖是一個擁有大量灰塵、在遠紅外與次毫米波長範圍發出強烈輻射的星系的光譜。圖中星系如果紅移介於0.5到10之間，我們觀測到的光譜，從低到高紅移，整體輻射能量是下降的，這是前述距離平方反比律造成的結果。但是，隨著宇宙膨脹，遠方的星系會以極快的速度離我們遠去，星系光譜也會隨之向長波長端移動，這叫紅移，跟都卜勒效應類似。距離效應與紅移效應合成的結果，讓星系的光譜朝圖的右下端移動，移動方向幾乎與星系光譜在次毫米波長的斜率相平行。這個巧合，使次毫米星系在紅移1與10之間，在次毫米波長範圍下看到的亮度不會隨距離增加而遞減。



圖說：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（如藍圈所示）。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

基於此，如果在極遙遠的宇宙有發出次毫米波的星系存在，ALMA 將可以輕易看到它們。我們預期 ALMA 很快就可以帶我們深入宇宙的邊疆，告訴我們許多過去不知道的新現象。

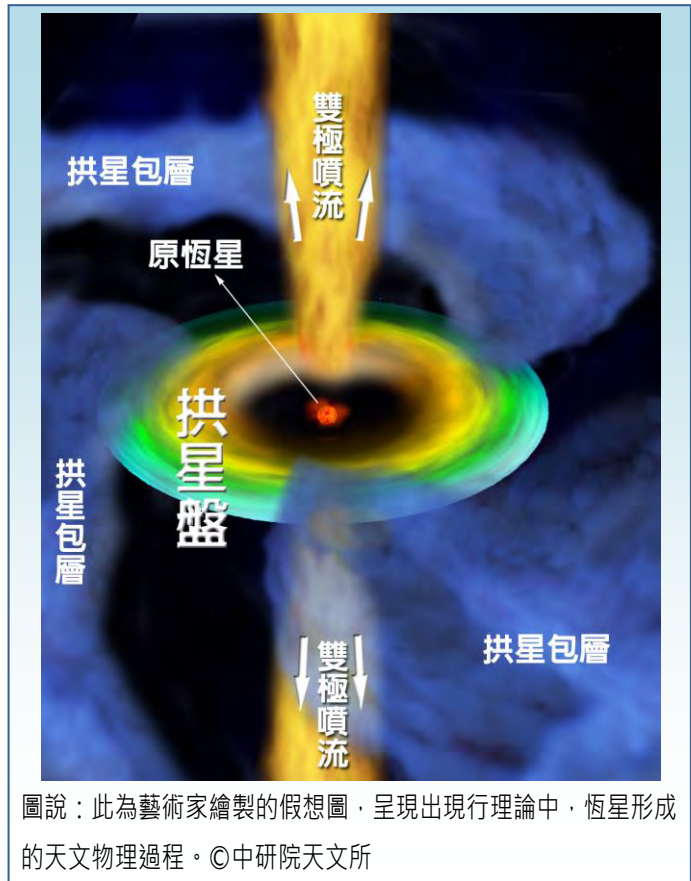
（王為豪 特稿）

## 【ALMA應用】拱星盤觀測

探索外星生命是近年來廣受大眾注目的科學課題。然而恆星本身大抵不是一個孕育生命的場所，環繞其周圍的行星才比較可能具備發展生命的條件。因此，搜尋太陽系外的行星系統與研究行星系統的形成與演化，乃成為天文學界的重要課題。

拱星盤是恆星形成的重要媒介，年輕的原恆星必須吸收周圍雲氣才得以成長為穩定的主序星，這個過程需通過拱星盤來進行，所以拱星盤也被稱作吸積盤。一般認為，在恆星形成的最終階段，拱星盤會逐漸消散，演變成行星系統。

研究拱星盤的形成與演化通常須藉由高解析度與高靈敏度的毫米或次毫米波的觀測。可見光與近紅外線不易穿透塵埃的遮蔽，故難以探測通常深埋於緻密的雲核中的拱星盤——尤其是年輕的拱星盤，毫米與次毫米波的觀測則無此困難。鄰近的恆星形成區域位處數百光年之遙，而拱星盤的大小不過數百天文單位，因此足夠的角解析度（大概小於十分之一角秒）是探索拱星盤的必要條件。演化後期的拱星盤（或稱為碎屑盤debris disk），塵埃與氣體逐漸消散，靈敏度不高的觀測難以偵測。利用ALMA這座具極佳靈敏度與角解析度的（次）毫米波陣列的觀測結果，一般預期，我們將得以揭開拱星盤的形成與演化之謎。（蘇裕農 特稿）



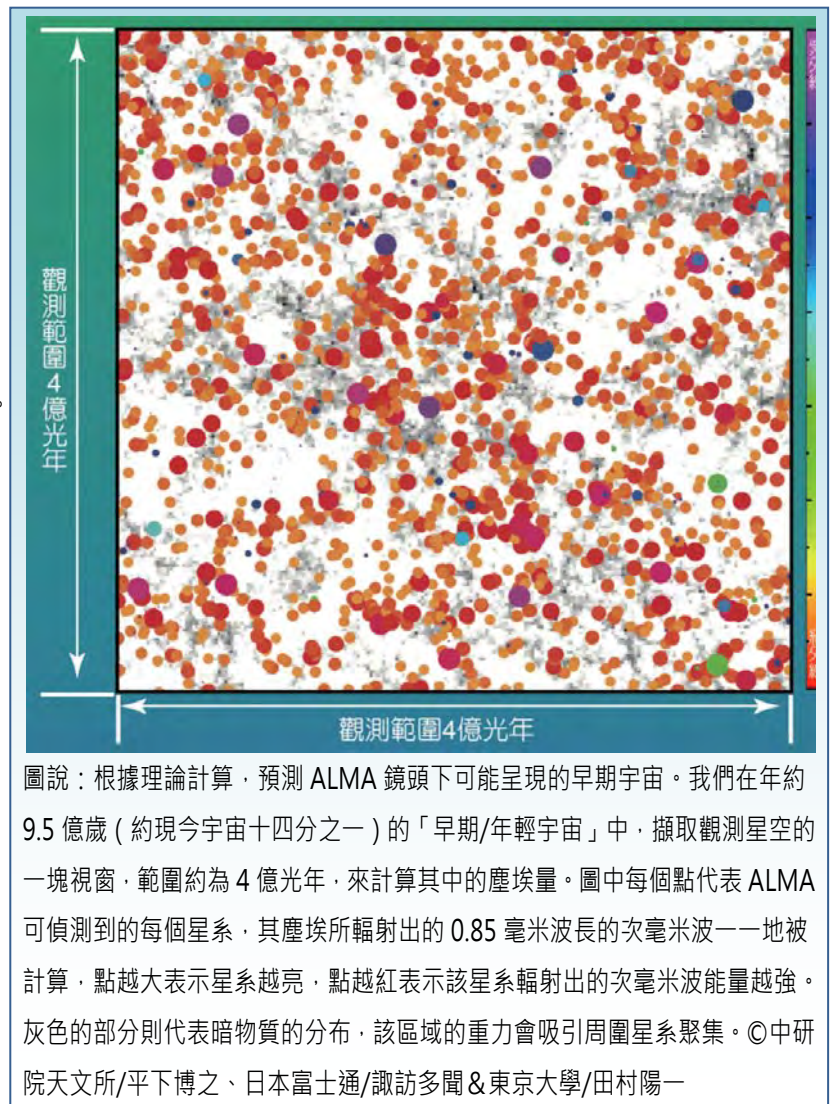
註：一天文單位等於地球到太陽的平均距離

## 【ALMA應用】尋找宇宙的第一粒塵埃

ALMA 陣列可偵測的波長範圍在 0.3 到數個毫米之間，可觀測的宇宙輻射波長遠大於可見光。在此波長下，我們所看到的是怎樣的宇宙呢？答案是：星星看起來晦暗不清，直徑不到或約等於 0.1 微米的塵埃顆粒以及氣體是鏡頭下最亮的物體。雖然塵埃總量還不到氣體的 1%，但我們所偵測到的輻射，特別是在 0.3 到 1 毫米的次毫米波長範圍下，卻大多都來自塵埃。這些塵埃一旦進入恆星形成區域內，有些會集結增長，最後塌縮形成行星。儘管塵埃在宇宙輻射和行星形成上扮演要角，卻沒有人知道塵埃顆粒是怎麼來的。換句話說，大量的塵埃是在哪裡製造的？仍是現今宇宙一大未解之謎。目前對塵埃如何產生有若干推測：塵埃是超新星爆炸時產生？或是從恆星風而來？之後再散佈到星際介質中慢慢集結。在這些可能過程中，超新星爆炸產生塵埃所需的時間最短。因此，如果我們可觀測到的宇宙越遙遠（也就是越早期的宇宙），就越能幫助解開宇宙塵埃形成之謎。

為了解早期宇宙中超新星爆炸產生塵埃的過程，本所與日本富士通諏訪多聞博士、及東京大學助教田村陽一博士合作，對早期宇宙塵埃的累積量做了理論計算。我們對塵埃如何產生的看法是：早期宇宙出現星系後，恆星便開始在星系中形成，恆星中那些巨大的成員結束生命時會發生超新星爆炸，於是產生大量塵埃，然後塵埃在星系內集結，愈積愈多。

附圖根據理論計算，預測 ALMA 鏡頭下可能呈現的早期宇宙。獨特之處在於，紅點代表星系發出的次毫米波比可見光還強；這是因為塵埃會吸收可見光、放出次毫米波輻射，使得星系看起來更加的紅。這就是 ALMA 的威力所在，圖中許許多多的大紅點，證明了 ALMA 在觀測早期宇宙方面是不可或缺的利器。（平下博之 特稿/ 陳筱琪 翻譯）





## 【本報訊】高紅移星系—2012 年本所冬季學校課程

宇宙誕生後我們太陽系、銀河系、以及周遭星系到底是如何生成的呢？為了探究銀河星系的起源，天文學家利用各種不同方式研究我們所處的宇宙，不僅用最先進的電腦模擬來計算建構星系形成與演化的模型，並利用各種波段的大型望遠鏡進行遙遠星系的觀測，獲取大量星系樣本作分析。數十年來，我們對於星系生成與演化的知識已有相當大的進步，然而還有許多重大問題尚待解決與釐清：例如第一個恆星與星系何時誕生？黑洞與活躍星系核（AGN）如何形成與影響星系的演化？星系的特性和環境有何關聯？

本所高等理論天文物理研究中心

(TIARA)將於 2012 年 2 月 6-10 日舉辦為期五天的冬季學校課程，屆時將邀請星系演化理論與觀測研究方面的著名天文學者講授此領域近年來的重大發展與未來展望。課程內容包括：探討星系形成及反饋機制、星系特性的演化與所處環境的影響，介紹黑洞、類星體伽瑪射線暴的觀測，以及星系間物質（IGM）的特性、理論與觀測的未來展望。

冬季學校招生對象鎖定天文相關科系的大學部高年級生與研究所學生。藉由此課程，希望學生在最短時間內接觸到星系演化最新的研究進展，了解最重要的研究方向，以及未來這個領域的趨勢。這些知識也能幫助希望利用本所望遠鏡計畫—如 ALMA、Subaru、以及 CFHT 進行最尖端研究的國內外學者與學生，讓他們瞭解研究計畫該如何設計與規劃。



圖說：哈柏超深空觀測 ( Hubble's Ultra Deep Field ) 拍攝到的高紅移星系影像，圖中約有 1 萬個古老星系。©NASA, ESA, and STScI/S. Beckwith and the HUDF Team

除了天文學家的專業講演，課程內容還包括與授課老師共同討論、以及學生研究內容的口頭報告，藉由講演者與學生的交流互動，期待激出更多研究火花。課程內容精彩可期，詳情請參考以下網址：<https://www.tiara.sinica.edu.tw/activities/winterschool/2012/index.php>。

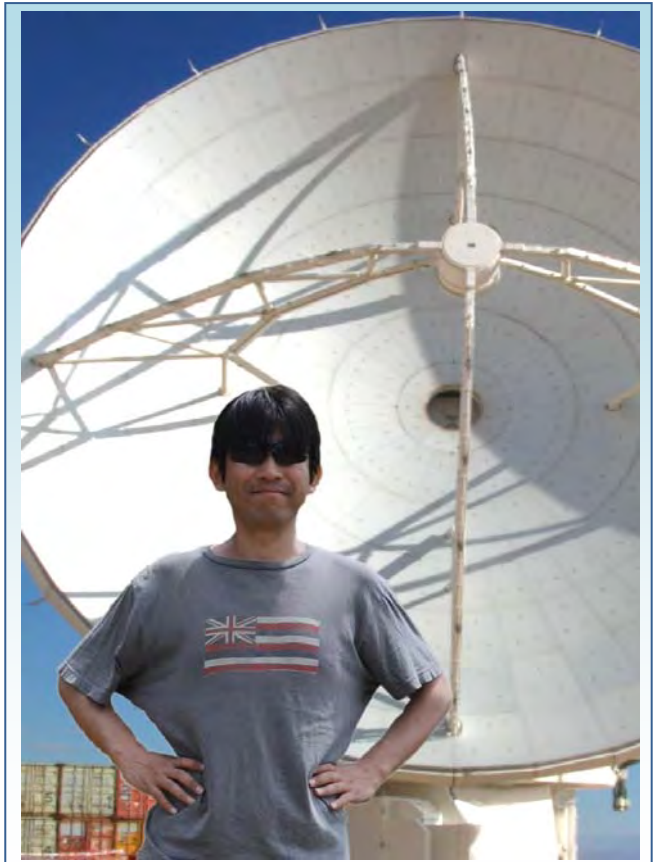
(林俐暉 特稿)

## 【ALMA 駐點先鋒】松下聰樹專訪（季報版）

本所副研究員松下聰樹（Satoki Matsushita）博士是ALMA會員國派駐智利觀測站，負責科學觀測條件測試任務（Commissioning and Science Verification；CSV）的25位天文學家之一。這個任務的目的是提升訊號的穩定度，穩定度越高表示未來利用ALMA做科學觀測所接收的資料品質越高；能收到更微弱或更穩定的宇宙訊號，將來就越有機會研究太空中可能和生命起源有關的微量分子，或是探尋遙遠的星系以追溯宇宙的源起。

松下表示，ALMA 是很大的計畫，分工非常細。基本上ALMA天線和相關儀器是根據天文學家的需求，由工程師們設計與製作，再交由天文學家測試並確認是否符合科學觀測的需求、並對儀器與系統設計及操作上的缺失與問題進行評估。工程師針對各種問題進行改善，一切上軌道之後，天文學家便可正式操作進行科學觀測。

負責測試資料收集與驗證工作的科學家必須有很豐富的觀測經驗並熟悉儀器操作，才能夠分辨儀器或訊號穩定度問題可能出在哪裡，也才知道該如何指示工程師處理修正。雖然有工程師，但是一些小問題，有時也得靠自己解決。這些實作經驗，是松下聰博士時期開始慢慢累積的。他在野邊山宇宙電波觀測站時，曾針對毫米到次毫米波長範圍的電磁波製作儀器，測量其穿透大氣的能力。博士後研究，他進入哈佛史密松天文物理中心（CfA），在次毫米波陣列計畫（SMA）中負責測試天線的設計功能與評估使用操作上的問題。松下這一步步走來其實皆非偶然；他表示博士時期便已意識到ALMA將在10年之後崛起，取得學位後決定先投入次毫米波研究，就是為了未來的ALMA研究作準備，同時等待ALMA時機成熟。從CfA轉到本所繼續SMA工作後不久，本所正好也加入ALMA計畫，於是松下如願進入ALMA殿堂。



圖說：松下聰樹博士與ALMA天線合影。©中研院天文所

然而，參與測試工作和真正利用ALMA進行科學研究還是有所不同。ALMA觀測機會開放給全球的天文學家，透過對研究申請計畫進行共同審核的公平機制，根據評比的排名來決定觀測時間的分配。像臺灣這樣身為出資出力合作建造ALMA的會員國，在爭取分配觀測的時數上，就比非會員國佔優勢。當然，在ALMA觀測時數的競爭上，科學研究計畫的優劣仍是最終成敗的關鍵。在這方面，松下認為，臺灣有另一個重要的優勢——我們有SMA；能提供SMA初步觀測結果的ALMA觀測申請計畫，不論在科學數據或經驗值上，都更有競爭力。臺灣目前向ALMA提出觀測申請的單位，除了本所，還有中央、清華和臺大的天文系所。

臺灣加入ALMA會員國也是希望從硬體與軟體、技術與科學等多面向深入參與；藉由國際合

作，一方面汲取最尖端技術，另一方面向夥伴會員國展現實力，拓展未來更多的合作管道與機會。若是從訓練學生實作的觀點來看，松下認為儀器系統比較單純、且基地即是望遠鏡所在地的 SMA，很適合作為訓練入門者進階 ALMA 的橋樑。ALMA 由於是超大型且複雜的儀器和分工系統，更適合經驗豐富的學者去進行科學觀測研究。(陳筱琪 採寫)

## 松下聰樹-我在智利的生活（季報版）

ALMA 聯合觀測站由三個基地組成，分別是位於智利阿塔卡瑪沙漠海拔五千多公尺高的天線基地與三千公尺處的觀測基地、以及位於首都聖地亞哥（Santiago）的 ALMA 總部。阿塔卡瑪沙漠是世界上數一數二的乾燥地帶，乾燥程度連微生物都難以生存。

ALMA 工程師和工人每天一早開車登上高原頂端的天線區，這裡沒有住宿設備，只有簡單設施與基本氧氣供應配備供保全人員或因風暴和交通問題滯留的人臨時過夜，因此下午得再返回觀測基地，兩千公尺海拔差距的車程，單趟約需 30 分鐘到 1 小時。和我一樣負責觀測與操作測試的天文學家，都是從觀測基地用儀器「遙控」山上天線的。我們的工作型態是這樣的：一連 8 天，不分週末假日地在觀測基地收集測試資料，同時進行簡單的測量和分析，之後是 6 天的休假。接下來則待在聖地亞哥總部進行資料分析，兩週後再搭機兩小時，轉乘 ALMA 基地接駁車，然後再花兩小時回到觀測基地開始另一個週期的測試工作。像我一樣來自各國、進駐智利 ALMA 總部的天文學家共約 25 名，其中每天會有至少 5 到 6 名同時留在觀測基地工作，此外還有來自全球各洲會員國的科學家不定期來訪工作。

在智利我們都是自己租房子，平時工作之餘我最喜歡小酌一番。事實上，在山上連續 8 天工作之後通常都很累，所以接下來的 6 天連休，前 1、2 天幾乎都在睡覺；另外 4 到 5 天的連續假日，如果還有氣力就和同事跟團搭機或自助旅行到附近中南美地區的名勝古蹟參觀，像是智利有神秘大石像的復活節島、秘魯失落的天空之城—海拔二千公尺高的馬丘比丘（Machu Picchu）等，或是去智利首都附近一些酒莊參觀，趁著地利之便，好好「研究」葡萄酒。ALMA 所在地附近也有很多著名的鹽湖，像有很多火鶴的阿塔卡瑪鹽湖（Salar de Atacama）或是有世界最大鏡子之稱的玻利維亞烏尤尼鹽湖（Salar de



圖說：松下聰樹博士近照，攝於復活節島。©中研院天文所

Uyuni) 等；這些都是很難得、其他地方看不到的自然或人文景觀。對我而言，還有一個必去之處—厄瓜多的加拉巴哥群島（Islas Galápagos；又稱達爾文群島）。最近，就在我卸任回臺之前，終於有機會完成夢想，為我的智利生活畫下完美句點。（陳筱琪 採寫）

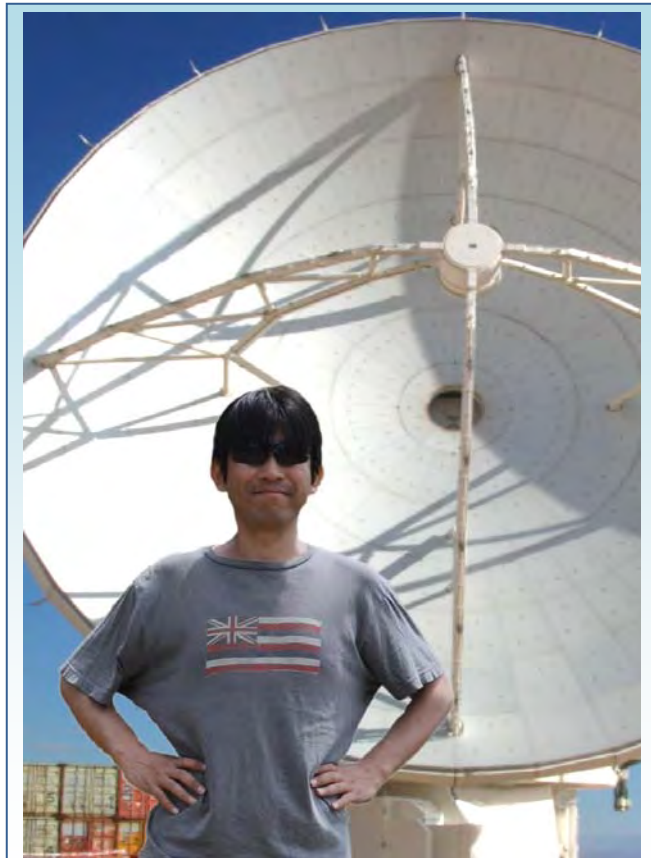
## 【ALMA 駐點先鋒】松下聰樹專訪（網路版）

本次專訪主角松下聰樹（Satoki Matsushita），因為父親曾在紐約工作一段時日，所以他小時候曾在美國待了一年半的時間，此外，松下的父親是物理學家，他表示，這些多少啟蒙了他對科學和天文的興趣…

### ～松下聰樹與 ALMA～

松下除了是本所副研究員，也是ALMA會員國派駐智利觀測站，負責科學觀測條件測試任務（Commissioning and Science Verification；CSV）的25位天文學家之一。松下加入ALMA是近幾年的事，但是他與ALMA的淵源卻更早。他提到1997、1998年自己還在唸博士時，便已意識到ALMA將在10年後崛起，從那時候開始，他的每一步決定皆非偶然，其實都是在為踏入ALMA做準備。

在ALMA這個國際級超大型計畫尚未形成前，歐美日幾個區域的國家都在發展類似ALMA的研究，各自有其規劃和計畫名稱。松下表示，在日本這是當時國立天文台「未來」重點發展計畫之一，名稱好像也是叫做大型毫米與次毫米波觀測計畫。之所以要發展ALMA這樣的地面望遠鏡，是因為花費相較於哈柏這類的太空望遠鏡要少得多，同時地面望遠鏡還可以隨時維修保養。地面望遠鏡的缺點是大氣層吸收電磁波的干擾，而影響吸收程度的因素很多，除了電磁波波長（頻率）外，和觀測地點空氣的溫度、密度、成分，氣流、水氣、光害等也都有關，唯有能穿透大氣的電磁波才能被望遠鏡觀測到，此外也要考慮觀測站地點的交通和地形。基於種種考量，智利阿塔卡瑪沙漠被各國天文研究單位公認是最適合觀測的地點，但是仍須依場地測試（site testing）的數據來做最後決定。多數國家因此都將場地測試地點選在這裡，後來大家認為結合越多的天線，觀測效果越好，於是自然而然地便決定合併，最後結合成為一個大型跨國計畫。這便是ALMA的由來。



圖說：松下聰樹博士與ALMA天線合影。©中研院天文所

松下會和ALMA的前身牽上線，歸因於他在野邊山宇宙電波觀測站（Nobeyama Radio Observatory 野邊山宇宙電波觀測所）進行的博士研究。那裡的博士學程除了要求跟著指導教授做一年研究之外，還要針對野邊山觀測站及相關領域做「儀器開發」。那時日本的這個大型毫米次毫米波計畫正在做場地測試，而松下和其指導教授的研究計畫，便是針對毫米到次毫米範圍（頻率100GHz~1,600GHz）的電磁波（宇宙光線）製作儀器，測量這個波長範圍電磁波穿透大氣的能力。在此之前，天文學家大多是利用小型儀器針對某個特定頻率（波長）的

電磁波做類似的穿透研究，因此當時大家已經知道頻率在 220GHz 時穿透能力最好，而阿塔卡瑪沙漠應該是最適合觀測 220GHz 電磁波的所在。松下等人的任務則是要測試在阿塔卡瑪是否也可成功觀測到毫米至次毫米波範圍的電磁波。測量結果證明這個地點確實很好，同時他們還將其它波段的電磁波與 220GHz 電磁波的穿透能力作了比較，建立出一套對照分析的方法。

松下取得博士學位後隨即進入哈佛史密松天文物理中心 (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics; CfA)，投入該中心與本所合作的，全世界第一個次毫米波陣列計畫 (Submillimeter array; SMA，詳見天聞季報 100 年春季號)，就是為了未來的 ALMA 研究作準備，同時等待醞釀中的 ALMA 時機成熟。他從 CfA 轉至本所繼續 SMA 工作不久，本所也加入了 ALMA 計畫，松下終於如願踏入了 ALMA 殿堂。之後他大部分時間都常駐智利，專心負責 ALMA 的測試工作。

### ～松下聰樹的 ALMA 科學觀測測試任務～

松下表示，和 SMA 與野邊山觀測站不同，ALMA 是很大的計畫，分工非常細。基本上，ALMA 天線和相關儀器是根據天文學家的需求，由工程師們設計與製作，再交由天文學家測試並確認是否符合科學觀測的需求（例如：要觀測什麼、如何觀測）、並對儀器與系統設計及操作上的缺失與問題進行評估。工程師針對各種問題進行改善，一切上軌道之後，天文學家便可正式操作進行科學觀測。他特別強調，負責這個測試資料收集與驗證工作的科學家必須有很豐富的觀測經驗並熟悉儀器操作，才能夠分辨儀器或訊號穩定度問題可能出在哪裡，也才知道該如何指示工程師處理修正。雖然有工程師，但一些小問題，有時也得靠自己解決，一般經驗值還不夠的博士恐怕仍無法應付。

松下表示這些實作經驗，一般大學課程是不會提供的，像他，就是從博士時期開始慢慢累積的。除了野邊山觀測站的儀器開發與場地測試經驗，他在 CfA 位於夏威夷的 SMA 觀測站工作（那時 SMA 還只有兩座天線），也是負責測試天線的設計功能與評估使用操作上的問題。因此，在 ALMA 計畫中，他的任務就是科學觀測條件的測試，也就是利用 ALMA 蒐集到的所有測試資料，分析訊號的穩定度。這個任務的目的是提升訊號的穩定度，穩定度越高表示未來利用 ALMA 做科學觀測所接收的資料品質越高；能收到越微弱、越穩定的宇宙訊號，將來就更有機會研究太空中可能和生命起源有關的微量分子，或是探尋遙遠的星系以追溯宇宙的源起。

然而有足夠經驗可負責這類測試工作的天文學家並不多，將來測試階段完成後，ALMA 仍會需要很多駐地操作人員，這些操作人員主要是負責儀器操作與維修，真正的科學觀測研究則是觀測科學家的任務。ALMA 計畫在全球的數個區域總部 (ALMA Regional Center; ARC)——像北美、歐洲和東亞總部，屆時都會派觀測科學家和操作人員去智利。將來臺灣是否也會派出駐地操作人員還是未定數，但應該仍會不定期派員支援。

### ～臺灣與 ALMA 科學觀測研究～

ALMA 觀測機會開放給全球的天文學家，透過對研究申請計畫進行共同審核的公平機制，根據評比的排名來決定觀測時間的分配。像臺灣這樣身為出資出力合作建造 ALMA 的會員國，

在爭取分配觀測的時數上，就比非會員國佔優勢。當然，在 ALMA 觀測時數的競爭上，科學研究計畫的優劣仍是最終成敗的關鍵。在這方面，松下認為，臺灣有另一個重要的優勢——我們有 SMA；能提供 SMA 初步觀測結果的 ALMA 觀測申請計畫，不論在科學數據或經驗值上，都更有競爭力。臺灣目前向 ALMA 提出觀測申請的單位，除了本所，還有中央、清華和臺大的天文系所。

臺灣加入 ALMA 會員國也是希望從硬體與軟體、技術與科學等多面向深入參與；藉由國際合作，一方面汲取最尖端的技術，另一方面向夥伴會員國展現實力，拓展未來更多的合作管道與機會。若是從訓練學生實作的觀點來看，松下認為儀器系統比較單純、且基地即是望遠鏡所在地的 SMA，很適合作為訓練入門者進階 ALMA 的橋樑。ALMA 由於是超大型且複雜的儀器和分工系統，更適合經驗豐富的學者去進行科學觀測研究。

### ～後記～

由於本所來自日本的天文學者中，很多是東京大學、京都大學或是東北大學研究所出身。於是我們最後請松下根據他的看法，稍微比較一下這三所學府的天文高等教育。他表示，這三所學校的天文研究和教育都很有名氣。據他所知，京都大學的理論和可見光天文學很強，東京大學因為擁有很多的望遠鏡與天文臺基地，所以學生的實作機會比較多。東北大學的天文觀測很有名，但是因為沒有自己的觀測基地，所以如果要實作，通常要靠指導老師和自己主動尋找與天文臺合作的機會。(陳筱琪 採寫)

## 松下聰樹-我在智利的的生活（網路版）

ALMA 聯合觀測站由三個基地組成，分別是位於智利阿塔卡瑪沙漠海拔五千多公尺高的天線所在區與三千公尺處的觀測基地、以及位於首都聖地亞哥（Santiago）的 ALMA 總部。阿塔卡瑪沙漠是世上數一數二的乾燥地帶，不適合人類居住，科學（Science）雜誌曾報導此地的土壤和火星類似—Mars-like soil，乾燥程度連微生物都難以生存。

ALMA 工程師和工人每天一早開車登上高原頂端的天線區，這裡沒有住宿設備，只有簡單設施與基本氧氣供應配備供保全人員或因風暴和交通問題滯留的人臨時過夜，因此下午得再返回觀測基地，兩千公尺海拔差距的車程，單趟約需 30 分鐘到 1 小時。和松下一樣負責觀測與操作測試的天文學家，都是從觀測基地用儀器「遙控」山上天線的。他們的工作型態是這樣的：一連 8 天，不分週末假日地在觀測基地收集測試資料，同時進行簡單的測量和分析，之後是 6 天的休假。接下來則待在聖地亞哥總部進行資料分析，兩週後再搭機兩小時，轉乘 ALMA 基地接駁車，然後再花兩小時回到觀測基地開始另一個週期的測試工作。一個月週期中，第一天和最後一天會各花個大半天時間在旅途上。像松下一樣來自各國、進駐智利 ALMA 總部的天文學家共約 25 名，其中每天會有至少 5 到 6 名同時留在觀測基地工作，此外還有來自全球各洲會員國的科學家不定期來訪工作，像本所的蘇裕農博士、井上允博士等。

過去數年來松下大部分的時間都待在智利，數個月中會有 1 到 2 週的時間回臺灣工作。從智利到臺灣的班機大多會在東京轉機，偶而會有機會在日本停留 1 到 2 天與家人相聚，其它時候即便是到了日本，也多是為了參加 ALMA 會議。

松下在智利是「單身赴任」。他在那裡是自己租房子，平時工作之餘最喜歡小酌一番。事實上，他說，在山上連續 8 天工作之後通常都很累，所以接下來的 6 天連休，前 1、2 天幾乎都在睡覺；另外 4 到 5 天的連續假日，如果還有氣力才會和同



ALMA 所在地阿塔卡瑪沙漠及鄰近地區空照圖  
@中研院天文所 ALMA 計畫網站



圖說：松下聰樹博士近照，攝於復活節島。©中研院天文所



左下圖：馬丘比丘；Kyle Jackson@7wondersin7days.com  
中上圖：復活節島大石像@Wikipedia  
右下圖：阿塔卡瑪鹽湖的火鶴@Wikipedia



事跟團搭機或自助旅行到附近中南美地區的名勝古蹟參觀，像是智利有神秘大石像的復活節島(Rapa Nui; Easter Island)、秘魯失落的天空之城—海拔二千公尺高的馬丘比丘(Machu Picchu)等，或是去智利首都附近的一些酒莊參觀，趁著地利之便，好好「研究」葡萄酒。ALMA所在地附近也有很多著名的鹽湖，像有很多火鶴的阿塔卡瑪鹽湖(Salar de Atacama)或是有世界最大鏡子之稱的玻利維亞烏尤尼鹽湖(Salar de Uyuni)等；這些都是很難得、其他地方看不到的自然或人文景觀。對松下而言，還有一個必去之處—厄瓜多的加拉巴哥群島(Islas Galápagos；又稱達爾文群島)。最近，就在卸任回臺之前，他終於有機會完成夢想，為在智利的的生活畫下完美句點。(陳筱琪 採寫)