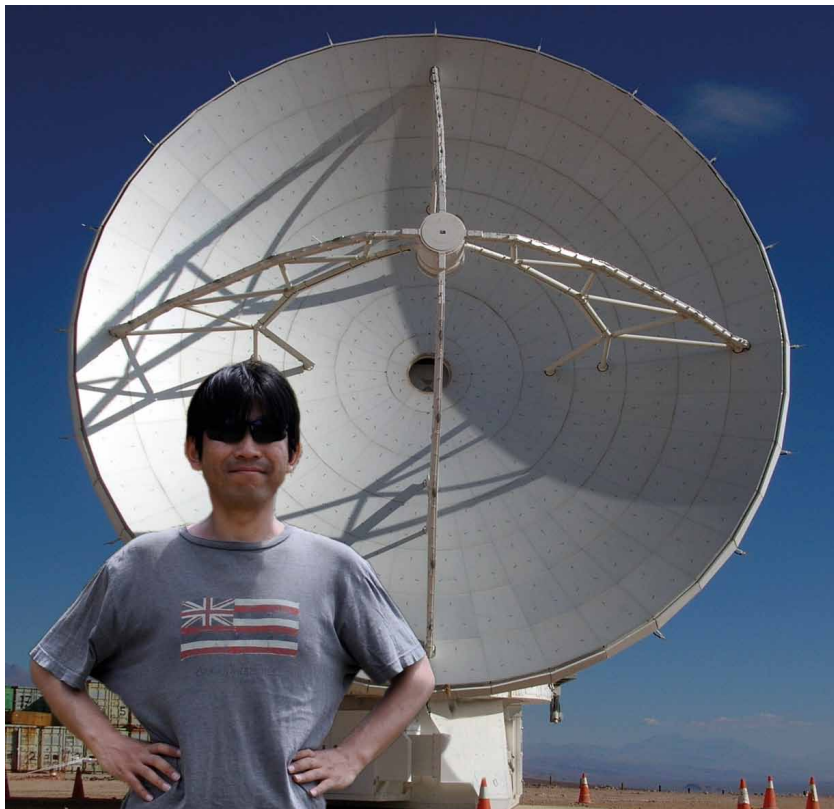




智利高原沙漠中的ALMA

松下聰樹專訪

文/ 陳筱琪



連都敏俊教授都很愛去觀星的阿塔卡瑪高原沙漠在哪裡？那裡有什麼？答案就是—ALMA！全名Atacama Large Millimeter / Submillimeter Array，中文名稱「阿塔卡瑪大型毫米波及次毫米波陣列」的ALMA，位於智利，是全球目前規模最大、耗資最鉅的地面天文望遠鏡計畫。這個計畫由北美、歐洲及東亞多國共同合作，臺灣則是受ALMA-日本（ALMA-J）與ALMA-北美（ALMA-NA）兩個分區團隊的邀請而加入計畫。經過這些年來的經營，臺灣團隊在毫米與次毫米波天文學領域累積了豐沛的能量，也獲得國際的肯定。

松下聰樹（Satoki Matsushita）是來臺灣「單身赴任」的中研院天文所副研究員，曾經是ALMA國際天文計畫會員國派駐智利觀測站、負責初期科學觀測條件測試任務的25位天文學家之一。松下加入ALMA計畫是近幾年的事，但是他與ALMA的淵源其實更早；他提到自己1997、1998年還在唸博士時，便已意識到ALMA 10年後的崛起。

早在ALMA這個國際級超大型計畫尚未成型前，陣列概念才剛出來，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；在日本這是當時國立天文台「未來」重點發展計畫之一，其名稱也叫做大型毫米與次毫

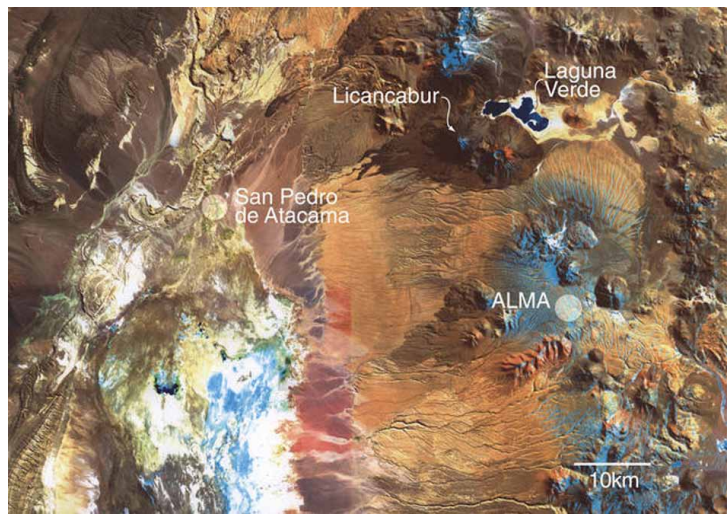
米波觀測計畫。松下和博士論文指導教授那時便開始為該計畫進行場地測試任務。除了針對毫米到次毫米範圍的電磁波製作儀器，測量這個波長範圍電磁波穿透大氣的能力之外，還證實了最適合觀測220 GHz電磁波的地點就是阿塔卡瑪沙漠—在那裡甚至可以成功接收到100 GHz –1600 GHz毫米至次毫米波範圍的電磁波。他們還將其它波段的電磁波與220 GHz電磁波的穿透能力進行比較，建立出一套對照分析方法，成為後來ALMA觀測的重要參考基礎。

ALMA地面望遠鏡陣列之所以發展，是因為相較於哈伯這類太空望遠鏡，其花費要少得多，同時地面望遠鏡還可以隨時維修保養。然而地面觀

測不免受到大氣層吸收電磁波的干擾；而影響吸收干擾程度的因素有很多，除了和電磁波本身頻率有關，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；唯有成功穿透大氣的電磁波才能被望遠鏡觀測到。基於以上因素及觀測地點交通和地形等種種考量，智利北部海拔5000公尺的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，於是便陸續在這裡進行場地測試。後來大家認為結合越多的天線，觀測效果越好，於是自然而然地決定合併，最後結合成為一個大型跨國計畫。松下表示，「這便是ALMA的由來…」。

ALMA之所以特別，在於它可以進行毫米波與次毫米波範圍的觀測，偵測波長位於0.3毫米與9.6毫米之間，是哈伯太空望遠鏡無法觀測的範圍，特別適合探測太空低溫物質，觀測所謂的「冷」宇宙一分子氣體、塵埃以及宇宙大霹靂的遺跡輻射。ALMA陣列於2005年開始基礎建設，2013年3月落成開幕，總共有66座天線，包括由50座12米天線所組成的12米陣列（ALMA 12m Array），以及由4座12米與12座7米天線所組成的阿塔卡瑪密集陣列（Atacama Compact Array），靈敏度將為現有所有同波段望遠鏡的100倍。12米陣列散佈的範圍，直徑大至16公里，使其空間分辨率高達哈伯太空望遠鏡的10倍，能看清500公里外的一元硬幣。也就是說，藉由ALMA這座陣列望遠鏡能讓我們看得更深遠、更詳細；因為ALMA，宇宙起源、星系、恆星、行星、銀河系中心超大質量黑洞乃至生命形成等重要天文課題的研究，可望很快就有突破性的進展。

松下表示，ALMA是很大的計畫，分工非常細。基本上，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；同時天文學家也對儀器與系統設計及操作上的缺失與問題進行評估，再交付工程師針對各種問題進行改



ALMA所在地阿塔卡瑪沙漠及鄰近地區空照圖 ©ESO



位於海拔5000公尺處的ALMA陣列運轉中心，拍攝於2013年。
©ALMA (ESO, NAOJ, NRAO), W. Garnier

善；等一切上軌道之後，天文學家便可正式操作進行科學觀測。松下談到當初他在智利觀測基地的任務，主要是收集觀測資料、測試並進行驗證以提升陣列觀測訊號的穩定度。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，或是探尋遙遠星系以追溯宇宙的源起。負責這些測試任務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。

ALMA在智利的聯合觀測站共由三個基地組成，分別是海拔5000多公尺阿塔卡瑪沙漠頂端的



天線所在區一陣列運轉中心、3000公尺處的觀測和後勤支援基地、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。在那裡工作的ALMA工程師和工人每天得一早開車登上天線區；那裡沒有住宿設備，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。2000公尺海拔差距的車程，單趟約需30分鐘到1小時。

和松下一樣負責初期觀測與操作條件測試的天文學家們，都是從基地用儀器「遙控」山上陣列的。他們的工作型態是這樣的：一連8天，不分週末假日晝夜地在基地收集測試資料，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，兩週後再花2小時，轉乘ALMA基地接駁車，然後再花兩小時回到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。當時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。

ALMA自2011年便開始開放觀測機會給全球天文學家，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，臺灣有著另一個重要優勢——我們還有次毫米波陣列 (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，除了中研院天文所，還有中央、清華和臺大等天文系所。



ALMA已於2013年3月14日在高原上的陣列運轉中心舉行了正式的開幕儀式。參加2013年ALMA開幕儀式的臺灣代表們，由左至右分別是：當時的中研院天文所所長賀曾樸院士、中研院吳茂昆院士（東華大學校長、前國科會主委）、徐遐生院士（前清華大學校長）、國科會牟中原副主委、國科會美國駐外科技組張和中組長、國科會ALMA計畫徐愛佳組長、駐智利臺北經濟文化辦事處李錦雙組長。©徐愛佳

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。若單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。由於ALMA是超大型且複雜的儀器和分工系統，相較起來更適合經驗豐富的學者去進行科學觀測研究。

參考資料：

1. 中研院阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列計畫 (ALMA) 網頁 http://www.asiaa.sinica.edu.tw/project/alma_c.php
2. 2013年中研院天文所阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列計畫摺頁簡介
3. 2015年中研院天文所研究成果專刊
4. 天聞季報2011年冬季號—ALMA

松下聰樹：中央研究院天文及天文物理研究所副研究員

陳筱琪：中央研究院天文及天文物理研究所天文推廣編輯、天聞季報主編