

# 知識天地

## 宇宙背景輻射陣列 (AMiBA Project)

陳明堂 (天文及天文物理研究所籌備處研究員)

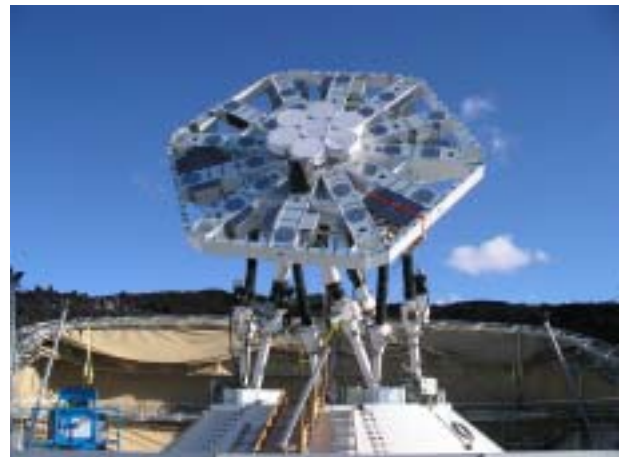
宇宙學 (Cosmology) 是天文物理學的一個分支,藉由觀測與理論的交互驗證,來研究宇宙形成、演化等大尺度結構的學科,但因研究的目標尺度太大,加上我們正位於被研究的目標之中,所以宇宙學的發展往往比較著重於理論與模擬,而受制於有限的觀測資源。美國的太空總署在 1989 年發射了一顆宇宙科學探測衛星 — COBE (Cosmic Background Explorer)。這顆衛星所產生的觀測資料,促使近代宇宙學的研究,從計算與模擬轉變成一個可經由精密觀測來驗證的科學。COBE 的觀測成果對宇宙學的發展具有革命性的影響,同時掀起一股觀測與實驗熱潮,鼓舞天文學家著手發展與建造新一代的宇宙觀測望遠鏡,也影響到國內的天文發展。

在 2000 年春,本處主任魯國鏞院士所主持的計畫「宇宙背景輻射陣列」(Array for Microwave Background Anisotropy, AMiBA) 正式啟動<sup>1</sup>。大致而言,是要蓋一座儀器來研究宇宙之初所形成的現象。AMiBA 的簡稱就跟生物學中研究簡單的原生動物一樣貼切。天文物理是著重觀測與數據的科學,新的發現與立論總是伴隨著新一代的觀測儀器而產生。AMiBA 的計畫目標,就是要在眾多國際競爭對手中,蓋一座具有獨特觀測能力的電波望遠鏡,來研究宇宙背景輻射。因為要研究的目標非常特殊,世界上並沒有既成的儀器,所以我們必須自己設計、研發所需的儀器與系統。這不是一件容易達到的目標,特別這是第一個由天文所主導的大型實做計畫,因此,組成一個跨系所、跨國際的研發團隊,成員來自台灣大學電機系和物理系、中山科學院航空研究所、澳洲國家天文台 (Australian Telescope National Facility)、美國國家電波天文台 (National Radio Astronomy Observatory, USA)、加拿大多倫多大學 (Toronto University)、美國卡內基美侖大學 (Carnegie Mellon University)、英國 Bristol 大學等而成員的國籍涵蓋日、澳、美、法、瑞士、墨西哥、智利等國家,參與這個計畫的合作廠商也是遍及全球,包括美、日、澳、德、法、波蘭等。

電波天文觀測經常受限於天候的限制,主要的影響因素來自大氣中水汽的干擾,以及大氣分子對電波訊號的吸收。由於大型天文望遠鏡總是設址於政治穩定區域中、遠離文明都市 (光害),並具備基本研究設施 (道路、水、電、網路) 的乾燥高山、高原 (避開水汽)。考慮這些條件,東亞地區並無適當地點可作大型的天文投資。反而位於太平洋中間的夏威夷島,提供幾近完美的地點。因此我們選擇夏威夷島的 Mauna Loa 火山當成 AMiBA 的台址。AMiBA 位於標高 3400 公尺的 Mauna Loa 天文台 (MLO) 區域內。

綜觀主、客觀條件、組成人員、以及計畫的目標,AMiBA 是一個極具挑戰性的實做工作,由本處主導、透過持續的國際合作、在距離中研院數千公里的高山上,從無到有地蓋一座獨特的天文望遠鏡。當然,這樣的工作時常會給工作人員帶來未可預期的困擾。譬如說,我們時常必須解釋為何本處的出差經費以及運轉費總是比其他所處多。這是工作使然,更是要在非本國土地上架設基地的必然。這種跨國界合作的操作模式將會常常出現在未來的科學研究上。

AMiBA 望遠鏡是設計來觀測充斥在整個宇宙空間、古老的微波訊號。這些自然界的電磁波與常用的微波爐或行動電話的訊號有著相似的波長,只是它的強度非常非常地弱。另一說法是,它的能量密度只相當於大約 2.7K (絕



圖一：位於夏威夷 Mauna Loa Observatory 的宇宙背景輻射陣列,攝於 2006 年 9 月。7 具口徑 60 公分的微波接收機天線已安裝至約六公尺寬的史都華六軸平台上(Steward Platform)。平台由碳纖維材料製成,其上裝置了望遠鏡的各種重要元件。預計兩年後,陣列天線數目將增加到 13 具,而且天線口徑將從目前的 60 公分增加到 1.2 米。屆時成像的速度與望遠鏡的靈敏度都將大幅的提昇。

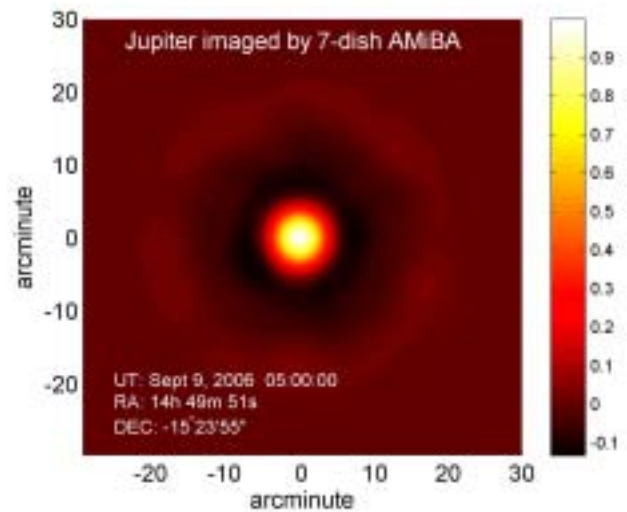
對溫度)的熱輻射能。所以宇宙是一個非常冷的地方。但也因為目前的宇宙已經是一個非常大的空間,這些微波訊號能量的總和卻是一個巨大的數目。幾億年前的宇宙還沒有膨脹到現在的大,由於能量守恆,所以宇宙的溫度就比現在高;時間再往前推至 137 億年前,宇宙大約比現在小 1000 倍,溫度大約 3000K 左右。AMiBA 就是要偵測這些從 137 億年前存在至今的光子。由於這些光子幾乎不再與宇宙中已知的物質產生任何作用,量測這些訊號就是量測宇宙在 137 億年前的情境。因此,背景微波輻射提供了一個驗證宇宙學非常好的工具與現象。對 AMiBA 而言,我們目標是要量測這些從不同方向偵測到的微波,量測微波強度隨著不同方向的差異。這些差異是非常微弱的。我們所要量測的細節變化大約是  $10^{-6}$ K 的數量級。AMiBA 將會量測這些訊號的偏極化,同時也將針對這些訊號予以成像。

AMiBA 陣列的每個天線都是一個非常靈敏的微波接收機,每台接收機配有各自的冷凍機,將其內部的前級放大器模組降溫到 15K 左右,以減低接收機的雜訊,提升接收訊號的靈敏度。接收機的運作中心頻率為 94GHz,頻 16 GHz,中頻位於 10GHz,相關器 (correlator) 採用類比式傳輸線相關器。從天線的設計到接收機與相關器的設計、製作以及後級訊號處理,控制軟體,皆由 AMiBA 團隊成員所研發。AMiBA 望遠鏡採用史都華六軸平台 (Steward Platform) 來承載整個天線陣列系統。平台是由碳纖維複合材料製作而成的,直徑大約 6 米長。六軸平台的應用常見於特殊的工具機與動態模擬器,比較少應用於「全天性指向」的望遠鏡上。它的優點在於具有 6 個自由度的指向能力,對於偏極光的偵測以及一般訊號的調變 (modulation) 將會有明顯的優勢。

一般的光學儀器大多採用電子耦合偵測器 (CCD) 為成像的工具。在無線電波領域中,由於訊號波長相對於可見光大了幾個數量級,成像方式可採用干涉陣列的技術。此種技術的成像稱為合成影像 (Synthesis Image)。基本上,口徑越大的望遠鏡,解析度越好,越能夠看到星體的細節。採用干涉陣列的目標,就是要利用一組望遠鏡,同時做訊號的交互干涉,然後經過後續的訊號處理,合成的影像會比原來單一望遠鏡的解析度更好。這種方法所能達到的解析度,相當於口徑直徑等於陣列之間的最長距離 (基線) 的超大型望遠鏡所能做到的。AMiBA 陣列望遠鏡將使用 13 個口徑 1.2 米的天線來觀測宇宙背景輻射。整組陣列分佈於 6 米寬的史都華六軸平台上。合成的影像幾就具有相當於 6 米口徑的天線所能達到的解析度。

大型計畫的執行必須腳踏實地,並且按部就班。執行的步調必須配合實際面與時程。AMiBA 計畫始於 2000 年春。大約兩年後,我們完成初步的執行構想,完成 AMiBA 原型機組並架設在 MLO 上,以測試並驗證我們的設計。2004 年進行 AMiBA 台址的破土與後續的土木工程。2005 年,位於 MLO 的 AMiBA 望遠鏡陣列略具雛形。同時,我們的工作專注在六軸平台的架設與測試。2006 年,所有相關的天線、接收機、相關器等模組一一地被安裝在六軸平台上。2006 年 9 月,我們成功地取得第一組 AMiBA 合成影像,驗證我們的設計與能力。此時距離 AMiBA 計畫的起始已 6 年半,經歷三任天文所籌備處主任 (計劃主持人)。目前 AMiBA 陣列由 7 具天線組成。預計兩年後,陣列數目將增加到 13 具,而且天線口徑將從目前的 60 公分增加到 1.2 米。屆時成像的速度與望遠鏡的靈敏度都將大幅的提昇。

AMiBA 望遠鏡已於 2006 年 10 月 3 日正式由本院李前院長遠哲先生與台大李校長嗣涇先生共同啓用。同時為了彰顯李前院長遠哲先生多年來對國內天文研究與 AMiBA 計畫的支持,於啓用典禮當中,由李嗣涇校長宣佈將 AMiBA 正式命名為「李遠哲陣列」。



圖二: AMiBA 望遠鏡所“看到”的木星影像。這是干涉陣列經由觀測木星所發射的電磁波訊號 (波長約 3 毫米) 合成的影像。我們所要研究的宇宙背景輻射,它的強度約比木星的訊號小一百萬倍。

筆者在本處工作 11 年來，完成了兩項大型的天文計劃（另一項是次毫米波計畫）的執行，深刻地感受到國際合作對研究工作的重要性，同時也感受到執行這類工作的困難度。我們不僅要面對國際競爭的壓力，還要克服國內種種制度與政策管理上的盲點。終究國際化的科學計劃所呈現的是一個國家的創意與人才、政策與管理、經濟與國力等各個不同基線所產生的合成影像。只有當這些不同因素能夠同步運作、相互支持，這時的成果才有其最大效果。在此，謹代表 AMiBA 團隊感謝本院、台大、教育部、及國科會的長期支持與所內同仁持續的幫助。

註 1：AMiBA 是「宇宙學與粒子天文物理學」分項計畫之一，起始的 4 年主要儀器與人員經費分別來自教育部與本院，後續經費來自國科會與中研院。