



文/ 羅敬華

夏威夷天文臺朝聖記

圖1. 全體團員參訪SMA Hilo總部

收到臺北市天文館通知，有關中研院天文所專為教師舉辦之“夏威夷天文臺之旅”還有名額，開放給有興趣的天文同好參加。真是又高興、又傷感，高興的是機會難得，可親自參訪世界最頂級的天文望遠鏡，傷感的是實在是很貴。這次是由中央研究院出面申請參觀凱克、雙子星等世界級的天文臺及我國在夏威夷架設的無線電波望遠鏡，不去實在可惜。跟幾位天文同好交換意見，也沒個肯定，在難以取捨的煎熬心情中，終於想出一條通路-以“朝聖”之名去吧。

夏威夷群島坐落在太平洋的中間，是海底火山爆發後形成一系列由西向東排列的島嶼，稱為島弧，其排列原因是長時期以來太平洋板塊逐漸西移，同時間地殼內熔岩斷續的向上噴發造成一系列的火山群島。世界各國許多大型天文臺都蓋在Mauna Kea及Mauna Loa兩個山頭上，Mauna Kea是太平洋上最高山，高度為4,207公尺，已是死火山，Mauna Loa則全世界面積最大的火山，4,169公尺，還是活火山，上次是1984年噴發。夏威夷適合建設天文臺除了山高的原因，另外是水氣少、雲層多是在半山腰下、遠離光害和污染，還有一個原因是盾狀形的火山，坡度較緩，行車方便，這些都是全世界各國爭相在此設立大型天文臺的原因。

7/5號出發，韓國仁川機場轉機，當日到達夏威夷檀香山國際機場，接著又轉機去夏威夷最大的島-大島，在飛機接近大島時就可遠遠的看到山頂上好多白球，那就是我們此行首要目的地。出機場後，立即展開大島之旅-彩虹瀑布、火山國家公園、蛇木林、火山隧道等。

大夥於晚餐後回到Hilo市的The Naniloa Volcanoes Resort休息，每人早已精疲力盡，我是倒頭就睡，完全沒有時差。第二天吃早餐前有到飯店旁的海邊走動，甚為驚奇的發現有許多和臺灣本土相同的海濱植物，這是以前去過許多內陸國家不曾有的發現，到處都是大葉欖仁、瓊崖海棠、林投、檄樹(可麗果)，這些都是臺灣南島常見的熱帶海邊植物，真所謂「海漂林」種子海漂不受國界海洋的影響，唯一差別的是這些樹都比臺灣的大許多，有兩三倍之高，我猜主要的原因是夏威夷沒颱風吧。

第二天一早就出發前往Mauna Kea山頂，出了Hilo市區就老遠看到山頂的天文臺群，雖然山頂離市區直線距離只有四十多公里，但還是必須沿著山麓輾轉上爬。依當地的規定，所有要開往山頂的車輛必須是四輪傳動才可，同時車上裝有氧氣鋼瓶，以備急需。隨著目標的接近，每人的心情都高到極點，相機猛拍，車後陸續有傳出“凱克，我來了!”的叫聲。



圖2. Mauna Kea中途的遊客中心

為讓天文工作人員及訪客能適應高山環境，在海拔2,835公尺建了天文學家中心及遊客中心，提供天文科學家住宿及訪客休息的中途點。我們也必須在此休息兩小時以適應高度，大夥在遊客中心展現了國人的經濟實力，大肆採購許多天文有關的紀念品、書籍、工具等。非常難得的是安排了我們在天文學家中心的招待所用餐，這是以國家之名接受招待。在進入招待所的休息室，有一面中華民國的國旗和其它許多國家的國旗並列，每人都非常感動高興，紛紛圍上來要和國旗一同拍照，唉！出了國，才看得到國旗。在此有我們的國旗，表示中華民國也積極參予了國際上天文的研究，包括SMA、CFHT、AMiBA等天文臺。

飯後接著由雙子北天文臺兩位安全專家下山來為我們上了一堂安全講習，主要是說明在山頂稀薄的空氣中要注意的事項，其實最重要的就是兩件事，一是任何動作都要緩慢，最好像太空人一樣，另一就是如感覺不適需立即反應。休息超過兩小時後，我們乘車直衝山頂，每個人也都安靜下來，主要是要保持體力，減少用氧。

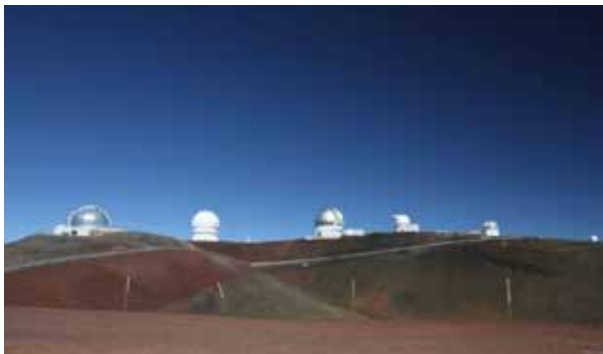


圖3. NASA-紅外線(左)、加法夏、雙子北、夏大、英國、夏威夷大學Hilo教育天文臺

一上到Mauna Kea山頂就可看到白光閃閃一顆顆刺眼的大白球，分佈在不同的山頭，首先進入眼簾的就是昂、凱克-I、凱克-II、NASA-紅外線天文臺，轉過身來是一路排開的加法夏(加拿大、法國、夏威夷大學)、雙子北、夏威夷大學、英國紅外線、夏威夷大學Hilo教育天文臺，另一山頭又是次毫米波陣列望遠鏡-SMA、James Clerk Maxwell Telescope(JCMT)及加州理工學院次毫米波望遠鏡-CSO，真是壯觀、偉大。事後聽解說人員說這些天文臺可都要有相當的競爭力才可在此生存，原來Mauna Kea可是夏威夷居民的聖山，夏威夷州政府對此山頂的天文臺有總量管制(限建)，成果不佳的天文臺將被新的天文臺取代。

我們的第一站是參觀雙子北天文臺(Gemini North Observatory)，下車前，所有的人早已把此行的重裝穿上，一下車就是照相機攝影機猛拍猛攝深怕遺失了任何難得的鏡頭，沒幾分鐘大夥都感覺到寒氣逼人。進入雙子北天文臺後，立即由服務人員為每人做手指血氧濃度測量及心跳檢查，血氧濃度必須達90%以上。接著由兩位人員帶我們乘電梯進入天文臺圓頂內，上來後才發現，氣溫比外面更低，解說人員說圓頂內的溫度必須經常保持在夜間室外同樣的溫度，以減少鏡片因溫差造成的熱脹冷縮，影響觀測品質。在圓頂內首先發現自己照相機的鏡頭不夠廣，因機器真的太大了，怎麼拍都無法把全景納入。巨大的經緯儀主鏡座機器都漆成藍色，重達380公噸，甚是壯觀。天文臺特地為我們的參訪轉動望遠鏡基座及巨大的圓頂，圓頂的轉動聲音非常小，比臺北市天文館第二觀測室的圓頂轉動還小聲得多。



圖4. 夕陽中的昂、凱克 I、II、NASA-紅外線天文臺

(下) 圖5. 雙子北及夏大天文臺

(右) 圖6. 雙子北天文臺8.1公尺主鏡座重達380公噸



雙子北天文臺的主要特性

主鏡：口徑8.1公尺蓋塞格林式反射鏡，厚度20公分，重22,200公斤。

次鏡：口徑1公尺，重54公斤。

望遠鏡重：380公噸

圓頂重：780公噸

圓頂高：46公尺

雙子星天文臺是由美國、英國、加拿大、智利、巴西、阿根廷和澳大利亞等國共同建造的兩座位於不同地點、完全相同的望遠鏡。其中一座位於北半球的夏威夷，另一座位於智利海拔2,737公尺的安底斯山(Andes)。兩座望遠鏡分別位於南北兩個半球，可以完全覆蓋整個天區。雙子星望遠鏡主鏡表面特別鍍了對紅外波段具有良好反射能力的銀，觀測室的內表面塗了鋁反射層，目的是獲得穩定的溫度環境。望遠鏡還安裝了主動光學、自適應光學、雷射導星系統，整個計劃耗資為1.84億美元。

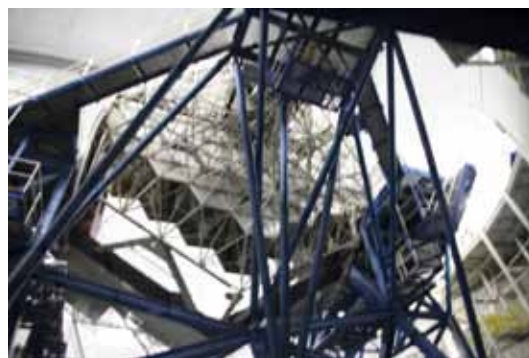
接著我們進入門禁森嚴的凱克-I (keck-I) 天文臺，眾人只能在訪客室參觀，凱克望遠鏡是由兩座相同的望遠鏡組成，每座口徑都是10公尺，由36片口徑1.8公尺的六角形鏡片組合而成的可見光及近紅外線望遠鏡，焦長為 17.5公尺，望遠鏡的重量約為270噸。凱克 I 和凱克 II 相隔85公尺，

兩座天文臺聯合觀測時，干涉效應下的解析力可相當於口徑85公尺的單一望遠鏡。每架凱克望遠鏡的架臺都是經緯儀設計，兩天文臺造價共為1.4億美元。要談凱克的觀星威力可先從望遠鏡三個特性之一的集光率來看：

1. 集光率 = $D^2 \div 0.7^2$ (D即望遠鏡口徑，0.7是眼睛瞳孔口徑約0.7cm)

凱克望遠鏡主鏡口徑是10公尺，所以凱克的集光率 = $1000 \times 1000 / (0.7 \times 0.7) = 2040816$ 倍 也就是說凱克望遠鏡的集光率是人眼睛的二百多萬倍，它能看到目標的亮度比眼睛要多二百多萬倍。相對於臺北天文館第二觀測室20公分望遠鏡的集光率則為 $20 \times 20 / (0.7 \times 0.7) = 816$ 倍。

再來談望遠鏡第二個特性是解析率，也就是能鑑別兩顆很相近天體的能力，單位是角度，越小越好。



(左) 圖7. 凱克天文臺 I II

(上) 圖8. 凱克天文臺-Keck I 十公尺主鏡座

2. 解析率= $1.22 \lambda / D$ (單位：角秒) (λ ：光或紅外線的波長、 D ：望遠鏡口徑)

凱克在單一作業時，其解析率即為以上公式換算的結果，但如兩座天文臺聯合觀測得到干涉效果，其解析率公式的 D 值即提升為85公尺計算，如此可提高解析率。

從以上兩個公式來看，集光率和解析率都直接和望遠鏡主鏡的口徑大小有關，也就是口徑越大功能越好，最後要考量購買望遠鏡的特性才是放大率：

3. 放大率 = 物鏡焦距 / 目鏡焦距 (物鏡即是通稱的主鏡)

從公式可看出放大率跟望遠鏡主鏡大小無關，是跟主鏡及目鏡的焦距有關，通常天文望遠鏡都可根據觀查的目標來更換不同焦距的目鏡以取得希望的放大倍率。

凱克多年來名氣真可是盛極一時，但全世界最大口徑的望遠鏡之名目前已被”南非大望遠鏡 The Southern African Large Telescope(SALT)”主鏡11公尺及”卡納利大型望遠鏡(Gran Telescopio Canarias)”主鏡10.4公尺取代。

接著我們又去參觀，加法夏天文臺(CFHT)，這是由加拿大、法國及夏威夷大學共同建造的蓋塞格林反射式望遠鏡，主鏡為3.6公尺，工作波段為可見光及紅外光，光是赤道儀就有300噸重。CFHT望遠鏡在1979年即開始運作，但一直更新最



(上) 圖9. 加法夏天文臺主鏡臺及赤道儀-CFHT(右) 圖10. 昂、凱克 I、II、NASA-紅外天文臺(由左至右)及金星

現代的設備，例如有MegaCam 是世界上視野最大的廣角天文相機，以觀測可見光波段為主。還有 WIRCam 計畫，在建造當時是世界上視野最大的紅外線天文相機，該相機使用與下一代太空望遠鏡同等級的紅外線偵測晶片，不僅靈敏度高、總像素高達一千六百萬，同時也具有即時導星的功能。此計畫我國中研院天文所也有參與。

參觀天文臺的控制中心時，注意到天文臺外的濕度錶僅顯示10%，難怪好多世界頂尖級的天文臺都要蓋在這裡，普通地區的天文臺光是觀測環境就差一大截。看完控制中心，有人大叫趕快出來看夕陽，真的從來沒看過這麼美又紅澄澄的太陽躺在軟綿綿的雲海上，燦爛不已，每人都用相機留下了最美好的回憶。

夕陽雲海只是插播，不在計畫中，大夥又匆忙上車準備今天最後一場重頭戲-觀星，回到天文學家中心已是伸手不見五指，滿天星斗彷彿伸手可得，璀璨銀河劃過整個星空，這是我看過最精彩的夜空吧。大家都被這美麗的夜晚迷住，不想離開，要不是司機先生的堅持，我們甚至到晚上十點都下不了山。上車後，才感覺到晚飯都還沒





圖11. 銀河系中心、南冕座、人馬座、盾牌座
20100707 攝於夏威夷Mauna Kea

吃呢。惟一可惜的是剛剛遊客太多，車燈影響拍照。即使在下山的路上，大家還是很High，一會兒從右邊車窗，一會兒在左邊車窗都看到南門二、馬腹一伴著神聖的南十字星座在天空搖晃揮手。

第三天提早出發，因今天要趕兩個山頭，先上Mauna Kea山頂參訪次毫米波陣列望遠鏡，再去Mauna Loa山頭。次毫米波陣列望遠鏡（Submillimeter Array, SMA）是由美國史密松天文臺(Smithsonian Astrophysical Observatory, SAO)與中華民國中央研究院天文所(ASIAA)合作興建。自1990年起，先由史密松天文臺建造了六座次毫米波陣列望遠鏡，其後由臺灣負責製造兩座，次毫米波陣列望遠鏡用來研究正在形成的行星、小行星、彗星、及即將死亡或剛形成的恆星。次毫米波段介於紅外線與微波之間，波長為0.3~1.7毫米，此電磁波極易被水氣吸收，只能在海拔4000公尺以上，氣候乾燥且氣流穩定的高地才能觀測得到。

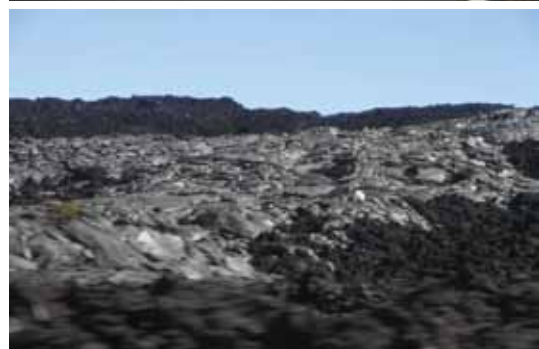


圖12. 次毫米波陣列望遠鏡-SMA

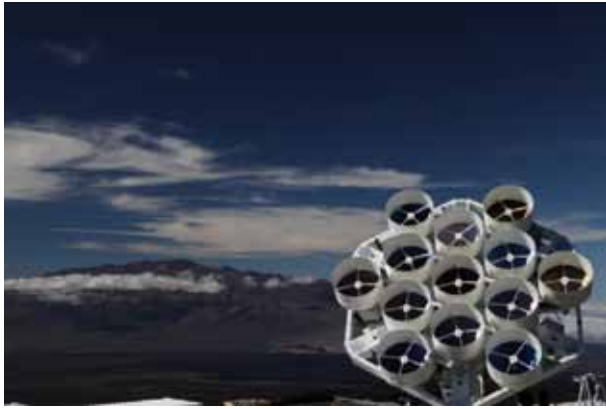
也許是由於有我國的合作贊助，SMA對我們非常親切，所有的解說也非常詳細，讓我們有機會了解許多的硬體設備，也鑽進望遠鏡天線後面看到不同波段的接收器，當天碰恰巧有工程人員調整天線的盤面組合，大家都看的津津有味。

今天本來沒著落的午餐也很幸運的可以去嚐試天文臺旁的”雲頂飯店”(類似大型貨櫃屋組合)的簡餐，但食物只比泡麵好一些吧，飯後就要下山再上山轉往Mauna Loa山頂去看由我國建造的宇宙背景輻射電波望遠鏡-AMiBA。沿途數十公里的山路都鋪滿了不同的火山熔岩，有新有舊，我們每個人也都享受到了乘坐雲霄飛車的快感。

一路顛簸中總算到達Mauna Loa山頂的”Mauna Loa”觀測站，乍看之下就像到了南極基地一樣，淒涼無人，到處都是鐵皮屋及各式天線。此觀測站主要工作是負責觀測地球大氣二氧化碳濃度的變化。Mauna Loa觀測站隸屬於美國海洋和大氣局(National Oceanic and Atmospheric Administration



(上) 圖13. Mauna Loa的山頂道路像坐雲霄飛車
(下) 圖14. (Mauna Loa山頂道路旁的火山熔岩



(上) 圖 15. 宇宙背景輻射電波望遠鏡-AMiBA及遠端 Mauna Kea的天文臺基地

(下) 圖 16. 宇宙背景輻射電波望遠鏡-AMiBA極特別的天線基座

(NOAA))、共有十棟建築物，負責記錄及追蹤約 250種大氣資料，也包括太陽輻射量及Mauna Loa火山觀察等等。此大氣觀測站所以建在這裡是因為正處於太平洋中央又在逆溫層之上，絕少人為汙染干擾。觀測站外圍有我國及日本的天文設施，我國所建造的就是”李遠哲陣列”(AMiBA)。

宇宙微波背景輻射 (Cosmic Microwave Background, CMB) 中攜帶宇宙早期各種物理過程的痕跡，AMiBA的目標就是觀測宇宙之微波背景輻射來探索宇宙起源、形成及演化過程。宇宙微波背景輻射陣列也能藉由CMB光子的逆康普吞散射，測繪遙遠的星系團。

AMiBA望遠鏡有一特別的天線平臺由六支液壓伸縮桿來驅動以到需要的方位及角度，平臺上目前已裝設13支碟型天線，最多可裝達19支，造型獨特如同「變形蟲」一般可愛。AMiBA的主

要合作者包括中央研究院天文所、國立臺灣大學物理系與電機系、以及澳洲國家天文臺(ATNF)。

看完AMiBA已近黃昏，大夥決定還是要殺到天文學家中心再次觀星，司機也被大家的熱誠感動，帶我們到天文學家中心附近一個無車燈干擾的地方。一下車，大夥又忙碌起來，看星、拍星、認星座，有一些人只有帶傻瓜相機也都拍得呱呱叫，一直到每人都盡興了，才登車回旅館。

第四天早上參觀SMA在Hilo的總部及Hilo天文中心，下午搭機回到歐胡島的檀香山市，再直趨舉世聞名的Waikiki海灘，看到美景依舊，人潮仍在，讓我回想起上次來此已三十多年頭了，那時是隨同公司亞洲區各國代表到此渡假開會，機場夏威夷女郎花圈迎接、警車開道護送到Waikiki沙灘旁旅館、海濱烤乳豬大餐是讓當時的我們最震撼難忘的了。

第五天上午早餐後，參觀畢夏博物館(Bishop Museum)，下午前往波里尼西亞文化中心，在此享用豐盛的夏威夷自助晚餐，欣賞波里尼西亞原住民SHOW及晚會。至此，夏威夷之旅即將結束，晚會後我們直接驅車到機場準備搭機回國。

全團於7/11返抵桃園國際機場，期間只有兩位團員在第一次上山時，有身體不適，需帶氧氣瓶休息，全部活動算是平安順利。此次旅遊圓滿成功要特別感謝中研院天文所的主辦此次活動、臺北市天文館張桂蘭小姐的辛苦協調，讓我們順利出團、領隊蘇克特先生的細心照顧、中研院顏吉鴻、施佳佑先生對參訪各天文臺的事先安排及全程陪同、當地導遊李雲飛先生的應變配合還有全體團員的合作，感恩! 不知下次可去哪裡?

羅敬華：天文愛好者，臺北市立天文科學教育館第二中隊志工。