

國立臺灣大學社會科學院新聞研究所

深度報導碩士論文

Graduate Institute of Journalism, College of Social Science

National Taiwan University

Master Thesis - In-depth Reporting

台灣也看得見星光

—艱辛中創立的中研院天文所

Seeing the Starlight in Taiwan: The Establishment of Academia

Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics

趙軒翎

Hsuan-Ling Chao

理論指導教授：朱有花 博士

Theory Advisor: You-Hua Chu, Ph.D.

深度報導指導教授：林照真 博士

In depth Reporting Advisor: Chao-Chen Lin, Ph.D.

中華民國 107 年 1 月

January, 2018





## 誌謝



這篇深度報導從題目訂定到完整產出，經歷了兩年多的時間，遠遠超出自己的預期。在這段寫作歷程中，有太多太多時刻想要躲進工作裡不想面對、想要放棄，但幸運的是我也遇到很多貴人，在我徬徨無助的時刻，給我繼續龜速刻字的力量。

有機會能寫中研院天文所的故事，得感謝我的指導教授照真老師幫忙牽線，在我苦思論文題目時，得以認識中研院院士李太楓老師和聽到他的故事。在寫作論文的過程中，我真的是個很不及格的學生，幾次因為挫折而逃避，都很怕遇到照真老師關切進度。雖然我一次又一次在寫作進度中摔跤、落後，好一段時間沒有辦法在工作與論文進度中取得平衡，照真老師依然沒有放棄我，而是敦促我、鼓勵我。很感謝她在這兩年多中，對於我的包容。

李太楓老師是我論文中重要的受訪者，也是最關心我論文的人。從我仍在蒐集資料，試圖了解天文所歷史時，他即便行動不方便，依然堅持在整個辦公室中翻箱倒櫃，將所有我可能可以參考的書、舊資料通通挖出來，讓我帶回去。他時常會來電，關心我在採訪、寫作上有沒有遇到什麼困難，費心為我解答各種天文問題，花時間跟我說了許多故事。

而在我採訪的過程中，總能在朱有花老師的笑容中，得到許多的力量。雖然有花老師得在國際會議間奔波，能停留在台灣的時間不多，但她仍願意在有限的時間內，接受採訪或給我建議。也因為有花老師和照真老師的幫忙，讓我有機會實際走訪墨西哥和夏威夷的天文台，得到寶貴的出國採訪經驗，也為我的深度報導增添了色彩。

天文、物理從來不是我擅長的科目，在完成論文的過程中，靠著在這本論文中出現的天文學家，為我上了許多堂免費的天文課。在每一次採訪中，我就多學了一點，也多聽了一個天文學家的故事。對於採訪過程受到的種種幫助，說真的我無法實質給予回報，不過我真的希望這篇深度報導能夠幫助紀錄中研院天文所，甚至台灣天文研究的發展故事，寫下這群天文學家的奮鬥過程。



## 中文摘要



1980 年代的台灣，以天文為專業的人屈指可數，然而 30 年後，台灣團隊卻可以參與阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列（ALMA），這個規模龐大的國際計畫，甚至申請到先期計畫 7% 的觀測時數。

能有這樣的成果，實有賴於一群華裔天文學家無怨無悔、無條件投入，終於促成台灣天文研究開始起步的。他們大多並非在台灣出生，也未曾在台灣生活過，但為了能創造華人在國際天文領域的貢獻，毅然放棄原有教職，來到台灣帶領團隊參與國際合作發展電波天文學，也培育新一代的台灣天文學家。

本深度報導以中央研究院天文與天文物理研究所成立的過程為敘述中心，探討中研院院士李太楓如何牽線，讓重要的華裔天文學家徐遐生、魯國鏞、賀曾樸等人，來台協助促成與創立中研院天文所。此外，本深度報導也重點探討中研院天文所參與或主導的天文儀器建設計畫，從最初跟著美國史密松天文台建造「次毫米波陣列」（SMA），與台灣大學物理系合作、自行設計建造的「宇宙微波背景輻射陣列」（AMiBA）；到後來漸漸提升能力，將原本在台灣建設的第一代掩星計畫望遠鏡（TAOS），進階為第二代 TAOS-2，並主導與墨西哥國立大學的合作等。

在這些大型合作計畫中，本深度報導著重敘述團隊如何面對各種挑戰，進而突破困境，得以此為養分成長與茁壯。即使最初參與創所的元老多半已退休、因病過世或另有規劃，不再為所上的主力。中研院天文所新一代的天文學家將接棒，繼續為台灣天文領域交出亮眼的成績單。

關鍵字：中研院天文與天文物理研究所、台灣天文、天文望遠鏡、李太楓、電波天文學





## Abstract

In recent years, Taiwan astronomers are very active in several international projects. For example, they participate in the construction of Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), the biggest telescope in the world. They also beat competitors from the world and got 7% of observation time of ALMA in first period. However, it's hard to imagine that there were only few professional astronomers back in 1980s.

Taiwan astronomy achieved the goals, by having a group of Chinese astronomers devoted thoroughly. Most of them have no connection with Taiwan, however, they believe by helping Taiwan establish astronomy research is helping Chinese as well. They gave up their career in the U.S. and came to Taiwan. In their support and effort, Taiwan got the chance to participate in the frontier astronomy projects, and trained young astronomers.

The in-depth report focuses on the establishment of Institute of Astronomy and Astrophysics in Academia Sinica (ASIAA). This report elaborates the story of how Typhoon Lee invited world famous Chinese astronomers, including Frank Shu, Fred Lo and Paul Ho to Taiwan and established ASIAA. This report also discuss about some important astronomy instrumentation that ASIAA participated, including Submillimeter Array cooperated with Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO) , the Array for Microwave Background Anisotropy (AMiBA) cooperated with the Institute of Physics of National Taiwan University, and the second version of Transneptunian Automated Occultation Survey (TAOS-2) project cooperated with National Autonomous University of Mexico (UNAM).

Taiwan team faced different challenges in these international projects, the experience made them grow bigger and better. However, the group of people who devoted to establish ASIAA are leaving because of retirement, death or having other plans. The responsibility has been put on these young astronomers, which they recruited and trained. The new generation is the future of Taiwan astronomy, and still they have different challenges to face and conquer.

Key words: ASIAA, Taiwan astronomy, telescope, Typhoon Lee, radio astronomy







## 目 錄

口試委員會審定書.....	#
誌謝.....	i
中文摘要.....	ii
英文摘要.....	iii

### 第一部分 深度報導全文

第一章 茫茫迷霧，台灣天文研究看不見天.....	1
第二章 遠方來的明燈—旅外華裔天文學家相助.....	7
第三章 狂風吹不熄燭火—籌備處成立.....	13
第四章 走出迷霧—製作望遠鏡獲世界肯定.....	21
第五章 中研院天文所，在台大.....	34
第六章 學著獨立—自製 AMiBA 望遠鏡.....	44
第七章 抓住星光—台墨合作掩星計畫.....	57
第八章 元老謝幕，交棒下一代.....	68

### 第二部分 深度報導企劃

第一章 報導意識.....	75
第一節 台灣天文研究缺少關注.....	75
第二節 中研院天文所成立不易.....	77
第三節 記錄台灣天文物理研究的故事.....	78
第二章 文獻回顧.....	80
第一節 古代天文學.....	80
第二節 望天之眼：天文望遠鏡.....	81
第三節 破解來自星光的消息：電波天文學.....	82
第四節 毫米／次毫米波天文學.....	83
第五節 中國近代天文學.....	84
第二節 台灣近代天文學.....	86

第三章 報導規劃.....	89
第一節 章節規劃.....	89
第二節 訪談名單.....	92
第四章 參考書目.....	94





## 第一部分：深度報導作品



## 第一章 茫茫迷霧，台灣天文研究看不見天

遂古之初，誰傳道之？

上下未形，何由考之？

冥昭瞢闇，誰能極之？

馮翼惟像，何以識之？

明明闇闇，惟時何為？

陰陽三合，何本何化？

——屈原〈天問〉



### 天問，問天

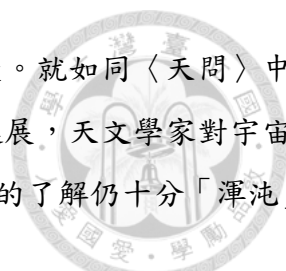
公元前 300 年左右，屈原望著蒼天問道，「茫茫宇宙的起始，誰能描述？無天無地的模樣，誰能考察？昏昏暗暗、混混沌沌的型態，誰能辨別？元氣瀰漫、空洞無物的境界，誰能探查？光明黑暗的消長，為何發生，如何發生？陰氣陽氣的交合，以何為本，因何變化？」

若由現代文史研究者解讀〈天問〉，或許會說這是屈原抒發心志、感嘆遭遇之作。天文研究者卻有不同的解讀。

2015 年 5 月，中華民國天文學會將第二屆「天問獎」頒給中央研究院院士李太楓，以表彰他在天文研究領域的貢獻。李太楓發表得獎感言時說，〈天問〉前四分之一的內容，其實與天文息息相關。甚至，屈原提出的問題現在的天文研究仍無法完全回答。

不瞭解「天問獎」意涵的李太楓，發揮了打破砂鍋「查」到底的性格，終於讓他在中研院的藏書中，找到了深圳大學校長章必功的《天問講稿》。在了解〈天問〉之餘，也獲得了自己的領悟。

屈原問，宇宙如何誕生？兩千多年後的現在，不管是李太楓或是其他天文學家或許都會回答，宇宙最初處於一個高溫、高密度的太初狀態，在 137 億年前經過大霹靂（Big Bang）後，逐漸膨脹而成今日的樣貌。李太楓說，屈原描述的「上下未形」，其實也對應了大霹靂理論下的重要假設——當你站在宇宙中的任何一個點，看到任何方向、任何位置，都是相同的——宇宙具有「均質」（homogeneous universe）和各向同性（isotropic）性質。



大霹靂並非唯一一個解釋宇宙起源的學說，只是目前最廣為接受。就如同〈天問〉中所說「冥昭瞢闇，誰能極之？」即便天文學觀測儀器已有相當程度的進展，天文學家對宇宙的觀測仍受到各種侷限，我們能看到的宇宙仍十分「昏暗」，對於宇宙的了解仍十分「渾沌」。

李太楓在發表得獎感言中開玩笑地說，現代天文學者應追封屈原為「天文學會榮譽會員」，以彰表他在〈天問〉中對於宇宙的觀察。身在今日的李太楓與當年的屈原，心境上非常不同，卻同樣對宇宙有眾多疑問，希望能得到解答。從小時候開始，李太楓對於探索宇宙就充滿興趣，並暗自以此為一生的志向，時至今日，他是建立台灣天文研究的重要科學研究者。

李太楓對於天文學的熱愛，從小時候就可見端倪。小學五年級的李太楓，不像一般小朋友到處玩耍，反而常常下課後就窩在中山堂天文台。那時，小小年紀的李太楓，總是默默、好奇的看著大人操作著那一台四吋口徑的天文望遠鏡。

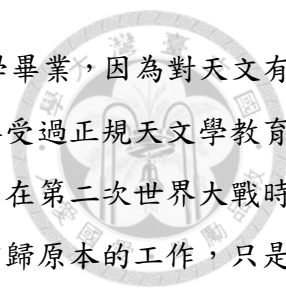
中山堂天文台可說是台灣第一個天文台，最早稱為「臺北公會堂天文台」。日治時期，臺北公會堂原本的規劃是用於提供民間文化活動的空間，直到 1938 年台灣日日新報社創社 40 周年時，捐贈了 4000 圓（相當於 2002 年 80 萬新台幣）購買一架天文望遠鏡。等同現在台北市政府的台北市役所幾經評估，就將這台天文望遠鏡安置在臺北公會堂四樓屋頂，並協助建造天文台圓頂。1945 年台灣光復後，臺北公會堂天文台改名為中山堂天文台。

中山堂天文台從建立以來，陪台灣經歷幾次重要的天文盛事。1954 年 7 月，火星大接近地球的新聞造成一陣轟動，許多人擠到中山堂天文台希望能一飽眼福。然而中山堂天文台空間窄小，實在無法負荷，使得排隊的人潮排到一旁的中華路上。

這個時期正好也是人類走入太空時代的分野。1957 年 10 月 4 日，蘇聯的人造衛星「史普尼克 1 號」成功發射、進入軌道，人類逐漸將自己的影響力往外太空推進。除了蘇聯之外，美國、英國等國家也積極推出自己的人造衛星，一時之間太空競賽的緊張氣氛在國與國之間延燒。

這股熱潮也逐漸延燒到台灣社會，人們對於天文、太空的知識更為積極。台北市政府考量中山堂天文台的規模不再符合民眾的需求，加上附近光害已影響到天文望遠鏡的操作，終於在 1960 年開始在圓山建立新的天文台，三年後圓山天文台正式啟用。

從中山堂天文台擴大成圓山天文台，蔡章獻是這個時代重要的見證者，也是台灣天文史



上最早以天文為專業在工作的人之一。早在 1938 年，蔡章獻剛從中學畢業，因為對天文有興趣，就開始在臺北公會堂天文台的「天體觀測同好會」工作。從未接受過正規天文學教育的他，全靠著自學與摸索，一步一步在天文領域拓自己的視野。而後，在第二次世界大戰時，他被日本派到中國打仗，直到戰爭結束才重新回到台灣。他也順利回歸原本的工作，只是臺北公會堂天文台已經改為中山堂天文台，而他也成為台北市氣象局的天文科技佐，負責管理天文台。

蔡章獻曾在年過 80 歲高齡時接受台北市立天文館的採訪，談到他並非當時唯一被派往中山堂天文台的氣象局人員，但他的同事卻沒有一個久待下來，只有他自己一個人待了整整 16 年。在圓山天文台落成後，他獲聘為首任台長。

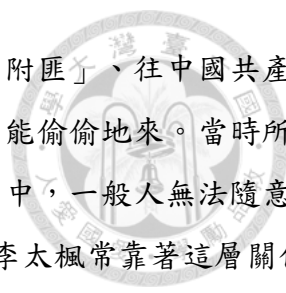
在李太楓的童年回憶中，中山堂天文台裡總能看到蔡章獻的身影，天文台的大小事物由他一手操辦。李太楓則是他身邊的小跟班，希望能多從他身上知道多一點天文的秘密。蔡章獻將他對天文的熱情，揮灑在天文台外，他開始經營台北市天文同好會（後來的台北市天文協會），聚集同樣熱愛天文的人們；也開始將自己的所見所聞記錄下來，出版報導天文現況的《天文通訊》。常去拜訪蔡章獻的李太楓，也開始定期收到這一本《天文通訊》，這本雜誌成為李太楓的課外讀物，雖然年紀仍小，還有許多不懂之處，卻仍津津有味地讀著上面報導的天象新聞。蔡章獻對於天文的愛，藉著一本本《天文通訊》的出版，散布出去。

## 台海兩隔的五叔公

除了天文台之外，中國近代天文學家張鈺哲，也是李太楓重要的天文啟蒙。張鈺哲是中國科學院院士、紫金山天文台台長和南京大學天文系教授，他也是李太楓未曾謀面的五叔公。然而，兩人台海兩隔，對於張鈺哲的人與事蹟，李太楓只能聽別人敘述來想像，這個在天文領域有名的遠親，到底是什麼模樣。

李太楓聽說，張鈺哲是個很嚴厲的人。在他擔任紫金山天文台台長時，常常得坐飛機來回北京、南京間開會。據說，他會從飛機上仔細盯著紫金山天文台，查看圓頂蓋是否打開，藉此來判斷望遠鏡有沒有在使用。「如果沒有，他一下飛機就會打電話回天文台大罵『有資源怎麼可以不好好利用！』」李太楓說。

李太楓對於五叔公的印象，更多是來自於一本本鎖在圖書館中的「禁書」。當時國共之



間關係緊張，那時僅僅提到「張鈺哲」這個名字，都可能被認為有「附匪」、往中國共產黨靠攏的嫌疑。對天文充滿興趣的李太楓想多了解這位天文學家，就只能偷偷地來。當時所有被政府認定為與共產黨相關的禁書，被圖書館鎖在一個獨立的小房間中，一般人無法隨意進入。然而，李太楓的母親是台北第一女中的圖書館館員，學生時代的李太楓常靠著這層關係，躲在小房間中偷看張鈺哲的天文著作。

這段在書中與五叔公以天文知識相遇的時刻，李太楓回想起來嘴角仍泛著笑意。每一次躲在小房間中卻是緊張又害怕，他繃緊神經深怕自己被發現，卻又忍不住想多看幾眼，想把那些書中的天文知識都記到腦中。他還清楚記得其中一本名為《宇宙叢譚》的書，記錄張鈺哲觀測日蝕的方法和成果。李太楓在多年後有機會翻譯一本天文書，在構思書名時，也取了同樣的名字。他用這個方法，向那些年在小房間中陪伴他的張鈺哲，致上敬意。

李太楓與張鈺哲分屬在中國和台灣兩岸，在當時的政治條件下根本沒有機會相見。不過到了美國，李太楓終於有個機會，可以見到張鈺哲。1979年國際天文學聯合會（International Astronomical Union，簡稱IAU）於加拿大蒙特婁舉行，中國代表就是張鈺哲。他當時的任務是讓經歷文化大革命而退出國際各大組織的中國，能夠重新參與國際會議和聯盟中。中國的策略是先以較沒有沾染政治色彩的天文學領域作為先鋒，身為主要談判角色的張鈺哲，是相當重要的人物。

當時李太楓已完成博士學業，在美國芝加哥大學進行博士後研究。他突發奇想，希望趁著這次張鈺哲出訪美洲的機會，請芝加哥大學天文學研究所邀請張鈺哲以傑出校友的身份來訪，希望藉此能與他碰面。無奈中國對於當時代表團團員的行程安排要求相當嚴格，成員不能任意脫團單獨行動，李太楓這個計畫因而未能如願實現，但他的天文熱情還在持續發酵中。

## 來自外太空的石頭

李太楓會到美國，也是為了追尋自己的天文夢。

「這是我個人的一小步，卻是人類的一大步。」太空人尼爾·阿姆斯壯（Neil Armstrong）第一次踏上月球時，帶回這深入人心的名言。1969年三名太空人搭上阿波羅11號，除了登陸月球外，也帶回許多月球岩石的樣本，讓科學家能夠多了解月球及地球之外的天體結構。不管是來自月球的岩石樣本，或是以往墜落在地球的隕石標本，這些來自外太空的地質樣本，





卻讓當時的地質學家傷透腦筋，不知道從何著手分析。

對於天文抱持嚮往的李太楓，結束清華大學物理系的學業後，1971年到美國德州大學奧斯汀分校作天文研究，正好趕上這波研究風潮。他原先跟隨大衛·施拉姆 (David N. Schramm) 教授做研究，但為了能進一步研究這些外太空的石頭，施拉姆派李太楓到加州理工學院向杰拉德·瓦瑟伯 (Gerald J. Wasserburg) 教授學習運用「同位素」來分析隕石樣本。這種同位素宇宙化學的分析方法，是透過分析樣本中放射性同位素的衰變，來推測宇宙天體的組成。以李太楓研究來說他在球粒隕石中發現了大量的鎂-26 ( $^{26}\text{Mg}$ )，而這些鎂-26 是由鋁-26 ( $^{26}\text{Al}$ ) 經由放射性衰變而來，因而得知最初的太陽系天體中鋁-26 的存在。運用相似的研究方法進一步探討了球粒隕石的形成理論，也將這樣的方法應用在地球的地質研究上。

「以前的地質學雖然講了很多故事，但都很模糊。」李太楓說，同位素分析法幫助地質科學數量化。1984年李太楓帶著這個技術回到台灣的中央研究院地球科學研究所，他笑著說自己只懂技術，對於地質一竅不通。一開始在地球所奮鬥的日子，就是跟著學生們一起到野外採集樣本，學生們對帶著他看石頭，他邊看邊學。但不知是否因為長年在國外生活，一回國反而水土不服的關係；或是衛生環境實在不好，李太楓每次出野外總是腸胃不適、上吐下瀉。

他記得有一次到巴士海峽上的小島做調查，在島上待了五、六天，每天都拉肚子，卻只能求助軍醫、吃著沒什麼效果的腸胃藥，這一趟回來就瘦了五、六公斤。

野外調查面臨考驗，要將在國外用習慣的技術移植回台灣，卻也面臨的硬體設備架設的難題。當時李太楓需要架設一間無塵室，台灣卻還沒有相當的技術可以幫忙，因此架設過程只能靠自己和學生。目前已經退休的中研院地球所副研究員沈君山，當年就是李太楓實驗室最早的成員，有著與清華大學前校長一樣的姓名，因而被暱稱為小沈君山。師生兩人共騎一部摩托車，沈君山騎車、李太楓坐後座，兩人到處去鐵工廠找零件，自己想辦法把無塵室從無到有建立起來。

這些外人難以理解的辛苦過程，李太楓一步一步自己走過來，終於逐漸在中研院地球所布置好一個自己的新家，李太楓自己也轉而投向地球科學領域。他開始運用自己的同位素方法，研究東亞地區地質岩層的年齡，藉此了解東亞大陸地殼的演化歷史。

但，李太楓並沒有放棄天文。

## 台灣天文學還是黑夜



1984 年年初，李太楓回憶當時還是冬天方過之時，清華大學教授沈君山邀請他到中華民國天文學會的年會演講。當時李太楓剛回到台灣，熱情地想把國外各種天文的新研究，介紹給天文學會的同好知道。他敘述了探討星體中原子核如何進行核反應，並形成目前自然界存在的 200 多種原子的原子核天文學，以及利用同位素測量星體組成的宇宙化學。

李太楓一個人他滔滔不絕地在台上介紹國外最新的天文學研究，下了台才發現現在場所有人竟然都聽不懂他在說什麼。這時他才驚覺，即使有許多人喜歡天文、觀星，但要談到專業的天文研究，台灣還差了一大步。

李太楓說，當時台灣的天文學還停留在用望遠鏡觀察星體位置上，對於國外已經漸漸用物理、化學等領域的知識來解釋天文現象，以及進一步想了解宇宙的起源等研究，都相當陌生。這樣的知識落差讓他深深感受到，如果台灣再沒有相關專業人才盡快投入天文領域，那麼要追上全球研究的腳步就會更辛苦。而他自己想要在台灣繼續以同位素研究隕石、星球的形成，也得有更多的研究團隊投入，才有辦法相互合作。

只可惜當時真正以天文為專業工作的人屈指可數，在台灣更是沒有以培養天文人才為目標的教學單位，較多為業餘觀星的天文愛好者，難以形成研究氣候。這個困境使得李太楓傷透了腦筋，一時之間卻也無能為力。

李太楓在沈君山之後接任天文學會理事長，他當時能做的，就是投入既有的天文學會的改革，他從未忘記，要為台灣的天文發展出一份心力。

## 第二章 遠方來的明燈—旅外華裔天文學家相助

「爸，為什麼你要放棄美國的工作和生活到台灣去？」

時間回到 1970 年，華裔天文學家徐遐生的父親、數學家徐賢修受到蔣介石總統的邀約，來到台灣接任清華大學校長。當時已 58 歲的徐賢修早已在美國普渡大學、伊利諾理工學院教學、定居多年，卻毅然決然放棄了安逸穩定的生活，接下這個重任，即使是最親近的家人也對這個決定感到困惑。

徐遐生回憶當時父親對著他這麼說：「Frank，你我都是教授，教授是一個擁有特權（privilege）的職業。因為我們只有一個義務（obligation），那就是開創更好的未來。」徐賢修掛念的是當年著重發展重工業的台灣，還沒有好的學術環境，能夠提供給優秀的學生進修或就業，人才逐漸往國外流失。「我想到台灣去，給這些人一個可以期待的未來。」徐賢修這麼對兒子說。

這段話悄悄地在徐遐生的心中生根，等著時機到時發芽、茁壯。

1987 年，當時擔任美國加州大學柏克萊分校天文物理系主任的徐遐生，獲選為美國國家科學院院士。華裔天文學家當選美國院士的消息傳回台灣，時任中華民國天文學會理事長的李太楓，立刻發起「總動員」，推薦徐遐生為台灣中央研究院院士。

天文學會發公文至中研院院士選舉委員會，表達對於徐遐生競選院士的支持，不料卻被中研院以「天文學會非研究單位」的理由而駁回。李太楓說，當時真的很生氣，卻也明白天文學會多由業餘的天文愛好者組成，真正天文專業人士只有五人，談不上是個研究單位。

不過天文學會並沒有放棄。他們找了各個大學中研究重力、狹義相對論，甚至是鑽研光學、光譜等與天文學擦邊的物理領域專家，來為天文學會助陣。最後，他們好不容易湊出了十幾個具相關專業且有研究結果的成員名單，重新提交推薦徐遐生競選院士的公文，終於獲得院士選舉委員會的認可。

1990 年，徐遐生正式成為中研院院士，並受天文學會邀請來到台灣。

## 重回兒時記憶中的轉驛站



對徐遐生來說，「台灣」曾是一段小時候模糊的記憶。

1943年，徐遐生不滿周歲，父親徐賢修就踏上前往美國攻讀博士的旅途。從雲南昆明出發沿陸路到印度，再搭船繞過南非，才抵達美國。父子這一相隔竟是六年。

1948年，鑒於當時中國政治的動盪，徐賢修決定不回中國，開始在伊利諾理工學院(Illinois Institute of Technology)數學系任教。留在中國的妻兒，準備前往美國與徐賢修團聚。「在那時候，要從中國直接到美國很不容易。」徐遐生回憶道，他的母親夏一仁帶著三個孩子，大姐徐慎雲、大哥徐復生以及自己，一路從昆明來到台灣依附親戚。

到達台灣這個轉驛站後，一家人停留的時間說長不長、說短卻也不短，落腳大約一年的時間。徐遐生曾在北一女旁的女師附小（現為台北市立教育大學附設實驗國民小學），短暫就讀小學一年級。

隨著母親和兄姊到美國芝加哥與父親相聚，6歲的徐遐生開始了他在美國的生活。20歲畢業於麻省理工學院物理學學士，5年後便取得哈佛大學天文物理博士學位，開始在紐約州立大學石溪分校（Stony Brook University）教書。

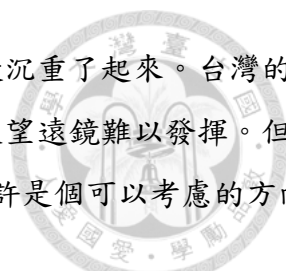
台灣對於徐遐生而言，始終是一段兒時的模糊記憶。即使是父親在清華大學擔任校長的那幾年，徐遐生也未再來台灣。

## 身為華人的一份情

選上中研院院士，才讓徐遐生重新踏上台灣的土地。

在李太楓的安排下，徐遐生到台灣大學、中央大學、清華大學等三所大學演講。李太楓全程翻譯，徐遐生侃侃而談國外正在發展的天文學研究。台下雖有一張張專注聽講的臉龐，但實際上具有天文學專業的人，依舊是寥寥無幾。每場演講後，徐遐生都會留下來與認真地與師生們討論；其中，「台灣的天文研究該怎麼走？」都是眾人必定討論的話題。

徐遐生自己認為，到台灣來不僅是身為中研院院士的責任，也藏著父親對於自己的期待，而更重要的是受到李太楓的信念所感染，讓他開始想為華人的天文發展盡一份心力。



只不過，徐遐生望向窗外，看到台灣的天空，心情也如天氣一般沉重了起來。台灣的天候狀態，並不適合發展以接收可見光為基礎的天文學研究，光學天文望遠鏡難以發揮。但他隨後心念一轉，若光學不行，發展較不受氣候影響的電波天文學，或許是個可以考慮的方向。

徐遐生回美國後，先找上兩名華裔電波天文學家——伊利諾大學香檳分校天文系的魯國鏞（Fred Lo）和哈佛大學天文系的賀曾樸（Paul Ho）——這時的他們都已各自在電波天文學領域耕耘 20 年左右。

魯國鏞在美國麻省理工學院就讀博士班時，開啟他對於天文領域的關注。而他所研究的是銀河系中的邁射源（maser source），這些邁射源可能與新的恆星產生，有相當密切的關係。魯國鏞特別關注在水和氫氧基（OH）的邁射，這也讓他後來在 1986 年提出銀河系中心極亮的水邁射，可能是繞核邁射（circumnuclear maser）的理論。

魯國鏞於 1974 年取得麻省理工學院博士學位後，隨後轉往加州理工學院繼續研究電波天文學。其中他參與了毫米波干涉儀（millimeter interferometry）的研究，針對電波望遠鏡的天線和接收機的結構進行研究。1986 年到伊利諾大學香檳分校時，也協助建設 BIMA 電波望遠鏡陣列。他在電波天文學研究領域中，逐漸成為舉足輕重的人物。

而賀曾樸則是在麻省理工學院時，跟隨著作無線電波研究的指導教授 Alan Barret「轉行」，研究領域從地表直升天上。他們開始研究天體所放出的無線電波訊號，因而進入了電波天文學領域。透過電波天文學的工具，賀曾樸開始專注在行星與恆星形成、大質量黑洞、早期宇宙結構等主題的研究上。

兩人在電波天文學上的專業無庸置疑，然而他們不像徐遐生曾在台灣生活過，父親還在台灣教育界付出多年。賀曾樸在香港出生；魯國鏞雖生在南京，卻也在香港長大。巧的是，兩人同赴美國麻省理工學院，先後以電波天文學研究取得物理學博士學位。對他們來說，最熟悉的地方不是香港、南京，而是美國。「我們和徐遐生不一樣，在台灣沒有任何的根。」賀曾樸說。

賀曾樸說，由中國出去的留學生，大多想回去幫助中國。幸運能在美國接觸尖端科學的他們，其實從未忘記自己的根。「在我的心裡一直惦記著，我有個責任去幫助自己的故鄉。」他說，「我想提供機會給亞洲的學子，讓他們也能站到天文研究的前端。」然而，當時中國還在努力走出文化大革命的困局，雖然已經宣稱開放，但當局對於外來的建議仍較無法接受。

徐遐生的指導教授、麻省理工學院數學系教授林家翹，是中國最早一批到美國的留學生。他 1940 年離開中國，先後在加拿大多倫多大學、美國加州理工學院取得碩、博士學位，成為知名的數學家與天體物理學家。在國民政府還未撤退來台之前，他就獲選為第二屆中研院院士，後來也在 1962 年獲選為美國國家科學院院士。

當徐遐生等人與林家翹討論要在台灣發展電波天文學，並希望於中研院下成立一個天文研究機構。林家翹聽完，義不容辭地幫忙寫信給當時的中研院院長吳大猷，建議成立中研院天文所。

賀曾樸回憶林家翹曾與他們說：「若想要幫助中國，你們就要在台灣成功推動天文學研究。或許這群中國留學生，無法直接影響中國當局；一旦台灣成功了，一向留心台灣動向的中國當局一定會看到，也間接地推動中國跟上世界的腳步。」

台灣，成為他們的第一步。

## 訂定十年天文研究發展計畫

1991 年 3 月，第一屆台北天文物理研討會在中研院本部舉行，聚集了台灣與北美重要的天文及天文物理學家。這也不僅僅是個研討會，對於李太楓、徐遐生等人來說，這也是他們向中研院、國家科學委員會和台灣的天文學者們，宣告計畫的時刻。在院長吳大猷的建議下，以李太楓、魯國鏞為首成立一個天文規劃委員會，針對台灣未來天文研究發展擬定長期的規劃。他們以 10 年計畫作為目標，開頭兩年（1991~1992）年作為規劃期，並決定由天文規劃委員會研擬未來 1993 至 2000 年，台灣天文學的發展標的。

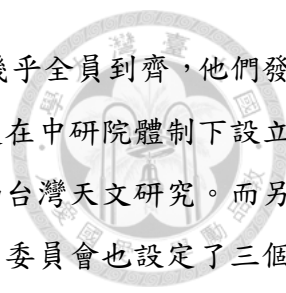


1991年3月，第一屆台北天文物理研討會在中研院本部舉行，聚集了台灣與北美重要的天文及天文物理學家。（圖／中研院天文所提供）

在徐遐生各處遊說下，天文規劃委員會新加入許多生力軍。包括紐約市立大學的袁旂（Yuan Chi）、西北大學的譚遠培（Ronald Taam）、加拿大卡爾加里大學的郭新（Sun Kwok）、加利福尼亞大學聖克魯茲分校的林潮（Douglas Lin）等10來名北美成員。他們來自不同的天文領域，也不見得認識彼此，卻因為徐遐生的關係串在一起。徐遐生笑著說：「這應該是我最大的貢獻，我雖然不是團隊裡最厲害的人，但我卻找了一群很厲害的人來幫忙。」

另外還有在台灣的成員，包括中央大學物理系的闕志鴻、孫維新；清華大學的沈君山、周定一等人，也陸續成為天文規劃委員會的一員，最終聚集了超過20名成員。

透過當時才剛開始發展的電子郵件相互聯繫，一年的時間裡，他們在自己的研究工作之餘，不斷地討論、評估台灣該怎麼發展天文研究。除此之外，團隊的成員也開始與國際上電波天文學的頂尖團隊接洽，希望能為台灣找到適合的合作計畫。讓他們苦惱的是，他們希望台灣可以參加具有影響力、有高能見度的國際計畫，讓台灣能夠跟上前端研究並帶回技術，未來能夠自行發展。但在有限的資金下，他們又得確認每一分錢都花得值得，做到最有效的應用與回收最大的成果。



在 1992 年第二屆台北天文物理研討會舉行時，天文規劃委員會幾乎全員到齊，他們發表了他們規劃完成的十年計畫。他們提議在台灣設立兩個機構，第一是在中研院體制下設立天文與天文物理研究所；第二則是國家天文台，以這兩個機構合力推動台灣天文研究。而另一部分，為了讓台灣能夠以電波天文學進入世界前端的天文研究領域，委員會也設定了三個國際計畫作為合作目標，包含由加州大學柏克萊分校、伊利諾大學、馬里蘭大學等三所大學合作的 BIMA 毫米波陣列，史密松天文台的 SMA 次毫米波陣列，以及美國噴射推進實驗室（Jet Propulsion Laboratory）的遠紅外線陣列。

這三個計畫皆是當下電波天文學領域最尖端的計畫，團隊認為這不僅符合最初設定的目標，也能為台灣帶來最大的利益。徐遐生說：「我們認為台灣要發展天文，就要做最難的研究，和最頂尖的團隊合作。」為此，他們也積極透過團隊中的成員，與這些單位先做初步接洽，表達台灣有意願合作之意。幸運的是，他們都收到相當正面的回應。

討論台灣的天文發展時，不能忽略的另一個重點，即是一群台灣國內的技術人員。電波天文學的發展中製作儀器的技術佔據相當重要的位置，開發接收高頻率低雜訊的接收器，攸關著每個電波望遠鏡的成功與否，而這不只是需要懂得理論的學者，更需要擁有高等技術的人員支援。在台灣要加入這些國際合作計畫之前，更需要確認台灣是否擁有這些人才。

最後，在天文學界與技術界雙邊討論下發現，台灣在積體電路上的製程專業，對於研發電波干涉儀中的接收器很有助益，工程界也能趁這個機會加強系統整合的能力。

正當所有人員幾乎備齊時，中研究發展天文學的種種構想，卻出現最大的阻力。當這份《中華民國天文與天文物理十年發展計畫書》（*Ten-Year Plan to Develop Astronomy and Astrophysics in the Republic of China*）送到國科會審查時，卻換來相當負面的評價。

說起這件事，仍讓徐遐生忿忿不平。



### 第三章 狂風吹不熄燭火—籌備處成立

1992年3月在天文物理研討會上，天文規劃委員會捧著《中華民國天文與天文物理十年發展計畫書》滿心希望能得到回應。在他們幫台灣量身打造的十年發展計畫中，預計要設置兩個相關機構，包括在中研院設立天文與天文物理研究所，以及建置國家天文台，讓這兩個機構成為未來推動天文學門發展的主力。

此外，在1993至2000年這八年間，還預計在國內、國外同時建造多個大型天文儀器。在國內希望推動雙子光學望遠鏡（Twin optical telescope），和觀測太陽的毫米波太陽天文台（millimeter wave solar observatory），能夠避開台灣氣候不佳的觀測障礙，不用離開台灣就能操作、監控儀器，使得觀測和教學更方便。而參加國外的觀測儀器建設計畫，例如與BIMA團隊在加州建立毫米波望遠鏡陣列，夏威夷毛納基山建造次毫米波望遠鏡陣列（Submillimeter-wave Array, SMA）、同樣預計在加州建設的遠紅外線望遠鏡陣列等。

李太楓和袁旂等人都相信，如此一來可以提供台灣參與國際天文計畫，以及站在天文與天文物理領域發展前端的機會。

扣除1991至1992年這兩年的籌備期，計畫啟動的這八年預計花費4,130萬美金，超過10億元台幣。這金額聽起來龐大，但早已參與在史密松天文台的SMA次毫米波陣列計畫的天文學家賀曾樸分析：「這10億台幣將是一筆很划算的投資。」他胸有成竹地說，很少科學領域能僅僅投資10億就躋身全球前端。

在當時的天文與天文物理領域，確實有這個機會，能讓剛起步的台灣天文參與頂尖的計畫。

#### 電波天文學

自第二次世界大戰結束後，天文學家不再只是用大型的光學天文望遠鏡追逐著來自宇宙的可見光，他們發現多數的天體也會發出肉眼偵測不到的電磁波，特別是其中的無線電波段，成為天文研究的新熱點。自此各國開始爭相建造電波望遠鏡。它的外觀大致上像一個盤子，而這其實就像是天文學家的「大耳朵」，用來接收著來自宇宙的訊號。

天文學家會將電波望遠鏡對準所要觀測的天體，這個方向傳遞而來的無線電訊號會經過

金屬碟面的反射，集中到望遠鏡的接收器上。而接收到的訊號會經過放大、分析，進而顯現出一張訊號強弱分布的影像。

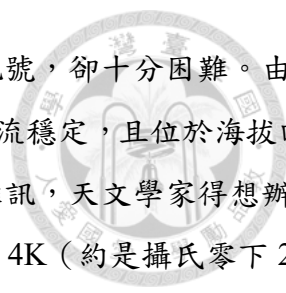
然而無線電波因為波長比可見光長許多，要得到解析度更好的影像，天文學家只能想盡辦法建造口徑更大的電波望遠鏡。不過，要用人造結構支撐大口徑的電波望遠鏡有它的極限，因此天文學家依靠天然的環境，利用類似山谷的地形來支撐直徑上百公尺的望遠鏡，例如 1963 年完工的阿雷西博無線電波望遠鏡（Arecibo radio telescope），就建於波多黎各的阿雷西沃山谷。即使如此，電波望遠鏡的解析度仍舊走到了一個極限。

天文學家都想找出解方，靈光一現的想法是：「建造一個巨大無線電波望遠鏡，必須面對建造技術的困境；那麼有沒有可能，讓數個小型無線電波望遠鏡『合體』，組成一個虛擬的大型電波望遠鏡？」1940 年代英國劍橋大學電波天文學馬丁·賴爾（Martin Ryle），就運用了這個「干涉效應」的原理，突破了電波望遠鏡的困境。

舉例來說，兩個相距 1 公里的小型電波望遠鏡天線，同時對準一個觀測目標時，其實也可以視為一個直徑 1 公里、大部分反射碟面被遮住的大型電波望遠鏡。雖然聚集光線的能力變差了，但只要透過適當的影像處理，就能看到理論上 1 公里直徑電波望遠鏡的影像解析度。自此之後，天文學家開始建造不同的電波望遠鏡陣列（又稱為干涉儀），透過不同數量、角度、距離的天線組合，得到解析度更高的電波訊號影像。

到了 1980 年代，電波望遠鏡陣列已經有了顯著的成績。美國國家電波天文台（NRAO）在新墨西哥州海拔 2,124 公尺上，建造了 27 台 25 公尺口徑的天線，以 Y 字形的方式排列而成一個大型的無線電波陣列。也不知道該說 NRAO 是偷懶，還是開了個小玩笑，這個陣列最後被命名為「超大天線陣列」（Very Large Array，簡稱為 VLA），但這個陣列中天線與天線間最長的距離（也稱為基線長度）達 36 公里，也是當時非常大的陣列。而澳洲也在 1983 年完成澳洲望遠鏡緻密陣列（Australia Telescope Compact Array，簡稱 ATCA）的建造，這 6 台 22 公尺口徑的天線位於澳洲東南部的南威爾斯。

1990 年代開始，電波天文學家有了新的挑戰。電波天文學主要關注在波長比可見光、遠紅外光都長的無線電波波段上，這個波段不會受到地球大氣層的阻擋，容易在地面上觀測，讓天文學家能傾聽宇宙誕生的秘密。但電波天文學發展 50 年來，有個波長區段天文學家的儀器仍難以接收，那就是無線電波中波長最短的波段，非常靠近遠紅外光的次毫米波。



次毫米波的波長雖然僅略小於 1 毫米，但要接收到這個波段的訊號，卻十分困難。由於次毫米波容易受到大氣層水氣吸收，天文學家得將天線架在乾燥、氣流穩定，且位於海拔四、五千公尺的高地上。在技術上，次毫米波訊號微弱，為了降低背景雜訊，天文學家得想辦法降低望遠鏡本身的所發出的熱輻射訊號，因而發展出將望遠鏡致冷到 4K（約是攝氏零下 269 度）的技術；另一方面，則是透過增進製作天線拋物面鏡的技術，讓訊號更為聚焦。這些技術在 20 世紀末終於有了進展，也讓天文學界急切地啟動望遠鏡建設計畫。

賀曾樸認為，當時天文學各個子領域百花齊放，次毫米波是其中一個新興的領域，只要找到適合台灣參與的計畫，就能讓台灣用很少的投資金額，獲得很大的進展。台灣若能參與一個既有計畫，不但可以降低自己從頭摸索的風險；也能透過團隊學習技術、磨練專業人員，將難能可貴的經驗帶回台灣。除此之外，在有潛力的計畫啟動初時投資，等於保障台灣未來在這個望遠鏡上的使用資格。整體來說，比單純在別人蓋好望遠鏡後，捧著錢去買使用時數來得划算不少。

只是，當時的國科會、中研院對於天文規劃委員會，要將這麼多錢搬去投資建設在台灣之外的望遠鏡，一時間很難認同，進度因此耽擱。直到 1992 年 5 月初國科會主任委員夏漢民才向天文規劃委員會表明，國科會願意補助在台灣建設望遠鏡的計畫，讓台灣天文學者到國外天文台、研究機構參訪學習，和邀請、資助訪問學者來台。

不過，針對計畫書提到的其他部分，例如出資參與國際團隊建造大型天文望遠鏡，國科會則持保留的態度，認為「國科會對整體計畫執行優先順序、進程有決定權」，且「任何進一步的計畫均須由國科會審議」。

在國科會承諾願意補助的三個面向下，天文規劃委員會重新修改了從 1993 年開始的三年準備期，所要執行的人才培育、邀請訪問學者來台的計畫。他們重新提交一份修改版的計畫書送交國科會、中研院。卻始終沒有明確、進一步的消息，讓他們心中相當忐忑。

## 中研院、國科會兩面受挫

8 月 13 日，李太楓和袁旂兩人在中研院院長辦公室外等了許久，早已過了他們原先與院長吳大猷敲定的會面時間，仍未見上吳大猷一面。

一個多小時後，李太楓和袁旂才見到吳大猷。吳大猷很直接了當地跟兩人承認，他還沒有時間認真閱讀修改後的計畫書。雖然很希望有能力支持他們，但現階段中研院無法幫上忙。他仍建議天文規劃委員會去尋求國科會幫助，申請國家經費支持。

只是，天文規劃委員會在國科會也面臨重重困難。當時的國科會自然司司長楊維邦代替主委夏漢民，與李太楓和袁旂會談。李太楓回憶表示，楊維邦雖然肯定他們 10 年計畫的目標，但推動這些計畫的經費，可能只有兩種選擇：一個是申請目前的獎補助計畫，但這勢必得與其他物理計畫競爭，不足以支撐整個計畫；而另一方面則是讓國科會同意新的補助計畫，而這還有很長一條路得走。

「是時候該放棄了，各位！」李太楓在信件中這個對其他夥伴說，字句中盈滿了無奈。李太楓身為當初登高一呼要在台灣發展天文學的頭一人，想方設法找來徐遐生等華裔天文學家，共同集思廣益產出十年規畫。此時遇上這樣的挫折，就連李太楓本人也萌生退意。

同一個時間，中央大學天文研究所成立了，由在美國德州大學奧斯丁分校取得博士學位的闕志鴻擔任首任所長，成為台灣第一個以天文為專業的研究單位。中央天文所能不能代替還未成形的中研院天文所，發展電波天文學？已經投注許多心力在 10 年計畫的天文規劃委員會，這時也開始猶豫：既然國科會和中研院都不願意接受這個計畫，他們是否也該收手撤離？

「我們或許可以退而求其次幫中央大學、清華大學，或是中研院物理所找幾名厲害的天文學者回來。要台灣政府接受這樣一個大型的整體計畫，真的太難了！」李太楓說。

### 三個名字

徐遐生在收到來自台灣的消息後，心情有些低落，他氣國科會和中研院的態度，同時也有些失落，他所領導的天文規劃委員會這兩年的努力，可能從此化為流水。

天文規劃委員會的主要成員，其實早在委員會成立之前，就已經和吳大猷見了面。徐遐生回憶道，1990 年他來到台灣就曾和李太楓一起拜訪過吳大猷，向他建議台灣應該積極發展電波天文學。天文學是物理學其中一個分支，在台灣還沒有天文相關系所之時，依附在現有的物理系所是其中一個選擇。

只是，要參與這些國際級的電波天文學研究計畫、建設望遠鏡，都需要龐大的經費，物



理系所不太可能同意讓這些計畫搶走他們原有的經費。當時台大、中央、清華等校都有物理系，但選擇任何一校都不合適，而中研院依然是他們心中最合適的選項。而在中研院中成立研究所，也能讓團隊有機會申請經費，完成他們的目標。

1928年，國民政府在中國成立中研院，其下設立天文研究所，一時之間中研院天文所成為當時中國現代天文學發展的搖籃。只是，接連遭遇中日戰爭、國共內戰，使得中研院天文所無法再待在南京紫金山天文台。國民政府決定撤退來台，天文所不僅儀器搬不來，研究人員也四散各地，在台灣復所遙遙無期。而這次，難道是中研院天文所死灰復燃的機會嗎？

然而，吳大猷認為讓天文所復所是開了一個不好的先例，會讓其他研究所如此效法，對中研院並非好事。吳大猷建議，最好的方法就是重新成立一個新的研究所。

「你們得給我三個名字，」吳大猷這麼跟徐遐生和李太楓說。他希望天文規劃委員會能找到三名天文學家，願意來到台灣成為新研究所的所長，全心投入研究所的成立規劃，以及帶領剛成立的研究所穩定營運。而不是在研究所成立之後，規劃委員會的成員就各自回到原先的崗位，讓新研究所瞬間失去領導人。

徐遐生說，最先定案的兩個名字就是李太楓和袁旂。李太楓在台灣出生成長，袁旂則出生於南京於戰後隨家人來台定居，兩人長期生活在台灣，對於台灣有深厚的情感，也相當願意協助天文所籌備。可是對於目標要發展電波天文學的中研院天文所來說，兩人雖然都是天文學家，卻都不是電波天文學家。李太楓擅長核子天文物理學，而袁旂為理論天文物理學家。

他們很快想到任教於伊利諾大學天文系的魯國鏞，成為他們屬意的第三個人選。魯國鏞在電波天文學上的經歷，對於中研院天文所是一大助益。李太楓、袁旂、魯國鏞，三個名字總算湊齊。徐遐生等人在隔年1991年將名單交給吳大猷，並在吳大猷的支持下，促使國科會補助經費成立天文規劃委員會，並啟動10年計畫的籌備。

雖然天文規劃委員會，確實在吳大猷的幫助下順利組成，然而在10年規劃的籌備與推行過程，卻無法在國科會和中研院兩邊得到協助。對於天文規劃委員會而言，無疑是在熱血沸騰的這群人身上，潑了一桶冷水，讓他們無法接受。



## 爭取成立天文與天文物理研究所

時任中央大學校長的劉兆漢，是這一次國科會負責審議天文與天文物理發展規畫的召集人，而他的弟弟劉兆玄則是清華大學的校長。兩兄弟雙雙出手，拉了這群有些失落的天文規劃委員會核心成員一把。

劉兆漢協助分析現狀，他認為委員會提出的修改版計畫書，龐大預算問題仍是讓國科會卻步的重要原因。他釋出善意表示願意協助委員會和國科會主委夏漢民溝通，看能否盡可能為他們爭取到預算。

劉兆玄則建議他們，雖然目前的狀況很不好，但還不是放棄的時候。「這是你們應該爭取在中研院創立天文與天文物理研究所的時刻！」他強調，兩年前李太楓、徐遐生等人提出創所的要求時，時機尚未成熟，現在天文規劃委員會提出令人印象深刻的計畫，又凝聚了國內外一批專業的人才，是時候向中研院評議會提出正式的申請，可以再拼搏一次！

幾乎在同一個時間，袁旂也當面得到吳大猷的首肯，支持他們提出中研院天文與天文物理研究所的創所計畫書。若研究所成立，經費直接由中研院預算支出，也更有可能達成委員會的目標。

一時之間，委員會燃起了新的希望。在賀曾樸寫給袁旂與其他核心成員的信件中，他形容這兩個禮拜猶如從一場悲劇，走向一個嶄新的冒險旅程，這一趟旅程的目的，是在台灣建立一個屬於整個團隊的「家」。

對於袁旂來說，撰寫創所計畫書的過程格外艱辛。8月19日他與吳大猷的會面讓委員會成員啟動撰寫天文與天文研究所創所計畫，企圖趕在11月21日的評議會上提案。這短短的三個月不到的日子，完成計畫已經有些困難，袁旂的父親袁守謙卻在這個時候生病，狀況極不樂觀。袁旂得改變自己原先預定好行程，提前回到台灣，就近照顧父親。

9月中過後袁旂回到台灣，他一面照顧病重的父親，一面會與國科會、中研院和大專院校的相關人士碰面。原在台灣的李太楓，此時正好前往美國加州大學柏克萊分校天文系擔任客座教授，袁旂理所當然成為天文規劃委員會在台灣的重要聯繫人，於提案創立天文所的重要時刻扮演關鍵的溝通角色。「這段時間對袁旂來說是痛苦的，但也因為袁旂的回來，讓天文領域因此獲益。」李太楓曾這麼說。



為了要順利在 11 月的評議會上報告創所計畫，委員會成員得在 10 月中完成未來三年的規劃。他們在徐遐生的領導下，每個人各自根據自己擅長的領域為天文所規劃工作坊、暑期課程，在信件中來回討論、修改。預計最後在 10 月中旬，核心成員將各自的規劃統整成完整的計畫書，由李太楓翻譯成中文，完成後交給中研院。

正當委員會抓緊每一分每一秒準備創所計畫之時，兩個壞消息前後從台灣傳來。袁旂在台灣打探到的情報顯示，即使團隊準時將創所計畫送進中研院評議會，仍會面對種種困難。一來，有一部分的物理學者並不贊同立即為天文與天文物理領域設立一個研究所，他們認為這屬於物理學門下的一個分支，先在物理所下設立一個小組即可；二來，這個計畫除了院長吳大猷知悉外，評議會的其他成員，如既有各所的所長們，對這個計畫都還不知情，一時之間要他們同意一個新所成立，有其困難。這些「任督二脈」若沒有辦法打通，能否成功創所又多了許多變數。

然而，袁旂已無力再協助處理這件事，因為第二個消息就是袁旂高齡的父親袁守謙，在 10 月 5 日離開了人世。集中全部精神在打理父親後事的他，暫時無法分神處理天文籌備委員會，團隊就這麼在關鍵的時刻，少了關鍵的推手。

要繼續走，還是停在這裡？這群海外天文學家在「長期抗戰」下，也開始懷疑自己是否能打贏這場仗。又或者，他們得設立停損點。最後如果計畫順利通過，那麼他們將依約來到台灣，在中研院天文所中扛起他們承諾的任務；然而，如果計畫無法繼續進行下去，他們也將答應其他的國際合作計畫，規劃接下來的去向。

這時候，各種不確定因素，也讓委員會成員十分焦慮。

李太楓說：「如果中研院再不決定是否要成所，我們這群人就要解散了。」他在 10 月 23 日回到台灣，距離評議會剩不到一個月。身為最早呼籲台灣應發展天文與天文物理領域、團隊裡少數土生土長的台灣人，他清楚知道這一次不成功，之後恐怕再難聚集這群華裔天文學家來幫忙台灣。一回台灣他迅速整理、翻譯計畫文件，也同時緊鑼密鼓與中研院各所的所長見面，解釋他們的創所計畫。時任清華大學校長和中央大學校長的劉兆玄和劉兆漢兩兄弟，也先後出面協助天文團隊，說服化學與物理相關的研究所；而生物方面，劉兆漢則委託他在美國伊利諾大學的前同事、當時任職於中研院分子生物研究所的王惠鈞，請他協助與生物相關研究所溝通，希望能多爭取一些支持。

身為代表的徐遐生，同時不斷地透過信件向吳大猷表明，這一次評議會一定要給我們一個明確的答案——台灣究竟要不要發展天文與天文物理領域？在評議會前，賀曾樸對要代表天文規劃委員會出席會議的徐遐生和李太楓說，如果到時候我們的計畫被否決了，你們就不要再管台灣，回美國吧！

評議會結束後，天文規劃委員會的核心成員收到一封來自徐遐生的「前線戰報」：「我們和敵人會戰，我們戰勝了！」（We have met the enemy and they are ours.）

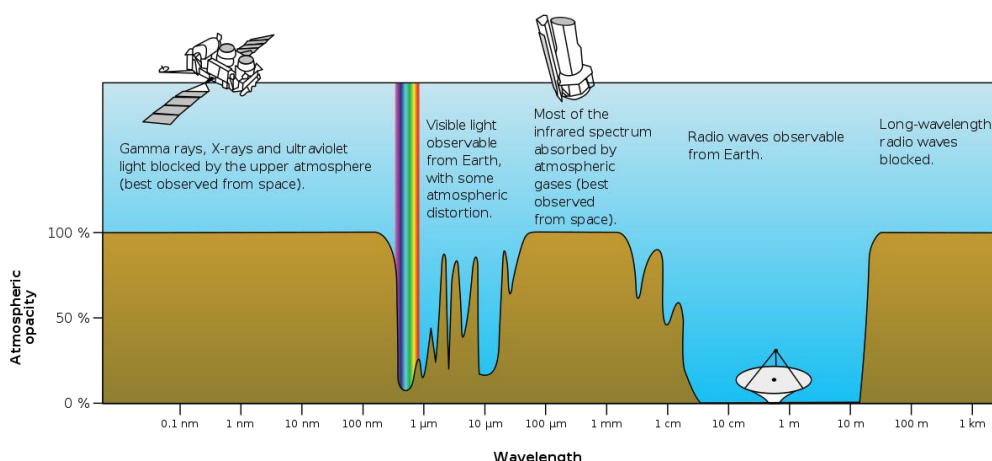
中研院天文與天文物理研究所籌備處，就此成立。



## 第四章 走出迷霧—製作望遠鏡獲世界肯定

最初，人類的老祖先透過雙眼捕捉星空中的點點星辰，借用它們的光於黑夜裡指引方向。逐漸地，17世紀時人類學會製作光學望遠鏡，透過工具捕捉光，將天上的星體帶到我們的眼前。只是我們很晚很晚才發現，宇宙中並不是所有物體都能透過光顯現；它們的光太微弱，像是玩捉迷藏時那最會躲的小不點，需要一點方法來找出它們的蹤跡。

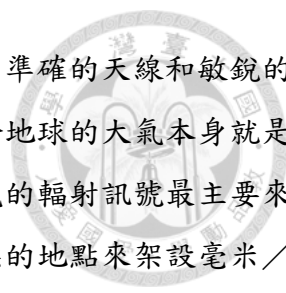
後來，天文學家才發現宇宙傳來的訊號，不單只是光線，還有其他波長的電磁波訊號。在地球表面的我們，擁有大氣層的庇護，讓我們可以免於受到一些電磁波的危害，如 $\gamma$ 射線、X射線、紫外線等。但我們又可以接收到電磁波中的可見光波、部分的紅外線以及無線電波，就像在一面牆中特別開了三扇窗口，讓這些波段的電磁波可以不被牆擋住，順利抵達地球表面。



地球在大氣層的遮蔽下，阻擋了許多電磁波的訊息，但其中仍開了三個「大氣窗」，分別讓可見光、部分遠紅外光和無線電波訊號穿透。（圖／公有領域）

20世紀初，來自外太空的無線電波訊號成為了天文學家新的關注焦點之一，它讓我們「看見」更多以往不知道的宇宙。並不是所有天體都能發光，但是只要是溫度大於絕對零度（相當於攝氏零下 273.15 度）的物體都有熱輻射，而熱輻射會向外發出許多不同波長的電磁波，透過電磁波訊號就可以多偵測到一些光學望遠鏡看不見的天體。這也使得接下來幾年，陸續有許多無線電波望遠鏡誕生，高舉天線試圖接收更多來自宇宙的訊號。

除了這些敞開的大氣窗，卻還有許多電磁波波段因容易受到大氣層的干擾，要在地面上接收這些訊號，或像是隔了層窗簾、或像中間橫擋著一扇緊閉的門，增加了幾分難度。其中波長介在遠紅外線和無線電波之間的毫米波、次毫米波，雖然還是可以在地表偵測到，然而



偵測條件卻格外嚴格。若只說接收毫米、次毫米波需要良好的天候、準確的天線和敏銳的接收器，或許與一般無線電波沒什麼太大的差異，然而最大的困難在於地球的大氣本身就是毫米和次毫米波的發射源，訊號強度遠遠強過預計觀測的訊號源。大氣的輻射訊號最主要來自於水氣，為了盡可能避免水氣影響，天文學家紛紛尋找高海拔、乾燥的地點來架設毫米／次毫米波望遠鏡，卻仍舊有許多問題等待解決。

毫米波是天文學家們較早征服的波段，這個波段幸運的是還有部分的波可在地表接收到。反倒是波長稍微比毫米波小一點，落在 0.3~1 毫米的次毫米波訊號，卻一定得到海拔 4000 公尺以上的高山，且天氣要乾燥、穩定才有機會，全球符合這樣條件的地區少之又少。除此之外，要接收這個波段的訊號，也需要相當的技術突破才有可能達成，因此次毫米波也成為電波天文學中待開發的處女地。

## 史密松天文台的次毫米波望遠鏡計畫

1984 年美國史密松天文台（Smithsonian Astrophysical Observatory，簡稱 SAO）提出了一個新計畫，希望建造一個包含六個天線的次毫米波望遠鏡陣列（Submillimeter Array，簡稱 SMA）。整個計畫並沒有馬上執行，而是先在 1987 年建立了專門研究次毫米波接收器的實驗室，1989 年才獲得經費補助開始研究與設計整個陣列。當時任職哈佛大學天文系副教授的賀曾樸，也因此成為 SMA 計畫科學家。賀曾樸說，他的任務就是確保 SMA 能蓋得起來，為此他忙著跟製作望遠鏡的公司談採購、簽合約，以及討論相關製作細節。

整個計畫在兩年後 1991 年動工。雖然不是第一個次毫米波望遠鏡，卻是第一個次毫米波望遠鏡陣列，陣列中每個望遠鏡單獨功能或許不會超越既有的單天線次毫米波望遠鏡；但整個陣列共同作用時，就約略相當於和陣列直徑一樣大的次毫米波望遠鏡，解析度遠遠超過單天線次毫米波望遠鏡。

遠在太平洋的另一端，台灣中研院天文所籌備團隊正在找合適參與的國際計畫，SMA 成為其中一個重要的選項。「選擇的關鍵在於人，你想吸引什麼樣的人才回台灣，就要選擇他有興趣的項目參與。」賀曾樸又說，當時團隊一致希望可以讓在伊利諾大學任教的魯國鏞，到台灣來幫助中研院天文所發展電波天文學。

魯國鏞是電波天文學界數一數二的研究人員，他曾參與加州理工學院歐文斯谷毫米波陣

列的建造，也曾在伊利諾大學成立毫米／次毫米波接收器實驗室，成功打造加州大學柏克萊分校、伊利諾大學香檳分校和馬里蘭大學合作的 BIMA 無線電波陣列。加上魯國鏞長期在電波天文學領域經營的人脈，若能請魯國鏞來台灣協助建造 SMA，對於台灣發展電波天文學肯定是一大助益。

SMA 的六座天線陣列突破了單天線的限制，自然會是魯國鏞關注且非常希望參與的計畫。而魯國鏞也確實因此而心動，但他選擇先觀望台灣是否能順利參與這個計畫，再做最後決定。

台灣中研院天文所提出「再幫 SMA 增加兩座天線」為合作條件，順利獲得史密松天文台首肯。同時身為兩方成員的賀曾樸，略有些尷尬地說，自己早已在 SMA 團隊中，讓台灣加入 SMA 計畫確實有些利益衝突，但他認為台灣能加入這個團隊對双方的好處都很大。

對史密松天文台來說，SMA 是一個干涉陣列，陣列中的天線數越多就越有利。陣列在觀測時，在意的不是一座天線本身，而是天線與另一座天線產生的干涉，當天線數越多，天線與天線之間的配對數（基線數）跟著增加，更有助於觀測。以 SMA 從 6 座天線增加到 8 座為例，基線數也從 15 對增加到 28 對，成像速度提高將近 90%。

而對台灣來說，一來這是全球第一座次毫米波陣列，就等於是直接躍進電波天文研究的前沿；二來參與 SMA 計畫也等於有史密松天文台的協助，不用自己從頭開始嘗試，減少了一點困難度，也有一個學習和依靠的夥伴，何樂不為？

## 遠見、領導者與錢

不過，沒想到的是，台灣這邊的經費卻出了問題。1993 年 6 月，中研院天文所籌備處正式成立，申請參與 SMA 計畫建造兩座天線的 8000 萬元經費，也隨著中研院的預算送出審核，結果竟是整筆預算遭到刪除，等同於不同意天文所參與這個計畫。

這件事讓天文所籌備處團隊焦慮不已，同樣的消息傳到了即將回台接任中研院院長的李遠哲耳裡。

李遠哲與天文所籌備團隊的緣分，可說是從中研院評議會開始。1992 年 11 月 21 日評議會討論的議題，同時決議通過天文與天文物理研究所的申請，以及表決出下一任中研院院長



一職，由李遠哲擔任。自此之後李遠哲與天文所籌備團隊開始有了交集，李遠哲也成為天文所成立過程中，重要的支持力量。不過，雙方真正碰上面，其實是在隔年的美國，那時天文所的成所案還在等總統核准，李遠哲也還未正式上任。

天文所團隊以徐遐生為首，走進李遠哲在加州大學柏克萊分校的辦公室中。即使兩人同在柏克萊校園任職，卻因為研究領域不同未曾真正認識。徐遐生、魯國鏞、賀曾樸等人和李遠哲坐在一起，侃侃而談接下來天文所的計畫，包括加入史密松天文台團隊共同建造 SMA 陣列。李遠哲聽著團隊對於成所後的規劃，對他們的理想與願景表示肯定，也表示願意在接任院長後支持他們。

「我回台灣的第一件事，」前中研院院長李遠哲回憶道，「就是幫天文所爭取 SMA 的經費。」李遠哲以自己在學術領域這些年所聞所見，他認為一個良好的學術機構需要具備三個條件：具前瞻性的遠見、優秀的領導者，以及足夠的經費。而他在天文所團隊身上，看到了前兩項。即將身為院長的他告訴自己，要盡量幫助他們獲得經費去完成他們的計畫，讓台灣的天文有躍上國際舞台的機會。

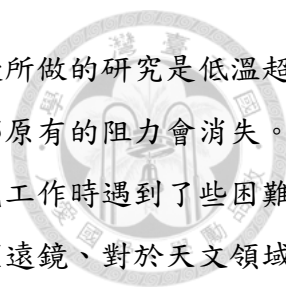
由於中研院院長李遠哲出面協調，參與 SMA 計畫的經費終於順利通過。中研院於是在 1996 年 6 月與史密松天文台簽署合作協議書，共同建造具備 8 座天線的次毫米波陣列。

此時，魯國鏞仍因美國教職的問題，無法如期來到台灣接任籌備處主任，延遲了將近一年，1997 年 5 月他來到了台灣。「如果不是確定真的要做 SMA，我也不會來到這裡。」這是魯國鏞 2000 年在接受 *Science* 期刊訪問時所說的，台灣對他而言，沒有任何連結；但為了科學，他說服妻子與他一起來台灣。

至此，李遠哲所說的「遠見」、「領導人」和「經費」三項條件逐漸到位。然而對中研院天文所來說，挑戰才正要開始而已。

## SMA 的「心臟」

1995 年，剛在國外完成博士後研究回台灣的陳明堂，透過報章雜誌、求職網站開始找工作，一則求職資訊吸引了他的注意。剛成立的中研院天文所籌備處正在招募，他們想要找有能力製作電波望遠鏡的研究人員，特別是製作接收電波訊號相當重要、但有相當難度的接收機系統。



陳明堂在美國伊利諾大學攻讀物理學博士學位時，跟著指導教授所做的研究是低溫超流體，這種液態物質在遇到極低溫時，會發生很神奇的變化，液體內部原有的阻力會消失。只是超流體的研究屬於相當基礎的研究，應用範圍不廣，讓陳明堂在找工作時遇到了些困難。而中研院天文所這份工作，則給了他另外一個選擇。他從未製作過望遠鏡、對於天文領域也只有很粗淺的了解，頂多只能說其中有些技術曾接觸過。「你們敢請，我就敢來。」陳明堂不畏懼眼前挑戰的態度，順利拿到這份工作。

這個工作的第一年他大都在美國度過，他是當時被派往史密松天文台學習的技術人員之一。在中研院天文所開始要動工時，史密松天文台計畫已進行到第五年，已有若干天線的半成品。陳明堂的任務就是努力去學，「把他們那些對的和錯的設計和技術都複製回來」。在這樣前端的科學儀器製作過程，常常是邊做邊試，發現錯誤趕緊修改，因為從來沒有人做過，也就沒有一個完整、正確的設計圖。

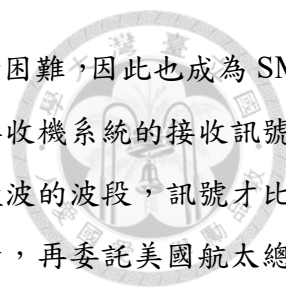
陳明堂笑著說：「即使是史密松天文台也是邊做邊學、邊學邊做。」兩邊誰也沒有比誰厲害，都是在面對問題和解決問題。對團隊來說，陳明堂的角色有如種子教官，他將史密松天文台研究製作 SMA 次毫米波陣列的專業技術帶回台灣，再教授給其他參與計畫的同事，讓大家可以開始分頭執行。

專門接收無線電波訊號的天線，大多會有一個盤狀的拋物面結構，也就是它的主反射鏡，無線電波打到金屬製的鏡面上會反射，並聚集到架在主反射鏡焦點的次反射鏡，再被引進接收機室。接收機室位於整個天線的基座中，進入接收機室的無線電波訊號，會經過特殊的處理，導入超導體偵測器中並記錄下來。

這個部分可說是天線的「心臟」，是最核心的結構，同時也因為技術不斷演進，而需要再建設 SMA 的過程不斷調整，為了這個極具挑戰性的任務，中研院天文所特別成立了專門的實驗室，負責研發和製作。

陳明堂負責的是整個接收機系統的製作，他形容這整個系統就像是個「真空的冷凍機」。由於最後接收訊號的超導體偵測器需要在低溫下才能運作，因此這個接收機系統得維持在絕對溫度 4 度（4K）的環境，相當於攝氏零下 269 度，保護系統內的各個重要器材，使訊號的接收順利。

SMA 的特點在於它所接收的訊號可以達到次毫米波段，也就是波長略小於毫米的電磁



波。然而波長越小、頻率越高，要製作能處理高頻訊號的電子設備相對困難，因此也成為 SMA 研發中需要突破的技術門檻。為了使接收到的訊息可以處理，進入接收機系統的接收訊號，會與另一個本機訊號合併，進入混頻器，讓接收訊號的頻率降頻到微波的波段，訊號才比較容易處理。而這個混頻器是由史密松天文台接收機實驗室所研發設計，再委託美國航太總署（NASA）的噴射推進實驗室（Jet Propulsion Lab, JPL）製作，運用超導體-絕緣體-超導體的結構（SIS junction），製作出雜訊小、品質好的混頻器。

中研院天文所加入 SMA 計畫團隊後，做了一個大膽、有挑戰性的決定——自己製作 SIS 混頻器。就連多年研發的史密松天文台，也沒有辦法自己產製 SIS 混頻器。不料，剛成立不久的中研院天文所團隊，竟然決定自己研發製程，決心要學會這樣的技術，不依賴其他團隊。

中研院天文所研究員王明杰，就是當年超導元件實驗室的成員之一，不過整個團隊最主要的研究人力，其實也只有王明杰與另一名研究助理兩人。不僅人力稀少，當時有的設備也相當有限，唯一的一套設備，是合作的清華大學物理系教授齊正中從美國 IBM 帶回來的鍍膜系統。

除此之外，研發歷程備的困難，在於國內沒有其他了解這個技術的團隊，中研院天文所的團隊只能到處求助國外的技術專家，將他們的經驗拿到台灣來測試幸好最後終於突破技術困境，紮紮實實建立了一套自己的製程，台產的超導混頻器與史密松天文台的混頻器相較，效果相當。

在 SMA 計畫完成後，超導元件實驗室並沒有就此功成身退。他們持續改善超導元件的性能，也挑戰製作更高頻段的混頻元件。國際團隊也因此看見台灣的製作技術，都有意願與台灣進行天文合作。2005 年中研院天文所與日本國立自然科學研究機構（NINS）達成協議，共同參加更大型的次毫米波陣列「阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列」（Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array, 簡稱 ALMA）的建設工程。在 ALMA-Japan（後改為 ALMA-EA，EA 為 East Asia 的簡寫）的團隊中，中研院天文所與日本團隊共同研發第十頻段（850 GHz）的混頻元件。

## 與軍方合作

除了接收機由天文所負責開發外，天線外在的大型結構則交由中山科學院航空研究所主

製。中科院是軍方單位，主要以研發軍事儀器為主，要說服他們幫忙製作高規格、高精密度的科學儀器，也花了天文所團隊許多精力去斡旋。

賀曾樸回憶當時天文所團隊去見中科院的高層主管，商談合作事宜。他印象深刻的是，對方半開玩笑地跟他們說：「我們很高興可以做一些不涉及『殺人』的儀器。」等於表達參與製作的意願。但由於這是兩院初次合作，便由當時中研院院長李遠哲親自到中科院洽談。

後來，在天文所居中協調、安排之下，李遠哲拜訪中科院，兩院的合作自此開始。

1995年11月17日，中研院院長李遠哲與中科院航空發展中心主任林文禮，於台中水湳完成雙方合作的簽約儀式，正式對外宣告中研院將SMA的天線系統委託給中科院航空研究所建造。然而，在這個儀式的隔天卻發生了一個小插曲。現場記者採訪的新聞刊登在隔天的報紙上，其中一家媒體卻意外將美國史密松天文台提供的天線原型機照片，當作是中科院航空研究所完成的天線，還以頭版版位大肆宣傳。

李太楓憶起這段往事，他認為提供照片給媒體的中科院有部分的責任，而這個失誤也讓雙方的合作在一開始就有些小摩擦。幸好，兩院合作還一直延續到後來幾個大型計畫，包括AMiBA宇宙背景輻射陣列、ALMA阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列等，賀曾樸形容中科院航空研究所自此成為他們的「王牌」，是天文所相當依賴的長期夥伴。

為了可以在建設過程中與航空研究所更密切保持聯繫，以及更確實地掌握工程的進度，李太楓每週都會找一兩天從台北南下台中，親自到航空研究所的工作現場去了解狀況，也方便當面解決各種疑難雜症。當時的國內線班機從台北松山機場出發後直接就到台中水湳機場，而航空研究所也就在機場旁邊，一下飛機就到了，算是相當方便。不過每週這樣來回奔波也相當耗時耗力，但李太楓堅持他一定要現場監工，確保航空研究所能順利完成這兩座天線。

李太楓會這麼謹慎也不是沒有原因，電波望遠鏡的天線系統相當精密，每一個細節都很要求，差一點點都不行。毫米的差距都可能影響觀測結果，甚至差之千里，必須非常謹慎。

以天線的主反射鏡為例，鏡面是用鋁打造而成，製作過程得先將鋁塊製作成72片鋁鑄板，每一片的大小、厚度都得相當精準，再將這些板子一片一片組裝成鏡面。整個鏡面直徑6公尺，要長久、穩定支撐這麼大的鏡面，除了要堅固之外，使用的材質不能容易變形，若是使用容易熱漲冷縮的材質，整個鏡面的形狀就可能受到影響，改變觀測的精密度。



此外，使用的材質也不能太重，天線並不是固定不動，而是要隨著觀測目標而轉動，若太重會造成整體架構的負擔，也不是長久使用之計。當時團隊選擇使用新興材料碳纖維管，作為製作主反射鏡後方支架。碳纖維材料輕，在同體積的狀況下，重量只有鐵的四分之一，也比鋁還輕；但它的強度卻可以是鋼的四倍。

中科院當時的合作廠商耐特科技材料公司，專注於生產各種功能性的工程塑膠材料，其中一項研發成品為可回收熱塑性碳纖維自行車架，對於碳纖維的製作與應用十分熟捻。耐特公司也曾在 1992 年，獲美國麥道公司和行政院航太小組評鑑為符合航太材料製作的合格廠商，因而成為製作 SMA 碳纖維複合材料支架的絕佳選擇。

每一座 SMA 天線的鏡面背後，總共是由 648 根碳纖維管支撐，碳纖維管製成一個大型的網狀支架，來撐起鏡面的重量以及維持它的形狀。當時史密松天文台在運第一架天線到夏威夷組裝時，就出了相當大的問題，好不容易組裝好的碳纖維支架，卻開始「一天掉一根」，讓團隊非常崩潰。後來才發現連接碳纖維管的膠有問題，沒有辦法承受當地的氣候變化會變質，是造成支架的構造不牢固的原因。

史密松天文台於是向天文所籌備處主任魯國鏞尋求協助，希望台灣可以幫忙解決這個難題。台灣製作 SMA 的碳纖維複合材料管規格，超過一般的商業產品規格，史密松天文台在確認使用耐特公司產品前，曾將這批台灣生產的碳纖維複合材料樣品送到美國測試，經過嚴格的實驗後，才正式向耐特公司下單。史密松天文台製作的六座天線的碳纖維管全數更換為台灣製，除了更換了品質更好的碳纖維管之外，也一併克服了困擾美國的連接膠問題，而這些碳纖維管直到現在仍堅強地支撐著 SMA 的主反射鏡，成為「Made in Taiwan」在異地發光發亮的例子。

除了製作材料需要精挑細選，連組裝也是一個浩大但精密的工程。碳纖維管組裝的精密程度誤差必須小於 1 毫米，而鏡面的誤差更得小於 11 微米，這麼精密的儀器在組裝的過程需要特殊的設備才有辦法完成，因此得借用到航空研究所製作的「超精密轉動桁架」來協助。這個轉動桁架本身就經過精密的製作過程以及雷射校正，在組裝的過程可以調校主反射鏡面的誤差，不過即便如此也只能校正到誤差值約 50 微米。要再將鏡面誤差校正到 SMA 的規定範圍內，就得靠著天線操作時，進行精密的微調。





## 運往夏威夷的毛納基山

2000 年 12 月第一座由中研院天文所完成的 SMA 天線，由基隆港出發準備運往夏威夷。SMA 的目的地是夏威夷群島中最大的島嶼，被稱為夏威夷島或大島，土地面積約一萬平方公里，將近台灣的三分之一。不過，大島上海拔高度達 4200 公尺的毛納基山（Mauna Kea），稱霸太平洋，是當地原住民心中的聖山，同時也是全球天文觀測重要的聖地。

山上看過去是一片光禿禿的寒漠，終年平均溫度在攝氏 10 度以下，夜晚更是低於攝氏零度，幾乎沒有任何植被。然而它的晴朗氣候條件、乾燥的環境，卻塑造了極佳的天文觀測條件。對於忌諱觀測時水氣影響的遠紅外線、電波望遠鏡而言，無疑是絕佳的觀測點。1970 年，夏威夷大學天文研究所在山頂建了第一座 2.2 公尺望遠鏡後，山上的天文望遠鏡快速增加，全球各地的天文學家都希望在這山上，搶到好的觀測位置，竊聽宇宙的秘密。

從台灣出發後一個禮拜，SMA 天線順利抵達大島的港口，卻卡在港口入不了關。

第一次運送這麼大型科學儀器出國的中研院天文所，完全沒想到會在遇到海關的時候，面臨被美國政府視為商業行為要抽取進口稅的情況。明明是科學研究所要使用的儀器，也無法在當地營利，當下卻怎麼解釋都無法讓 SMA 天線入關。團隊心急如焚，好不容易前面攻破了許多困難的關卡，在抵達目的地前，卻卡在港口的倉儲。

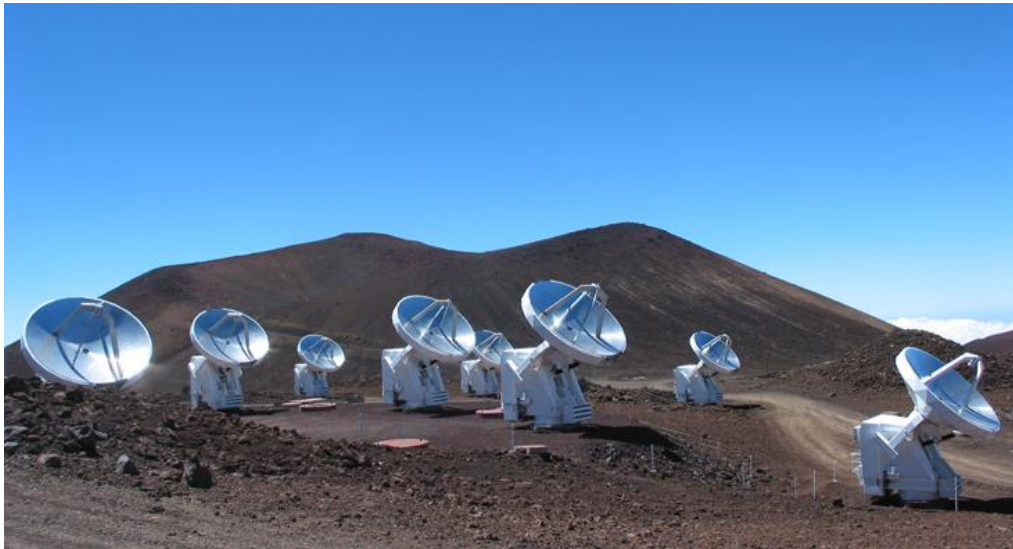
天線被卡在港口整整一個月，美國國務院商務部才正式核發科學儀器免稅的證明，讓團隊能夠拿回儀器。只是，想離開港口也沒這麼簡單，這「寄放」在倉儲的一個月，還是得乖乖繳租金。天文所多花了 100 萬台幣，才把 SMA 天線送上毛納基山山頂。

隨後在 2001 年台灣將第二座天線運到夏威夷，兩座天線在 2002 年完全組裝、測試完成。賀曾樸說：「雖然台灣較晚開始，但我們趕上了史密松天文台的進度，準時將兩座天線送達，這就是台灣的實力。」從 1996 年中研院天文所與史密松天文台簽約，到 2003 年 11 月 22 日八座天線到位並正式啟用，超過八年的努力讓台灣製作的兩座天線在毛納基山頂佔了一席之地。

代表台灣與史密松天文台簽約的李遠哲，也在啟用典禮這天親自到夏威夷參加儀式，與台灣參與 SMA 計畫的團隊，共同站在毛納基山上。在他們身旁，是那八座仰望向天的 SMA 天線。他們可以很驕傲地說，其中兩座是台灣團隊的心血，其他六座也加入了 Made in Taiwan

的一部分材料。

飄盪在風中的不只是中華民國國旗，而是團隊終於從無到有，一步一步走向世界舞台的信念，雖然艱辛卻展現堅強。



夏威夷毛納基峰上的 SMA 次毫米波陣列，八座天線全數到位。(圖／中研院天文所提供)

現在到夏威夷大島，最受遊客歡迎的行程之一，就是到毛納基山上的遊客中心觀星。無論由大島東部的城市希洛 (Hilo) 或是西部的科納 (Kona)，想上毛納基山，大多人都選擇開車沿著橫越島中央的東西向道路 Saddle Road，再轉向北側開上毛納基山。遊客中心在接近海拔 2,800 公尺的山腰上，從各地而來的旅客車輛紛紛在中午過後抵達，停車場入口已可見指揮交通的工作人員。

距離遊客中心不遠處，有一棟天文學家中心，提供給需要長時間在山頂工作的天文學家、工程師與操作員申請床位住宿。進入一樓大廳後，映入眼簾的是插在二樓走廊扶手外一整排的國旗，其中也包含了當時 SMA 啟用典禮的中華民國國旗，與其他 12 個國家和夏威夷州旗並列。

餐廳 24 小時提供熱咖啡、飲品以及冰淇淋，也會為天文學家們提供餐點，讓他們能在工作之後有個能暖身和填飽肚子的去處。除此之外，這也是給當天需要上山的工作人員稍作休息的地方。雖然要從山腳下開車抵達山頂，只需一個多小時，然而隨著海拔高度提升，大氣壓力也跟著下降，人體面對壓力變化，容易因為高山症而感到身體不適。因此，毛納基山天文台規定所有預計登頂的人，都需要在天文學家中心、或是遊客中心休息 30 分鐘以上，才能

前往山頂。




在夏威夷毛納基山的研究人員宿舍大廳，掛著參與天文台各望遠鏡團隊的國旗，中研院院長李遠哲（右二）與中研院天文所李太楓（右一）、魯國鏞（左二），在 SMA 啟用典禮時到中華民國國旗旁合影。（圖/中研院天文所提供）

往山頂的路不如前半段的山路平穩，而是一段沒有鋪設柏油、砂礫滿地的道路，一定得開四輪傳動的車才能上山。並不是夏威夷政府沒有錢可以鋪這一段柏油路，而是他們企圖增加一般民眾上山的難度，以保護山、也可避免山上的天文工作受到太多打擾。一般民眾想要上山頂，除了自備四輪傳動車外，就是參加每人 150 美元左右的觀星團，由專業導遊和司機載上山頂。

沿途的風景，隨著海拔高度上升、氣溫與水氣的遞減，而有著不同的變化。前面一段路還開在雲霧中，四周圍能見低矮、叢生的植物。再往高一點的山上走，雲霧漸漸散去，連在車內也感受到明顯的冷意，車窗外能看到的植被逐漸失去蹤跡，只看到一片的寒漠。

在一番顛簸後，陸續可以看到白色的建築物，分屬於不同的望遠鏡團隊。SMA 天線不像光學望遠鏡需要放在室內，白天蓋上圓頂遮罩，以躲避日曬雨淋。只見 SMA 天線直接矗立在室外，相當容易辨識。然而因為不同的觀測需求，八座天線會排列在不同位置，較難一眼看到八座天線。

## SMA 勁敵出現



2018 年，SMA 啟用至今已進入第 15 個年頭，觀測的數據也應用在許多不同的研究主題上，包括探討太陽系天體形成、恆星演化，星系內塵埃與雲氣分布，以及宇宙的大尺度結構等，能支援的研究主題非常多元。這些年來，台灣團隊領導或參與的 SMA 相關研究，每年在國際期刊上發表超過 30 篇專業論文。

然而，天文學家並不會滿足於現狀，SMA 雖好，卻還不夠；如果解析度能更高、更精準，就能為天文學領域解決更多未解之謎。如今 SMA 面對的是一個強大的勁敵、即阿塔卡瑪大型次毫米／毫米波陣列（Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array; ALMA）陣列。

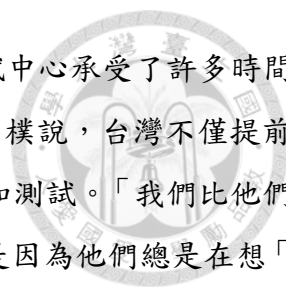
ALMA 陣列可以說是 SMA 的擴大版。SMA 只有 8 座天線，ALMA 則是高達 66 座天線，天線數多、範圍大，可說是地表上最大的望遠鏡建設計畫，成為近年電波天文領域的頂尖儀器。想要在電波天文學領域深耕的中研院天文所、或是想要在全球電波天文領域佔有一席之地的台灣，勢必不能錯過參與 ALMA 的建設計畫。ALMA 計畫龐大，參與的團隊也相當多，其中可以依地區畫分為三大合作夥伴，主要為北美、歐洲與東亞。

台灣最初是在 2005 年與日本國立自然科學研究機構（NINS）達成協議，以 ALMA 日本（ALMA-J）團隊的身分參與；而後又有韓國的加入，團隊改名為 ALMA 東亞（ALMA-EA）。另外，2008 年期間，台灣科技部國家科學委員會（現改組為科技部）與美國國家科學基金會（NSF）達成協議，使得台灣能夠參與北美 ALMA（ALMA-NA）團隊。

台灣在這個大型的望遠鏡計畫中，同時負責接收機前段整合測試中心的任務。北美、歐洲與東亞各一個整合中心，台灣代表東亞，北美與歐洲則各由美國國家電波天文台和歐洲天文中心負責。66 座天線要如預期完成，各國之間的分工合作相當重要，參與的各國各自負責製作儀器的不同部分，最後統整、組裝的工作就會交給整合測試中心負責。

中研院天文所與中科院在 SMA 建設中的合作，成為完成這次 ALMA 整合測試中心工作非常重要的基礎。依照先前的經驗，陳明堂指導中科院建立起 ALMA 接收機的生產線，在這條生產線上會將全世界送來的元件組合起來，並進行初步的測試，確認接收機沒有問題。「ALMA 的接收機原理和 SMA 相同，只是它的更複雜，」陳明堂頓了一下，又再強調了一次：「非常複雜。」相較於 SMA，ALMA 不但大幅提升規格要求，接收機的各個元件都已更加精密、繁雜，以期達到更好的觀測品質。

陳明堂回憶，原本中科院只有開一條生產線，後來則增加到兩條，一部分的原因在於全



世界都在關注接收機何時能順利運到 ALMA 的所在地智利，整合測試中心承受了許多時間壓力。然而，台灣也再次在這樣的壓力下，展現強大的生產效能。賀曾樸說，台灣不僅提前完成所負責的 17 套接收機系統，還協助美國和歐洲共 9 套系統的組裝和測試。「我們比他們厲害！」賀曾樸對於中科院讚譽有加。他說，中科院能夠有這些成果，是因為他們總是在想「怎麼做能更快、更好、更有效率。」而且，他們確實也找到方法了。

除了東亞接收機前段整合測試中心的任務外，台灣團隊也參與第 1 頻段和第 10 頻段超導混頻偵測元件的研發，主導兩輛「前段維護特種車」(FESV) 的製造等。台灣參與這些計畫大約投入整個 ALMA 計畫 5% 的經費，得到的卻遠遠超越投入的金錢。最終在 ALMA 先期研究計畫審查中，台灣團隊申請到的時數約達總時數 7%，在十分競爭的計畫申請中獲得超越投資的觀測時數。

2013 年 ALMA 全面正式啟用，66 座天線組成的壯觀陣列，佇立在智利海拔 5000 公尺的沙漠高原中。相對而言只有八座天線的 SMA，只能退居其後。

「無庸置疑，ALMA 是個這個領域頂級的新觀測儀器。」中研院天文所資深微波系統工程師 Derek Kubo 說，全世界的天文學家都渴望能爭取到觀測時間，這並不容易。由於 ALMA 太過搶手，卻也讓 SMA 保有一絲生存空間。Derek 表示，天文學家在提出 ALMA 觀測計畫申請前，多會先透過 SMA 的初步觀測數據來證明自己提出的計畫有觀測潛力。「SMA 的數據，是他們申請 ALMA 觀測時間的門票。」Derek 說。

## 第五章 中研院天文所，在台大



1994年，李景輝剛拿到中央大學天文研究所碩士學位，這已是他來台灣的第六年了。

馬來西亞籍的李景輝獨自離開家鄉，來到台灣追逐天文夢。他從小醉心於科普雜誌上精美的天文圖片，更好奇於科幻小說裡極為神秘的黑洞。而在親眼見到哈雷彗星那一刻，更讓他情緒激動、心中有著說不出的感動。這些都讓他想探索充滿未知的宇宙，以致攻讀天文學成為他唯一的目標。

在高中學姐的推薦下，李景輝進入台灣最早發展天文研究、開設相關課程的中央大學物理系就讀。沒想到的是，自此他一心一意追逐的天文學術生涯，便與台灣緊緊相繫。

李景輝念物理系時，中央大學迎來了闕志鴻、孫維新和蔡文祥三名天文領域的新老師。他們三人都剛從美國學成歸國，年輕又有熱情，都希望能在天文研究上，在台灣做出成績。卻因為剛回到台灣，一切都還在摸索與適應，對於未來還有些徬徨。

巧合的是，希望臺灣能發展專業天文研究的李太楓等人，正賣力奔走找資源、覓人力。在這些前輩的幫助下，中央大學迅速地在1992年，將天文研究所從物理系獨立出來，成為台灣第一個天文學術研究單位，而李景輝就成了成所後第一屆的學生。

李景輝大三的時候，第一次上孫維新的課。他形容講台上的孫維新，帶著一股讓人難以抗拒的舞台魅力，常見孫維新用淺顯的文字描繪扎實廣博的宇宙，深深吸引台下學生們的目光。他也從大三開始跟著孫維新做研究，直到碩士班畢業。

在孫維新的實驗室中，李景輝研究最早被認證的活躍星系核「賽弗特星系」（Seyfert galaxies）。所有的活躍星系核有一個特點，即中央區域較一般星系亮，並散發出強烈的電磁波，只是它究竟是透過什麼機制讓自己這麼耀眼、又是怎麼演化出來的，卻沒有人知道。天文學家們紛紛藉由各種輻射波段的光譜，試圖解開活躍星系核的謎團；以李景輝的研究來說，他就運用了紅外光、可見光、紫外光和X光的波段，嘗試去分析和建構這個星系的模型。

### 從中研院地球所起步

離開中央大學後，李景輝前往中研院天文所，迎接他的第一份工作。這時是天文所籌備處成立的第二年，袁旂從任教超過20年的美國紐約市立大學回到台灣，在李太楓之後接掌中

研院天文所籌備處，成為第二任籌備處主任。李景輝則是他回國後的第一個研究助理。

袁旂是最初天文籌備團隊重要的成員，也是提供給中研院院長吳大猷，能接任中研院天文所籌備處主任的「三個名字」之一。在團隊成員的印象中，袁旂是個謙謙君子，認識他多年的籌備團隊夥伴賀曾樸說，他和李太楓都是很正直的人，但袁旂更是個「中國學者」的典範。賀曾樸形容，袁旂全心投入學術研究，不侷限在科學領域，也同時研究兩岸歷史、還自學書法。在賀曾樸於中研院天文所的辦公室中，一直掛著一幅袁旂送給他的書法字畫。

袁旂回國時的天文所在地球所的五樓和二樓，各借了一些空間。五樓主要為行政室與袁旂等研究員一人一間辦公室，其餘的學生與助理就統一在二樓一間研究室中。李景輝回憶，才剛起步的天文所籌備處招聘的人員還很少，除了三、四名行政和電腦資訊人員之外，就只有少數幾名研究人員和助理，加起來約 10 人左右，這樣的空間為綽綽有餘。

隨後在袁旂的領導下，天文所逐漸擴張人力，即時迎接與史密松天文台的次毫米波陣列（SMA）建造計畫，不但需要研發其中重要的接收機，也得建立特殊實驗室，地球所原有的空間已顯不足。

黃裕津就是在這一波的徵才中，進入中研院天文所。他在大學和研究所就讀時，都是以電機工程學為專業，特別是專攻電波領域。但他心中對於天文始終有一股熱忱。這股熱忱或許是源自於他小學時，從父親辛苦帶回來的一架雙筒望遠鏡開始。

在黃裕津小學三年級時，石油危機爆發，面臨中年失業的父親決定參與政府組織的海外工程隊，遠赴沙烏地阿拉伯協助興建高速公路或學校等基礎建設，以賺錢養家。父親回台前問了黃裕津想要什麼禮物，他想了想就向父親討了一架望遠鏡。

當時，望遠鏡仍是政府管制的物品，超過限制尺寸的望遠鏡得經過申請，也因此多半只有天文台、學校才有可能擁有。最後，他不僅等到一年多未見面的父親回家，還為他帶回來一台雙筒望遠鏡，恰好符合政府規範一般民眾不需申請即可擁有的直徑 5 公分尺寸。

在夏日的晚上，黃裕津興奮地拿著望遠鏡上頂樓，看見了從未見過的美麗星空。他形容自己好像看到珍珠灑滿整個天際，透過望遠鏡看到有些區域聚集特別多星星。在數年後投入天文這個領域，他才發現，那年看到的是聚集了多顆恆星的星團。



中研院天文所副研究員黃裕津在創所之初，就加入接收機實驗室。（攝影／趙軒翎）

1995年6月，黃裕津在當完兵後，隨即以助理身分，加入天文所籌備中的接收機實驗團隊。這項工作結合了他的電機專長以及天文愛好，雖然要重新學習的東西很多，他仍然甘之如飴。

## 第一次大搬家

在黃裕津進入天文所沒多久，就遇上天文所第一次大搬家。1996年，中研院天文所搬到分子生物研究所四樓，原先這層樓是分生所預留給生命科學圖書館的樓層，但當時書還不多，這個空間就暫時租給天文所，做為接收機實驗團隊研究所用。

接收機實驗室與一般實驗室不同之處，在於接收機實驗室需要一個冷凍機，因為實際上接收機運作的系統，需要維持在絕對溫度4度，相當於攝氏零下270度，才能讓所有儀器正常工作。

「第一間接收機實驗室的草圖就是我畫的。」黃裕津說，剛開始時自己也毫無頭緒，沒有任何參考圖，只是按照自己知道、有需要的配置畫出來。那時候就在四樓隔出了一小間專門給冷凍機，就像一台大台的分離式冷氣，外面還有室外機排出熱氣，冷凍機內則是要抽成真空。他將這些需求一一畫在草圖上，再交給施工團隊將接收機實驗室做出來。

接收機實驗室逐漸完工，實驗室的桌椅也陸續就定位，天文所又走向了另一個新的時期。



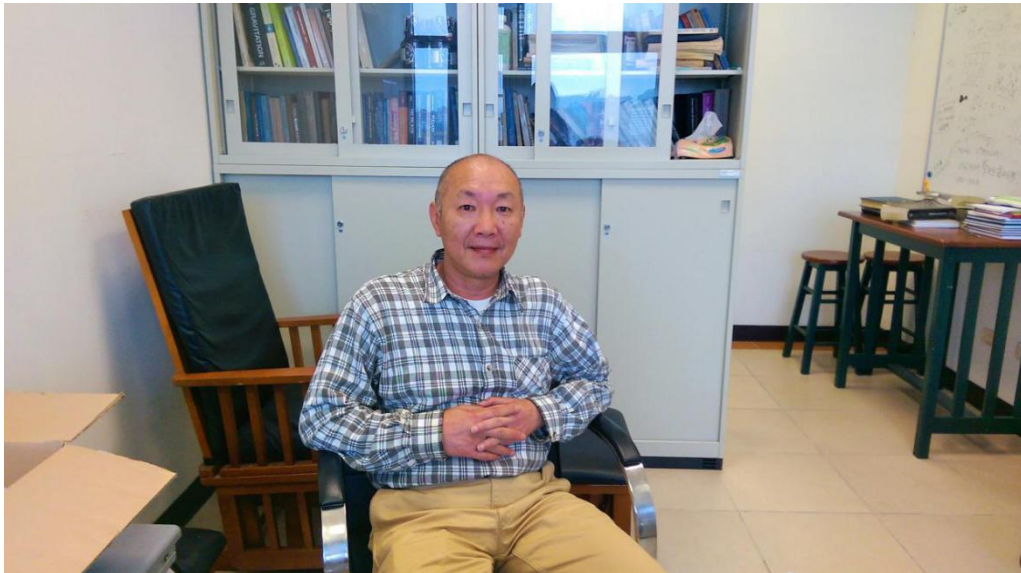
## 落腳台大契機浮現



在中研院天文所籌備處成立之後，因為沒有自己的固定空間，只好陸續向地球所、生化所借用空間。不過，這總不是長久之計，李太楓以及籌備團隊的成員曾想過，如果中研院天文所能在大學校園中有一塊基地，就能吸引更多年輕的學子加入，就能為正在進行中的國際合作計畫，增添台灣的年輕生力軍。畢竟，要在台灣發展天文學，「人」還是重要的因素。團隊就算能找到再多的國際合作計畫，若沒有台灣的人執行，台灣就不能算是真正參與了這些計畫。

這時中研院天文所的籌備團隊中，除了多數成員為美國籍外，即便是團隊中的台灣籍天文學家李太楓、袁旂等人，一個任職於中研院地球所，另一個則以美國教職為主，兩人的職務都缺乏與台灣各大學的在地連結。他們詢問過當時少數幾個擁有天文專業人才的系所，除了最早設有天文研究所的中央大學外，也嘗試去和清華大學物理系接洽，最後都沒有結果。

中央大學天文所成立的第一任主任闕志鴻，很早就加入中研院天文所籌備團隊中，他並不像是李太楓等人一樣，處於團隊的中心位置，主導方向。他在團隊中扮演的角色，大多是負責團隊與台灣在地天文、物理團體的連結，扮演橋樑的角色。



闕志鴻相當早就加入天文所籌備團隊中，扮演與在地天文、物理社群接軌的橋樑。（攝影／趙軒翎）

1998年，闕志鴻離開中央大學轉往台灣大學任教，在闕志鴻的牽線下，開始與台大物理系熱烈地討論合作的可能性。對中研院天文所來說，台大無疑是個更好的選擇。台大學生多、

交通位置又更容易接待來自海外的天文學家。如果可以透過合作的模式，讓中研院天文所落腳台大校園中，更可以發展長期穩定的合作關係。

然而，雙方合作只有一個巴掌肯定拍不響。正好，當時台大物理系系主任黃偉彥預備以宇宙學和天文物理為主題，申請教育部追求學術卓越發展計畫，正需要合作對象。黃偉彥認為，若能借助中研院天文所的人力與資源，對整個計畫來說，等於是如虎添翼。中研院天文所前進台大校園，在此前進了一步。

為此，黃偉彥和關志鴻一起到南港，與當時中研院天文所籌備處主任魯國鏞談，他們希望天文所能一起加入，成為台大物理系申請卓越計畫的合作單位。「我告訴他們不要寫一個『只有台大』的計畫，」魯國鏞這麼跟他們說，因為同樣擁有天文師資的中央大學、清華大學，都會來競爭。

魯國鏞認為最好的方法，就是邀請相關的大學一起來寫這個計畫，既達到化敵為友的作用，串聯具備不同研究領域專長的天文學家，共同完成更具影響力的計畫。

魯國鏞說服了四個單位共同合作，這個計畫既為一個整體，又依據各單位人員的專長和需求分為五個分項計畫。其中最大的是台大與中研院合作的「宇宙背景輻射陣列望遠鏡」(The Array for Microwave Background Anisotropy, 簡稱 AMiBA) 計畫，由台灣團隊設計、製作專門偵測宇宙背景輻射(cosmic microwave background)的毫米波陣列望遠鏡，並延伸出針對「早期宇宙、黑暗物質、宇宙膨脹」的實驗粒子物理研究，以及相關理論整合研究。

另外兩個部分，則是希望可以與國外尖端光學與紅外線天文望遠鏡團隊作國際合作，為台灣爭取觀測時數；也希望能將中央大學在鹿林山上的望遠鏡，提升為全國大學共用的設施，提升所需的軟硬體系統。



魯國鏞擔任天文所籌備處主任時，與台大合作提出的 CosPA 計畫，進而讓中研院天文所進入台大校園中。（攝影／趙軒翎）

「我們拿到第一！」魯國鏞驕傲地表示，CosPA 計畫在審查時脫穎而出，成為評分最高的計畫，總共獲得四年共 1500 萬美金的計畫經費。「宇宙學與粒子天文物理學」（Cosmology and Particle Astrophysics，簡稱 CosPA）計畫，就此展開序幕！

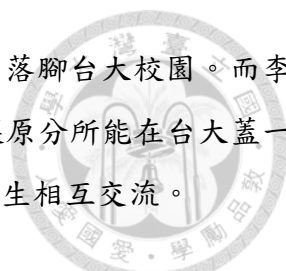
為了這個計畫，中研院天文所於 2001 年 3 月，遷入台大凝態科學暨物理學館，成為台大物理系的鄰居。

## 籌建天文數學館

通常，成立一個新的研究所，會先想辦法籌建大樓，中研院天文所是少數的例外。在創所前，以徐遐生為首的幾名籌備團隊成員，曾在李遠哲回台灣接任中研院院長前，到他美國加州大學柏克萊分校的辦公室拜訪。徐遐生希望能說服新任院長對於籌建天文所的支持。他對李遠哲說：「我們不需要大樓，這筆錢我們要投資在人和器材上。」這幾句話讓李遠哲印象深刻，也對這群人另眼相待。

因此，當天文所逐漸擴張，租借的空間已經無法滿足需求時，也是由李遠哲出手幫忙，在台大籌建大樓。

「我一直相信中研院可以提供大學更多的幫助。」李遠哲說，這也是他堅持要將中研院的研究所帶進台大的原因。其實，中研院與台大的合作早在 1970 年代就有跡可循，當時中研



院物理所地震組（地球所前身）、生物化學研究所、數學所等，都曾落腳台大校園。而李遠哲也曾在 1980 年代原子分子研究所籌建時，說服台大校長虞兆中，讓原分所能在台大蓋一棟大樓。透過大樓的建設，讓中研院的研究人才與資源，能夠與台大師生相互交流。

這一次中研院與台大要蓋的這棟大樓，不僅是為中研院天文所建造定居處，終結當「游牧民族」的日子，同時也為中研院數學所、台大數學所，以及台大天文物理研究所找到新家。

只是，這棟「天文數學館」建造的時機不對，過程歷經波折。當時，中研院要將天文數學館的建設案發包出去，但幾次下來，不是沒有承包商願意投標，就是流標，讓李遠哲十分苦惱。原來，讓承包商望之卻步的原因，是那陣子鋼筋和水泥價格不斷上漲，對他們來說接到案子承擔的風險很大。可能建案簽約、房子蓋下去了，原物料價格卻還在上漲，成本攀升的結果是越蓋越虧錢，最後只好宣告破產跑路。

在這樣困難的環境下，李遠哲想起曾承包南港軟體園區的東元電機集團。他硬著頭皮，打電話給東元電機董事長黃茂雄。

李遠哲回憶，他當時打電話到東元電機要找黃茂雄，接電話的人員問他：「李院長，請問是有很緊急的事情要聯繫黃董事長嗎？」他想都不想就回答：「是，非常緊急。」這才讓李遠哲取得了黃茂雄在美國的聯絡方式。

李遠哲立刻打電話到美國，直接跟黃茂雄說：「拜託你一件很重要的事，我需要你來幫我蓋一棟大樓。」李遠哲沒有想到的是，這一天黃茂雄才剛開完心臟手術，從恢復室推回病房。但是，更讓他訝異的是，黃茂雄在不知道預算、大樓規劃的情況下，就答應了李遠哲的請求。

李遠哲還說，這棟大樓預算大約只有四億，東元電機蓋完了這棟大樓，至少虧了五千多萬。讓李遠哲現在遇到黃茂雄，也只能滿心愧疚地、由衷感謝他的義氣相挺。

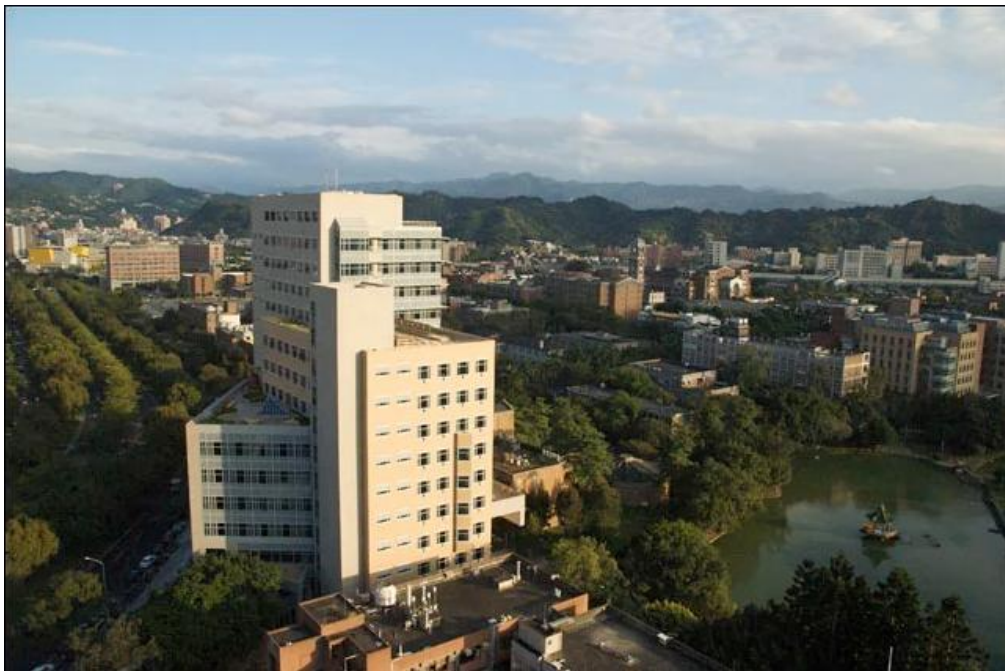
李遠哲不僅為天文數學館找來的經費和建造團隊，也親自與台大校園規畫委員會開會，討論建設的位置、面向，後來也參與建築比圖。他將自己投入原分所大樓興建的經驗與心得，再次運用在天文數學館上。

原分所旁有一棟獨立的演講廳，是為紀念創所元老之一的浦大邦講堂，兩者之間有個中庭，這是個特別設計的空間。李遠哲說，為了讓中研院保有自己的空間，又不要與台大失去

連結，這個空間能讓台大師生能夠使用，也保留通往浦大邦講堂二樓圖書館的樓梯，在原分所關閉時，仍不影響這個空間的活動。

在天文數學館也有類似的設計，大樓旁邊還留了一塊草地，為台大增添另一個開放空間。另一方面，李太楓以前的博士生吳育雅回憶，在天文數學館籌備時期，她正好在唸博士班，就曾看過李太楓非常投入、專注在看大樓的設計圖，確認所有空間配置、實驗室的設計，就是為了讓天文所能有個符合需求的新家。

在台大校園靠近辛亥路二段那一側、緊鄰著台大醉月湖畔，天文數學館在 2009 年秋天完工。從醉月湖看向它，似乎是一高一矮的兩棟建築併在一塊，左邊高 10 層樓、右邊則是 14 層樓；若是從辛亥路一側看它，又像是多了一棟約 7 層樓高、三角型的建物。天文數學館在校園中算是數一數二高的新建築物，一樓大廳挑高，四周入口皆是玻璃牆面，晚間變成學生們練舞的鏡子，也成為校園中另一種風景。



中研院天文所在台大校園中的家——天文數學館。（圖／中研院天文所提供）

現在中研院天文所位居天文數學館的 11 到 14 樓，每一層樓在兩排辦公室中間，都有個非常大的公共空間，放著沙發、茶几與白板，時常看到研究員或學生三三兩兩聚在這裡討論研究，或是拿著一杯咖啡相互寒暄。除此之外，該大樓也規劃充足的實驗室空間，包含地下室的實驗室空間，而一樓的國際會議廳則成為大型研討會、活動的主要場所。

## 袁旂園的永恆紀念



坐電梯到天文數學館 11 樓，出了電梯後向左轉，玻璃門外是一個空中花園。它的名字叫「袁旂園」，紀念天文所創始人之一、也是籌備處第二任主任袁旂。

為了協助天文所的發展，袁旂未滿六十歲就從紐約市立大學辦理退休，獨自一人回到台灣定居。「他是我們創始團員之中，唯一一個真正放棄國外工作，為了天文所長期留在台灣的人。」徐遐生說。對於這群已經在美國事業有成的華裔天文學家來說，放棄美國教職回到台灣，收入可能只剩在美國時的一半不到，除此之外，家人也得跟著遷移或是分隔兩地。

袁旂的家人包含太太謝渝秀和女兒袁俶恬，都選擇留在美國加州的帕羅奧圖市（Palo Alto）。一家人雖聚少離多，彼此的心卻沒有疏遠。袁旂的第一個學生郭兆林，目前已經是史丹福大學天文物理系副教授。他在袁旂的紀念文中曾寫道：「十幾年來袁旂每次對我說他要『回家』，都是指 Palo Alto。對他來說，家就是和 Lucy（太太）與 Jessie（女兒）在一起的地方。」

最終將袁旂帶走的是腦癌。在 2006 年底，袁旂陸續出現行走時左腳拖行、說話口齒不清的徵狀，去醫院檢查才發覺竟得了腦癌。雖然曾在積極治療後，病情獲得控制；2008 年 7 月他的病情卻突然惡化，不到一個月就離開了人世。

在袁旂發現腦癌的時候，賀曾樸來到台灣接任籌備處主任。袁旂開刀那天，賀曾樸與袁旂的妻女共同守在手術室前，等待消息。賀曾樸幾乎天天到醫院探視袁旂，以及透過 E-mail 與遠在國外的籌備團隊成員，傳遞袁旂的近況。在他的紀錄裡寫道，即使是剛開完刀需要休息的時刻，袁旂還是堅持打開筆記型電腦，自己回覆信件、做研究工作。徐遐生也說，袁旂一直都是個非常認真的天文學家，他投注在天文理論研究的工作，也為天文所的理論研究領域奠定了很扎實的基礎。

在天文數學館落成後，天文所決定將這個空中花園以袁旂的名字命名。他們也為袁旂雕刻了一幅畫像，放在這個花園中，紀念他們心中，永遠的謙謙君子。



袁旂園中袁旂的雕刻畫像，畫像中的文字寫道：「紀念袁旂，中研院天文及天文物理研究所第二任所長（1994-1996，應為第二任籌備處主任）；一位紳士、學者、老師、愛家的人、運動健將和中華文化及國土的忠實擁護者。」（攝影／趙軒翎）

## 第六章 學著獨立—自製 AMiBA 望遠鏡

2001 年，中研院天文所搬進台大凝態科學暨物理學館之際，與台大物理系合作建造「宇宙背景輻射陣列望遠鏡」（AMiBA）的計畫，也正如火如荼地進行。



「這個計畫是從零開始，」台大方的計畫負責人闕志鴻說，零的意思是團隊中，大家都沒有經驗。即使是投注多年心力在電波天文學上的魯國鏞，也未曾從頭主導一個全新的電波干涉望遠鏡陣列的設計、建造。箭在弦上的 AMiBA 計畫，對團隊來說，絕對是個巨大的挑戰。

因此，在電波天文領域累積許多人脈的魯國鏞，找來擁有豐富電波望遠鏡建設經驗的澳洲國立天文台從旁協助。闕志鴻回憶，雙方的合作像是由台灣自己為 AMiBA 首先畫出主要架構，澳洲的專家們再幫忙調整與補上細節；兩邊的人馬每週透過遠端電話會議溝通，台灣方有什麼問題就在會議上請教，一些小問題澳洲方立刻就能解答，若是較複雜的問題，就得在會議後，各自查詢相關論文、討論和嘗試。

### 尋找宇宙初生的微弱訊號

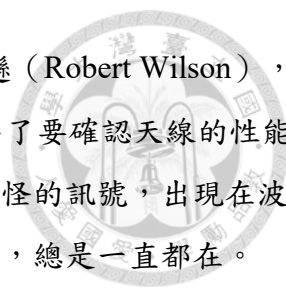
AMiBA 想要達成的科學目標，是為宇宙誕生初期之謎，揭開面紗的一角。

宇宙一開始處於極高溫、高密度的狀態，而且是一片黑暗，在高溫的狀態下，電子、質子、重子和光子等粒子不斷相互作用。在暴脹後的 40 萬年，宇宙平均溫度逐漸降低，電子和質子結合形成氫原子，光子不再跟中性的氫原子作用，自此鬆開了束縛，朝著各個方向奔馳，宇宙的第一道光就此誕生。然而隨著宇宙持續不斷地膨脹，第一道光的波長隨著膨脹而增加，即使到現在，這「第一道光」其實都還存在，只是波長增加了約 1000 倍，成為科學家所說的「宇宙背景輻射」。

AMiBA 要偵測的目標，就是宇宙背景輻射。

天文學家第一次偵測到宇宙背景輻射，其實是個意外，連偵測到的團隊，都不清楚自己接收到突破性的訊號。1930 年代就已經有科學家預言，第一道光在時間演變下，將轉化為黑體輻射形式；若能偵測到這個輻射，就能證實宇宙背景輻射的假說。然而，這個訊號一直到 30 多年後的 1964 年，才真正被偵測到。





兩個美國貝爾實驗室的工程師彭齊亞斯（Arno Penzias）和威爾遜（Robert Wilson），原本在測試一台 6 公尺口徑喇叭型天線，這架天線的特性非常靈敏。為了要確認天線的性能，兩名工程師將天線對準天空，開始接收訊號。不過他們發現一個很奇怪的訊號，出現在波長 7.35 公分左右的區域，它不僅持續不斷，而且沒有每日或每季的變化，總是一直都在。

兩名工程師不放心地走出實驗室，看了一下天線上是否有類似鳥糞之類的髒東西，影響天線接收，導致他們偵測到錯誤的訊號。可是不管怎麼排除各種可能問題，工程師還是找不到訊號的來源。於是他們將這個現象，寫到論文中發表出去。

彭齊亞斯和威爾遜在寫這篇論文時，絕對想不到 14 年後（1978 年），兩人會因此獲得諾貝爾物理獎的榮譽。不過，這也歸功於在這篇論文發表的同一時期，美國普林斯頓大學團隊證實，這個訊號為宇宙背景輻射，懸宕已久的理論終於獲得了實驗的驗證。

既然在 1964 年就已經偵測到宇宙背景輻射，那麼在 30 多年後，台大與中研院合作的卓越計畫，似乎沒有道理再蓋一個電波望遠鏡，來偵測宇宙背景輻射。然而當時不僅僅是台灣預計要蓋，同時還有其他國家的研究團隊，想要加入這場戰局。

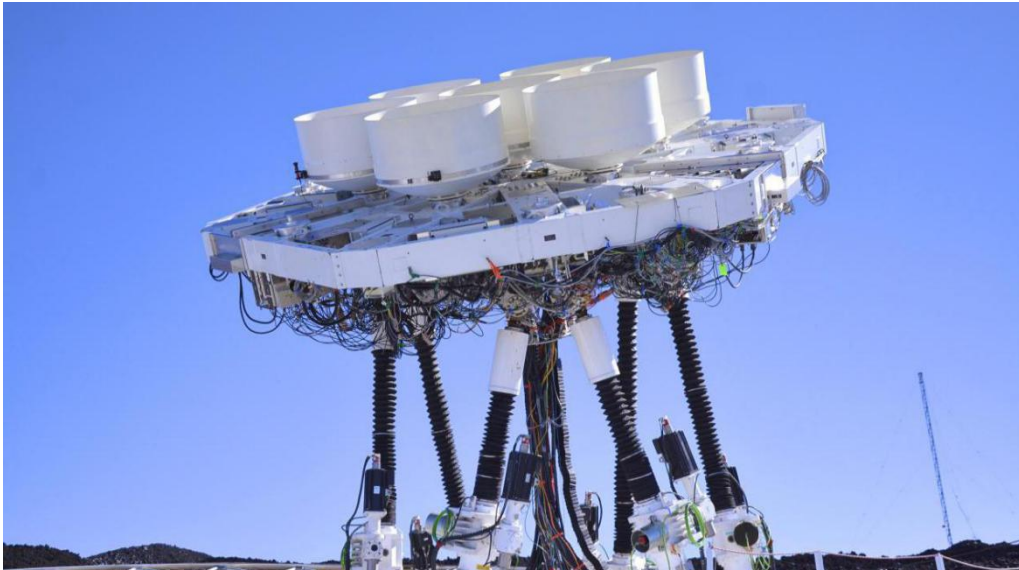
這是因為，天文學家希望偵測的，並不只是宇宙背景輻射；而是要利用宇宙背景輻射的特性，了解宇宙中最大型的結構——範圍超過一千萬光年的星系團。星系團是由 100~1000 個星系組成的結構，一個星系就可能有 10 億顆星星，這麼龐大的結構擁有的重力，會讓通過的宇宙背景輻射平均溫度升高。AMiBA 就是希望能透過偵測宇宙背景輻射的溫度變化，來尋找用光學望遠鏡找不到的星系團。

## 這座望遠鏡有六支腳

AMiBA 除了是宇宙背景輻射陣列的縮寫，取這樣一個名字，也有它的特殊意義。這個名字是由中研院天文所第一任主任李太楓命名，AMiBA 的讀音「阿米巴」念起來類似可以根據需求改變外型的變形蟲「阿米巴原蟲」（Amoeba）。李太楓會取這個名字，源自於 AMiBA 特殊的外型與結構。

不同於 SMA 陣列由八座獨立的天線所組成的陣列，AMiBA 是在單一座望遠鏡上架設一個大平台，上面安裝七個接收訊號的天線。為了讓這個平台可以依照需求調整方向，平台底下設計了六支「機械腳」，六支螺桿的長度都可以自由調整，進而轉動整個平台。中研院天

文所研究員陳明堂說，這樣的平台其實在機械、電機上早有許多的應用，但從未運用在這麼大型的天文儀器上。這個設計最早是由團隊中一名美籍成員馬丁（Robert Martin）所提出，有別於傳統望遠鏡透過經緯儀的兩個軸——垂直軸調控高度、水平軸調控方向——的方式來操控望遠鏡，六軸平台能讓 AMiBA 的轉動更自由，也能讓 AMiBA 達成追蹤特定觀測目標的任務。



AMiBA 望遠鏡使用六腳平台來做為調整方向的機制，在天文望遠鏡上是個創舉，但團隊也因此遇上許多困難。（攝影／趙軒翎）

然而，這樣的一個六軸平台卻也讓製作的團隊遇到了大麻煩。一般天文望遠鏡用的經緯儀已行之有年，技術相當成熟，但是從來沒有人將六軸平台，應用在這麼大型的望遠鏡上。製作與實際使用上面臨的問題，都是團隊在設計時始料未及的。

「我們後來才發現，這六支腳都太粗、太重了。」陳明堂說。AMiBA 六軸平台的每一支螺桿的重量都超過兩公噸，六支螺桿加起來則超過十噸。這個六軸基座雖然很「穩重」，但它所產生的力道，卻也不斷拉扯著上方的平台，使得平台有些不堪負荷而扭曲變形。陳明堂補充，這樣的扭曲，只有幾個毫米大小的微小差異，肉眼其實看不出來；但對於需要精準觀測的 AMiBA 來說仍有影響，因此也限制了後來 AMiBA 運用在觀測上的使用範圍。

此外，要讓六軸平台依照天文學家需要的方式移動，必須藉由一組操控平台的程式來控制。然而，要讓平台乖乖地照著程式安排，而且平穩地移動，挑戰的不僅是程式的設計，更是牽動整個平台結構設計的每個細節。陳明堂苦笑地說，當時團隊花了好大的一番心血，才穩定了整個控制的程序。

## 魯國鏞離開團隊



2002 年，AMiBA 計畫才進入第三年，此時團隊還在試圖建造一架構造較簡單，平台上只有兩個天線的小型原型機，來測試 AMiBA 的設計概念。就在這個時候，團隊收到一個突如其來的消息——計畫主持人魯國鏞決定辭掉台灣的職位，前往美國接任國家電波天文台（National Radio Astronomy Observatory，簡稱 NRAO）台長。

「他宣布得很突然，」闕志鴻說，印象中前一天他還在跟團隊討論，隔天就宣布自己要離開，而且一週後就要走。

這個消息不管是對 AMiBA 團隊或是中研院天文所來說，都是個煎熬。對天文所籌備團隊主要成員李太楓來說，天文所將失去一名重要的領導人才。

徐遐生當時「身負重任」，要將魯國鏞要離開中研院的消息傳達給院長李遠哲。他回憶李遠哲聽完第一個反應是：「我們要留他，我們一定要留他！」但徐遐生卻告訴李遠哲，美國國家電波天文台選擇了魯國鏞「不一定是壞事」。面對一臉疑惑的李遠哲，徐遐生告訴他，這是全世界最重要的電波天文學職位，他們來找中研院天文所的所長擔任，等於肯定天文所過去幾年的努力。

「這是第一次華人得到這個職位！」李太楓說。

魯國鏞在電波天文學上的專業成就和人脈，是中研院天文所籌備團隊當時極力爭取他來台的關鍵。而他自 1997 年起，在中研院天文所籌備處擔任管理職的幾年中，天文所與美國史密松天文台的次毫米波陣列（SMA）計畫一直順利進行，加上 AMiBA 計畫也有進展，顯現了魯國鏞在管理上的能耐。這些也讓他成為美國國家天文台，極力爭取的第四任台長人選；然而相對的，AMiBA 團隊卻失去能夠掌握所有環節的計畫主持人。



2002 年魯國鏞（左一）前往美國國家電波天文台就任台長前，與中研院天文所同仁聚餐。  
（圖／中研院天文所提供）


闕志鴻印象最深刻的，是魯國鏞對 AMiBA 計畫的投入。整個大計畫依照任務分成各種不同的工作小組，身為計畫主持人的他總是認真地聽著每組的報告，仔細掌握各組進度、狀況，並適時幫忙小組向外求援。闕志鴻提到，魯國鏞離開時本來有意結束這個計畫，他認為缺少了解、確實督導計畫的領導角色，AMiBA 不可能成功。

## 團隊成員成競爭對手

AMiBA 的成功與否不僅僅是能夠建造完成，更是一個與世界頂尖團隊的時間競賽。

在台灣團隊建造 AMiBA 時，也有其他科學目的、功能相似的望遠鏡，同時在籌備中。例如美國芝加哥大學的 SZA 陣列（Sunyaev-Zel'dovich Array）、英國劍橋大學馬拉德電波天文台的 AMI 陣列（Arcminute Microkelvin Imager）。每個團隊都在想盡辦法爭取時間，誰先做出來、先發表成果，就像是在這領域插了一面旗，佔據重要的地位。

AMiBA 團隊也拚命想要搶先機，只是這中間有太多問題需要克服，導致團隊在 2004 年卓越計畫第一期結束時，僅僅完成原型機，離原本預計的建造完成並開始測試，還有一大段距離。



除了時程大大延誤之外，團隊成員在魯國鏞離開之後，又經歷了一波動盪。AMiBA 團隊中的台大成員闕志鴻，於 2005 年退出計畫。並且他向國科會申請到一筆經費，雖然金額只有 AMiBA 計畫的十分之一，他卻預計要在三年內完成一座功能與 AMiBA 相似的電波望遠鏡。

「我認為國科會是希望有個小團隊，能夠跟 AMiBA 競爭。」闕志鴻認為國科會希望台大這個小團隊能夠推動延遲許多的 AMiBA，加速計畫完成。台大運用這筆經費籌建的台大微波干涉陣列 (NTU-Array)，在 2006 年開始動工，並於 2008 年 5 月選擇月球作為觀測對象，進行開光 (first light) 測試。同一年 10 月，AMiBA 也宣告建設完成。闕志鴻的團隊確實在三年內，完成一架六個天線的微波陣列望遠鏡，可惜的是，這個計畫卻在短短兩年後宣告失敗。

台大微波陣列與 AMiBA 設置的地點，都選擇在美國夏威夷大島上，有別於 AMiBA 放置在毛納羅亞山 (Mauna Loa) 山頭，海拔約 3400 公尺，台大微波陣列則是放置在一處海拔約 2000 公尺的私人土地上。「在夏威夷高於海拔 2000 公尺的山頭都是官方的，」闕志鴻無奈地說，「跟官方申請就需要兩三年的時間，我們已經沒有時間了。」此外，在他們要向夏威夷政府申請租借土地時，狀況已與 AMiBA 租借時有所差異，當地民眾的環保意識強烈許多。在阻力變大的情況下，台大團隊只能放棄山頭，將目標轉向山上天氣條件較好的私有土地。

他們最後找到一個牧場主人，租到一塊 10 平方公尺的土地，作為台大微波陣列的架設地點。租借時是初夏，當地天氣狀況都不錯；然而進入冬季後，天氣轉壞到幾乎沒有觀測的機會。

對於電波望遠鏡來說最怕的就是遇到水氣，然而 2000 公尺的山還不夠高，即使白天狀況不錯，但一入夜雲層往下移，就將整個儀器壟罩在雲霧中。在這樣的條件下闕志鴻與團隊仍不斷抓緊時間觀測，他回憶那時與學生們為了等待好的觀測時機，在攝氏 4、5 度的天氣躲在牧場的車庫中，一看到雲散了就趕緊打開望遠鏡的棚子開始觀測。只是，若不幸又有一片雲飄過來，也只能急忙停止觀測，趕緊將棚子重新罩上。



台大微波干涉陣列（NTU-Array）在 2006 年啟用，不過因為裝設地點海拔高度不夠，時常被雲霧圍繞無法觀測。（圖／闕志鴻提供）

這樣夾縫中求生存的觀測策略持續了一陣子，團隊也曾想過將望遠鏡移到其他觀測條件較好的地區繼續使用，卻受限於其中一個零件無法搬遷。在電波望遠鏡接收訊號後，需要透過放大器將微弱的訊號放大，其中關鍵的設備是一個晶片。台大微波陣列的放大器晶片，原是 AMiBA 計畫要使用的晶片；後來 AMiBA 另行購買了新的放大器，因而輾轉將晶片借給台大微波陣列使用。

只是這麼一來，台大微波陣列要搬遷至其他地點，就得取得 AMiBA 團隊的同意。闕志宏幾次與中研院天文所協調，希望能獲得許可，但中研院天文所始終沒有正面回應。最終，在幾番波折後，闕志鴻也只能忍痛，在 2010 年將台大微波陣列搬回台灣，結束它短暫的觀測。

## AMiBA 風光啟用

反之，AMiBA 無疑幸運許多。

在計畫啟動六年後，2006 年 10 月 3 日 AMiBA 啟用典禮，邀請中研院、台大許多貴賓到夏威夷參與典禮，其中包含了時任中研院院長的李遠哲。團隊特別邀請李遠哲前來擔任揭幕

貴賓，也在典禮中送了一個驚喜給他。在貴賓們共同揭幕宣告 AMiBA 正式啟用後，由台大校長李嗣涔正式宣布，另將 AMiBA 命名為「李遠哲宇宙背景輻射陣列」，以感謝李遠哲對於推動台灣天文研究參與國際級計畫的支持。

李遠哲回憶這段充滿「驚喜」的啟用典禮，他尷尬地說，當下自己其實相當不自在。他說自己很樂意幫助台灣重要的研究計畫，但實在不希望他們以自己的名字命名。「如果我事先知道，我一定會阻止他們。」李遠哲說。



2006年10月3日，AMiBA 宇宙背景輻射陣列望遠鏡，在夏威夷毛納羅亞山的啟用典禮。  
(圖／中研院天文所提供)

就在同一天，瑞典皇家科學院宣布諾貝爾物理獎得主。好巧不巧，這一年獲得物理獎的是研究宇宙背景輻射的兩位美國科學家，馬瑟 (John C. Mather) 和斯穆特 (George F. Smoot)。

宇宙微波背景輻射雖然早在 1964 年就被發現，但因為微波輻射會被大氣層吸收，難以在地球上觀測。因此一直等到 1989 年 NASA 發射一顆宇宙背景探測衛星 (Cosmic Background Explorer, 又稱 COBE 衛星)，才讓科學家有機會更了解宇宙背景輻射。馬瑟和斯穆特皆在 COBE 衛星計畫中，扮演重要的角色。他們透過 COBE 衛星的數據，不僅得知宇宙背景溫度為絕對溫度 2.7 度 (相當於攝氏零下 270 度)，還發現各個方向的宇宙背景溫度存在微小差

異，這些差異讓物質在某些區域分布較其他區域多了一些，讓星體得以形成。

AMiBA 啟用這天，諾貝爾物理學獎肯定了 1990 年代 COBE 衛星團隊，在宇宙微波背景輻射上的研究。但這不是結束，AMiBA 與其他偵測宇宙微波背景輻射的干涉陣列，將延續 COBE 衛星及其後的研究，讓天文學家更了解宇宙如何開始、如何輾轉成為現在的模樣。

## 十年之後的新生

開車前往 AMiBA 所在的毛納羅亞山上，是在一片火山熔岩間行進。一片黑壓壓的熔岩是一次一次火山爆發的紀念品，一層凝固之後，另一層又疊上來，形成特殊的景象。夏威夷人依據熔岩特殊的紋理，以傳統夏威夷語來為它們命名。表面較平滑的熔岩，他們稱之為 pahoehoe（讀音為帕荷伊荷伊），這種熔岩在流動時常會扭轉成奇形怪狀的繩索，因此也被稱繩狀熔岩（Ropy lava）。

而另一種表面粗糙、很多孔洞的熔岩，則被稱為 AA（讀音為啊啊），它流動很慢，常常表面凝固了，底層卻還有流動的熔岩，甚至會衝破表面而出，製造出許多尖銳的礫石。

當地政府在這大片的熔岩間，鋪了一條柏油路，除了柏油路以外，都是熔岩的勢力範圍。這條路道路不寬，兩輛車要會車時，都得稍微讓一讓，才得以通行。

從 2002 年進入中研院天文所，開始參與 AMiBA 計畫的韓之強，回憶 10 多年前，這條路連柏油都沒鋪，上山的路途十分顛簸，連所上原本性能極好的四輪傳動貨車，都有些吃不消。

韓之強提到，後來鋪了柏油路，但道路兩旁沒有路燈，當地政府只好請工程單位在路的兩側劃白線，好讓用路人在黑夜或起霧時能看得見路，否則一不小心車子就撞入熔岩的懷抱裡。只是當時畫線的作法，只是用一台貨車後面掛著一桶白色油漆，油漆桶下鑽一個洞，隨著車子往前開，流下油漆在路上留下彎彎曲曲的細線。

「得很仔細才看得到。」韓之強說。現在，整條柏油路上已經可以看到比較清晰、也較直的白線。



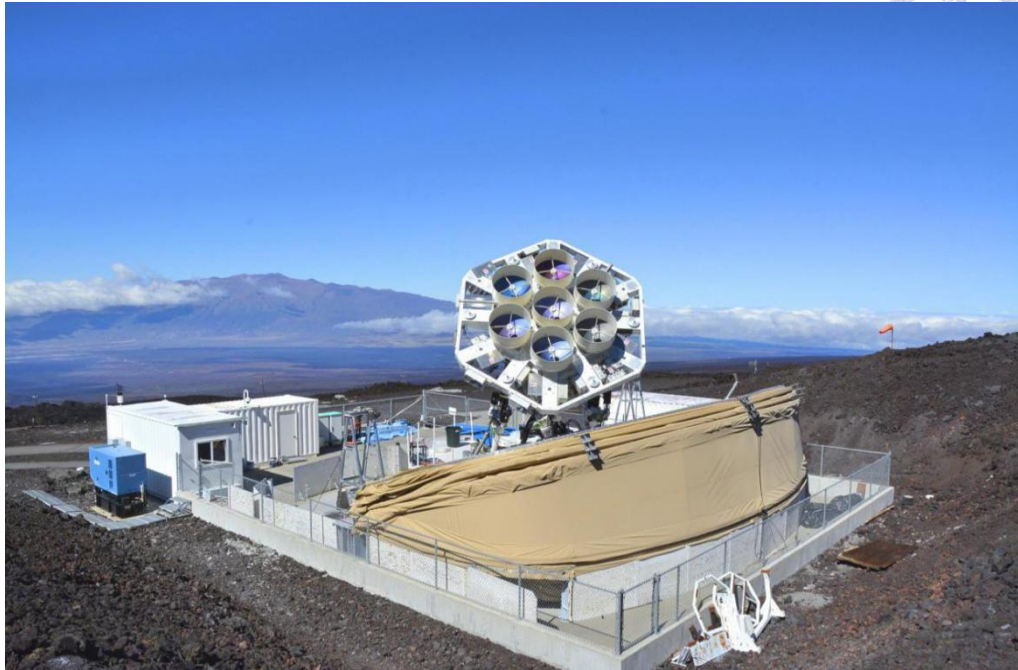


開往毛納羅亞山的山路，路的兩側已重新畫上了較清晰的白線，避免用路人在視線不佳時，偏離道路到兩旁的火山熔岩上。（攝影／趙軒翎）

不過，毛納羅亞山不像它隔壁的毛納基山，既沒有遊客中心，也沒有觀星導覽，平時道路上只會看見少數幾台遊客的車，來兜風看熔岩山景，或是走一旁的登山步道挑戰征服火山的樂趣。真正會上到山頂的，是毛納羅亞觀測站（Mauna Loa Observatory）的工作人員。

從 1950 年代開始觀測的毛納羅亞觀測站，看的不是星星，而是地球的大氣變化。這個地方屬於美國國家海洋暨大氣總署（NOAA），他們長期追蹤二氧化碳、甲烷等氣體，在大氣中的濃度變化。近年來，全球關切二氧化碳問題，回溯源頭，就是毛納羅亞觀測站的長期觀測，讓科學家能確認二氧化碳濃度上升現象。

中研院天文所的 AMiBA 陣列，就在毛納羅亞觀測站旁。從 2006 年啟用至今的 AMiBA，已經在毛納羅亞山上，經歷超過 10 年的風霜。平時保護它不受風吹日曬的棚架，因為持續使用而多了許多破損，上面大大小小的補丁，都是工作人員努力要修補的痕跡。AMiBA 本身也已經歷了多次修正。從建造最初，六腳平台安裝 7 個 0.6 米的天線，2009 年增加到 13 個 1.2 米天線，目前則改以到 7 個 1.2 米天線的狀態運作。



AMiBA 陣列在毛納羅亞山上的基地，平時望遠鏡是由遮罩保護。（攝影／趙軒鋼）

AMiBA 最初建設的科學目標，是要觀測宇宙背景輻射。然而在天文所第一次自主設計、建造的過程，遭遇了許多意料之外的挑戰，使得 AMiBA 在觀測的時程上，較其他團隊晚了一些。雖然最終無法取得搶先發布研究成果的歷史定位，不過團隊依然堅持最初的科學目標，將觀測的完整結果發表出去。「雖然不會像第一個發布的論文受到這麼多關注，但我們的結果讓它更完整。」韓之強說。

中研院天文所在宇宙背景輻射的觀測，告一段落，但這不代表 AMiBA 將要退休，而是要重新開始。AMiBA 原先代表的「宇宙微波背景輻射陣列」，已不再適合，因此團隊現在統一以「李遠哲陣列」（Yuan-Tseh Lee Array，簡稱為 YTLA）稱呼它。

李遠哲陣列在 2014 年結束宇宙背景輻射的觀測後，團隊開始為它進行兩年多的升級作業。在電波望遠鏡中，所有天線接收到的訊號，得經過處理和彙整等程序，天文學家才能取得資料。而處理天線訊號的設備「相關器」，影響電波望遠鏡取得訊號的品質，也是研究升級的主要設備。「透過相關器的升級，增加望遠鏡的靈敏度和能力，」陳明堂接著說，「就是把第一代的儀器變成第二代！」

改裝後的李遠哲陣列，要觀測目標是普遍存在於分子雲中的一氧化碳（CO）分子。這些一氧化碳分子會發射出很明亮的譜線訊號，而訊號的頻率也暗示著它們與地球之間的距離，就能讓天文學家去定位這些分子雲在宇宙中的位置。「我們將要看很遠、宇宙剛形成時候的

星系。」陳明堂說，透過觀測宇宙中一氧化碳分子的訊號，同時也能讓天文學家更了解宇宙間的星系，以及整個宇宙的歷史。

2017年9月，電機工程師 Solomon Ho，正忙著將平台上的天線重新整理一輪。他從現有的13個天線中，選擇運作情況較好的7個安裝到平台上，讓它做好準備迎接新的任務。

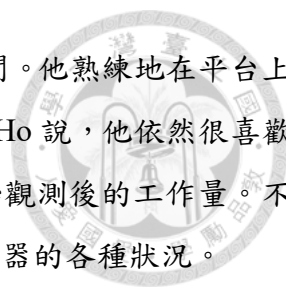


YTLA 團隊電機工程師 Solomon Ho，得在新一期觀測計畫開始前，將平台上的天線狀態調整到最好。（攝影／趙軒翎）

平時，會出現在望遠鏡的包括像 Ho 一樣的電機工程師，負責儀器設備的維護、整修，另外則是觀測時負責操作望遠鏡的操作員。Ho 在最初進入團隊時，本來是個操作員，但透過後來的訓練，成為 YTLA 的工程師。他坦白說，山上的生活很自由、同時也很寂寞，大多數時間都是自己一個人面對機器。

「當你不覺得無聊的時候，代表機器出問題了。」Ho 說。出問題時，卻不一定有人能夠隨時幫忙。在夏威夷的人員多為技術人員，相關的研究人員多留在台灣，夏威夷晚上7點 YTLA 準備開始觀測，是台灣時間的下午1點，但幾個小時後台灣的人員下班回家，夏威夷若遇到狀況，很可能沒人可支援。

Ho 本身是夏威夷人，在夏威夷大學取得天文領域的學位。夏威夷大島的毛納基山和毛納羅亞山上的天文台，是他與他當地同學重要的工作機會。「夏威夷大多發展觀光，很少技術相關的工作，如果沒有這些天文台，我就得到美國本島或其他國家去工作。」Ho 說。



Ho 站在望遠鏡的大平台上，七個天線的圓盤早已占了八成的空間。他熟練地在平台上穿梭，避開蔓延在平台間五顏六色的糾結線路，以及懸掛其上的儀器。Ho 說，他依然很喜歡自己的工作，目前只有兩名電機工程師和一名操作員，不足以應付開始觀測後的工作量。不過他也說，團隊即將招募新的成員，彼此間相互輪替工作，隨時應對儀器的各種狀況。

毛納羅亞山上，李遠哲陣列的第一個十年，已開花結果。經過天文所團隊一番修整之後，將重新起步，面對第二個十年。期望在既有架構下，能夠有所突破與重生。

## 第七章 抓住星光—台墨合作掩星計畫

2006年8月期間，天文界發生一件大事，影響到之後從國小到大學所有的教科書，以及所有人對於太陽系的敘述。

太陽系不再有九大行星，而是八大行星。

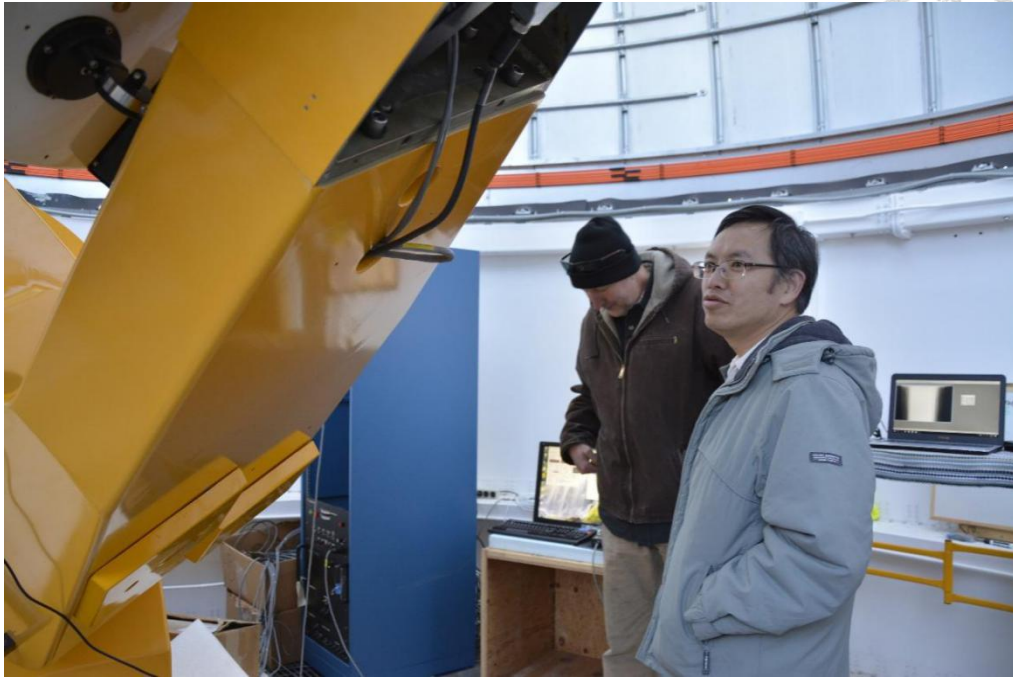
天文學家將最後外圍的冥王星，從九大行星中除名了。不是因為冥王星「做錯」了什麼，而是天文學家在1990年代發現，有許多與冥王星相似的天體，在海王星外形成一個環，圍繞在太陽系外圍。冥王星只是這條古柏帶（Kuiper belt）中的冰凍天體，擁有與太陽系其他行星不同的軌道，本身的直徑甚至比月球還要小。

天文學家發現這些現象之後，不免開始爭論：冥王星到底還能不能算是行星？星系中哪些星體該定義為行星？既然不能一概將環繞太陽的所有天體都稱作行星，那麼只能重新定義它，並將不適合再稱作行星的冥王星從九大行星中除名。冥王星成為古柏帶中的一顆「矮行星」（Dwarf planet），簡單來說是大小介於行星和小行星之間，不是衛星的一種新天體。

### 冥王星除名

這一場冥王星除名風波，其實源自於以往天文學家根本不知道海王星外，竟有其它和冥王星一樣的矮行星，以及更多、更小的小行星。中研院天文所正在進行一個研究計畫，就是要捕捉這些一般望遠鏡根本看不到的天體。

中研院天文所副所長、計畫共同主持人王祥宇解釋道，人們之所以能看見那些本身不會發光的天體，是由於它們反射恆星如太陽的光，然而海王星外天體已經離太陽非常遠了，接收再反射到地球的光線已經相當薄弱。此外，有些海王星外天體比冥王星直徑小很多，有別於冥王星直徑約1000公里，這些小天體的直徑常常只有數公里或數千公尺。目前天文望遠鏡的極限，約只能看到直徑20公里的天體，也讓這些天體成為望遠鏡觀測下的漏網之「星」。



中研院天文所副所長、TAOS-2 計畫的共同主持人王祥宇，於 TAOS-2 其中一座望遠鏡建築中測試儀器與設備狀態。（趙軒翎／攝影）

為了解決這個困境，天文學家想出了「掩星」這個方法。掩星的概念與「日蝕」類似，當日蝕發生時，月球經過太陽和地球中間，太陽因為被月球短暫遮蔽導致亮度下降。而「掩星」則是以遠方恆星為觀測對象，假設恆星本身亮度不變，當偵測到的亮度突然下降，就有可能是一顆海王星外天體穿過恆星與地球之間。運用這個方式，天文學家可以去推算海王星外天體的數量、大小，以及大小天體的比例。

2005 年第一代 TAOS 望遠鏡正式啟用，四座直徑 50 公分的自動望遠鏡在鹿林天文台上，替天文學家追蹤遙遠星光的亮度變化。

不過，這個計畫最終受限於台灣觀測站的實際運作狀況，不得不在 2012 年結束。「在鹿林天文台的 TAOS 望遠鏡，每年可以觀測的時間大概只有 400 個小時。」王祥宇解釋，因為 TAOS 掩星計畫觀測恆星短暫、微弱的亮度變化，因此對於觀測條件很要求，只要觀測的目標有一點薄雲飄過，那個數據就沒辦法使用。

鹿林天文台的天候不佳只是其中一個原因，團隊在實際執行的過程，也發現 TAOS 使用的望遠鏡太小、成像品質不夠好。王祥宇說：「我不知道什麼時候會發生掩星現象，但只要看到的星星越多、能觀測的時間越長，發現的機率就越高。」如果能找到天候條件更合適的地點，建造下一代更大型的望遠鏡，TAOS 計畫就不算失敗。

## 第二代 TAOS 望遠鏡的新家



團隊物色的新地點，遠在與台灣相隔一個太平洋的墨西哥下加利福尼亞州。

「有一群台灣天文學家要來墨西哥蓋望遠鏡，當時的所長問我願不願意加入，我毫不猶豫就答應了。」墨西哥國立自治大學天文學家 Mauricio Reyes Ruiz 回憶最初加入第二代 TAOS 計畫 (TAOS-2) 的過程。他笑說，沒想到在 2009 年末答應加入團隊後，自己不僅被賦予擔任 TAOS-2 計畫共同主持人的任務，後來還成為聖白多祿天文台台長。聖白多祿天文台就是 TAOS-2 望遠鏡的新家。

聖白多祿天文台位在墨西哥北部，鄰近美國加州邊界。從下加州的大城恩森那達市開車沿著 1 號公路向南行，車窗外的景觀從城市漸漸轉成大片的農地。接著轉入聖白多祿山的道路後，偶爾能在山谷間看見聚落與農地，但更多的是一望無際的山景。從恩森那達市區開到天文台，開車至少需要四個半小時。



沿著山路開車前往聖白多祿天文台，前半路看不到大樹，僅有低矮的植被。(趙軒翎／攝影)

當漸漸接近聖白多祿天文台，四周反而開始出現綠色植被和大片的針葉林。主要是因為山頂冬季會下雪，雪水的滋潤讓較大型的植物能夠存活。這時，也逐漸接近位於山頂的天文台，隱約還可以從樹林間看到一抹望遠鏡的蹤跡。



遠方為聖白多祿天文台四座望遠鏡的建築，最左邊的為最初的 2 公尺望遠鏡，而右邊三座則為新增的 TAOS-2 望遠鏡。（趙軒翎／攝影）

聖白多祿天文台是墨西哥國立天文台，最早於 1878 年建於墨西哥市，後因都市建設、汙染影響觀測，幾經搬遷最終在 60 年代末、70 年代初才在聖白多祿山上找到新家。天文台陸續蓋了三台光學望遠鏡，口徑分別為 0.84、1.52 和 2.12 公尺。其中最大的 2 公尺望遠鏡在 1979 年落成後，就再也沒有新的天文建設。



聖白多祿天文台於 35 年前，就已建造 2 公尺望遠鏡，目前仍在執行觀測任務。（趙軒翎／攝影）





而台灣團隊打破了這一成不變的僵局。

王祥宇說，聖白多祿天文台統計有高於 70% 的夜晚能作天文觀測，良好的氣候條件讓它成為第二代望遠鏡的建設基地。相較於一年只有 400 小時能觀測的鹿林山，聖白多祿天文台無疑是更好的選擇。

TAOS-2 計畫需要建設三座 1.3 公尺的望遠鏡，即使並非大型望遠鏡，卻也讓聖白多祿天文台面臨很大的挑戰。「對聖白多祿天文台而言，我們得重新學一遍，怎麼蓋望遠鏡。」Reyes 說明，到 TAOS-2 動土之前，聖白多祿天文台已經有 35 年沒有新望遠鏡的架設，該怎麼做都得靠團隊去嘗試和摸索。

對原是專注在理論天文學研究的 Reyes 而言，這個挑戰十分艱鉅。「TAOS-2 計畫不僅僅讓我跨足觀測研究和天文儀器建造這兩個領域，更多的是許多與天文無關，甚至與科學無關的事。」Reyes 說。這些關卡包括取得當地政府的興建許可、公文合約的簽訂、工程建設的討論與監督，以及人事管理等艱鉅任務，Reyes 通通都得一一面對與克服。

要將團隊 TAOS-2 的構想轉化成工程師、廠商可以實際執行和建造的設計圖，兩方就得經過多次的討論。天文學家在設定觀測目標之前，大多有些相關的理論基礎去支持這個觀測，因此在設計望遠鏡前，會先由天文學家依據他的科學目的提出需求。這些需求並不是每一個都能達成，工程團隊這時就需要統合電子、衛星、軟體等專業工程人員，一一去評估這些科學上的需求，是否有技術能實現，Reyes 的角色就是在兩方之間協調。身為天文學家的他，必須了解天文團隊的需求，確實的傳達給工程團隊；而當工程團隊提出哪些需求因為技術問題沒有辦法達成時，他也得與天文學家們討論，在觀測上該怎麼因應。



聖白多祿天文台台長 Mauricio Reyes，即為 TAOS-2 墨西哥方的計畫主持人，除了 TAOS-2 計畫外，也積極與各國洽談國際合作，為天文台帶來更多新的望遠鏡。（趙軒翎／攝影）

而 TAOS-2 計畫也為聖白多祿天文台開啟了一個新的時代，山上不只增加了 TAOS-2 的三座 1.3 公尺望遠鏡，持續有工程和正在籌備的建設計畫加入。在 TAOS-2 旁建設的 SAINT-EX 是與瑞士、英國合作的計畫，此外還有與美國合作的 DDOTI、與法國合作的 COLIBRI、墨西哥自己的 COATLI 計畫等，都正在處於現在進行式。目前已有 10 個國家參與在天文台的建設計畫當中，預計幾年內山上望遠鏡的總數就會增加到 12 個。

「SAINT-EX 就是耳聞 TAOS-2 的成功經驗，而被吸引而來。」Reyes 說，先天的優良觀測條件，再加上 TAOS-2 的加持，讓聖白多祿天文台成為新望遠鏡架設的熱門地點。

「我們就像是青春期的少年，突然之間長大了許多。」Reyes 說，不過透過 TAOS-2 累積的經驗，讓他們更有信心面對未來的大型天文國際合作。

## 研究與天氣搏鬥

聖白多祿天文台是個適合天文觀測的地方，卻不是個容易建設望遠鏡的位置。從 11 月中旬開始聖白多祿山頂的氣溫已經非常低，即將迎接寒冷的冬天，也開始不利於水泥工程。而這樣的低溫天氣，會一直持續到五月中。然而緊接而來的夏日，卻很容易在午後下一陣雨，雖然不會影響到夜間的觀測，卻會大大影響到日間施工作業。

Reyes 說，TAOS-2 工程進度只要延遲一點，就有可能碰上不適合建設的氣候，整體的工程狀況就延遲得更嚴重。所以，雖然 TAOS-2 在 2013 年破土，2014 年才真正動工，而三座建築物、望遠鏡主體完工已是 2017 年 10 月。

望遠鏡趕工的最後四個月，聖白多祿天文台多了一個身影，他是中研院天文所 TAOS-2 的計畫主持人 Matthew Lehner。高大又有著明顯白人臉孔的他，在清一色墨西哥人中顯得突出，卻又能隨時融入當地的科學家、工程師。在最後關鍵的建設期間來與當地團隊一起工作，解決望遠鏡與其他軟體、硬體間的各种狀況。

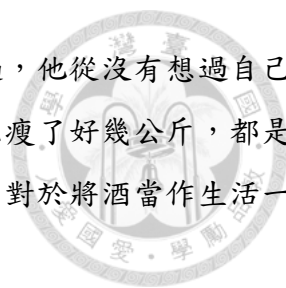


TAOS-2 計畫主持人 Matthew Lehner 坐在 TAOS-2 望遠鏡前。(趙軒翎／攝影)

9 月初，Lehner 短暫離開天文台，回美國的家休息了幾天，再次準備回到天文台工作。當時海面上有個熱帶氣旋，他並沒有特別在意，但在上山五天後，這個熱帶氣旋增強為颶風，山上也開始颳起強風大雨。他開玩笑地說，颶風幫我們測試了望遠鏡的建築非常穩固，也還好前兩個月已經將圓頂蓋上去，在裡面雖然聽到陣陣風聲、雨聲，但不至於受到任何影響。即使如此，他還是被天文台的管理團隊召回較低海拔的宿舍區域，以免風雨吹垮了樹木，阻擋了唯一可以下山的山路。

## 軟體控制望遠鏡

曾在聖地牙哥攻讀博士學位的 Lehner，回憶自己在念書時，時常南下墨西哥跑到海邊衝



浪，當時沒什麼外國遊客知道這些衝浪點，現在則已廣為人知。不過，他從沒有想過自己有一天會到這裡工作。他笑說，到聖白多祿天文台工作的四個月，自己瘦了好幾公斤，都是因為每天要爬上爬下好幾趟調整望遠鏡，還有天文台內絕不允許喝酒，對於將酒當作生活一部分的他是一個大挑戰。

Lehner 從第一代 TAOS 計畫開始參與，在 2000 年底以博士後研究員的身分加入團隊。最初團隊找上剛博士班畢業不久的他，是希望借重他寫軟體程式的能力。Lehner 說，多數天文學家觀測用的望遠鏡、收集數據用的相機，以及最後跑數據的軟體，都是用別人設計製作的成品。「對我們團隊來說，一切都要自己從頭做起。」而且，團隊希望這個望遠鏡可以自動化，相較於以往傳統的天文台，夜間需要技術人員或是天文學家負責操作；TAOS 則是要透過程式控制、自動化運作。因此，就需要像 Lehner 一樣的軟體工程師，去寫控制程式。


這個控制程式在啟動望遠鏡前，會先連結天氣觀測站，確認氣候條件是否適合觀測，只有晴朗、無雲、濕度適當的天氣，才會開啟望遠鏡的圓頂，進行觀測。夜間觀測時，除了需要隨時確認天氣狀況外，也要隨著觀測目標同步移動圓頂和望遠鏡的方向。

不過，第一代望遠鏡相對較便宜，軟體也沒那麼好，讓團隊花了許多心力在調整，以便能夠按照預期執行任務。「我們在第一代的建造過程中，因為沒有經驗而犯了許多錯誤，」Lehner 說，到後面才會發現這些錯誤已經大到無法以正確的方法修正，為了望遠鏡能夠運作，他們只好在軟體錯誤的地方貼上強力膠帶修補。

銀色表面的強力牛皮膠帶，是許多人在戶外會用來暫時性修補破損的工具，在影集《馬蓋先》中也是主角愛用的貼身工具之一。Lehner 解釋，在軟體工程中時常會遇到為了要讓程式運作，不得已只好用粗暴的方式修改、補強，工程師才會把這種修補方式以強力膠帶戲稱。

每次調整完軟體，最重要的是看它實際執行的狀況，以確認確實能解決之前遇到的問題。只是，這也需要看老天爺的臉色，只要晚間山上下雨就沒有辦法測試。Lehner 說，有時候好不容易解決軟體的問題，準備要測試，山上偏偏下了一個禮拜的雨。

第一代所犯的錯誤，到了執行第二代計畫時就成為重要的經驗。Lehner 以及團隊在八年前就開始籌畫第二代的軟體。「我們在買望遠鏡之前就開始寫程式，用很輕鬆的步調，產出很勇健的軟體，現在它的執行狀況很好。」Lehner 相當有自信地說。



未來三台望遠鏡架設完成後，所有的控制將在一間獨立的控制室中進行。正式開始觀測時，將由控制室發號指令，指揮望遠鏡的開啟、移動與觀測，也收集所有的觀測數據。而 TAOS-2 是個全自動的望遠鏡，當所有軟硬體測試完畢，夜間的觀測也不太需要人力，通通由電腦自己運作。

不過，有一件事情還是得人工完成。TAOS-2 開始運作後，每個晚上預計將會產生 3 兆位元組 (terabyte, TB) 的數據，一個星期就有 20 TB，一年將會接近 1 千兆位元組 (petabyte, PB) 的數據。每過幾個禮拜，這些數據得經由人力送下山，到恩森那達市區的墨西哥國立自治大學，透過他們的高速網路傳到台灣。

## 相機抓得住星光！

然而，第二代 TAOS 望遠鏡最大的挑戰不是軟體，而是目前還未真正完成的特殊相機。TAOS 計畫要看海王星外天體，移動到更遙遠恆星前，遮住星光那一剎那之間的變化。要觀察到掩星現象，就要看使用的相機抓不抓得住瞬間的星光。

一般天文望遠鏡使用的相機，小型的拍照時間就要 1 到 2 秒，而大型相機的時間更久，對這個計畫來說速度都不夠快。相機成像的速度取決於其中的感光晶片，王祥宇解釋，一般我們使用的相機或是大多的天文相機，多使用「感光耦合元件」(CCD) 作為感光晶片，在拍照快門關閉後，它會依序將晶片上每一個畫素 (pixel) 的訊息都輸出，再一併將所有訊號放大、轉換，讓我們得到影像。不過對於 TAOS 計畫而言，天文學家目標的星星只佔晶片中的一個畫素，等到 CCD 讀完所有的畫素，掩星現象早已結束。

因此，在 TAOS 的相機選用的是另一種感光晶片，稱作「互補性氧化金屬半導體」(CMOS)。這種晶片的特點在於，晶片中每個畫素都是單獨輸出，不需要一次讀取整個晶片的訊號。以 TAOS 為例，團隊設計每次在觀測一個星星時，只輸出星星周圍 7 x 7 畫素的訊息。減少每一次輸出的畫素量，以達到更快的速度。

「因為這個相機很特別，所以我們要花更多的時間去測試。」王祥宇說。晶片除了讀取速度要快，更要能偵測掩星現象微小的亮度變化。不管是晶片本身，或是後續電路輸出的過程，都不能有任何雜訊，相機得到的影像才有分析的價值。這也讓團隊在研發過程吃了很多苦頭，王祥宇說，以往團隊有製作較小型 CMOS 相機的經驗，但 TAOS 望遠鏡要使用的相機

較大，要操控的元件、線路都大大增加，也讓製作的難度大幅提升。

要讓 TAOS-2 正式在墨西哥聖白多祿天文台上開始運作，這個高速高感度相機的製作是否順利，會是很大的關鍵。王祥宇表示，目前仍不確定確切時程，若一切順利，預計 2018 年春季相機能夠完成，送到墨西哥開始測試。



TAOS-2 計畫中共有三部 1.3 公尺望遠鏡，此為其中一座。（趙軒翎／攝影）

## 追掩星也追太陽系的謎

追逐那一閃而逝的掩星現象，除了想要了解海王星外還有多少其他的天體，天文學家也希望藉此了解太陽系形成的過程。

天文學家發現，在太陽系成長的過程中，行星的排列順序曾經改變過，木星、土星、天王星和海王星這四個行星曾經換過位置。王祥宇說，在太陽系形成 8 億 8 千萬年後，重力使太陽系處於不穩定狀態，激發外圍的行星移動。在這些體積較大的行星「亂跑」的過程，影響了太陽系中的小天體，這些體積較小的天體受到重力影響就被「彈飛」出去。小天體有些往太陽的方向彈，撞到行星或衛星，在上面造成坑洞；有些則往外彈、偏離原本的軌道，也因此產生新的軌道；還有一些原本就離行星較遠，完全沒有受到影響。

在掩星現象的觀察中，天文學家將可以得知海王星外這些天體的數量與大小，這些可能

就是當時被往外彈、偏離軌道的天體。王祥宇表示，目前天文學家建構了一些模型來模擬可能的狀況，而透過 TAOS 掩星計畫所蒐集到的數據，可能可以提供天文學家一些線索，慢慢解開太陽系形成的謎團。



## 第八章 元老謝幕，交棒下一世代



2015年12月1日一早，天文數學館國際會議廳早已熱鬧非凡，這一天是中研院天文所創所重要人物—徐遐生的退休歡送會。

「其實這已經是我第四次退休了，」徐遐生說，他的第一次，是從美國加州大學柏克萊分校、待了28年的天文系退休；第二次是從台灣清華大學校長的位置退休；第三次是從台灣回到美國任教數年後，再次從加州大學聖地牙哥分校退休。這一次，他要從自己費心創立的中研院天文所退休。

「柏克萊是我花最多時間的地方，中研院天文所算是第二。」徐遐生說，從1989年起投身在只短暫居住一年的台灣，讓自己所愛的天文研究，能在這裡長出一棵新芽。如今新芽已成為一棵生命蓬勃的大樹，不過最初播種的創所元老，卻也漸漸離開。

中研院天文所最初創所的團隊，在經過20多年的歲月輪替後，目前已漸漸退出第一線。除了，徐遐生選擇正式退休之外，這幾年團隊也陸續失去幾個夥伴。最早離開的是袁旂，在2008年就因為腦癌惡化，離開人世。然而，在2016年底，又一個噩耗傳來，魯國鏞也因為癌症復發辭世。

1998年，魯國鏞是來台灣接任中研院天文所籌備處主任的第二年，沒想到他卻意外發現自己得了肺癌。在李太楓等台灣同事的幫忙下，他開始接受臺大醫院一連串的手術與治療，才得以控制病情。

前中研院院長李遠哲回憶，在魯國鏞手術結束後，他曾到病房探視。「你救了我的命！」魯國鏞躺在病床上這麼對李遠哲說，因為當初魯國鏞能發現癌症，就是李遠哲提供機會，讓中研院45歲以上的人員進行健康檢查，才得以發現異狀、及早治療。

「魯國鏞在生前告訴我，他沒有任何遺憾。」魯國鏞的妻子Helen Lo說，魯國鏞在50歲的中年，毅然決然決定放棄美國十年的教職，到台灣經營天文所籌備處，他不曾後悔自己作了這個決定。在二十年間看著一個研究所從無到有，逐漸成形，也在國際上有了自己的位置，深深參與其中的他，有股說不出來的驕傲。



「我真的很感謝魯國鏞，」中研院天文所現任所長朱有花說：「感謝他成就了現在的我。」

回想起自己剛在美國拿到博士學位，卻因為要照顧剛出生不久的孩子，無法如其他同學順利找到工作，朱有花不禁感嘆這是段苦日子，其中實在有太多辛酸，難以用隻字片語表達。最初，她只能在伊利諾大學香檳分校取得兼職的博士後研究工作，半天工作、半天回家照顧小孩。在母親願意幫忙下，她才陸續在幾間大學全職工作，然而最後仍因工作地點離家太遠，讓她又回到伊利諾大學。

只是，當時沒有教授手上有多餘的計畫，能夠再聘請一個研究員，研究所也無法給她正式的教職。最後，天文研究所給她一個特殊的職稱「Graduate College Scholar」，讓她能以此申請國家經費做研究，並從經費中發薪水給自己。她學著自給自足，在沒有正式教職的身分保護下，以少少的經費持續自己的研究。雖然學校也在她申請到研究經費後，將他的職稱改為「研究助理教授」（Research Assistant Professor），以及「研究副教授」（Research Associate Professor），職位本質沒有變，依舊不等同於助理教授。

中間朱有花幾度申請學校開出的職缺，卻總是落選。「他們的理由是我沒有教學經驗，」朱有花仍有些憤慨地說：「不給我教書，我哪來的教學經驗！」

此時，正好在伊利諾大學天文所擔任系主任的魯國鏞，站出來幫了她一個大忙。在魯國鏞的牽線下，朱有花得以在學校開「普通天文學」（Astronomy 100），雖然只是給非科學專業領域的學生修習的通識課，卻是朱有花走出困境的重要一步。

1997年，朱有花在伊利諾大學取得教授職缺，十多年沒有正式頭銜的她，終於等到屬於她的這一天。魯國鏞當年對她伸出援手，讓她一直感激在心。而她也追隨著魯國鏞的腳步，成為伊利諾大學天文所的所長，再回台灣接任中研院天文所所長一職。

## 人才培育

一棵樹在生長過程，枝桠要先抽高茁壯，才能開枝散葉成為一棵大樹。朱有花說，若將中研院天文所的發展，對比一棵樹的生長，魯國鏞就像是嫩芽正在努力抽高、變得更強壯的過程中，在樹旁悉心施肥、給予樹足夠養分成長的重要人物。

魯國鏞放下美國伊利諾大學的教職，從1997年開始接任中研院天文所籌備處主任，直到



2002 年獲聘為美國國家電波天文台台長才離開。整整五年的時間，為剛起步的中研院天文所打好基礎。

籌備處成立之初，雖然順利與美國史密松天文台合作，共同建造次毫米波望遠鏡陣列（SMA），然而建造儀器並非一朝一夕可以完成，既要彌補建造時期的空檔，同時也是培訓電波天文學領域的人才。魯國鏞運用他在電波天文學領域的人脈，讓中研院天文所與美國 BIMA 電波望遠鏡陣列的三間學校—美國加州大學柏克萊分校、伊利諾大學香檳分校和馬里蘭大學，共同合作培育人才。中研院天文也提供 BIMA 獎學金給台灣學生，到這三所大學攻讀博士學位。

當時拿到獎學金的學生，現在都回到台灣，成為中研院天文所的研究員，或是到大學擔任教職。

清華大學天文研究所教授賴詩萍，就是當時其中一名 BIMA 獎學金得主。中央大學碩士班畢業之後，她在中研院天文所 BIMA 獎學金的資助下，如願前往伊利諾大學天文研究所攻讀博士學位。她在魯國鏞的帶領下，開始學習無線電波天文學，透過 BIMA 電波望遠鏡去觀察與分析無線電波的訊號。

學成回國的她，在目前全球最大規模的電波望遠鏡「阿塔卡瑪毫米波／次毫米波陣列」（The Atacama Large Millimeter/submillimeter Array，簡稱為 ALMA）首次接受觀測計畫申請時，她所帶領的清大團隊，在九百多件計畫中脫穎而出，成為第一批能使用望遠鏡的團隊。

除此之外，BIMA 獎學金的得主還包括中研院天文所副研究員尚賢。不同於賴詩萍專注在電波天文學觀測領域，她以理論研究為主，目前是所上相當資深的理論天文物理學家；而中研院天文所研究員李景輝，從馬里蘭大學攻讀博士時，開始進入電波天文學觀測領域，研究恆星形成的過程，現在也成為 ALMA 計畫區域研究中心台灣支站的負責人；與賴詩萍同在清大任教的陳惠茹，從美國加州大學柏克萊分校回國後，也專注以無線電波研究高質量的恆星。

即使 BIMA 獎學金，在台美合作的 SMA 望遠鏡製作完成後，就沒有繼續推行，不過幾年下來，也培養了一批新的台灣天文學家。他們將自己在國外所學帶回台灣，再教給更多新一代的學子。

## 從擴張到平穩



從創所最初，團隊幫中研院天文所以及台灣天文研究寫下的十年計畫，如今已經進入第三個十年。

在李遠哲擔任中研院院長時，台灣經濟狀況好，國家撥給中研院的預算，更是每年以 10% 增加。也是在這段時間，中研院陸續成立許多新研究所，來補齊院內研究領域缺少的部分，中研院天文所就是其中之一。然而這個擴張不可能永遠持續下去，李遠哲說，以前的中研院有許多空缺要補，現在已經比較完整了，是時候開始整合。不管是對於整個中研院，或是個別的研究所而言，都是目前得面對的議題。

中研院天文所從最初專注在電波天文學的研究，參與許多國際合作計畫製作天文望遠鏡，在儀器建設上已有相當的成就。從與美國史密松天文台合力建設的「次毫米波陣列」(SMA)、自己設計製作的「李遠哲陣列」(原稱為 AMiBA，後改稱 YTLA)、參與多國合作的 ALMA 大型望遠鏡陣列等計畫，都是中研院天文所在電波天文學上的足跡。

現在，他們也將觸角擴展到極圈，目前如火如荼進行中的格陵蘭望遠鏡 (Greenland telescope, 簡稱 GLT) 建設計畫，位置就在地球北端的圖勒 (Thule) 空軍基地。這一個望遠鏡建設完成後，將與在美國夏威夷的 SMA，以及在智利的 ALMA，三處望遠鏡連成一個大三角。這個次毫米波特長基線干涉儀 (Submillimeter VLBI) 系統就像是一台超級大的電波望遠鏡，突破地區型望遠鏡陣列的極限，將觀測的解析度再次提升。

除了發展電波天文學外，中研院天文所也陸續加入其他天文領域的研究。例如即將在墨西哥聖白多祿天文台啟用的三座 TAOS-2 望遠鏡，所觀測的是可見光。另一方面，所上也持續培育理論天文學領域研究的能量。

在計畫與研究人員陸續增加之時，經費不可能無止境地往上提升，如何將資源做更有效的應用，成為中研院天文所重要的任務。朱有花說，所上新的計畫得更審慎評估；舊有計畫則在達成預定的科學目標後，得視情況決定後續處理，以便讓有限的資源做最大的應用，使中研院天文所能持續在天文研究領域中成長。

## 火炬傳承



二十多年前，徐遐生、魯國鏞、賀曾樸、李太楓、袁旂等人在研究工作外，付出時間與精力在推動台灣天文研究。從當時台灣不到十個人擁有天文相關領域的博士學位，如今每年都有許多學生，從不同的系所取得天文領域學位畢業。

袁旂、魯國鏞相繼逝世，徐遐生宣布退休，賀曾樸則接任東亞天文台台長，時常需要在各地奔波，長時間留在台灣的只有李太楓。不過，近年李太楓為帕金森氏症所苦，在行動上較不方便。從發病以來，李太楓督促自己持續運動，現在的他常常到健身房活動筋骨，避免肌肉萎縮。

身體的病痛沒有讓李太楓停下腳步，仍然自己出門搭公車到位於台大的中研院天文所工作。只是他也坦言，已無法像以前一樣，全心投入在自己最愛的研究工作上。病魔沒有影響到他的思考，在中研院天文所的走廊上，還是能看到他與學生或其他研究員討論的身影。而他對天文所走過的點點滴滴，每次有機會，他也很樂於與後輩分享這段故事。

在徐遐生的退休歡送會上，來參加的不僅是徐遐生多年的夥伴、好友，更多是現在任職於中研院天文所的後輩。站在台上的他，在致詞最後說道：「我們是否成功地在台灣發展天文研究，不該由我們來說，而是該問未來新一代的天文學家。」

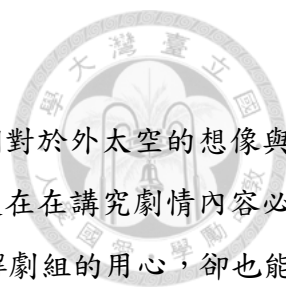
徐遐生的最後幾句話更是語重心長：「現在，我們將這個火炬交給你們。讓它燒得更旺、更亮是你們的責任了。」

話說完，台下響起熱烈的掌聲，以示心中最高的敬意。



## 第二部分：深度報導企劃





## 第一章 報導意識

從 2014 年的電影《星際效應》到 2015 年的《絕地救援》，人們對於外太空的想像與期待，又再度被喚醒。這兩部電影其實不只是憑空杜撰的科幻片，而是在在講究劇情內容必須兼具科學根據的「硬科幻」（Hard Sci-fi）。即使一般人無法完全理解劇組的用心，卻也能在離開電影院時，津津有味地討論黑洞、蟲洞、重力場、火星任務等科學。

由於科技越來越進步，人們對於宇宙的想像也逐漸變得具體、有跡可循。這有賴一批又一批、不斷追尋太空奧秘的科學家與技術人員，讓我們望向星空時，不再只是看到點點繁星；而是逐漸能夠認識每個星點，都是一顆發光的恆星或反射光的衛星。如果又更進一步，我們可以透過物理理論和觀測，去探尋宇宙的起源、結構、組成、運動、演化與變遷。

人們不時可以從新聞媒體上，看到各國在天文學上的競賽與突破。以近幾年來說，歐洲太空總署（ESA）的彗星追蹤器羅賽塔號，經過十多年的飛行後，於 2014 年 11 月飛達 67P/楚留莫夫—格拉希門克彗星，並成功讓菲萊登陸器著陸進行探測。許多天文迷守在電腦螢幕前，觀看菲萊登陸器順利登陸，也隨著 ESA 工作人員相擁歡呼的畫面而振奮。此外，2015 年美國航空暨太空總署（NASA）一連兩次舉行記者會宣布，他們發現現在火星上有液態水，以及火星上大氣層不斷被太陽風帶走。這些前所未有的太空探索，自然受到全球媒體的矚目與報導。

若是單純只看這些電影和報導，人們可能會誤以為「外國的月亮比較圓」；台灣的天文研究必然貢獻很少，或甚至認為台灣沒有能力做天文研究。事實上，不管是在台灣、或是國外，我們都是看著同一片星空。台灣的科學家也有能力為天文研究做出貢獻，只是罕見台灣媒體關注而已。

### 第一節 台灣天文研究缺少關注

2015 年 5 月，中研院天文及天文物理研究所團隊，利用阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列（ALMA）進行觀測比對，試圖解析宇宙中數量很少的大質量恆星形成過程。同年 9 月，中研院天文所另一團隊，也透過 ALMA 發現一個能夠估算遙遠星系的黑洞質量的方法。

ALMA 位於智利的高原上，是目前地表最大規模的望遠鏡陣列，總共由 66 座精密的望遠鏡組成。對天文學家來說，就像是為他們開了一扇能更清楚看到宇宙風景的窗。台灣團隊

並未缺席 ALMA 計畫，還是從一開始就投入建造工程。台灣不僅主導兩輛「前段維護特種車」的製作，更與日本團隊合作進行相關軟體開發，以及高頻超導混頻偵測元件的研發。此外，台灣團隊長期參與國際大型天文研究計畫，早已嶄露頭角。

世界已經看到台灣的實力，台灣自己卻蒙在鼓中。台灣的月亮沒有「不圓」，也有許多出色的天文學家，只是缺少被看見的機會。

從台灣的新聞媒體報導上，台灣本身的天文研究成果，很難成為一般民眾矚目的焦點，媒體也較少關注這樣的議題。又或許即使媒體刊登了這些新的研究成果，也會因為內容太深奧，而難以在非該領域的群體引發共鳴。由於這些因素的影響，以致國內民眾時常只看到國外的大型研究成果，而忽略了台灣的貢獻。

除此之外，台灣目前刊登的報導、出版的圖書中，多數缺乏對於國內天文研究發展變遷的報導和紀錄。查詢目前出版的天文相關書籍中，多以介紹天文學知識、天文觀測的工具書為主。而以天文史為主題的書籍，則多著重介紹西洋天文發展、天文學家；就華文的天文史書籍來看，則著重在中國早期的天文發展，如台灣商務印書館出版的《中華天文學發展史》（劉昭民，1985）、《中華天文學史》（曹謨，1986）二書，不僅敘述的多是古史，甚至未著墨近代台灣本土天文的發展。近幾年更是幾乎沒有相關的著作出現，僅有少數幾篇文章，概述了國民政府播遷來台後的天文學發展。

傅學海（2011）曾經著文，很精簡地回顧了中華民國建立百年來天文學發展。他提到，國民政府播遷來台後，原先的中央研究院天文研究所及其儀器和人才，卻未能一併來到台灣。台灣的天文研究重新歸零，只有零星的天文愛好者，自組社團。直到 1980 年代，中央大學成立天文研究所，才開始出現進行天文研究的學術單位，並建設鹿林天文台，成為台灣相當重要的觀測據點。

而後在 1990 年代，中研院正式成立天文及天文物理研究所籌備處，也開始參與大型國際合作計畫，台灣的天文研究這才走向國際。儘管台灣天文學研究主要興起僅有約 30 年，時間並不長，卻可以發現，台灣的天文學、天文物理學研究，已經受到國際的肯定。

傅學海（2011）點出了台灣天文學發展幾個重要的轉捩點，以及發展的時間脈絡。不過囿於篇幅所限，這些事件僅是粗略帶過，未能從中看到推動事件發生的人物、故事與事件的細節。然而，每個轉捩點的背後，其實都有著一群關心台灣天文研究的人。他們可能是默默



耕耘的天文學家，也可能是熱衷的業餘天文觀察者，卻都在天文邊際，發現彼此相契相合。



## 第二節 中研院天文所成立不易

若要說到推動台灣天文研究的重要人物，沒有人會忽略中研院院士李太楓。也因為李太楓的堅持，破除外行隔閡等種種阻力，終於推動中研院成立天文及天文物理研究所。一說起中研院天文所，李太楓總有說不完的故事。中研院天文所目前所有工作人員與實驗室，都在台大校園的天文數學館內。在第一次預訪中，他帶著我認識中研院天文所，上上下下來回參觀不同的實驗室。李太楓即使已經近 70 歲，近年因患帕金森氏症，行走有些不便，三個小時下來卻不曾喊累。

李太楓說，他 1984 年冬天回到台灣，接受中華民國天文學會的邀請，在學會中舉行演講。他描述自己在台上講著美國正在進行的新研究領域「原子核天文學」和「宇宙化學」，但是台下對天文有熱忱的聽眾，卻沒有一個人能聽得懂。這個時候他才發現，台灣談的天文研究與國外差距有多遠。李太楓屈指算了一下，當時台灣將天文作為專業和職業的人只有五名，其他僅可說是對天文有興趣的業餘人士，甚至居多偏重在觀星；幾乎沒有人能以嚴謹的研究方法探究天文問題，更遑論結合物理、化學、地球科學等領域知識研究天文。

李太楓一回到台灣面對這樣的困窘環境，他還是接下中研院地球科學研究所的職位。一方面推展以放射性同位素的技術研究地質學；另一方面也積極投入鼓吹、集結各方人士的力量，促成天文所的成立。

在學術研究上遇上困難，科學家們能運用所知的科學方法、技術、儀器層層去推敲和試圖解決問題，這通常都可以在研究的範疇中找到解決的方法。但當這牽涉一個新的學術機構的建立，牽涉的是人、是經費，甚至是各種政治因素，問題就不是那麼簡單。李太楓說，當時台灣天文博士很少，他得把天文學家從美國找回來；同時，當時國內還有人質疑多一個研究所，就是多一個單位來搶奪稀少的研究經費，他得找這些人溝通；而中研院創立新的研究所，更需要許多在位者的支持與協助，李太楓也得一個一個去拜訪和說服。說實話，這些困難不是科學家的職涯會遇到的，也超出了專業領域。

然而，由於李太楓跨出最困難的第一步，他執意創立天文所的信念，吸引了徐遐生、賀曾樸、魯國鏞等美加地區的華裔天文學家。他們大多不在台灣出生，也僅有少數人在台灣生



活過，卻願意來台灣。徐遐生說，或許他們留在美國能做出更多研究論文，但那只是對自己好，不會造成很大的影響。若能幫助台灣創立頂尖的天文研究單位，便可能為華人的天文學研究做出影響。這樣的信念也讓他們願意離開當時的職位、放棄高薪來到台灣，展開披荊斬棘的發展天文旅程。

在預訪李太楓、徐遐生等人的過程中，我看到這群天文學家的團結與合作，他們不把自己侷限在自己的研究中，而是奉獻自己的力量，成就一個共同的大目標。而這群人也確實為台灣天文研究帶來了很大的改變，這樣的過程不只是天文學研究的進展，也是一群人的生命故事。

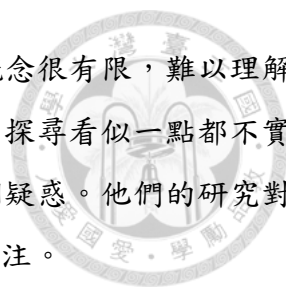
### 第三節 記錄台灣天文物理研究的故事

在中央研究院的各所中，天文研究所早在 1928 年於南京時已成立，但在國民政府播遷來台後並未一併搬遷過來，實際上重新在台灣出現中研院天文所籌備處，卻是晚到 1993 年，正式成所機構時已到 2010 年。因此中研院天文所可說是成立相當早、同時也相當晚的單位。

天文研究也開始在國內各大學府發芽。1992 年，中央大學成立了台灣第一個天文研究所，台灣天文研究與教育似乎聽到了起跑的槍響，從此開始衝刺。後來陸續成立中研院天文所籌備處（1993）、清華大學天文研究所（2001）、台灣大學天文物理研究所（2003）和成功大學太空天文與電漿科學所（2008；後已更名為太空與電將科學研究所）等天文學術研究機構，逐漸孕育台灣天文研究環境與人才。其中，中研院天文所雖然不是台灣第一個成立的天文相關的研究所，但成立中研院天文所卻是台灣天文發展重要的里程碑。藉由了解和呈現這段天文發展歷史，也能一窺台灣初期開展天文研究的狀況。

隸屬於中央研究院的天文研究所不同於一般大學，一般人可能僅認知它隸屬於總統府，擁有龐大的資源與國家支援，但也因此有不一樣的使命。中研院天文所從籌備階段至今，積極參與大型的國際合作研究計畫的腳步從未間斷。從與美國史密松天文台合作興建的「次毫米波陣列（SMA）」開始，到近幾年的「阿塔卡瑪大型毫米波及次毫米波陣列（ALMA）」，都看得見台灣研究人員的努力。因此談論中研院天文所的發展過程，不僅僅是討論台灣一個研究單位的興起，更是藉此看到台灣的天文研究如何站上國際舞台，在全球中佔有一席之地。

就如同本章節最開頭提到的，我們好像總是在為國外的天文研究鼓掌，卻鮮少人知道台



灣也有一群天文學家，默默做了許多努力。又由於人們對天文學的概念很有限，難以理解這群總是躲在天文望遠鏡後面的研究人員，看著離我們很遙遠的星空，探尋看似一點都不實際的星辰奧秘。「那與我們有何關係？」或許不少人心裡也曾響起這個疑惑。他們的研究對於一般人來說，或許不容易理解，卻不代表他們做的研究，不值得被關注。

透過本深度報導論文，我最希望能寫下的，是中研院天文所這群天文學家的故事。奔走遊說各方、讓中研院天文所從無到有創立的他們，怎麼燃燒熱情去堆砌中研院天文所的一磚一瓦。從沒做過天文望遠鏡的他們，又是怎麼邊看邊學邊做，至今成為大型國際計畫的重要參與者。明明自己不是台灣人，留在台灣做天文研究的時間，總是比留在自己家鄉多……。

我初步發現的是，形塑出中研院天文所模樣的，正是這些將自己心血投注在天文研究的人。我希望用他們的故事拼湊出台灣最初發展天文學的樣貌，並以報導體的形式，說出過去30年間天文研究的奠基和發展等動人的故事。



## 第二章 文獻回顧

「今人不見古時月，今月曾經照古人。」遙想詩人李白舉杯對著明月，感嘆古往今來人事如流水，唯有明月如故。我們今天仍看著一樣的太陽、月亮以及星辰，看似未變的宇宙，實際上時時刻刻都在改變。這些改變我們肉眼可能看不見，但在古今中外天文學家們的觀察、研究下，宇宙 137 億年的歷史卷軸正緩緩地打開。

### 第一節 古代天文學

天文學是門相當古老的科學，早在現代文明出現之前，人類可能就懂得去觀察日月的規律與軌跡。

非洲衣索匹亞的摩西族人 (Mursi) 倚靠奧莫河 (River Omo) 維生，但河川每年的氾濫讓他們的生活苦不堪言。若能提前得知氾濫的時間，摩西族人觀測到星空的週期與河川、草木的變化有相關，每次半人馬座和南十字星座中四顆星偕日落時，就是奧莫河氾濫之時。而位於南美洲的馬雅文明留下的曆法 (或者說是占星學)，透過對於金星的觀察，訂定出以 260 天為週期的「卓爾金歷」(Tzolk'in) (麥可·霍斯金，2008)。

人類運用星辰的規律週期來生活，除了透過日月來得知時間，更進一步運用天空中星體的週期來對應自然界的時節循環。在各地不同文明、族群中，在在可以發現人類利用星象判斷農耕播種、收成時間；在海上仰賴星象導航；或者以星辰占卜等例子，足見古代人類對於星象的觀察並非單一事件。

西元前四世紀，在哲學思辨活躍的希臘雅典，對天文觀察也相當熱衷。希臘人將觀察到的天體運動記錄下來，試圖運用幾何模型來呈現。當時的人相信地球不會動，而行星們會以圓周運動繞著地球轉動，形成一個同心圓模型。不過也同時發現並非所有的行星都這麼「守規矩」，包括當時還被歸類於行星的太陽、月亮，以及五顆行星水星、金星、火星、木星和土星，不僅速度各不相同，有時還會出現向後運行的現象，令人摸不著頭緒。

直至西元 145 年托勒密完成《至大論》，才打破了行星運動的「同心圓」理論和「地心說」。他認為行星繞著太陽運行，運行軌道為橢圓形並非圓形，而太陽也不在橢圓的中心而是在其中一個焦點上。

但由於觀測工具、科學理論的缺乏，人類對於天文現象的研究直到 17 世紀才有較顯著的

突破。



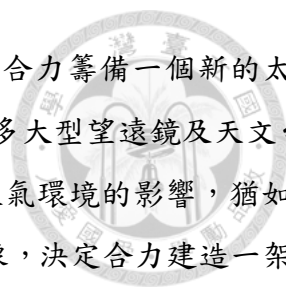
## 第二節 望天之眼：天文望遠鏡

天文學不像其他自然科學容易控制實驗中的變項，多只能透過觀測來研究，觀測的對象是來自宇宙的光。在地球上人類肉眼可看到點點的星光，是宇宙中的天體發射或反射的光線，屬於較「年輕」的光線。而相對較「古老」的光線來自於 137 億年前宇宙誕生的初期，雖仍未有星體誕生，但物理學家愛因斯坦推測此時的宇宙早有大量的光子。而這些光子因宇宙膨脹影響，實際到達地球時它們的波長會被拉長，讓我們難以看到，但卻無所不在，天文學家稱它為「宇宙微波背景」（Cosmic Microwave Background，簡稱 CMB）（吳俊輝、姚珩、徐光台、高涌泉、曹亮吉，2013）。不管「年輕」或「古老」的光，天文學家都希望能更有效率地捕捉它們，進而了解宇宙的奧秘。

17 世紀初，人們開始逐漸掌握捕捉光線的能力。物理學家伽利略於 1609 年改良以兩個凸透鏡成像的折射式望遠鏡，才首次發現月球表面有山丘與坑洞，而非平滑如鏡（NASA，2003），從此開啟了天文學家「以管窺天」之途。而後同樣有蒐集光功能的凹面鏡，也同樣被應用在望遠鏡上，其中最出名的莫過於 1667~1668 年間，牛頓所發明的反射式望遠鏡「牛頓望遠鏡」。牛頓望遠鏡雖不是第一支反射式望遠鏡，但因為牛頓突破了過去凹面鏡成像一直無法解決的球面像差問題，讓反射式望遠鏡影像品質大躍進，即使到了現在 21 世紀多數光學望遠鏡仍以此原理設計製作（吳俊輝、姚珩、徐光台、高涌泉、曹亮吉，2013；麥可·霍斯金，2008）。

17 世紀末，在法國籍天文學家卡西尼（Giovanni Cassini）的協助下，巴黎天文台成為當時觀測設備最齊全的天文台（Peter Grego，2010）。18、19 世紀天文望遠鏡的製造技術不斷精進，在聚光性、解析度與放大倍率上都有顯著地進展。光學玻璃是影響天文望遠鏡影像品質的關鍵，只不過要鑄造大型、精密的光學玻璃得克服許多技術上的困難。好在專業天文台對於大面徑高品質光學玻璃的需求提升，加速了玻璃製造商的技術升級，讓更大型的望遠鏡得以誕生。1847 年美國哈佛大學新成立天文台時，所製作的望遠鏡透鏡直徑僅 15 英吋（約 38 公分），而到了 1897 年芝加哥大學葉凱士天文台（Yerkes Observatory）的望遠鏡透鏡直徑已增加到 40 英吋（1 公尺），足見光學玻璃製造技術的進步（麥可·霍斯金，2008）。

1970 年代美國國家航空及太空總署（National Aeronautics and Space Administration，簡稱



NASA) 和歐洲太空總署 (European Space Agency, 簡稱 ESA) 開始合力籌備一個新的太空望遠鏡。從 17 世紀至 20 世紀, 各國已陸續在合適觀測的地點興建許多大型望遠鏡及天文台, 然而這些望遠鏡位於陸地上向天望去, 勢必就得處處受到地球本身大氣環境的影響, 猶如眼睛前面蒙上一層薄霧一般。NASA 和 ESA 為了能夠取得更精準的影像, 決定合力建造一架太空望遠鏡。1990 年哈伯太空望遠鏡 (Hubble Space Telescope) 升空, 到達 600 公里高度的軌道上。即使它的主鏡頭直徑只有 2.4 公尺, 在當時僅算是中等尺寸, 但位於外太空的它不受大氣干擾, 影像解析度可是遠遠超過地面的大型望遠鏡 (吳俊輝、姚珩、徐光台、高涌泉、曹亮吉, 2013; 麥可·霍斯金, 2008)。

### 第三節 破解來自星光的消息：電波天文學

上述的天文望遠鏡 (除了哈伯望遠鏡外) 主要以偵測可見光為主, 然而可見光僅是輻射線中的一個波段。我們現在知道輻射線大致可分為電磁輻射 (electromagnetic radiation)、粒子輻射 (particle rays)、聲輻射 (acoustic wave) 和重力波 (gravitational wave) 四大類, 可見光屬於電磁輻射的一種, 其餘還包括熱輻射、無線電波、x 射線和  $\gamma$  射線。

1888 年海因里希·赫茲 (Heinrich Hertz) 發現無線電波訊號, 但天文學家實際上應用在研究上得等到 1930 年代。無線電天文學的始祖卡爾·央斯基 (Karl Jansky) 任職於專注在研究電話、電信技術的貝爾實驗室, 他的工作是研究當時剛建設的跨大西洋無線電話系統, 會受到哪些外在因素干擾訊號。他利用一組底部裝有輪子、可移動的天線, 確認閃電雷擊聲是無線電話訊號的干擾因子。此外它還有另一種干擾因子, 是一種來自天空穩定的嘶嘶聲, 而後證實這是來自銀河 (Milky Way) 的無線電波 (Bartusiak, 2004)。

第二次世界大戰 (1939~1945) 後, 更多物理學家與技術人員投入偵測來自宇宙的無線電波, 也開啟電波天文學的時代。這些來自宇宙的電磁波是由恆星 (如太陽)、星系 (如天鵝座 A 星系 Cygnus A), 以及其他雖不一定能被光學望遠鏡看到, 卻能發射無線電波訊號的天體所發出。

為了能夠進一步分析無線電波訊號, 各國開始建設不同型態的電波望遠鏡。1957 年英國建造第一座全可動的電波望遠鏡, 幾經更名, 現在稱為「洛弗爾望遠鏡」(Lovell Telescope), 現今 (2017) 仍在使用。而後在 1963 年於波多黎各啟用的阿雷西博電波望遠鏡 (Arecibo Observatory), 則是一個直徑 305 公尺固定式的電波望遠鏡, 後來還擴建成 350 公尺, 一直

是全球最大型電波望遠鏡的紀錄保持者，直到 2016 年被中國 500 公尺直徑的 FAST 電波望遠鏡追過。


無線電波與可見光皆為可穿透大氣層的電磁輻射，其中又因無線電波不會受到大氣環境或惡劣天氣影響，架設電波望遠鏡時不需像光學望遠鏡一樣考慮海拔高度、氣候環境，更容易作業（麥可·霍斯金，2008）。然而電波望遠鏡在發展初期卻遭遇許多困難，無線電波的波長較可見光來得長，兩個同樣直徑的電波望遠鏡和光學望遠鏡相比時，電波望遠鏡的解析度就會比較差。電波望遠鏡的解析度無法提升，天文學家也就沒有辦法確定，究竟該區域哪個天體為無線電波源。然而望遠鏡的直徑不可能無止盡地加長，整體構造最終會因承受不了自身的重量而崩塌，因此只能另想其他方式，來加強電波望遠鏡先天上的缺點（Verschuur，2015）。

如果建造一個巨大電波望遠鏡不可行，那麼有沒有可能讓數個小型電波望遠鏡「合體」成為一個虛擬的大型電波望遠鏡？1946 年，英國劍橋大學電波天文學馬丁·賴爾（Martin Ryle）利用「孔徑合成」（Aperture Synthesis）的技術——讓多個電波望遠鏡同時接收一個電波源的訊號，進而透過干涉原理合成這些訊號，使得訊號的解析度大為提升。孔徑合成技術讓電波天文學得以突破困境，也讓賴爾在 1974 年獲得諾貝爾物理獎的肯定。

目前有多個電波望遠鏡陣列就是以這個原理建造（Verschuur，2015）。1970 年代建造的超大天線陣列（Very Large Array，簡稱 VLA），具備 27 台 25 公尺口徑的電波望遠鏡排列成 Y 字形，也是電影《接觸未來》（*Contact*）拍攝的重要場景。在進入 21 世紀時，VLA 開始接近十年的調整、升級工程，在 2011 年完工，並於 2012 年正式更名為卡爾·央斯基超大天線陣列（Karl G. Jansky Very Large Array），以紀念央斯基在電波天文學上的貢獻（NRAO，2012）。

#### 第四節 毫米／次毫米波天文學

除了無線電波外，1960 年代天文學家也開始關注另一種波長介於紅外線與無線電波間的光譜。這個波段屬於毫米與次毫米波，許多天文現象只能在這個波段顯現，例如宇宙間低溫的星塵與分子，以及銀河系中剛誕生的原恆星，對於了解宇宙、恆星誕生過程相當重要（曾耀寰，2011）。



智利的阿塔卡瑪高原，海拔高度 5,000 公尺，也在 20 世紀末被天文學家相中，成為「阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列」（Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array，簡稱 ALMA）的預定地。ALMA 是由三個地區、三個不同陣列的概念結合而成，包括美國的微米陣列（Millimeter Array）、歐洲的大南方陣列（Large Millimeter Array）和日本的大毫米波陣列（Large Millimeter Array）。後來不僅這三個陣列的負責單位（美國國家電波天文台 NRAO、歐洲南方天文台 ESO 和日本國立天文台 NAOJ）陸續同意加入 ALMA 計畫，加拿大國家研究委員會（NRCA）和台灣的中央研究院天文及天文物理研究所（ASIAA）也參與了這龐大的跨國天文計畫。

台灣在 ALMA 計畫上的參與，最初是在 2005 年與日本國立自然科學研究機構（NINS）達成協議，以 ALMA-Japan 團隊的身分參與（而後又有韓國的加入，團隊改名為 ALMA-EA，EA 取 East Asia 首字縮寫）。另外在 2008 年台灣科技部國家科學委員會（現改組為科技部）與美國國家科學基金會（NSF）達成協議，使得台灣能夠參與北美 ALMA（簡稱為 ALMA-NA，NA 取 North America 首字縮寫。團隊還包含加拿大。）團隊（中央研究院天文及天文物理研究所，2015）。


ALMA 於 2013 年完工，整個陣列共有 66 座精密度相當高的天線，影像解析度達 5 毫角秒，是哈伯太空望遠鏡的 10 倍。將會是天文學家們探索恆星誕生、大質量黑洞等天文現象的重要工具。

## 第五節 中國近代天文學

中國傳統稱人所生活、居住的地方為「天下」，稱呼統治者為「天子」，對於「天」相當的敬畏，多認為天文星象的變化都可能影響國家社稷的興亡。歷朝歷代都有官方的組織專門觀測天文、編撰曆法：唐代的天史局、渾天監；宋代的思天監；元代的太史院、司天台；明清兩代的欽天監。中國自明、清二代開始陸續有西方耶穌教會的傳教士進入中國，同時帶入西方對天文現象的理解和曆法。以傳教士身分進入中國的天文學家湯若望，也曾在明末清初之時執掌欽天監（江曉原、陳志輝，2008）。中國第一座現代的天文台也是由耶穌會傳教士所建造，清光緒 25 年（1899 年）法國耶穌會司鐸蔡尚質募款建造了佘山天文台，後又於光緒 27 年進口雙筒反射式望遠鏡和修建天文台圓頂。

中國的天文學較完整引入西方科學研究模式，其實仍是到 20 世紀以後，留學歸國的學子





才將新的知識與技術帶回中國，並展開革新。1912年孫中山就任中華民國臨時大總統，正式改為民國元年，並宣布改用「陽曆」。政府接收清代留下的欽天監後，也將它改名為「中央觀象臺」，由擅於中西曆法的高魯接任第一任台長，負責推行陽曆的重責大任。1922年中國天文學會成立，由高魯擔任首屆會長，最初常務組織中實際上具有天文專業的人寥寥可數，但大多為北京大學教授。這些人透過免費替人換算陽曆生日等活動，宣揚天文學。

1928年，國立中央研究院正式成立，其下的天文研究所也正式成立，同樣由高魯任秘書兼任代理所長。1934年，中國第一座完全自己出資、打造的天文台「紫金山天文台」完工，這座由中研院天文所管轄的天文台，不僅成為天文所和中國天文學會的新家，也成為孕育中國現代天文學的搖籃。

只是，紫金山天文台沒蓋好幾年，便連連遇上戰爭。1937年爆發中日戰爭，中研院天文所人員只能帶著部分先進觀測儀器，逃往昆明的鳳凰山。中日戰爭後緊接著第二次國共內戰，也使得中國天文學會的天文學家四散，創立者高魯於1947年病逝，餘下幾位重要支柱陸續離開中國，僅剩曾任中研院天文所所長的張鈺哲，研究員李珩和戴文賽等少數天文學家留在中國。1949年原中研院改為中國科學院，天文所改歸為中科院管理。1950年中國共產黨接收紫金山天文台，張鈺哲被任命為台長。1957年中國第一座天文館於北京成立，地點即位於明、清兩代的欽天監（後改稱為北京古觀象台）旁，接手中國天文的科普工作。

## 一、兩個中國天文學會之爭

參與國際天文學聯合會（International Astronomical Union，簡稱IAU）是中國天文學會成立以來一個重要的國際任務。中國天文學會於1925年首度參加IAU第二屆大會，並於1935年正式加入IAU。中間經歷國共內戰後，直到1955年中華人民共和國重新以中國天文學會名義參與大會。

三年後，台灣以參加IAU大會為動機，重新籌組、恢復中國天文學會，由遷台前曾任中國天文學會副理事長、青島觀象台台長的蔣丙然擔任會長，希望能以「中華民國天文學會」<sup>1</sup>（The Astronomical Society of the Republic of China）的名義申請加入大會。但由於兩岸之間的

---

<sup>1</sup> 1958年高平子、鄭子政、蔣丙然在台灣籌組恢復中國天文學會時，仍定名為「中國天文學會」，訂定英文名稱為The Astronomical Society of the Republic of China。直到2008年才將中文會名改為「中華民國天文學會」。在此為能與中華人民共和國的「中國天文學會」作區分，因而使用「中華民國天文學會」稱之。

政治問題，中華民國天文學會 IAU 會員的申請直到隔年 1959 年才通過，中華人民共和國為表達抗議自此與 IAU 中斷聯繫 20 年。1973 年台灣在 IAU 主席戈德柏格的支持下，將入會國名稱改為台灣，而參加機構改為中央研究院（江曉原、陳志輝，2008）。

到 1980 年情況重新翻轉，IAU 重新恢復中國天文學會的會籍。目前（2017 年）在 IAU 網站上可查詢到，中國天文學會的入會國籍為「中國南京」；而台灣中央研究院的入會國籍則改為「中國台北」。

## 二、近年天文工程及任務

2001 年中國科學院集結原本的北京天文台、雲南天文台（前所提及的中央研究院天文研究所於昆明時的工作站）、新疆天文台、長春人造衛星觀測站，以及南京天文光學技術研究所，合併成為中國科學院國家天文台（NAOC）。NAOC 管轄中國境內數座大型天文望遠鏡，包括：可對較大天區範圍內多個目標觀測的光纖光譜望遠鏡「郭守敬望遠鏡」（LAMOST，2008 年完工）、觀測太陽物理學的厘米分米波無線電日像儀（CSRH，2013 年完工）全球最大型 500 公尺口徑球面無線電望遠鏡（FAST，2016 年完工）等。

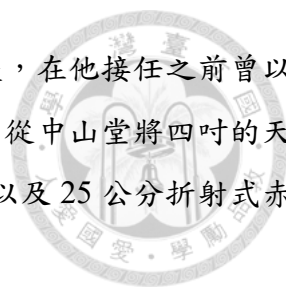
另一方面，在中國國家航天局的領導下，中國自 2007 年起啟動「嫦娥工程」探月任務，陸續發射繞月衛星以及無人探測裝置到月球。任務目標除了採集月球土壤、岩石樣本外，未來也希望能帶太空人登月。

## 第二節 台灣近代天文學

### 一、台灣的天文台與觀星熱潮

昭和 13 年（1938 年）台灣總督府的官方報紙《臺灣日日新報》為慶祝創社 40 周年，捐贈了一萬兩千圓回饋社會，其中四千圓（相當於 2002 年 80 萬新台幣）為台北市購買了一架口徑四吋的天文望遠鏡。這架望遠鏡後置於兩年前新建設完成的臺北公會堂，修建天文台圓頂後，於 1939 年正式成立臺北公會堂天文台，為台灣第一座天文台（蔡安理，2007）。在國民政府接收台灣後，臺北公會堂天文台於 1945 年更名為「中山堂天文台」。

然而由於中山堂附近光害漸增，影響天文觀察，台北市政府於 1963 年將中山堂天文台遷



移至新落成的圓山天文台。同時市政府任命蔡章獻為圓山天文台台長，在他接任之前曾以氣象局天文科技佐的身分，管理中山堂天文館多年。新的天文台，除了從中山堂將四吋的天文望遠鏡搬過去外，也重新添購口徑 41 公分的反射式赤道儀望遠鏡，以及 25 公分折射式赤道儀望遠鏡（劉愷俐、張桂蘭，2007）。

1971 年，火星大接近的天文現象藉由媒體散布全台，讓許多人爭相前往圓山天文台觀賞這難得的天文景象。


1980 年代，台灣天文學發展出現一個轉捩點，而這個轉捩點正是天上的一顆眾所矚目的星體——哈雷彗星。週期約 75~76 年的哈雷彗星，在 1986 年回歸引發全球的關注。美國噴射推進研究室（JPL）早在 1982 年開始號召天文學家，在當年的 IAU 大會上發起「國際哈雷彗星觀測計畫」（International Halley Watch，簡稱 IHW），並從 1983 年 10 月開始不間斷觀測哈雷彗星。美國、蘇俄、歐洲、日本等國也陸續派出宇宙探測器觀測，也讓這次哈雷彗星回歸，成為史上紀錄最詳盡的一次。

對於台灣而言，這次哈雷彗星回歸不僅使一般民眾自行購買望遠鏡，並聚集到圓山天文台、中南部適合觀測的地點觀賞。此外，民間天文社團也從此興起，包括台中、台南、嘉義、高雄等地都成立了相關社團，促使更多人對於天文現象、知識的追求（傅學海，2011）。以沈君山、李太楓為首的中華民國天文學會，也跟著哈雷彗星的風潮推出天文科普活動（葛必揚、劉愷俐、張桂蘭，2007）。

然而也是哈雷彗星的觀星熱潮，讓台北市政府意識到圓山天文台的規模，已不符合時代的需求，因而有了遺址擴建的想法。終於在 1997 年遷移至基河路，成為現在的台北市立科學教育館。

## 二、專業天文研究

在國民政府撤退時，雖有部分天文學者來到台灣，但由於天文相關儀器、設備多無法隨行，也讓天文研究無法順利進行。喜愛天文的人士多只能靠書籍或雜誌，來得知國外的天文進展。當時有少數天文愛好者的聚會，如中華民國天文學會，以及台北天文同好會（後改名為台北市天文協會），成為台灣天文教育的起點。不過，台灣開始建立較有規模和專業的天文研究機構，大致上也是 1970 年代末期才有些眉目。



國立中央大學為台灣最早設立天文相關專業系所的大專院校，在 1979 年中央物理系便成立了天文與物理研究所。而後聘任天文學家呂克華教授回台協助天文台的架設，在 1981 年中央大學便具備了一架口徑 61 公分的反射式望遠鏡，為當時全台灣最大型的天文望遠鏡。1992 年天文研究所獨立成所，由蔡文祥教授促成了學術天文台「鹿林天文台」於 1999 年成立，架設口徑 1 公尺的光學望遠鏡。目前鹿林天文台正在進行 2 公尺光學望遠鏡的架設，將成為台灣參與「泛星計畫」（Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System，簡稱為 Pan-STARRS）的重要設備。泛星計畫為美國、德國、英國與台灣中央大學數個研究機構合力進行的計畫，希望能對天空進行全時、全景的天文量測，尤其是監測有可能撞擊地球的天體（陳文屏，2016）。

另一方面，中央研究院雖然在播遷來台之前，已經設立天文研究所，但因大多數的人才與設備留在對岸，因而無法在台復所。直到 1993 年，才由李太楓等人成立天文與天文物理研究所籌備處，遵循前一年訂定之「台灣天文及天文物理第一個十年計畫」，引領台灣天文研究與國際接軌。在籌備處團隊的領導下，台灣與美國史密松天文台合作次毫米波陣列(SMA)、自行設計建造李遠哲宇宙背景輻射陣列(AMiBA)、透過日本(東亞)及北美團隊參與阿塔卡瑪毫米波及次毫米波陣列(ALMA)等，讓台灣逐漸在天文領域展露光芒。而這段歷程也將成為本篇論文所要探討的重點所在。

## 第三章 報導規劃

### 第一節 章節規劃



#### 第一章 茫茫迷霧，台灣天文研究看不見天

1928 年就在南京成立的中央研究院天文研究所，在 1949 年國民政府搬遷來台後，並沒有跟隨撤遷，台灣的中研院於是少了天文相關的研究所。1984 年時任清華大學理學院院長沈君山，邀請在美國已相當有名氣的天文學家、地球化學家李太楓從美國返台演講，他講的「原子核天文學」、「宇宙化學」台下沒有人聽得懂。屈指一數，當時台灣以天文為專業的人只有 5 個……。

本章首先將回顧台灣草創天文研究的重要人物，並述說當時艱辛困頓的研究歷程。

#### 第二章 遠方來的明燈—旅外華裔天文學家相助

李太楓在 1989 年邀請在加州大學柏克萊分校任教的天文學家徐遐生來台，希望共商台灣天文學的發展。台灣的天文發展逐漸以徐遐生為首，邀集許多在北美任教、任職的華裔天文學家，願意在自己的研究之外，為台灣的天文學研究貢獻心力。中研院天文研究所的雛形，在他們的討論中逐漸孕育成形……。

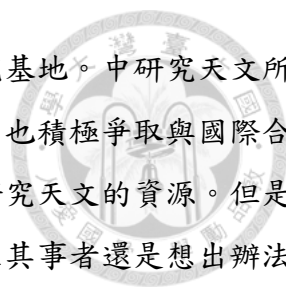
本章將敘述這群華裔天文學家從全美各處聚首於舊金山，討論中研院天文所十年計畫的過程，包括研究發展方向的選擇與合作計畫的訂定。

#### 第三章 狂風吹不熄燭火—籌備處成立

中研院天文所成立之初，遇上國內物理學者的強烈反對。主要原因在於台灣當時研究資源相當匱乏，以致深恐一旦多成立一個研究所，將會多一個單位分食研究經費。因為這樣的研究氛圍，過程中天文研究學者四處碰壁，卻也一路化險為夷，中研院天文所籌備處終於在困難中成立……。

本章將回顧李太楓等天文學家爭取成立中研院天文所的過程。他們面對中研院院士反對的聲浪，仍積極爭取各方支持，成功說服前後任院長吳大猷及李遠哲，於 1993 年成立籌備處。

#### 第四章 走出迷霧—製作望遠鏡獲世界肯定



中研院天文所籌備處成立後，台灣的天文發展有了一個重要研究基地。中研院天文所四處籌措經費，按照當時擬訂的十年計畫，不僅送許多學生出國留學，也積極爭取與國際合作的機會。後來更透過協助出資、出力建造望遠鏡的形式，全力擴展研究天文的資源。但是，台灣從沒有做過望遠鏡，自然沒有現成的設計、製作人才。當時的主其事者還是想出辦法，製作出來的望遠鏡甚至贏得世界天文界的肯定。還在異國研究的天文學者，所用的望遠鏡是「made in Taiwan」……。

本章將敘述中研院天文所籌備處成立後，逐步實踐十年計畫的過程，其中報導重點包括與美國史密松天文台合作興建的「次毫米波陣列」（SMA），到與台灣大學合作全程由台灣自行設計、製造和運轉「宇宙背景輻射陣列望遠鏡」（AMiBA），後來參與全球目前最大規模的地面觀測望遠鏡計畫「阿塔卡瑪大型毫米波及次毫米波陣列」（ALMA）。

## 第五章 中研院天文所，在台大

在中研院天文所各處募資籌備之時，這群天文學家為盡速湊齊人才、參與國際計畫的經費，選擇不在一開始就將經費投入蓋屬於自己的建築物，而是四處「寄居」於各個系所，包括中研院地球所、台大物理系等。在籌備處逐漸有成績之時，他們終於在台大校園內找到了一塊落腳之處。台大成為中研院天文所的房東，也是研究伙伴，彼此的關係非常奇妙。

本章將聚焦於中研院天文所將籌備處搬遷到台大物理系後，與台大合作相關計畫兩方既合作也競爭的關係。而後敘述中研院天文所於在台大校園內建造「天文數學館」，並於遷入後正式成所的過程。

## 第六章 學著獨立—自製 AMiBA 望遠鏡

在與美國史密松天文台合作建造次毫米波陣列後，中研院天文所接著更進一步挑戰自己重頭開始設計、規劃到製作一個望遠鏡。中研院天文所與台大物理系共同建造「宇宙背景輻射陣列」（AMiBA），探詢宇宙誕生初期的微弱訊號。

本章節將敘述中研院天文所與台大物理系，在執行 AMiBA 建設計畫過程中遭遇的種種困難，以及後續如何化解危機，使這台天文望遠鏡能在夏威夷毛納羅亞山佔一席之地的經過。

## 第七章 抓住星光—台墨合作掩星計畫



中研院天文所最初與中央天文所合作，在台灣鹿林山上建設四座小型望遠鏡，要用「掩星現象」來看海王星外的天體。然而因為台灣山區多雨、多雲、濕度高，並非合適的觀測位置，讓團隊一直無法獲得很好的數據。因此，中研院天文所轉而與墨西哥國立大學合作，在聖白多祿天文台建設第二代的望遠鏡。

本章節將敘述中研院天文所掩星計畫想解決的問題，以及一、二代望遠鏡建設過程的面臨的不同挑戰。

## 第八章 元老謝幕，交棒下一世代

2015年12月1日中研院天文所幫徐遐生舉辦退休派對，熱鬧之餘也說明以徐遐生為首的一代，已漸漸離開他們建造起來的天文所。徐遐生這一代創造了中研院天文所的過去，現在他們要交棒給下一個世代，讓年輕天文學家繼續發光發熱。

中研院天文所成立至今，培育出許多天文、天文物理領域的研究人才，成為新一世代的生力軍。而這些當時的暑期實習生、研究生，現在也在中研院天文所內，或在國內外各研究機構中占有一席之地。此外，中研院天文所中一些相當年輕的研究人員，也開始在國際合作的研究計畫中嶄露頭角。他們將成為中研院天文所的未來。

## 第二節 訪談名單

採訪人	職稱	採訪日期
李太楓	中研院天文所特聘研究員，曾任中研院天文所籌備處第一任主任	2015年：10/14、10/16、10/30、11/20、11/27 2016年：1/22、2/3 2017年：6/21
賀曾樸	中研院天文所特聘研究員，曾任中研院天文所籌備處第五任主任	2015年10月27日
徐遐生	曾任中研院天文所籌備處諮詢委員會主任委員	2015年11月30日
魯國鏞	曾任中研院天文所籌備處第三任主任	2016年2月20日
陳明堂	中研院天文所研究員	2017年3月22日
闕志鴻	台大物理系特聘教授、AMiBA天文望遠鏡計畫共同主持人	2017年3月30日
沈君山	中研院地球所退休副研究員、曾任李太楓老師實驗室助理	2017年4月3日
譚遠培	中研院天文所特聘研究員	2017年5月1日
李遠哲	中研院院士，曾任中研院院長	2017年5月18日
李景輝	中研院天文所研究員	2017年5月22日
朱有花	中研院天文所所長	2017年6月9日、6月26日
黃裕津	中研院天文所副研究員	2017年6月23日
黃偉彥	台大物理系特聘教授，卓越計畫主持人	2017年6月28日
尚賢	中研院天文所長聘副研究員	2017年7月3日
韓之強	中研院天文所研究副技師	2017年9月28日
Solomon Ho	中研院天文所電機工程師	2017年9月28日
顏吉鴻	中研院天文所計畫支援工程師	2017年9月29日



Derek Kubo	中研院天文所微波工程師	2017年9月29日
大橋永芳	中研院天文所研究員	2017年9月29日
王祥宇	中研院天文所研究員	2017年10月24日、11月5~6日
陳英同	中研院天文所 TAOS-2 計畫博士後研究員	2017年10月28日
Mauricio Reyes	墨西哥國立天文台台長	2017年11月5~6日
Matthew Lehner	中研院天文所 TAOS-2 計畫首席科學家	2017年11月5~6日

## 第四章 參考書目

### 中文文獻

- 中央研究院天文及天文物理研究所 (2015 年 6 月 2 日)。〈阿塔卡瑪大型毫米及次毫米波陣列〉。取自 [http://alma.asiaa.sinica.edu.tw/intro\\_about\\_alma\\_c.php](http://alma.asiaa.sinica.edu.tw/intro_about_alma_c.php)
- 江曉原、陳志輝 (2008)。《中國天文學會往事》。上海：上海交通大學出版社。
- 吳俊輝、姚珩、徐光台、高涌泉、曹亮吉 (2013)。《星空協奏曲》。臺北市：臺大出版中心。
- 陳文屏 (2016)。〈共享星空奧秘 我國參與之泛星計畫首批數據今對全球公開〉。取自 <http://www.ncu.edu.tw/campus/article/1911>
- 麥可·霍斯金 (M. Hoskin) (2008)。《劍橋插圖天文史》(*The Cambridge Illustrated History of Astronomy*)。江曉原譯。臺北市：如果，大雁文化。
- 傅學海 (2011)。〈天文百年紛擾〉。《科學發展》，457：27-30。
- 曾耀寰 (2011)。〈毫米與次毫米波天文學編者序〉。《物理雙月刊》，33(4)：321-322。
- 葛必揚、劉愷俐、張桂蘭 (2007)。〈老中青三代談臺灣高等天文教育(上)〉。《臺北星空》，37：40-42。
- 劉愷俐、張桂蘭 (2007)。〈我在天文臺的日子〉。《臺北星空》，37：19-27。
- 蔡安理 (2007)。〈臺北公會堂天文台：「臺北市立天文館」的始祖〉。《臺北星空》，37：9-12。

### 英文文獻

- Bartusiak, M. (2004). *Archives of the universe: A treasury of astronomy's history works of discovery*. New York: Pantheon Books.
- NASA. (2003). *Telescope history*. Retrieved Jan 31, 2017, from [https://www.nasa.gov/audience/forstudents/9-12/features/telescope\\_feature\\_912.html](https://www.nasa.gov/audience/forstudents/9-12/features/telescope_feature_912.html)
- NRAO(2012.1.10). *Iconic telescope renamed to honor founder of radio astronomy*. Retrieved from <https://www.nrao.edu/pr/2012/jansky/>
- Peter Grego, D. M. (2010). *Galileo and 400 years of telescopic astronomy*. New York: Springer-Verlag.
- Vershuur, G. (2015). *The invisible universe: the story of radio astronomy*. New York: Springer-Verlag.