

# 分子雲裡行天文路(上)

整理/撰文/ 陳筱琪

採訪/ 陳筱琪、謝佩穎

藉著2010年11月中研院天文所主辦的「加法夏望遠鏡使用者研討會」之便，我們訪問了專題研討會議主持人之一的David B. Sanders博士。初次見面的他，有點冷冷的外表下，其實很風趣健談。近兩小時專訪談的是他的人生與開創新研究領域的歷程；他同時以一位電波天文學者的角度，暢談毫米波與次毫米波天文學發展風起雲湧的時代。隨著他充滿熱情的談話，腦中浮現的是一部精彩的電波天文近代史…

...You make your choice based on what you think, you want and you do. Then you are just constantly driven by 'you want to do the best you can on whatever you are doing', but you cannot control it. One day when you look back your life, then you see 'you have to have the drive, but where you ended up is "luck" "...

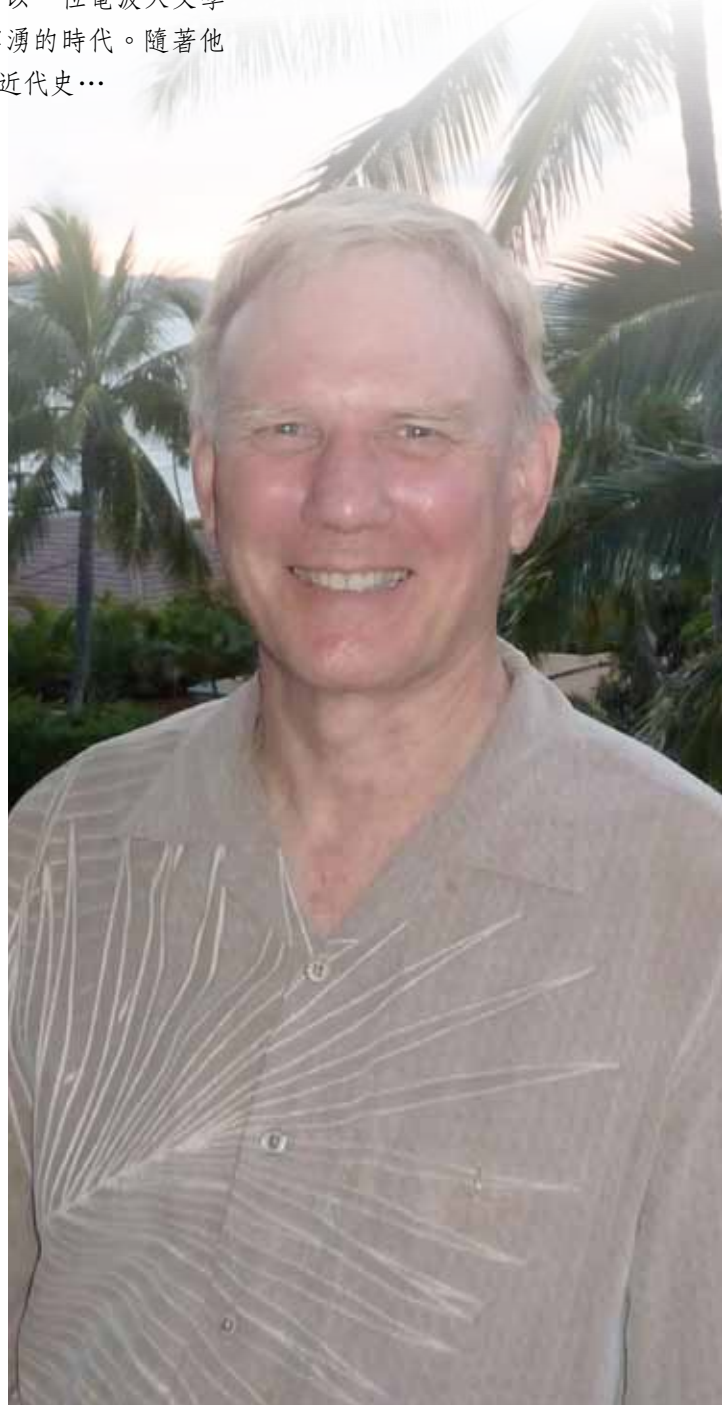
~David Sanders

## 求學過程

David Sanders在美國國家航空太空總署附近的華盛頓特區長大，父親是工人，母親是老師。他從小受母親影響很大，因為母親鼓勵小孩讀書，要他們從小立定目標努力向上。1960年代末，航太總署將太空人送上太空後，天文科學研究進入風起雲湧的時代。

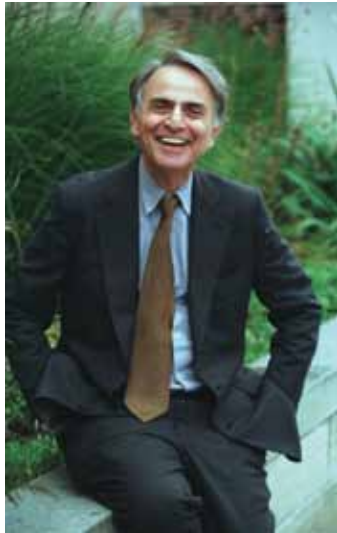
Sanders高中時便決定依自己性向選擇走科學的路。當時人們認為最艱深的科學要算是物理，最聰明的人都去念物理，因此沒有多想，Sanders就進了維吉尼亞大學念物理。大學最後一年的研究論文，Sanders跟著名教授做低溫固態半導體偵測/接收器（low-temperature semi-conductor detector）研究，他當時並不知道這個後來會被應用在天文研究上。

Sanders碩士在康乃爾大學物理所就讀。碩士第一年，由於學校鼓勵學生跨領域修課，所以除了物理學課程外，Sanders也修了一些天文學課程。在物理研究方面，Sanders進了「低溫固態物理」實驗室，利用極低溫冷卻物質後觀察其狀態變化。那個實驗室相當奇特，除了題目很有趣外，進行這個研究题目的幾個研究人員和學生也很特異，包括一位高高瘦瘦呆頭鵝又狀況外



圖說：David Sanders近照，攝於University of Hawaii。©David Sanders

圖說：SETI創始人 Carl Sagan。Sanders 碩士時期選修他以及 Frank Drake 的課後，啟發了對天文學的興趣。© NASA/Robert Nemiroff (MTU) & Jerry Bonnell (USRA)



的 David M. Lee、一天三包煙的大煙槍 Robert C. Richardson、和從加州理工學院 (Caltech) 來的狂熱型研究生 Douglas D. Osheroff。

同一年，Sanders 接連修了兩門天文學課程而對天文產生興趣。第一堂天文課是提出德雷克公式 (Drake Equation) 的 Frank Drake 教授的電波天文學 (Radio Astronomy)。第二堂課是 Carl Sagan 授課的太空智慧生物 (Intelligence of Universe)。當時康乃爾大學在波多黎各有一個 Arecibo Telescope 天文望遠鏡，天文生物學 (Astrobiology) 與搜尋地外文明計畫 (SETI; Search for Extra-Terrestrial Intelligence) 也正在成形發展中，Frank Drake、Carl Sagan 及當時在康乃爾就讀大學部的 Jill Tarter 等人後來都是 SETI 的創始人物，其中 Jill Tarter 還是前陣子「接觸未來 (Contact)」電影的女主角原型。

碩一暑假，Sanders 因為領取國防部獎學金之故，必須去上助教師資課程及打工，中斷了他在物理實驗室的研究工作。加上當時受到 Frank Drake 及 Carl Sagan 影響，又聽了魯國鏞 (Fred Lo，曾於中研院天文所籌備時期擔任主任) 在康乃爾大學給的演講，開啓了他對天文學的興趣，於是碩二那年他決定轉入天文學研究室。然而，從物理轉到天文這樣的一個轉折，讓 Sanders 和諾貝爾物理獎擦身而過。低溫固態物理實驗室那三位怪咖同

門 Lee、Richardson 和 Osheroff，因為在 Sanders 缺席的那年夏天的 Superfluidity in Helium-3 超流體 (低溫超導體) 研究，於 1996 年獲頒諾貝爾獎。

相對地，放棄諾貝爾獎級的「低溫固態物理」研究之後，Sanders 碩二期間在天文研究室也產出了兩篇和固態物理有關的遠紅外線天文偵測儀器期刊論文。

接下來三年因為越戰之故，Sanders 中斷學術研究進入海軍服役，領取美國國家科學基金會獎學金，從事與天文完全無關的通訊工作。戰後，1975 年，Sanders 決定重返校園，同一時期他也結了婚。考量妻子工作機會後決定在大城市落腳，而基於對天文的興趣，Sanders 選擇進入當時還算是新興學校的紐約州立大學石溪分校先當助理。選擇那裡原本是想跟著 Stephen Strom (有名的紅外線天文學家) 或徐選生從事研究，可惜 Sanders 入校時，兩位大師皆已先後於 1974 年前離職，石溪分校請來接任的是 Philip Solomon。

Solomon 是資深的星際分子理論與觀測天文學家，也是 1960 年代後期、1970 年代初期發現一氧化碳 (CO) 星際分子與推動毫米波天文學的重要人物。他與紐澤西貝爾實驗室的 Arno A. Penzias 與 Robert W. Wilson (這兩位在 1965 年於貝爾實驗室發現「宇宙背景輻射」，1978 因為這個發現獲得諾貝爾物理學獎) 都是好朋友，三人還一起成功開發了毫米波接收器。【附帶一提，Philip Solomon 在 1964 年的博士論



圖說：因 1972 年低溫超導體研究而獲得 1996 年諾貝爾物理獎的三位得主，由左至右為 Douglas Osheroff、David M. Lee 以及 Robert C. Richardson，攝於康乃爾大學原子與固態物理實驗室。© Cornell University

文中提出了星際輕分子理論，之後他在數個名校擔任博士後研究及講師。Solomon在哥倫比亞大學時Nick Scoville是他的學生，那時譚遠培（Ronald Taam；現任中研院天文所副所長）也在哥大就讀研究所。數年後Solomon帶著學生Scoville輾轉明尼蘇達及普林斯頓等大學研究機構任職，然後在Stephen Strom與徐遐生離開石溪分校後，Solomon於1974年受邀聘接任。Scoville則與Solomon分道揚鑣，到麻州大學任職於五學院天文台（Five College Radio Astronomical Observatory；FCRAO）。



Nick Scoville

© Caltech Astronomy/ Nick Scoville

Sanders在石溪分校擔任助理期間，發現剛起步的毫米波天文學很有意思，加上他之前的遠紅外線天文偵測儀研究背景，於是成功申請進入該校博士班，在Solomon門下從事毫米波天文學研究，並因為Solomon與Scoville的關係，得以去麻州五學院天文台使用那裡的14米毫米波望遠鏡做觀測及研究。



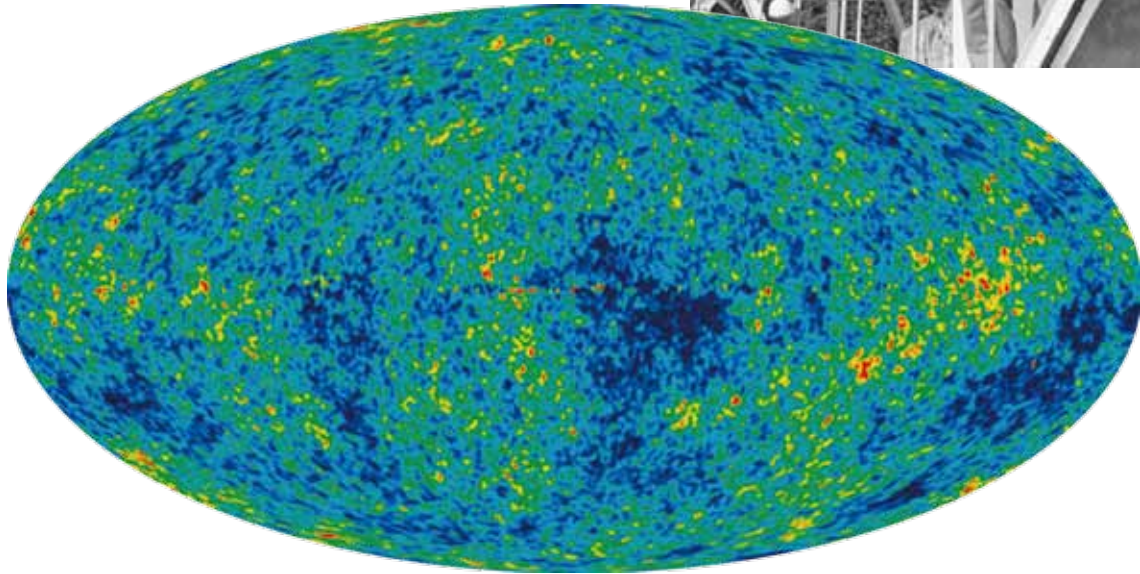
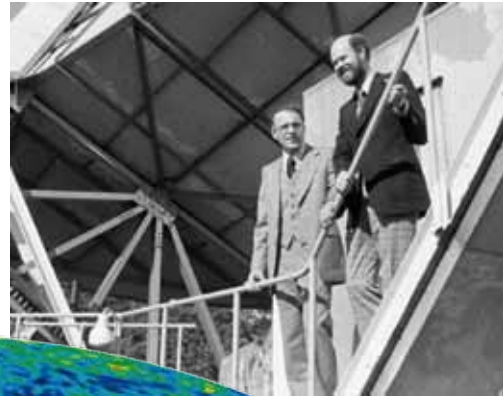
圖說：Sanders就讀紐約州立大學石溪分校博士班時的指導教授Philip Solomon ©Physics & Astronomy Department, SUNY, Stony Brook/Philip Solomon

Sanders當初在康乃爾大學念碩士的主修原本是物理，卻因緣際會地接觸了天文生物學及電波天文學。之後去紐約州立大學石溪分校，原是想跟著Stephen Strom或徐遐生主攻紅外線或電波天文，結果又陰錯陽差因為師事Philip Solomon而進入毫米波研究的殿堂。然後，又因為Solomon實驗室與Robert Wilson任職的貝爾實驗室有地利之便，在兩個實驗室通力合作推動下，30年後，次毫米波天文學誕生了。



圖說：本圖是2009年ATLASGAL次毫米波巡天觀測計畫所拍攝到的影像。我們銀河系的中央有個質量約太陽4百萬倍大的超大質量黑洞，附近充滿了由許多星際分子所形成的緻密分子雲。其中人馬座B2（Sgr B2）這個由氣體和塵埃組成的巨大分子雲（如圖中央靠左處的橘紅色光亮區域所示）是我們銀河系最大型的分子雲之一，質量相當於3百萬個太陽的總合，分子雲區域跨越的大小約有45秒差距，平均密度大約是每立方公分3千個氫原子，這是典型分子雲密度的20至40倍。它位於銀河系核心附近，距中心約120秒差距而已，和地球距離約為2萬5千光年。© ESO/APEX & MSX/IPAC/NASA

圖說：右圖是1978年因為發現宇宙背景輻射而獲頒諾貝爾物理獎的兩位得主，Arno Penzias (左)與Robert Wilson，背景是他們用來測得宇宙背景微波輻射的接收器「Holmdel horn antenna」 © Physics Today Collection/AIP/SPL。下圖是WMAP繪製的宇宙微波背景圖(c) WMAP Science Team/NASA



## 天文學研究風起雲湧的時代

### 1、毫米波天文學的濫觴

#### —CO星際分子與巨大分子雲的發現

1957年，美國物理學家Charles H. Townes指出宇宙空間可能存在的17種星際分子，並提出探測它們的方法。那個年代的接收器都是貝爾實驗室製作的，而Robert Wilson當時在貝爾實驗室也製作出了世界最好的毫米波接收器，貝爾實驗室因此考慮進一步建置能利用這些接收器的電波望遠鏡。另一方面，在1960年代星際分子如一氧化碳(CO)等陸續被發現後，當時是紅外線天文學家的魯國鏞也對毫米波天文學產生了興趣。於是魯國鏞說服已在新墨西哥州擁有為探測外星生物訊息而設的厘米波超級大陣列(VLA: Very Large Array)的美國國家電波天文台(National Radio Astronomy Observatory; NRAO)，請他們在亞歷桑那州的基特峰(Kitt Peak)又蓋了一座新的12

米電波天文望遠鏡。在12米天線剛落成但尚未裝設接收器時，當時提出分子雲形成理論的Solomon立刻向Wilson解說星際輕分子如何形成分子雲內較緻密區的理論，並建議Wilson南下說服國家電波天文台於12米天線上裝設貝爾實驗室的毫米波接收器，以利星際分子及分子雲的進一步觀測。當時Nick Scoville還在Solomon門下進行厘米級電波望遠鏡觀測的碩士論文研究。1967年12米天線毫米波段天文望遠鏡的啓用，讓Scoville藉此意外偵測到一氧化碳(CO)星際分子的輻射譜線。接著於1971年，Philip Solomon、Keith Jefferts、Arno Penzias與Robert Wilson共同在期刊上發表了發現CO星際分子的重量級論文。自此之後，諸如「分子雲內部星際物質」此類的天文研究報告便如雨後春筍般陸續出現，天文界並開始了銀河盤面分子雲的巡天觀測以及分子雲與恆星形成關係的研究。而此時的Sanders尚在海軍服役中。

1975年在Sanders遇到Solomon和Scoville時，

以上事件皆已發生。Sanders閱讀這些相關研究論文後，突然發現此與他之前所接觸、所學的東西都有聯結。例如，毫米波雖然不是紅外線，但波段相當接近。還有，星際分子讓人聯想到Carl Sagan他們講的太空生命，雖然當初大家想像的是水星或火星上的太空生物與行星大氣等概念，但毫米波天文學、分子雲的發現、以及太空中真的找到了生命相關分子的事實，讓他備感興奮。當他發現Scoville探討CO星際分子的博士論文中一小部份有提到分子雲研究時，便決定選擇Solomon實驗室攻讀博士，繼續Scoville的研究，並擴大分子雲的勘測範圍。

當時全世界最大的14米毫米波天線已於五學院天文台啓用，同時基特峰的12米天線也提供Solomon實驗室繼續銀河盤面巡天觀測的研究，於是Sanders的博士論文便得以利用這兩座當時最先進的毫米波望遠鏡進行巡天觀測，然後利用一氧化碳輻射譜線分析分子氣體，革命性地發現了銀河系的巨大分子雲（GMC：Giant Molecular Clouds in the Milky Way），擠進了毫米波天文學研究的「先驅」行列。

## 2、從紅外線到毫米波，再回到紅外線——星系巡天勘測與超亮紅外線星系

1971年Robert Wilson 與Philip Solomon等人的CO星際分子研究發表後，Wilson打鐵趁熱推動美國國家電波天文台發展更先進的毫米波望遠鏡；那時包括還在當研究生的Sanders，大家都期待在夏威夷毛納基峰蓋解析度更高的25米毫米波天線計畫能實現。然而，據說因為政府經費和學術政治考量，這個計畫最後並沒有實現。這一來間接侷限了當時的毫米波天文新進學者像Nick Scoville及David Sanders等人畢業之後進入美國國家天文單位發展的機會。Sanders取得博士學位時，哈柏太空望遠鏡尚未啓用，沒有天文研究人員職缺；美國國家電波天文台也沒有適合的博士後研究職位給他。當時Sanders曾應徵過麻省理工學院，有趣的是，同一時間，現任中研院天文所所長的賀曾樸也去申請同一個工作，兩人都進入了最後一輪面試，但結果麻省理工卻沒有錄取任何人。之後

賀曾樸去了哈佛大學的史密松天文物理中心（The Harvard Smithsonian Center for Astrophysics；CFA），而Sanders則去了學校單位—麻州大學的五學院天文台，繼續他的巨大分子雲巡天勘測，並發表了一系列相關學術報告。

同一時期，加州理工學院在歐文斯谷電波天文台（Owens Valley Radio Observatory；OVRO）剛蓋好毫米波陣列天線。魯國鏞那時離開加州理工學院轉任伊利諾大學負責執行特大天線陣列（VLA）計畫，而Nick Scoville應聘至加州理工學院接手拓展毫米波天文研究。到了1983年，加州理工學院又發射了全球第一個「多波段」的紅外線天文衛星（Infrared Astronomical Satellite；IRAS），於是Scoville找來同時擁有紅外線及毫米波段天文研究經驗的同門師弟Sanders加入IRAS團隊。直到後來，Sanders才發現自己進入的地方原來正是催生「河外星系紅外線電波天文學（extragalactic infrared astronomy）」的核心所在。IRAS團隊不久之後收集到、並發表了全世界第一個巡天分佈圖。（待續～《分子雲裡行天文路（下）》）

---

### Sanders求學小檔案

1968-1970	維吉尼亞大學書卷獎學金（University Scholar Fellowship, University of Virginia）
1970	取得維吉尼亞大學物理學學士學位
1971	美國國防部獎學金（Academic Fellowship, U.S. Department of Defense）
1972	取得康乃爾大學物理學碩士學位
1972-1975	美國國家科學基金會獎學金（Presidential Fellow, National Science Foundation）
1976-1981	攻讀紐約州立大學石溪分校（State University of New York at Stony Brook；SUNY at Stony Brook）博士學位
1982	取得紐約州立大學石溪分校天文物理學博士學位

---

陳筱琪:任職於中研院天文所天文教育推廣小組，現任中研院天文所天聞季報主編。  
謝佩穎:中央大學天文所博士班學生。