



中央研究院院士

王寶貫 教授

才思用盡時、就買個儀器 (做實驗或會有新發現)

When Run Out of Ideas, Buy Equipment.

撰文：林麗娥

AI 與數位化技術能夠分析和處理大量數據，提供精確的氣候預測和環境監測，因此在面對氣候變遷中扮演著關鍵角色，緣此《科儀新知》241 期推出「環境資訊數位化」專題，介紹各式環境預警與管理氣候變遷的技術。許多天氣的變化，都與大氣層中各種不同的物理過程有著密切的關係，只要抬頭觀測雲，就可以多少預知未來的天氣變化。本期人物專訪特別邀請在國際上以研究雲物理著稱，特別是雲中冰相粒子定量化研究，現任中央研究院院士—王寶貫教授。瞭解王院士是如何從兒時對中國古典文學的浸潤產生問題意識，應用雲物理等所學，進行歷史氣候研究，成功推算漢元帝時期極端氣候的成因。除此之外，王院士亦與讀者分享他為何「叛逆選擇」做實驗研究，從動手實驗中獲得樂趣與成就感。

好奇心驅使的創客魂

王寶貫院士從小具備旺盛的好奇心與求知欲，儘管只是生活中的尋常現象，他仍然充滿好奇，特別是對雲、對天文很有興趣，總想著雲上面是不是真的像書中所寫的，有巨人、公主住著。早期臺灣買不到天文望遠鏡，為了滿足對天文的好奇，王院士在高中的時候就開始研究如何自己組裝。一開始買了玻璃來自己磨鏡片，但效果不佳，後來還試了廢船上的探照燈鏡片，最後是在臺北市天文館買了日本製鏡頭、在五金行買塑膠水管來充當鏡筒，焦距也自己量。

起初父親也不相信院士真的可以成功，最後在院士的設計調配以及父親的巧手協助之下，還真的做出可以清楚看到月球表面的天文遠望鏡。臺灣因為地震關係，房子很容易出現裂縫，小時候家裡住的是三層樓，一下大雨，雨水就會從裂縫中流下來，所以常常要拿水桶來承接雨水，有時某處滴完還會換其他地方滴水，所以水桶要一直更換位置。院士仔細觀察漏雨的情形，就拿膠帶把一些裂縫貼起來，然後讓膠帶垂下來，就可以把雨滴順勢導引到水桶裡來，如此一下雨，水就不會到處亂滴。

王院士於 1971 年自國立臺灣大學大氣科學系大學畢業時，是班上唯一通過預官考試的空軍氣象官。院士開心地笑著說：「完成受訓進行抽籤分發地點時，我很幸運地抽到台北市公館空軍氣象中心，但是我前面一個抽到東引、後面一個抽到東沙…」當時空軍與美軍有緊密合作關係，美軍會固定將人造衛星雲圖資料傳真到空軍氣象中心，儘管是黑白的、解析度也不好，院士已經看得津津有味。後來在中心閱覽室看到美國海軍出版的《氣象衛星手冊》，當時氣象衛星尚在快速發展中，手冊中的雲圖比傳真雲圖解析度高得多，心想如果可以擁有這本書該有多好。他看到書上註明如果想要這本書可以寫個 Request Letter，於是院士寫了封航空信去試試，結果美國海軍還真的將書寄給他，讓他驚喜不已。



左圖：王寶貫院士就讀臺大大氣系學生時期(1970)、右圖：任職空軍氣象中心時期(1972)。

院士在氣象中心當預官時，看了幾篇美國研究論文後，發現未來可以利用電腦做數值天氣預報，認為這是未來重要科技，於是自告奮勇要在每星期四召開的預報檢討會中報告分享這個心得。電腦在臺灣當時才剛開始使用，在座人員都認為用電腦計算天氣預報是天方夜譚。沒想到，發展至今，電腦數值天氣預報不但天天在運用，且已邁向長時間的氣候預測。

到美國叛逆選擇做實驗、研究雲物理

王院士就讀臺大大氣系時，鮮少有讓學生動手做實驗的訓練課程，有的話，也是簡單的觀測，所謂的利用儀器做實驗，不外乎放放探測氣球，清理一下氣壓計之類。由於缺乏實驗的訓練與經驗，那時候從臺灣畢業到美國加州大學洛杉磯分校 (University of California, Los Angeles, UCLA) 大氣科學學系的留學生，清一色都是都是做理論研究，只有院士決定要投入雲的實驗研究。剛進入 UCLA 大氣系就讀時，有個新生面談，其中一位面談教授 Dr. Akio Arakawa (荒川昭夫) 問王院士：「據我所知，臺灣來的學生都是做理論的，你確定要做雲的研究？要做實驗會很辛苦唷！」儘管 Arakawa 這樣提醒，王院士還是鍾情於自己的興趣，也因為王院士的堅持，成為開創深對流系統影響對流層與平流層相互作用研究領域的國際先鋒。

多年後回到臺灣巧遇同樣畢業於 UCLA 大氣系的前交通部中央氣象局－鄭明典局長，鄭局長與王院士分享：「您對研究上的「叛逆」聲名遠播，我的指導教授 Dr. Michio Yanai (柳井迪雄) 開玩笑地問我說：你們知不知道那個王寶貫是做實驗的」。

做實驗、才會發現藏在細節裡的魔鬼

王院士為了要把雲研究透徹，於是投入 Dr. Hans R. Pruppacher 教授門下，只是甫到 UCLA，就碰到指導教授在歐洲車禍住院，一時回不來，所以在 UCLA 的第一年都是由同門學長 Dr. Kenneth V. Beard 代為指導，於是跟著學長一起作雨滴清除大氣中氣溶膠的實驗。大氣中氣溶膠的去除有很大部分要靠大氣的降雨來掃除。如果氣溶膠帶電則更容易被帶相反



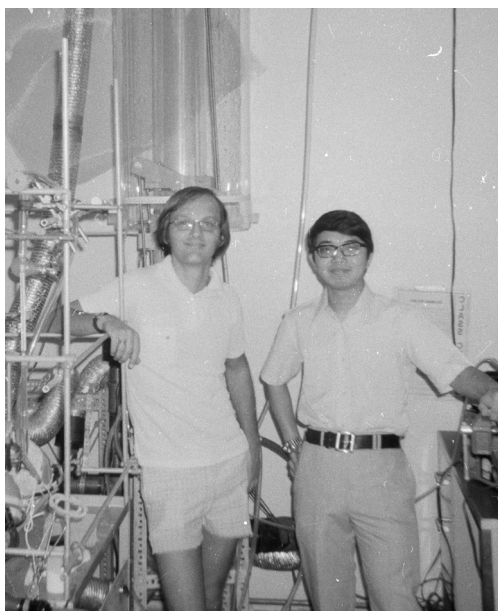
王寶貫院士與論文指導老師普魯帕克 (Hans R. Pruppacher) 教授攝於他的德國家中。

電荷的降雨粒子掃除。像是放射性氣溶膠顆粒就會由於 β 衰變而自帶電。因此，為了準確了解氣溶膠對環境及健康影響，就必須了解不同降雨情形的帶電狀態。只是氣溶膠粒子的質量和直徑非常小，大約 10^{-11} 克、0.5微米左右。

院士表示到美國念書第一個衝擊就是「題目在那邊，但你必須自己想出辦法怎麼研究、怎麼量測」。為了正確量出氣溶膠的大小及質量，王院士問 Beard 有沒有電子顯微鏡、核子反應器，Beard 說在工學院就有掃描式電子顯微鏡，也有穿透式顯微鏡、地下室則是有核子反應器。院士驚嘆地表示：「在美國做研究，要什麼有什麼，真是太棒了」，但也意味著在臺灣鮮少做實驗的王院士必須從頭學習如何操作這些儀器設備。

到美國唸書的第一年，可能是英語表達能力不是很好，王院士儘管看得出 Beard 的實驗哪個環節出了問題，卻無法向他說清楚，實驗也無進展。研究進行到第二年，學長拿到教職工作，實驗就由院士接手。院士跟指導教授表示：「給我兩個禮拜，我應該可以展示可行性。」因為知道問題所在，王院士花了不到三天就完成展示，也把之前實驗室做不出來的「使氣溶膠均勻帶電」的實驗給完成了。

王院士表示，假如氣溶膠的帶電量很小而流速太快時，即使在電場中有路徑偏移，也不易量到，所以在實驗中要放慢氣溶膠的流速。另外，為了讓氣溶膠均勻帶電，必須使用高壓電，因為高壓電會使空氣游離，產生電暈放電現象。但 Beard 的實驗直接讓氣溶膠通過高壓電極，帶正電的氣溶膠會被吸附在負電極的金屬圈上、而帶負電的氣溶膠則被吸附在正電極金屬絲上，剩下通過的氣溶膠就是幾乎沒有帶電的，所以學長的實驗才會無法成功。院士的方法是讓氮氣流過電暈區，讓正、負離子與氣溶膠在另一個容器中均勻混合，而不是讓氣溶膠直接通過電暈區。只是做實驗，哪有不受傷、不感到挫折的。院士表示他做完氣溶膠帶電的實驗，儘管有做好絕緣保護措施，但是身上還是會帶電，手指跟牆壁稍微碰到一下，指尖還會迸出閃電，這種微電擊還超痛的。



左圖：王寶貫院士與大學長 Kenneth Beard 博士（後來為伊利諾大學香檳分校教授）在 UCLA 實驗室合影（1974）、右圖：與同研究群同仁在科羅拉多的博爾德（Boulder）參加雲物理大會（1976）。

相較於做理論研究的同學，每跑一個程式就有數以萬計的數據可供分析，院士則花費了兩年時間，才好不容易獲得「兩點」數據。而且做實驗過程很容易出錯、甚至錯誤的地方完全出乎意料。王院士問說：「如果水放在冰箱 0°C 就會結冰，但在大氣中有時氣溫零下 20°C 還是維持水的狀態，這是所謂的過冷水。但是你會相信室溫 10°C 時，水居然也會結冰嗎？」院士表示，實驗所收集的雨滴和氣溶膠樣本須先放在玻璃瓶裡面，在送進原子反應爐前，要把玻璃瓶放在真空乾燥器皿裡面抽成真空以利蒸發乾燥。沒想到抽了真空之後，上面的水竟然結成了一層冰，水結成冰之後，體積膨脹，擠破玻璃管，花了兩三個禮拜時間收集好的樣本就泡湯了，整個實驗就要重來。原來當快速抽真空時，液面蒸發非常快、潛熱也散得非常快，所以液面周圍空氣變得非常冷，水就在那瞬間結冰了。

「如果不是真的做實驗，我還會不相信居然有這種現象發生！」院士既做實驗、也做理論研究，了解各自的優點。實驗中有很多意外的發現，往往讓你一輩子忘不了。德國有句俚語：「魔鬼藏在細節裡」，原意指「細小的地方也會藏有神蹟」，也就是任何事情的細節都可能藏有發現，往往實驗的成敗都是在細微末節中，甚至挑戰了我們以為「正確」的科學理論。

亞洲第一人獲得歐洲尼可萊·鐸切克獎

王院士所提出的雲頂重力波碎波理論 (Gravity Wave Breaking Theory)，對劇烈天氣預報和氣候模擬有重要貢獻，於 2023 年榮獲歐洲劇烈風暴實驗室 (European Severe Storms Laboratory, ESSL) 最高榮譽獎項－尼可萊·鐸切克獎 (Nikolai Dotzek Award)，是臺灣大氣學界首次獲頒歐洲跨國氣象研究組織獎項，也是亞洲第一位獲此殊榮者。



王寶貫院士在羅馬尼亞首都布加勒斯特 (Bucharest) 獲頒尼可萊·鐸切克獎 (Nikolai Dotzek Award) (2023)。

王院士表示最早發現平流層上也有雲的奇特現象，是由一位捷克學者在 1991 年發現。其後這位捷克學者與一位同樣受 Pruppacher 教授指導而認識的義大利籍學者在 1995 年做了更進一步的衛星影像分析。地球被大氣圈包圍著，隨著高度不同，分為對流層、平流層、中氣層與熱氣層。對流層頂上方的平流層的熱力學結構會壓制對流層任何物質的上傳，是傳統氣象學公認的穩定層。而且平流層是眾所周知的乾燥氣層，一般測量到的水蒸氣濃度大約是 2 至 3 ppm 左右，就算這樣的水蒸氣全部凝結成冰晶，也不可能形成衛星雲圖上廣大的雲帶，因此，產生那條雲帶的水蒸氣一定不是原先就存在於平流層裡。

後來院士發現重力波的碎波機制 (breaking of gravity wave) 可以使水蒸氣穿透對流層頂。碎波 (wave breaking) 就是平常我們在海邊看到衝浪高手恣意滑行其上的翻天巨浪。普通水波的運動只是把波的形式往外移動而已，而碎波是水分子的淨位移。碎波產生後，水分子已經不能自動復歸原位。應用這個原理到雷暴雲頂的重力波與碎波現象，王院士得到這樣的結論：如果雲頂的重力波不發生碎波，則那裡的水蒸氣只是「隨波浮沉」，最終還是留在對流層，不會穿越對流層頂。但是一團雷暴在其成熟期會有相當強烈的上升氣流，中緯度的雷暴最強上升氣流甚至可高達 60–70 m/s。這樣的上升氣流雖然不足以如火山爆發或核彈爆炸一般衝破對流層頂，卻足以把原來安靜平直的對流層頂攪出很大的波動，這種波便是重力波 (gravity waves)，在適當情況下，這些重力波會產生碎波而穿透對流層頂，把水蒸氣及冰晶輸送到平流層。這種碎波現象對天氣及氣候系統有重要的影響。

已故芝加哥大學教授藤田哲也 (Tetsuya Fujita) 是著名的雷暴觀測專家，對劇烈天氣現象諸如強烈雷暴、龍捲風之研究有卓著的貢獻，現今美國的龍捲風等級制度便是他創設的，稱之為 Fujita Scale (藤田等級，簡稱 F-scale)。藤田曾觀測到一種特殊現象，他將其稱為「跳卷雲」(jumping cirrus)，「每當過衝雲頂猛烈崩垮到砧狀雲裡時，就會有卷雲形成，從過衝雲頂的後方往上跳起來。」。藤田的觀測與說法在那個年代遭受到很多人的質疑，實際上藤田的跳卷雲其實便是雷暴雲頂的碎波，只是他在世時尚無法完美解釋，後來一一被王院士證實了。王院士後來到芝加哥大學演講時，藤田教授的同事跟院士表示，如果藤田還在世一定會非常感謝您證實了他的理論。風趣的院士跟對方開玩笑說：「I know, 你如果碰到他幫我告訴他…」



王寶貫院士與夫人曾麗碧女士攝於德國班姆堡 (Bamberg) 的宏博高等研究獎 (Humboldt Senior Research Award) 頒獎典禮 (1993)。

讀聖賢古書有助於歷史氣候研究

有別於學科領域的刻板印象，王院士的科學探究不僅僅是以雲物理的研究聞名，也「跨領域」從古代文獻中尋找線索，歸納出中國古代歷史氣候變化的成因。院士對於古代文學的認識與興趣奠基在父親的收藏。他回憶說：「父親開工廠，很喜歡教人唸書，工廠的工人晚上都要聽父親用臺語教四書五經」。院士從三、四歲就開始旁聽，從小就會用臺語背誦四書五經。先是背誦，然後對照書上的文字，所以從小就認得很多字。父親還有一本上海書局出版的《辭海》，不用父親教，院士自己研究之後就懂得怎麼查閱字典。「父親收藏的書沒有時間看，都是我在幫他看！」大量閱讀後，甚至父親讀不懂的地方，院士都可以理解，還可以向父親解釋。

王院士小時候讀古文時一直有個疑問：「為什麼古人都說冬雷是妖？為什麼冬天打雷不祥？」直到 1978 年王院士獲得博士學位後，先留在 UCLA 從事兩年的博士後研究，主要是研究雨滴與二氧化硫的反應，同時也開始利用中國古代文獻來研究古代的氣候，才得到解答。那時他看到中國氣象學者竺可楨作的研究，談中國五千年氣候變遷，利用古代文獻中「物候」現象的資料，像是通常燕子應該某一天到，但今年燕子比較晚到，可能就代表今年氣候比較冷。若今年河水異常結冰，也表示氣候較冷，藉此拼湊出中國歷史上氣溫演變曲線。透過氣候變遷的線索來試圖了解為什麼唐朝貞觀是盛世而明朝末年卻是亂世。

為此王院士翻找二十四史，把過去兩千年中每 30 年的冬雷次數統計出來。最初猜想，冬天打雷應該是在比較溫暖的年份，因為溫暖期可能對流比較旺盛，產生雷雨，就會打雷。沒想到，把冬雷變化曲線跟竺可楨的溫度曲線一比之下，跟院士預期的剛好相反--冬雷多的時候，都是冷的年份。為什麼冷的年份容易出現冬雷？目前還沒有定論，王院士有個暫時的解釋認為：冬天產生雷雨，表示對流旺盛，但這個對流不一定是「熱對流」，很可能是冷鋒的對流。冷鋒附近，對流本來就比較強，如果冷鋒後面的冷氣團特別冷，冷暖的對比特別強，在氣象上「斜壓性」強，容易造成「斜壓不穩定」。斜壓不穩定，容易造成強的對流，比較有可能造成雷雨。因此古人認為「冬天打雷不祥」是因為冬雷出現的反常，表示該年天氣特別寒冷所以認為不祥。

院士席中也與我們分享他最近歷史氣候研究的發表，分享前，院士幽默地問《科儀新知》採訪團隊：「你們知道漢元帝是誰嗎？」「一般人都想不起他是誰，但如果我跟你說，就是把王昭君嫁到匈奴的那一位，你就會有印象了」。原來院士小時候讀漢書時發現《漢書·五行志下之下》裡面記載：「漢元帝永光元年四月，日色青白，亡景，正中時有景亡光。是夏寒，至九月，日乃有光。」當時對「夏寒」的描述印象非常深刻，因為在中國的歷史記錄中，用「寒」來描述夏季的情況是相當不尋常，嚴重的悖離常態，只是他一直沒有找到正確的解答方式。

多年後從 McConnell 等人於 2020 年發表的火山考古研究中¹，利用最新定年技術，發現公元前 43 年年初阿拉斯加奧克莫克 (Okmok) 火山有一個非常劇烈大規模的火山爆發，而永光元年就是公元前 43 年。王院士興奮地說：「Bingo！找到答案了」。火山爆發是塑造全球氣候變遷的重要外因，王院士團隊將《漢書·五行志下之下》中的氣候記錄進行了準確的

1. McConnell, J. R., Sigl, M., Plunkett, G., Burke, A., Kim, W. M., Raible, C. C., Wilson, A. I., Manning, J. G., Ludlow F., Chellman, N. J., Innes, H. M., Yang, Z., Larsen, J. F., Schaefer, J. R., Kipfstuhl, S., Mojtavavi, S., Wilhelms, F., Opel, T., Meyer, H., and Steffensen, J. P., "Extreme climate after massive eruption of Alaska's Okmok volcano in 43 BCE and effects on the late Roman Republic and Ptolemaic Kingdom", *P. Nat. Acad. Sci.*, 117 (27), pp.15443-15449, (2020).

年代測定，形成完整的因果鏈，確認是奧克莫克強烈火山輻射強迫下，造成該年夏天明顯的降溫。整個研究於今 (2024) 年以「Extreme climate after massive eruption of Alaska's Okmok volcano in 43 BCE and effects on the late Roman Republic and Ptolemaic Kingdom」為題，發表在 *Climate of the Past* 期刊中。²

東西方學生各有優點

王院士於 1980－2016 年擔任美國威斯康辛大學麥迪遜分校 (University of Wisconsin-Madison) 大氣與海洋科學系教授，1994－1997 年成為該系系主任。有趣的是，院士初到威斯康辛大學大氣與海洋科學系時，本來預想應該是要他開設「雲物理」的課程，沒想到系主任說「動力學」缺師資，希望他可以去上，雖然動力學不是他的專長，但也懂一些，所以還是硬著頭皮開了這門課。後來才知道原先開這門課的兩位德國籍教授大有來頭，是二次大戰後被送到美國的德軍戰俘。一個是德國萊比錫大學研究大氣邊界層的知名學者 Dr. Heinz Lettau，一個是因為天氣預報很準確被希特勒升為德軍最高氣象長官 Dr. Werner Schwerdtfeger。後來王院士還將 Schwerdtfeger 1943－1945 年間擔任德軍氣象中心-Zentral Wetterdienst Gruppe 最高長官的回憶錄，進行譯作，篇名為《二次大戰氣象秘史「Z-W-G 的最後兩年」——一位德軍高級氣象長官的自述》刊登在空軍刊物《氣象預報與分析》。

王院士在 2003 年回國擔任中研院環境變遷研究中心特聘研究員兼主任，2018 年當選中研院數理組院士，在臺灣大學、中央大學與成功大學等校均開過課，教育啟發無數東、西方學子。他在威斯康辛大學收的第二位博士生 Dr. Jerry Straka，後來成為俄克拉荷馬大學 (University of Oklahoma) 教授，是全世界第一位作三維雲模式包含冰研究的專家。

回到臺灣為了推廣臺灣雲物理的發展，讓學生看看他在美國做實驗所拍、真正雲形成過程的實驗影片，王院士有一年在臺大開設了一門：「深對流雲過程」課程。這門課程是臺灣大學大氣系第一次開的暑期課程，也開放給中央大學的學生來選修。可能由於是第一次開暑期課、在選課設定可能沒有設定好，許多人誤以為是科普課，結果沒有限制外系來修課，光是臺大的學生就有三十幾個學生選課，學生有來自大氣系、中文系、政治系等系所，但是學生加退選時間已過，所以加上中央大學來旁聽的學生，總共就有四十幾個學生上課，他只好硬著頭皮當科普課教，而且為此還換了大教室上課。

院士過去寫了很多科普的文章推廣，用淺顯的方式讓學生了解課程內容，對他來說並非難事，只是學生來自各系，要給學生出題考試就要比較花心思了。期末考他出了一題出自唐代杜牧的《念昔游三首》之一：「雲門寺外逢猛雨，林黑山高雨腳長。曾奉郊宮為近侍，分明攬攬羽林槍。」要學生詳論這首詩所描述是哪一種降雨類型、什麼樣的天氣。沒想到，答題最好的是一位中文系的女生，儘管大氣系學生也回答的很好，但多半侷限在所學的理論範圍。這位女同學則是把文學脈絡與課堂上教的雲物理融為一體，把詩中描述的降雨型態及對流過程寫成一篇常人都能理解的文章，有些像古代科舉的策論。這讓王院士感嘆，古代科舉以詩賦策論取士，從文中觀察考生綜合各項知識的能力來做為任命官吏的基礎，有其一定基於經驗的道理，並非一無是處，現代人不應用今日眼光一竿子打翻一條船而盲目批評。

2. Wang, P. K., Lin, E. K. H., Lin, Y. S., Lee, C. R., Lin, H. J., Chen, C. W., & Pai, P. L., "Possible impact of the 43BCE Okmok volcanic eruption in Alaska on the climate of China as revealed in historical documents", *Climate of the Past*, 20 (7), pp.1513-1520, (2024).

給儀科中心 50 歲的生日祝福

王院士在威斯康辛大學麥迪遜分校大氣海洋科學系任教時，與創系的兩位教授：Dr. Reid A. Bryson 及 Dr. Verner E. Suomi 都有很不錯的互動。Bryson 為氣候專家，著有《Climates of Hunger》，經常與 Bryson 討論利用地質、考古、環境資料來研究古代氣候。Suomi 則被譽為「氣象衛星之父」，NASA 為了紀念 Suomi 的貢獻，將 2011 年發射的地球觀測衛星，改名為 Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP)。院士以 Suomi 曾經對他講的一句話來比喻儀器對科學發展的重要性：「When run out of ideas, buy equipment. (當你研究做到山窮水盡沒有靈感時，就去買個儀器做實驗吧！)」，這句話乍聽起來是個玩笑話，然而理論的正確性必須受到儀器實驗的檢驗，利用實驗的結果來驗證未經證明的物理理論或歸納出新的物理定律。好比超弦理論，未經驗證的理論只能算是「假說」而非「原理」。而有些實驗是設計來驗證理論的，而有些實驗則是用來觀察前所未有的領域，而兩者的成果往往會得出一些完全超乎意料的結果來，這些新結果又往往成為科學大進展的新基礎。

因此，理論和儀器實驗兩者相輔相成，關係著國家科學研究持續發展與成就。期望國家可以重視儀器的新發展，尤其現在的研究都需要大尺度、大規模的實驗去驗證，而儀科中心正是擔負國家前瞻研究的重要責任與支柱。而問題解決的歷程，往往來自不同領域的結合，期勉儀科中心同仁發展多元興趣，大膽走出自己的原專長領域，向寬廣燦爛的科學之門邁進。



威斯康辛大學大氣海洋科學系 50 週年歷屆系主任合影 (1998)。中間執拐杖者為創系人布萊森 (Reid Bryson) 教授。右起第三人持拐杖者是文中提到的德國教授 Dr. Heinz Lettau。