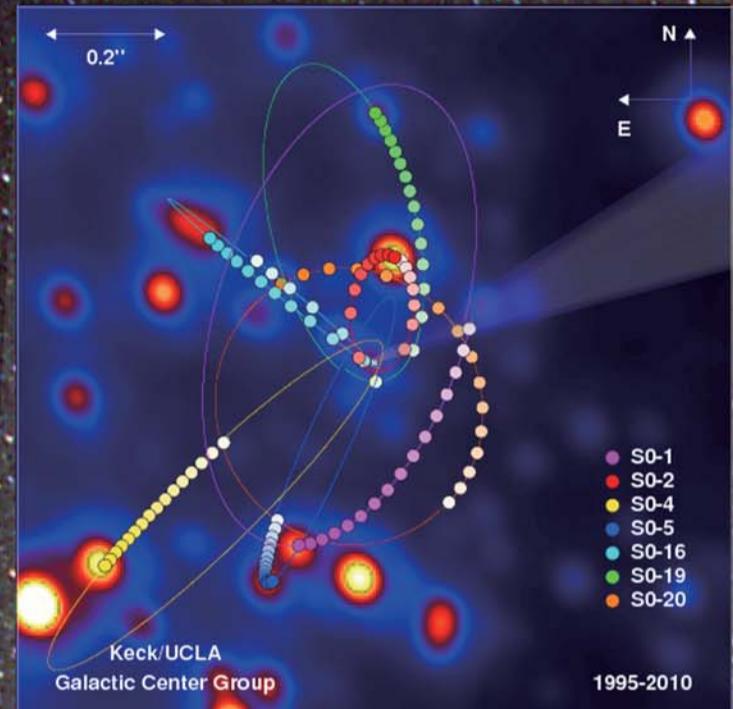


銀河系中心 Galactic Center

銀河中心在那裡？那兒真的有超大質量黑洞嗎？天文學觀測技術的進步帶您從可見光、無線電波、紅外光逐步探索逼近銀河的中心，一個和太陽系周遭截然不同的世界。

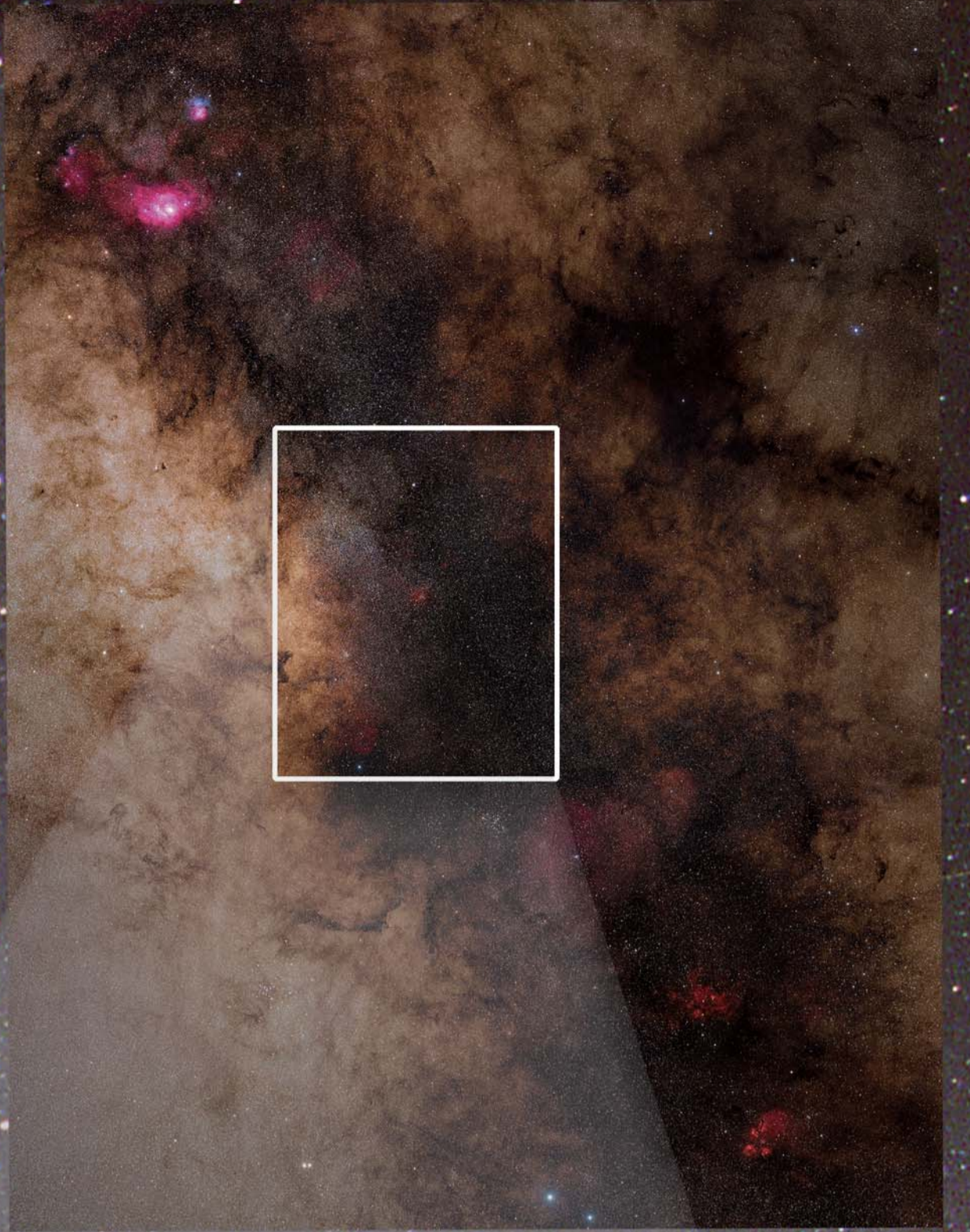


Credit: This image was created by Prof. Andrea Ghez and his research team at UCLA and are from data sets obtained with the W. M. Keck Telescopes.

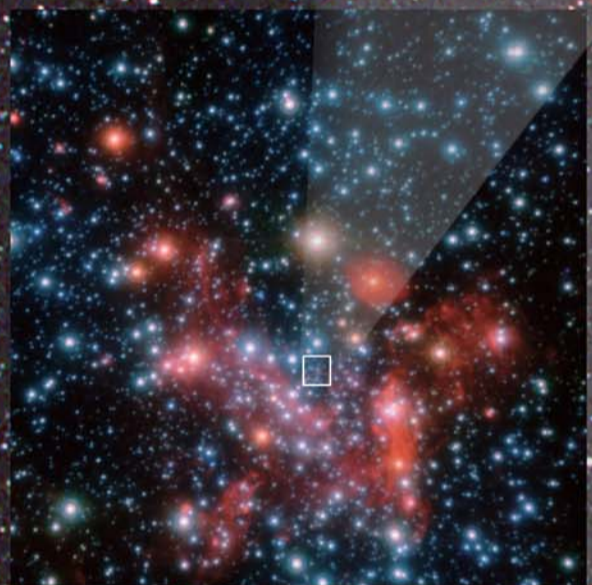
歐洲與美國的團隊先後利用雷射導星技術，透過紅外光波段從地面追蹤觀測銀河中心附近天體的運動情形已經將近二十年。本圖顯示部份恆星環繞銀河中心的軌道並涵蓋銀河中心直徑一角秒範圍，以距離 27000 光年換算，大約是光走 50 天的距離。圖中編號 S0-2 的恆星軌道週期最短，不到 16 年；S0-16 軌道最接近中心，約 100AU，比冥王星和太陽的距離 39AU 大不了多少。推估銀河中心黑洞的質量約為太陽的四百萬倍。



銀河中心超大質量黑洞的視界直徑大約是地球到太陽平均距離（即 1AU）的六分之一，從地球看過去，只有百萬分之三角秒（1 度 = 3600 角秒），卻是天上看起來最大的黑洞。長基線毫米波干涉儀已經可以觀測到黑洞周圍約 1AU 大小的毫米波源。黑洞中心和無線電波源人馬座 A* 非常接近，但是兩者之間的關係並不清楚。下一代的無線電波干涉儀可望揭開黑洞視界的神秘面紗。

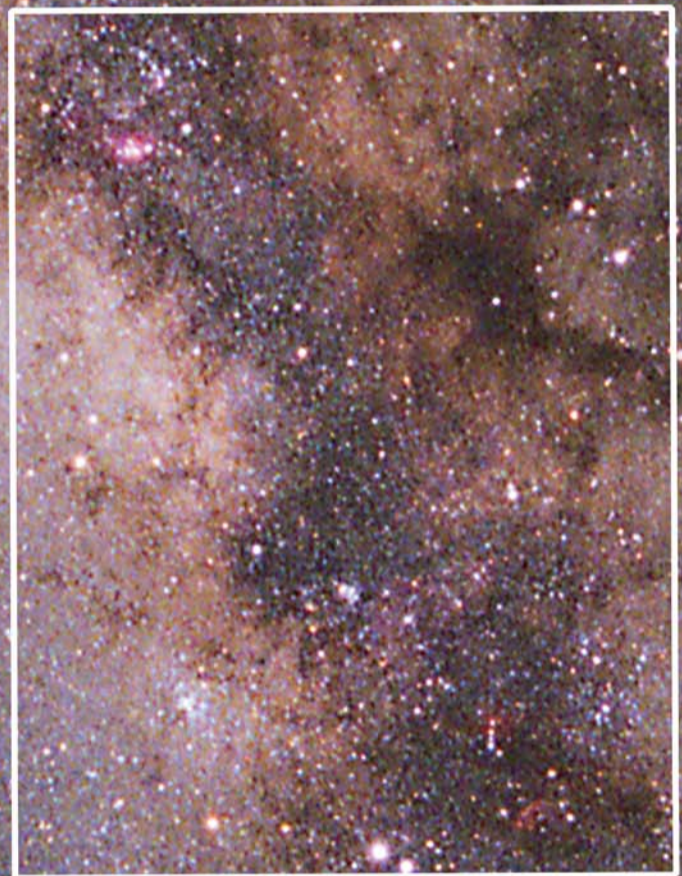


銀河中心位於天鵝與人馬座交界處，其中有各種類型的天體，如紅色或藍色的散光星雲、疏散星團與球狀星團等。無所不在的橙黃色光芒來自無數的背景恆星，黑暗帶則是濃密的分子雲吸收後的光而產生。銀河的中心則深藏在黑暗帶的後面，無法從可見光照片中看到。



Credit: ESO/S. Gillessen et al.

歐南天文台的八米望遠鏡利用自適應光學技術和雷射導星觀測銀河中心，這是 KHI 三個紅外光波段合成的假色影像。藍色代表恆星溫度較高，紅色較低，還可見到瀟灑的星際塵埃散發出來的紅外光。照片視野大約是 25 角秒。以距離 27000 光年換算，相當於銀河中心直徑三光年左右的區域。



Credit: HST/R. Schieder

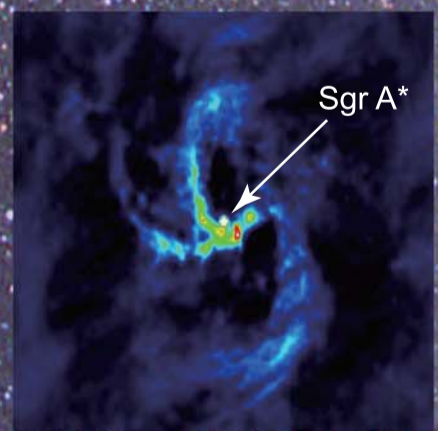


Image courtesy of NRAO/AUI

右圖是特大天線陣列 VLA 透過波長 3.6 公分的電波觀測到 Sgr A 西側類似旋臂的結構，很可能是大質量恆星游離周圍的氣體所產生。影像的視野大小約 1.7 角分（1 度 = 60 角分）。銀河中心所在的 Sgr A* 則是中央白色最明亮的點波源。左圖是歐南天文台的近紅外光譜相機 ISAAC 透過口徑八公尺的 VLT 望遠鏡拍攝銀河中心周圍，由 1.71、2.09、2.25 微米三波段合成的假色影像。照片的視野約 2.5 角分，大約是滿月直徑的十二分之一，大致上也涵蓋了 Sgr A 的範圍。

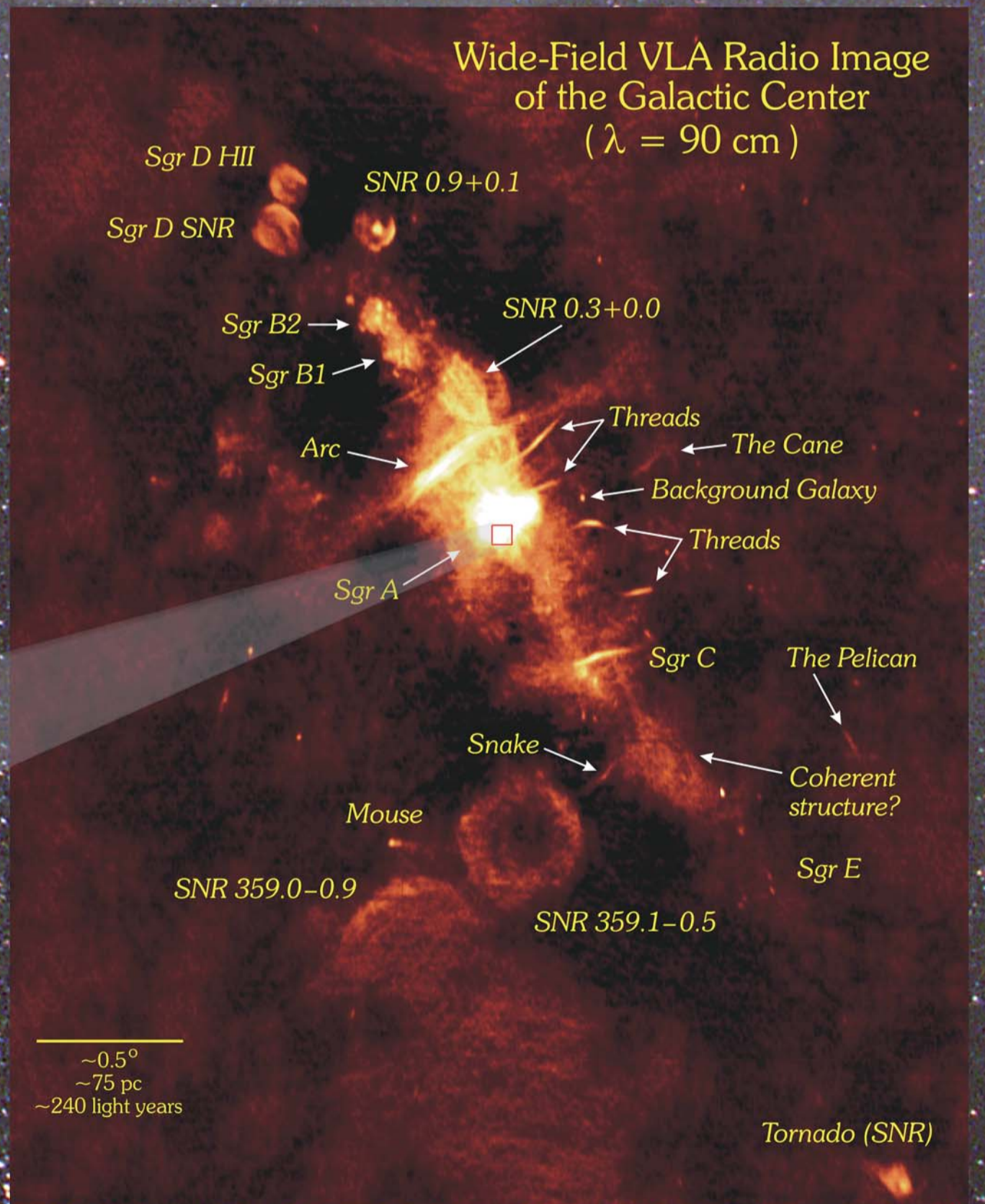


Image courtesy of NRAO/AUI and N.E. Kassim, Naval Research Laboratory

可見光無法穿透銀河盤面的星際塵埃，紅外光和無線電波卻可以。事實上，銀河中心是天上最亮的無線電波源之一。這是美國新墨西哥州特大天線陣列 VLA 透過波長 90 公分的電波觀測銀河中心附近 2.5 度 x 4 度，約 40 個滿月大小區域的影像。除了中央的人馬座 A（人馬座代號 Sgr A，代表星座內最明亮的電波源）以外，還可以看到一些超新星殘骸（SNR）及其他有趣的構造。

如果我們能遠離都市光害，在晴朗無雲的夏夜抬頭仰望天空，便可看到銀河的光芒橫跨天際，從南方的天鵝座、經過牛郎與織女之間，延伸到北方的仙后座。銀河系的中心在天鵝與人馬座（又稱射手座）一帶，該處的銀河特別明亮，且用肉眼就可以看出銀河裡交織著的黑暗星雲把銀河分成平行的兩股。

背景圖片 © 2 易 著



中央研究院
天文及天文物理研究所

【觀測新突破】見前所未見

科學家雖然都接受黑洞存在的說法，但迄今尚未找到直接證據。目前我們對黑洞的了解都來自間接測量，例如測量重力效應，或是造成該重力效應之物體可能的尺寸。根據定義，黑洞會把所有能觀測的光都吸收掉，也就是說，它能躲避任何的觀測。那我們究竟要如何才可偵測到黑洞呢？即使我們能想出辦法，黑洞的質量非常集中，離我們又很遠，目前還沒有任何儀器有夠高的角解析度可以觀測黑洞。



圖說：想要觀測黑洞，儀器設備的角解析度必須非常高。VLBI 便是用來提高解析度的一種方法：針對天空的同一個訊號源，利用位於不同地點的望遠鏡同時進行偵測，然後將各地傳來的訊號送至相關器加以計算，便可形成一組虛擬的洲際望遠鏡陣列。本所目前與其他機構合作的 VLBI 計畫，將於格陵蘭架設一座望遠鏡，與世界各地的其他望遠鏡連線觀測，新觀測工具的角解析度預期將達到前所未有的精密等級。上圖為藝術家繪製的假想圖，模擬未來的某一天，位於格陵蘭的 ALMA 天線、位於智利的 ALMA 天線及位於夏威夷的 SMA 天線三者共同觀測活躍星系核的情形。版權聲明：背景 AGN 圖片 ©Sonoma State University/Aurore Simonnet、ALMA 天線圖片 ©ALMA(ESO/NAOJ/NRAO)、SMA 天線圖片 ©中研院天文所

好消息是我們的確可以觀測黑洞！當然，黑洞不發射任何東西，所以我們無法看透它內在的秘密。但是黑洞的重力會吸積物質到它附近，因此典型黑洞的周圍都有一個吸積盤環繞著。由於黑洞附近的環境，吸積盤非常熱而且很亮，明亮的吸積盤與完全不反光的黑洞會形成一個非亮即暗的對比，因此我們會在吸積盤上看到黑洞投影所產生的陰影。黑洞產生的強重力場會造成極強烈的相對論效應，使得這個陰影扭曲變形，因此有時我們竟會同時看到陰影的正面和背面。此外，取決於黑洞的轉動速度，陰影也可能變得不對稱。以上這些觀測結果都是黑洞存在的直接證據；而我們也可以藉著這個新視野來進一步研究許多議題，包括：非常極端的重力場下的廣義相對論、黑洞內物質形成和吸積的機制、吸積盤的形成、噴流的加速、以及基本的黑洞物理等等。

如果我們想要觀測黑洞陰影，觀測設備的角解析度必須非常高。即便是觀測距離我們最近的超大質量黑洞，解析度都必須達到可看到視角尺寸僅僅數十毫角秒的精密等級，亦即要能看到天上滿月十億分之一大小的程度！但現今儀器設備都沒有這樣高的角解析度，因此我們需要提升當前的技術，研發興建更新的儀器與相關設備。

本所目前正與其他機構合作一項提高觀測解析度的研究計畫，新觀測工具的角解析度預期將達到前所未有的精密等級。此計畫內容包括在格陵蘭架設一座望遠鏡，好與世界各地的其他望遠鏡連線觀測。這座望遠鏡會大大提升觀測的角解析度，最後將是我們得以捕捉黑洞陰影的關鍵。大家好好睜大眼睛，期待後續發展吧！

（淺田圭一、Juan Carlos Algaba Marcos 特稿／魏韻純 翻譯）



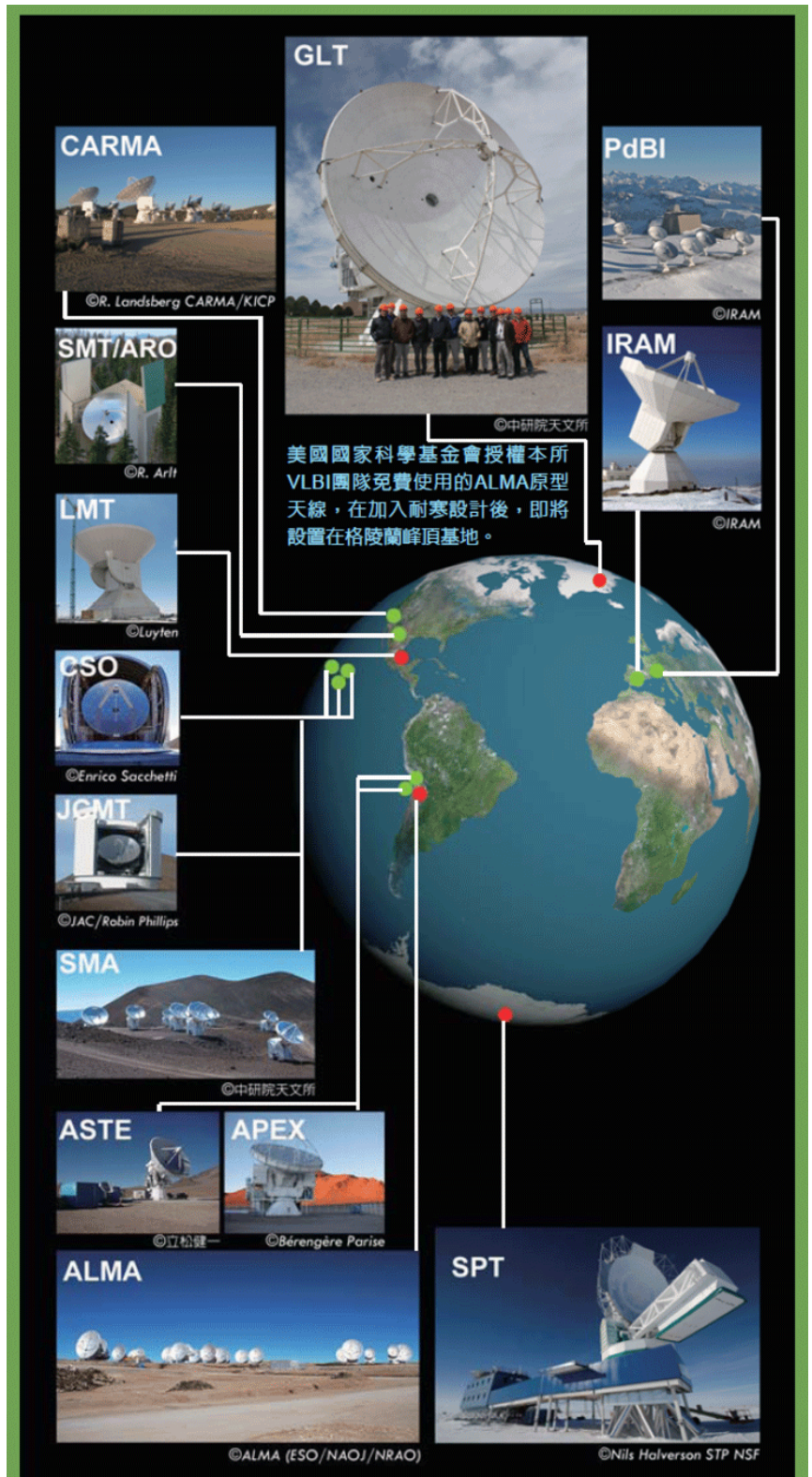
天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

【洲際虛擬望遠鏡】VLBI 特長基線干涉技術

特長基線干涉技術（簡稱VLBI）是目前在無線電波段取得超高解析度的一種技術，便於觀測更細微的天體結構。

天文觀測上望遠鏡的直徑越大解析度越高。目前大型可移動式電波望遠鏡，如：座落於德國 Effelsberg 及西維吉尼亞的 Green Bank 望遠鏡，其直徑皆超過 100 公尺。製造大型望遠鏡有諸多難處，像是造價昂貴、易因重力變形、易因強風改變方向等等；有名的例子如 Green Bank 望遠鏡就曾於 1988 年崩塌。為了建造更大型望遠鏡，當今最大的電波望遠鏡乾脆直接利用波多黎各阿雷西博的山谷地型，其直徑達到 305 公尺！

干涉技術是另一種用來提高解析度的方法。針對天空的同一個訊號源，我們可以利用位於不同地點的望遠鏡同時進行偵測，然後將各地傳來的訊號送至相關器加以計算，便可合成一組望遠鏡陣列。有了這個技術，就如同建了一架大型虛擬望遠鏡，其直徑為兩個相距甚遠的望遠鏡之間距，本所已將此技術運用在夏威夷的 SMA 和智利的 ALMA 望遠鏡。像這樣，利用位於不同洲際大陸甚至太空軌道上的兩座望遠鏡，便可形成以地球直徑為基線長度的虛擬望遠鏡。猶有甚者，如果我們把望遠鏡放到衛星上，還可形成一架直徑比地球還大的望遠鏡。VLBI 技術能提供的角解析度為現今之最。本所計劃於格陵蘭建造的望遠鏡提供的角解析度為 20 微弧秒，比哈柏太空望遠鏡還高上一千倍。



圖說：現今全球各地用來觀測黑洞的（次）毫米波陣列。綠色為已開始運轉的陣列，包括位於美國的 CARMA 和 SMT/ARO、夏威夷的 JCMT、CSO 與 SMA、智利的 ASTE 和 APEX、法國的 PdBI，以及西班牙的 IRAM。紅色代表建構中的陣列，有位於格陵蘭的峰頂基地 GLT、墨西哥的 LMT、智利的 ALMA，以及南極的 SPT。

VLBI 除了可用於觀測天體外，亦可用於測量兩座望遠鏡之間的距離。地球的地殼目前認為是由「板塊」構成，藉由數十年 VLBI 的測量，發現板塊每年僅移動數公分，為大陸漂移提供證據，正好解釋了德國氣象學家 Alfred Wegener 1912 年所提出的學說。這也是 VLBI 在天文學之外的另一貢獻。

(淺田圭一、Juan Carlos Algaba Marcos 特稿／蔣龍毅 翻譯)



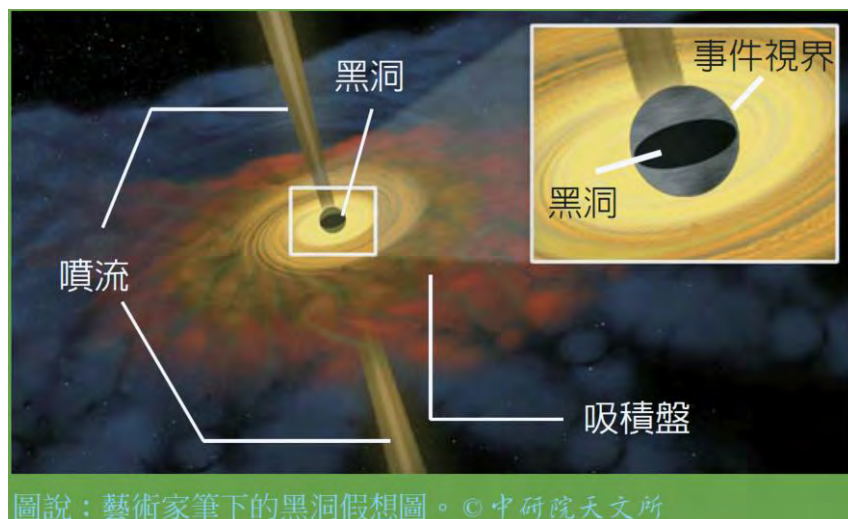
天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

【超強重力場】黑洞簡介

黑洞是宇宙中的超強重力場，其最獨特之處，在於會造成週遭時空結構的扭曲，形成所謂「事件視界」的區域，只要經過這個區域，任何物質都會掉入，即便光線也一樣無法倖免。由於黑洞的重力場和緻密程度都處在極端狀態，因此對於愛因斯坦廣義相對論與量子力學在適用極限方面的研究，黑洞是絕佳的實驗場所。

因為任何大小的質量皆可估算出黑洞的半徑，亦即所謂的史瓦西半徑，所以理論上宇宙中應該存在大大小小各種尺寸的黑洞。像人一樣質量的黑洞，尺寸應該會比一個基本粒子更小，但如何能形成這樣的黑洞，機制仍未知。原始黑洞各種尺寸都有，目前理論認為，原始黑洞很可能誕生在宇宙形成之初，大霹靂剛發生後，是伴隨物質與能量的不均勻分布所產生的局部超高密度而來。至於質量與太陽相當的黑洞，有可能是超新星爆炸下的產物；質量更大的黑洞，則可能是質量與太陽相當的黑洞形成後，透過後續的吸積作用而形成。

超大質量黑洞是位於星系中央的龐然大物。假使把它放到太陽的位置上，其大小可以延伸到海王星的軌道，質量則有可能高達太陽的數億倍，相當於整個星系的千分之一。若將一個星系以臺灣本島大小來比喻，那麼超大質量黑洞就相當於南投縣內的一粒米，而這粒米的質量，竟相當於全球人類的質量總和！



大部份的超大質量黑洞都不是單獨存在的，周遭都有吸積盤包圍著，有些還伴隨一束從黑洞附近向外噴射，由高能粒子組成的能量噴流。這些噴流以接近光速的速度前進，有些噴流噴射可及之處甚至可能超越黑洞所在的星系邊界，甚至更遠。這類景象我們稱之為活躍星系核，簡稱 AGN。

(淺田圭一、Juan Carlos Algaba Marcos 特稿／蔡殷智 翻譯)



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

【前進北極圈】格陵蘭峰頂基地簡介

峰頂站臺（Summit Camp）這個科學研究基地，由美國國家科學基金會出資、美軍支援、Polar Service 公司負責養護。基地位於格陵蘭島內陸400公里處，海拔3200公尺，平均大氣壓力和玉山相近，只有650毫巴；不難想像，在那裡工作會很辛苦！氣候很嚴峻，尤其是氣溫，夏季最高攝氏0度，冬季最低零下65度；在這麼冷的地方要怎麼工作，實在很難想像。

次毫米波段天文觀測，最常遇到的問題之一就是：天體反射來的次毫米波會被大氣中的水氣吸收，很容易影響觀測結果。要解決這個問題，就得移師高又冷的觀測地點，這麼一來，上頭那塊天所含的水氣量便可大幅降低。峰頂基地既高且冷，地理位置非常理想，所以我們選擇那裡作為望遠鏡的新家。



圖說：格陵蘭峰頂基地。白色箱子是本所即將用來測試電磁波輻射的檢測計。圖中人物為本所電子工程師 Pierre Martin-Cocher。©中研院天文所。



圖說：本所助研究員淺田圭一在峰頂基地享用到的極地美食。©中研院天文所。

極區有「永晝」和「永夜」。陽光普照的夏季比較「溫暖」，那時峰頂基地大約會派駐40多人，包括基地經理、廚師、木匠、工程師和科學家等，分別負責基地養護、執行或協助科學研究等工作。冬天來臨陽光消失時，留守的便只剩五位技術人員，3個月一梯次，輪流負責基地和儀器設備的運作和養護。人員出入這個基地，得搭乘特別裝備滑雪板的雪地專用軍機。

為了駐地工作人員的生活所需，美軍在峰頂基地蓋了好幾棟建築，最大一棟的外號叫做「大房子」，是個可容納40人用餐，類似滑雪勝地裡的那種餐廳。供應三餐，其中，午、晚餐還有專屬廚師為大家準備熱騰騰的飯菜。大房子裡也有洗手間和淋浴設備。不過，因為清水要靠融化冰雪辛苦取得，所以最多四天才能淋浴一次。此外，那裡還有投影機、電視機和一堆DVD影片，讓大家在冬季的漫漫長夜裡，休閒排遣時光。

基地上其他建築物大多是為科學研究而蓋，為提供精密儀器設備一個理想的作業環境，每一棟建築都有暖氣。為了儀器設備長年有暖氣可吹，夏天的短期訪客，只好遷就一下住在沒有暖氣供應的帳篷裡了。如此一來，大家可以好好「享受」一下格陵蘭峰頂基地的「夏令營」，「酷」斃啦！

（淺田圭一、Juan Carlos Algaba Marcos 特稿／黃珞文 翻譯）



【2011年臺灣次毫米波VLBI國際研討會】



圖說：2011年臺灣次毫米波VLBI國際研討會參加人員合影。©中研院天文所/鄒臺明

2011年11月9至11日，本所「次毫米波特長基線干涉陣列計劃」舉辦第一次國際研討會，共邀請到來自美、法、德、日、臺超過50位知名學者共同與會。討論主題是「如何在國際合作架構下進行本計劃」，參加者無不自由表達意見、交換心得，研討會成功圓滿結束。

會中再次肯定了「VLBI」透過國際團隊合作的重要性。根據字典定義，VLBI需要橫跨洲際的許多望遠鏡，以及一個以上的相關器進行資料連結，才能形成陣列。其中有許許多多單元設備，難以由單一國家或研究機構獨立完成。國際天文學者深知艱鉅的任務，唯有透過國際合作才能達成，所以VLBI各個團隊通常都會互相支援並分享研究成果。這正是VLBI天文學者們令人佩服之處。

本所的VLBI研究團隊本身就是一個小小「聯合國」，成員來自臺灣、日本、西班牙、法國和瑞士；其中，臺灣籍成員竟然算是「少數民族」！主要原因應該是臺灣本地過去並沒有從事VLBI領域研究的學者，新團隊至今甫成形。目前這個階段，大家還可以在這個小型團隊中體驗國際化的樂趣；不久的將來，隨著本土人才的養成，團隊會更壯大，情形又會大不相同。同學們如果對這個研究環境有興趣，未來，歡迎加入我們，成為VLBI的生力軍！

（淺田圭一、Juan Carlos Algaba Marcos 特稿／黃珞文 翻譯）



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

【本所暑期學生計畫】



圖說：2011年暑期學生計畫師生大合照。©中研院天文所。

民國八十一年之後，國立大學相繼成立天文研究所碩博士班，然而多數大學部學生仍缺乏適當管道接觸天文研究領域。八十二年十月，本所籌備處正式成立。為推動更多新人加入高等天文研究學術行列，本所於成立初期即嘗試招收少數大學自願生於暑期參與研究。之後更於八十七年正式成立暑期學生計畫，招收對天文有濃厚興趣與熱忱的大學部學生。

本計畫歷年來的研究專題，涵蓋本所各主要研究方向，包括理論天文物理、數值天文模擬、電波天文觀測、光學紅外線天文觀測、宇宙學觀測、電波天文儀器、乃至超導體元件製程及量測等。自民國八十七年至九十九年為止，一共招收 166 位大學部在學學生或應屆畢業生為暑期學生。早年接受本計畫培訓的學生已有兩位成為本所助研究員，三位現任本所博士後研究員，多位正在國內外大學攻讀天文或天文物理博士學位。

本計畫每年對國內外大學開放申請，國內學生佔錄取名單的大多數。歷年來亦有多位國際學生參加，國籍涵蓋日本、南韓、德國、美國、法國、英國…等。本年度共有五十四位同學申請，透過成績審查及面談，最後錄取共二十位，錄取率創新低，但錄取人數創新高。今年錯過機會的同學，請記得於今年三月下旬注意本所網站公告。（黃裕津 特稿）



天聞季報海報版與網路版由 [中央研究院天文及天文物理研究所](#) 製作，以 [創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款](#) 釋出。

天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。

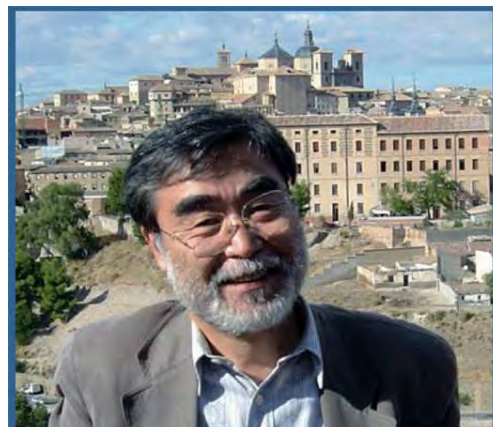
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

【VLBI 研究的先輩】井上允專訪

在還不是很清楚星星的名字之前，我就對天上的東西感到興趣，直到現在仍是一樣…

本所特聘研究員井上允博士是電波天文學家，也是發展 VLBI、研究超大質量黑洞與超強重力場中相對性噴流的專家。1981 年進入日本國立天文臺以來，除了天文研究工作，井上曾經擔任過三鷹園區總部與野邊山觀測站數個電波天文部門和計畫的研究與行政主管要職，並曾獲頒許多成就獎項。他在日本參與過的 VLBI 計畫，包括 1997 年史上第一座 VLBI 太空觀測站發射計畫 (VSOP)，還有日、韓、東亞 VLBI 望遠鏡連線國際計畫的推動。

井上與本所的互動始於 2000 年之前，當時籌備處主任是魯國鏞院士。其後陸陸續續他又造訪本所數次，在現任所長賀曾樸號召之下，他於 2009 年加入本所電波天文學研究陣營。魯、賀兩位所長對發展 VLBI 一直很支持，加上本所擁有許多電波天文學家以及優秀的工程師，所以井上博士也認為這裡非常適合發展 VLBI 的電波天文學研究。



圖說：井上允博士攝於西班牙托雷多 (Toledo)，當時他正參加 2004 年 10 月當地舉行的 VLBI 歐洲會員國研討會及使用者會議。© 中研院天文所/井上允。

去年本所主導的國際合作團隊爭取到 ALMA 望遠鏡原型，並決定要設置在格陵蘭島的峰頂基地；該基地寒冷、乾燥、高海拔、少光害的特色非常適合設置望遠鏡與 VLBI 連線。然而「荒涼」是另一個特色，目前美國合作單位已經著手該地宿舍與基地的建設，下一步就要開始規劃望遠鏡與硬體設備的設置。本所相關研究人員與工程師已經摩拳擦掌、蓄勢待發，而井上今年春天也將登上基地參與進度規劃。

私底下的井上…

井上來臺灣是「單身赴任」。他日本的家在郊區鄉間，庭園很大，可以遠眺富士山和南阿爾卑斯山。井上夫人大概比較習慣家鄉清幽的生活，所以這些年來，夫人只來臺灣停留過兩次。相較於夫人，在臺北工作的井上則過著另一種不同型態的生活，每早 9 點進辦公室，有時工作到晚上 10 點才回家。問他閒暇時都做些什麼？休息時做的事嗎？想了一會，答案是：睡覺、出門走走，偶而逛到臺大附近的小店喝喝比利時啤酒，或是和日本同事聚聚。單純又規律的研究生活。

除了研究，井上對天文推廣非常有興趣，他很樂意也常常支援本所的天文推廣活動，包括和年輕學子們面對面解答天文的問題，提供演講，甚至在下著雨的合歡山上的夜晚，星空饗宴觀星活動裡和大家分享黑洞研究的 Q&A。興致勃勃秀著友人出的日文科普繪本，他有個願望，就是有朝一日也能出版這類易讀的天文科普手繪圖文書，給小朋友和年輕人看的。只不過現在，隨著 VLBI 研究版圖的擴大，手邊工作越來越忙，這個心願得再往後延了。

(陳筱琪 採寫)

(網路完整版，請參閱 <https://sites.google.com/a/asiasa.sinica.edu.tw/iaaq-on-web/>)



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

【超大質量黑洞 與 超級地外文明】

井上允博士去年發表一篇嘗試運用科學邏輯、將超大質量黑洞研究擴大想像的論文；內容在討論如果真有「文明類型指數（Kardashev scale）」所言的第三類文明存在，超大質量黑洞應該會是這個文明的重要能源庫。

【地外文明的類型】

物理學家若要搜尋地外文明，不會去找「小綠人」或「ET」，他們要找的是文明類型指數裡的地外文明。最初提出這個指數的人是俄羅斯天文學家卡達謝夫（Nikolai Kardashev），他將地外文明依據所需消耗與可駕馭的能量規模分成三類。第一類的能量規模估算為 4×10^{12} 瓦，差不多是一個行星規模殖民地所能提供的能量；這類文明必須有能力駕馭行星上所有形式的能源。第二類文明的規模差不多可以駕馭一整個太陽系，能主動收集、傳輸並利用母恆星釋出的所有能量來生產動力—粗估為 4×10^{26} 瓦。要做到這樣，必須在母恆星周圍架設出一個可以收集輻射能、傳輸並提供能量轉換機制的巨型、自動化能源收集配送網，也就是物理學家戴森（Freeman Dyson）所提出的「戴森球（Dyson sphere）」概念。第三類文明則已經進化到可以掌控一整個星系中可能高達數 10 億個恆星系統的能量。這類文明可駕馭的能量規格粗估為 4×10^{37} 瓦，相當於一個銀河系所發出的能量。他們可能採用類似第二類文明的技術和系統來收集恆星的輻射能，或許還能利用很多星系中央都可以找到的超大質量黑洞裡的能量。對於目前地球的人類文明類型，也有學者認為其位階應該是在第「零」類和第一類之間。

雖然根據數學理論估計，太空中存在的第一到第三類文明少說也該有上千個，可惜截至目前還找不到觀測或偵測證據。

【超大質量黑洞 與 超級地外文明】

井上的假說有個前提—這個第三類文明不是一個「孤立」的地外文明，而是像 Star trek 裡的行星邦聯，是個「銀河文明聯盟 galactic club」，其中有多個散佈在星系中不同殖民星球的高度文明會員，而這個文明聯盟的能量來源則是星系中央的超大質量黑洞。由於第三類文明生物多半不會就住在超大質量黑洞的旁邊，因為很危險。想要利用這個能量，就必須在星系中架構出類似複雜電網、甚至可以遠端遙控的全自動能量收集與傳輸網絡系統。系統內除了鄰近超大質量黑洞的大型中央集能廠，還有配能中繼站、以及各地區文明當地自己的配能系統。整個系統就像戴森球，不同的是，為了配合超大質量黑洞周圍的吸積盤以及噴流，這個集能網不能把黑洞團團包圍，而必須留下一些空隙出口，形成所謂的「戴森殼（Dyson shells）」。

戴森殼系統收集到的能量，估計應該是以連續電磁輻射光束的方式在星系中進行傳輸。能量傳輸效率自然是首要考量，這時該選擇何種電磁波頻率做傳輸就很重要了。

以我們銀河系中央的超大質量黑洞人馬座 Sgr A* 為例，近紅外線波段附近的電磁波作為能量傳輸形式最不浪費，最有效率。此外，這個集能與傳輸系統還得考慮黑洞周圍吸積盤發出的輻射是何種電磁波？各個集能與配能站的能量轉換效率如何？以及該星系中作為傳輸媒介的星際介質，其傳輸效率又如何？各種考量井上在論文中都有嘗試討論。當然，這種從超大質量黑洞附近，以連續電磁輻射光束在星系中傳輸能量的方式，對地外文明搜尋計畫在偵測能量傳輸訊號上是一個嶄新參考，或許有助擴展搜尋範圍和搜尋目標。

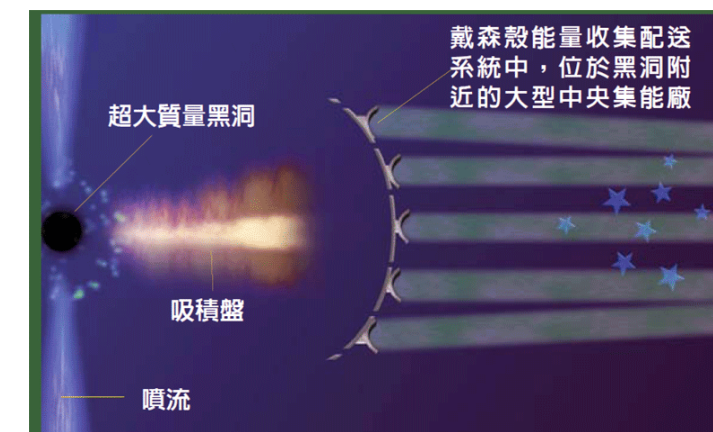
假使超大質量黑洞周圍真的存在這些能量收集與傳輸配送站，那麼我們今天所測得黑洞周圍的高能光束，或許不單只是噴流所產生，也有可能是這些能量傳輸站所發出的電磁輻射。這麼一來將有很多的未知值得進一步探索，例如：SMBH 能量的傳輸是以何種電磁波形式進行？無線電波、可見光、還是紅外線？星系中又有哪些軌道適合設置這些能量收集與配置站？

井上這篇算是因個人興趣所提出來「投石問路」的前衛假說。他特別提到，這個假說並不是時空旅行一類的憑空想像，而是希望從已有的學理根據去探討一些科學想法的可能性和極限，以作為探索未來發展的基礎。

當然，舉凡假說，目的是提出新的想法，提供學界討論與辯證。重重挑戰之後，有的假說會被推翻，也有多年後被證實而成為定理的。科學不就是經過這些反覆邏輯辯證、追根究底的討論而一步步往前推進的？這個假說能否成為理論或定理，就留待未來的科學去驗證了。

（陳筱琪/資料彙整&採寫）

論文出處：Makoto Inoue and Hiromitsu Yokoo, *Type III Dyson Sphere of Highly Advanced Civilisations around a Super Massive Black Hole*, JBIS Vol 64 No03, 2011



圖說：戴森殼示意圖。假說中第三類文明在超大質量黑洞周圍架構類似複雜電網、可以遠端遙控的全自動能量收集與傳輸網絡系統—戴森殼。為了配合超大質量黑洞周圍的吸積盤以及噴流，這個集能網絡不能把黑洞團團包圍，而必須留下一些空隙出口。戴森殼系統收集到的能量，估計應該是以連續電磁輻射光束的方式在星系中進行傳輸，再配送到中繼站、以及各地區文明當地自己的能量配置系統。©中研院天文所/井上允、千葉商科學大學/橫尾広光



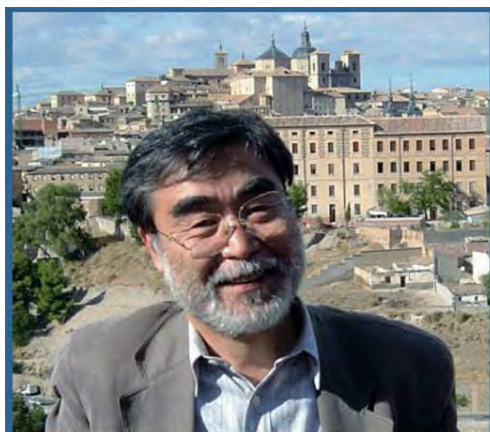
天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。

天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。

創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>

【VLBI 研究的先輩】井上允專訪（網路全文版）

2009 迄今 中研院天文所特聘研究員
2004-08 日本國立天文臺太空特長基線干涉儀計畫主任
2004-06 日本國立天文臺電波天文部主席
2002-04 日本國立天文臺工程主任
1998-02 日本國立天文臺野邊山觀測站臺長
1994-08 日本國立天文臺/東京大學教授
1988-94 日本國立天文臺副教授
1981-88 日本國立天文臺前身東京天文臺研究員
1977 名古屋大學物理系博士
1973 名古屋大學物理系碩士
1971 名古屋大學物理系學士



圖說：井上允博士攝於西班牙托雷多 (Toledo)，當時他正參加2004年10月當地舉行的VLBI歐洲會員國研討會及使用者會議。©中研院天文所/井上允。

本所特聘研究員井上允博士是電波天文學家，也是發展 VLBI、研究超大質量黑洞與超強重力場噴流的專家。1981 年進入日本國立天文臺 (NAOJ) 前身的東京天文臺以來，除了天文研究工作，井上在 NAOJ 的 28 年期間曾經擔任過三鷹園區總部與野邊山觀測站數個電波天文部門和計畫的研究與行政主管要職，並曾獲頒許多成就獎項。他在日本參與過的 VLBI 計畫，包括 1997 年史上第一座 VLBI 太空觀測站發射計畫 (VSOP)，還有日、韓、東亞 VLBI 望遠鏡連線國際計畫的推動。

井上與本所的互動始於 2000 年之前，當時籌備處主任是魯國鏞院士。其後陸陸續續他又造訪本所數次，在現任所長賀曾樸號召之下，他於 2009 年加入本所電波天文學研究陣營。魯、賀兩位所長對發展 VLBI 一直很支持，加上本所擁有許多電波天文學家以及優秀的工程師，所以井上博士也認為這裡非常適合發展 VLBI 的電波天文學研究。

去年本所主導的國際合作團隊爭取到 ALMA 望遠鏡原型，並決定要設置在格陵蘭島的「峰頂基地」；該基地寒冷、乾燥、高海拔、少光害的特色非常適合設置望遠鏡與 VLBI 連線。然而「荒涼」是另一個特色，目前美國合作單位已經著手該地宿舍與基地的建設，下一步就要開始規劃望遠鏡與硬體設備的設置。本所相關研究人員與工程師已經摩拳擦掌、蓄勢待發，而井上今年春天也將登上基地參與進度規劃。

在還不是很清楚星星的名字之前，我就對天上的東西感到興趣，直到現在仍是一樣…

井上在大學念物理的前幾年曾經接觸過粒子物理 (particle physics) 研究，但是最後一年選擇專題時，他轉變跑道改做電波天文，原因是「理論很難搞」，此外當時的他覺得天文學在未來應該會比粒子物理學發展更蓬勃。井上進入研究所後，同一所大學同一科系的學長小林誠 Kobayashi 正在進行博士最後一年的基本夸克粒子研究，次年小林就和益川敏英 Maskawa 共同提出卡比博-小林-益川矩陣 (CKM matrix) 理論，只是井上當時並不知道這篇論文將在 25 年後獲頒諾貝爾物理獎。雖然錯身而過，井上並不後悔離開粒子物理領域，因為電波天文仍是他的最愛。他 1977 年的博士論文，內容即與 VLBI 有關，算是這個領域的先鋒。問他為什麼不出幾本和 VLBI 發展歷史有關的書，他幽默地笑稱自己「記憶不好」，記不得過去的事，連他夫人都會打趣他記憶不好，所以才會為了工作都忘了在日本的妻兒。

私底下的井上…

井上來臺灣是「單身赴任」。他日本的家在郊區鄉間，庭園很大，可以遠眺富士山和南阿爾卑斯山。井上夫人大概比較習慣家鄉清幽的生活，所以這些年來，夫人只來臺灣停留過兩次。相較於夫人，在臺北工作的井上則過著另一種不同型態的生活，每早 9 點進辦公室，有時工作到晚上 10 點才回家。問他閒暇時都做些什麼？休息時做的事嗎？想了一會後，答案是：睡覺、出門走走，偶而逛到臺大附近的小店喝喝比利時啤酒，或是和日本同事聚聚。單純又規律的研究生活。

除了研究，井上對天文推廣非常有興趣，他很樂意也常常支援本所的天文推廣活動，包括和年輕學子們面對面解答天文的問題，提供演講，甚至在下著雨的合歡山上的夜晚，星空饗宴觀星活動裡和大家分享黑洞研究的 Q&A。興致勃勃秀著友人出的日文科普繪本，他有個願望，就是有朝一日也能出版這類易讀的天文科普手繪圖文書，給小朋友和年輕人看的。只不過現在，隨著 VLBI 研究版圖的擴大，手邊工作越來越忙，這個心願得再往後延了。



圖說：井上允博士與他的愛犬—享年 12 歲的哈士奇 Brot。2005 年攝於日本家中後院。©中央研究院天文所

(陳筱琪 採寫)



天聞季報人物專訪網路全文版由中央研究院天文及天文物理研究所陳筱琪製作，

以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。

超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。

創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

超大質量黑洞 與 超級地外文明（網路全文版）

去年井上允博士發表了一篇探討「文明類型指數」理論中第三類型高等地外文明如何利用超大質量黑洞能量的假說。井上這篇論文嘗試運用科學邏輯，來擴大想像探討黑洞研究，也就是：假如真的有高等地外文明，那麼超大質量黑洞應該會被拿來作為發展或維持這個文明的重要能源庫。

這算是一篇「投石問路」的前衛假說，目的是提出一個新的想法，提供討論與辯證。當然舉凡假說，都會引來不同的反應與迴響，有人會覺得很有意思、不可思議，有人不置可否，當然也有人不以為然。不過井上並不以為意，畢竟在重重挑戰之後，有的假說會被推翻，也有多年後被證實而成為定理的。科學就是經過這些反覆邏輯辯證、追根究底的討論而一步步往前推進的，不是嗎？

在介紹這個假說之前，我們先來看看什麼是第三類文明。

【高等地外文明的類型】

地球以外的文明有哪些？物理學家如果要搜尋地外文明，他們不會去找「小綠人」或「ET」，他們要找的是所謂的「第一類、第二類和第三類」文明。那是什麼？

俄羅斯天文學家卡達謝夫（Nikolai Kardashev）是最早提出這個「文明類型指數（Kardashev scale）」的人，這個理論將高等地外文明依據文明所需消耗與可駕馭的能量規模分成三類。1963年前蘇聯的地外行星計畫發現第一顆「類星體—CTA-102」時，卡達謝夫認為假如真有其他星系存在著領先地球數百萬或數 10 億年的文明，這些文明應該會利用太空中高輻射天體所釋放出的能量來維持文明所需要的動力，因而在次年提出了這個理論。之後這個理論被許多科幻小說、科幻電影和卡通、預言家、搜尋地外文明計畫（SETI）學者拿來作為理論基礎。耳熟能詳的科幻作品如星際奇兵 Stargate、星艦奇航記 Star trek、軌道城 Orbitville、環形世界 Ringworld、星際大爭霸 Battlestar Galactica、星際大戰 Star Wars、星際戰警 MIB、超時空博士 Dr Who、New X-Men、宇宙戰艦大和號、銀河英雄傳說、星界的紋章等等。

根據文明類型指數的分類，第一類地外文明所需要消耗的能量規模約為 4×10^{19} erg/sec（即 4×10^{12} 瓦），差不多是一個行星規模殖民地所能提供的能量。這類文明必須有能力駕馭行星上所有形式的能源；拿地球來說，必須要能取得並利用地球內部和深海的能源、能控制地震、颱風、颶風、海嘯並利用這些現象所產生的能量。

第二類文明更高等，這類文明已經可以主動收集、傳輸並利用相當於我們太陽（也就是文明所在地的母恆星）所能釋出的所有能量，來生產支撐整個文明所需的動力——大約是 4×10^{33} erg/sec（ 4×10^{26} 瓦）。要做到這樣，必須在太陽的周圍架設出一個可以環繞太陽，收集輻射能、加以傳輸並提供轉換利用的「太陽能量傳輸衛星網」，也就是人稱「戴森球（Dyson sphere）」或是類似戴森球的巨型、自動化能源收集配送網，這個想法最早是由普林斯頓大學物理學家戴森（Freeman Dyson）所提出。這樣的文明規模差不多已經可以駕馭一整個太陽系了。物理學家加來道雄（Michio Kaku）認為文明發展到這裡應該就很穩定，很難被毀滅了。

第三類文明更強大，它已經進化到可以掌控一整個星系中可能高達數 10 億個恆星系統的

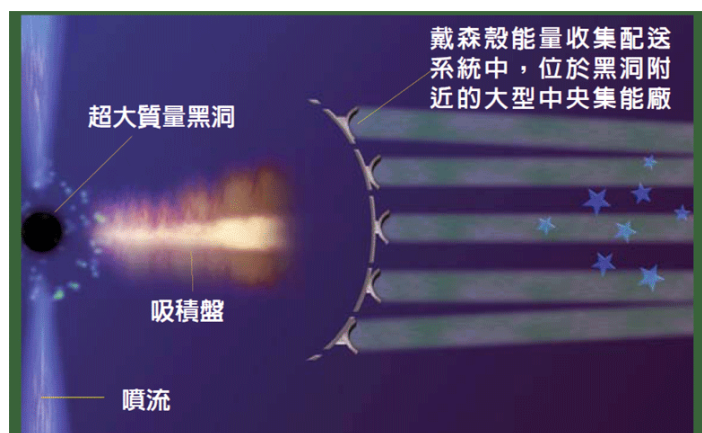
能量。文明類型指數估計這類文明可駕馭的能量規格大約是 4×10^{44} erg/sec (4×10^{37} 瓦)，相當於一個銀河系所發出的能量。這類文明可能採用類似第二類文明的技術和系統來收集恆星的輻射能，甚至或許還能利用很多星系中央都可以找到的超大質量黑洞裡的能量。文明到這個地步估計應該也可以自由往返不同時空了。

對於目前地球的人類文明類型，也有學者認為其位階應該是在第「零」類和第一類之間。知名的 SETI 學者卡爾薩根 (Carl Sagan) 甚至還算出 1973 年時期的地球人類文明指數——大約是「0.7」！加來道雄則預測人類文明應該再過個 1、2 百年便可進入第一類文明的規模了。不過跨越第「零」類進入第一類，很多人認為這個轉換其實很危險，也有可能自我毀滅，不成功便成仁。此因文明嘗試升級進入第一類的規模，人類必須要將地球所有可用的資源利用到極盡，然而過度使用能源卻無能力疏散因此產生的大量廢熱和廢料，反而會讓地球變成生物難以生存、作物無法生長的地方。要克服這些問題，只能期待未來的科技；或許該考慮先把人類送上其它行星，或是想辦法先把文明廢熱疏散到地球以外的太陽系中，才能保證升級成功。

雖然根據數學理論估計，太空中存在的第一類到第三類文明少說也該有上千個，不過截至目前，還找不到任何觀測證據。

【超大質量黑洞 與 超級地外文明】

井上博士的假說和目前的地球人類文明無關，主要是嘗試用科學角度在探討：假設如果真有第三類高等地外文明，超大質量黑洞很可能會被用來作為維持文明的能量來源。但是整個論文的探討有個前提，就是這個第三類文明不是一個「孤立」的地外文明，而是像 Star trek 裡的行星邦聯，是個「銀河文明聯盟 galactic club」，其中有多個散佈在星系中不同殖民星球的高度文明會員，而這個文明聯盟的能量來源則是星系中央的超大質量黑洞。由於第三類文明生物多半不會就住在這個黑洞的旁邊，因為很危險。想要利用這個黑洞的能量，就必須在星系中架構出一個類似電網、複雜的、甚至可以遠端遙控的全自動能量收集與傳輸網絡系統。系統內除了鄰近超大質量黑洞的大型中央集能廠，還有配能中繼站、以及各地區文明當地自己的配能系統。整個系統就像第二類文明中提到的戴森球，不同的是，為了配合超大質量黑洞周圍的吸積盤以及噴流，這個集能網不能把黑洞團團包圍，而必須留下一些空隙出口，形成所謂的「戴森殼 (Dyson shells)」。



圖說：戴森殼示意圖。假說中第三類文明在超大質量黑洞周圍架構類似複雜電網、可以遠端遙控的全自動能量收集與傳輸網絡系統——戴森殼。為了配合超大質量黑洞周圍的吸積盤以及噴流，這個集能網絡不能把黑洞團團包圍，而必須留下一些空隙出口。戴森殼系統收集到的能量，估計應該是以連續電磁輻射光束的方式在星系中進行傳輸，再配送到中繼站、以及各地區文明當地的能量配置系統。©中研院天文所/井上允、千葉商科學大學/橫尾広光

戴森殼系統收集到的能量，估計應該是以連續電磁輻射光束的方式在星系中進行傳輸。能量傳輸效率自然是首要考量，這時該選擇何種電磁波頻率做傳輸就很重要了。

以我們銀河系中央的超大質量黑洞人馬座 Sgr A* 為例，在其周圍就有很多的恆星系統圍繞著，如果有第三類文明的話，很有機會就存在那附近，而用近紅外線波段附近的電磁波作為能量傳輸形式最不浪費，最有效率。此外，這個集能與傳輸系統還得考慮黑洞周圍吸積盤發出的輻射是何種電磁波？各個集能與配能站的能量轉換效率如何？以及該星系中作為傳輸媒介的星際介質，其傳輸效率又如何？各種考量井上在論文中都有嘗試討論。當然，這種從超大質量黑洞附近，以連續電磁輻射光束在星系中傳輸能量的方式，對地外文明搜尋計畫在偵測能量傳輸訊號上是一個嶄新參考，或許有助擴展搜尋範圍和搜尋目標。

井上特別提到，這個假說並不是時空旅行一類的憑空想像，而是希望從已有的學理根據上去探討一些科學想法的可能性和極限，以作為探索未來發展的基礎。事實上，截至目前為止，這類諸如地外文明的能量消耗、如何收集與傳輸能量等理論，也的確已經有一些科學性的學術根基了。我們當然也希望知道太空中哪些物質可能可以作為提供能量的源頭，恆星和黑洞自然就成為這類研究討論的目標。如果超大質量黑洞周圍真的存在這些能量收集與傳輸配送站的話，我們今天所測得黑洞周圍的高能光束，或許不單只是噴流所產生，也有可能是這些能量傳輸站所發出的電磁輻射。這麼一來將有很多的未知值得進一步探索，例如：SMBH 能量的傳輸是以何種電磁波形式進行？無線電波、可見光、還是紅外線？星系中又有哪些軌道適合設置這些能量收集與配置站？

目前這仍僅是個假說，還沒有任何研究針對這個能量傳輸系統進行相關觀測。但是超大質量黑洞的觀測研究，將會因為這些前衛假說變得更加有趣。

假說是否能成為理論或定理，就留待未來的科學去驗證了。

論文出處：Makoto Inoue and Hiromitsu Yokoo, *Type III Dyson Sphere of Highly Advanced Civilisations around a Super Massive Black Hole*, JBIS Vol. 64, pp.58-61, 2011

(陳筱琪 資料彙整&採寫)



天聞季報人物專訪網路全文版由中央研究院天文及天文物理研究所陳筱琪製作，

以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。

超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。

創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。

編輯與發行資訊

發行人\賀曾樸

執行主編\陳筱琪

執行編輯\金升光、曾耀寰、蔣龍毅、顏吉鴻

美術編輯\蔡殷智

本期 VLBI 各簡介專欄作者及翻譯人員\淺田圭一、Juan Carlos Algaba Marcos
\黃珞文、蔡殷智、蔣龍毅、魏韻純、陳筱琪、顏吉鴻

背面圖說\金升光、王為豪

背面底圖版權\Milky Way © 王為豪

發行單位\中央研究院天文及天文物理研究所

地址\台北市羅斯福路四段一號天文數學館 11 樓

電話\ (02)2366-5391

電子信箱\epo@asiaa.sinica.edu.tw

天聞季報版權所有\中研院天文所

發行通路\文碩圖書事業股份有限公司

天聞季報編輯群感謝各位閱讀本期內容。本季報由中央研究院天文所發行，旨在報導本所相關研究成果、天文動態及發表於國際的天文新知等，提供中學以上師生及一般民眾作為天文教學參考資源。歡迎各界來信給我們，提供您的迴響、讀後心得、天文問題或是建議指教。

來信請寄至『10617 台北郵政 23-141 號信箱 中央研究院天文所天聞季報編輯小組收』；或是寄至電子信箱：epo@asiaa.sinica.edu.tw。



天聞季報海報版與網路版由中央研究院天文及天文物理研究所製作，
以創用 CC 姓名標示-非商業性-禁止改作 3.0 台灣 授權條款釋出。
天聞季報網路版衍生自天聞季報海報版。超出此條款範圍外的授權，請與我們聯繫。
創用 CC 授權可於以下網站查閱諮詢 <https://isp.moe.edu.tw/ccedu/service.php>。