

# 突破知識邊界：

## Peter Galison At the Boundary of Science and Humanities: Black Holes

國立成功大學全校不分系學士學位學程\全林楷倫

二〇二五年十一月二十日，成功大榮幸邀請到哈佛大學 Peter Galison 教授（由臺灣綜合大學系統辦公室主辦，國立成功大學人文社會科學中心與文學院、理學院承辦，財團法人傑出人才發展基金會、財團法人中技社協辦），這位集科學史學家、物理學家與科學哲學家於一身的學者，同時也是全球獨特的「黑洞倡議計畫」主任。Galison 教授以「科學與人文學科的邊界：黑洞」（At the Boundary of Science and Humanities: Black Holes）為題，為成大師生帶來一場橫跨極端物理現象、知識認識論與跨文化倫理的深度對話。演講的核心關懷，在於探討黑洞這一物理學概念如何挑戰我們對於客觀性、時間、空間與知識本質的既有理解。

### 運算時代的客觀性：EHT 影像的認識論

Galison 教授首先聚焦於事件視界望遠鏡（EHT）於2019年發布的首張 M87 黑洞影像，這個模糊的橘色甜甜圈，本質上是一個運算影像。由於黑洞本身是「看不見」的，這張照片是透過全球電波望遠鏡組成的觀測陣列，結合機器學習、神經網路與人工智慧，從稀疏數據中重建出來的。這直接挑戰了科學哲學中關於「客觀性」的定義。

Peter Galison 教授在演講中對影像認識論（Epistemology of the Image）的學理概述，從歷史角度來看，科學影像的客觀性曾歷經三個階段的演變：從18世紀的理想化（Idealization），旨在尋找普遍性；到19世紀，雖然仍有理想化的概念，但新增了機械客觀性（Mechanical Objectivity），尋求自然直接轉移到頁面上的想法；再到20世紀，隨著科學社群的自信增強，轉向訓練有素的專業知識（Trained Expertise），強調透過訓練和判斷來進行評估。

但在EHT 專案建立影像穩健性（robustness）的過程中，卻是一種將這些歷史方法「逆向」重現的程序。團隊為了確保影像的可靠性，採取了多重獨立驗證：

講者提到在過程中是由全球四個團隊被要求完全獨立地運作，運用他們的專業知識和訓練來重建影像。當他們在2018年會合時，四組影像看起來「非常相似」，像素重疊率高達99%，這讓他們相信結果不是一個人工產物。

而為了解決團隊成員可能潛意識調整參數以得到期望結果的擔憂，他們讓電腦進行 通過/失敗測試 (pass fail tests)。電腦被要求嘗試數百萬種不同的設置，以找到最佳參數來精準捕捉已知的測試影像 (如圓圈或新月形)。隨後，相同的設置 (Beta) 被應用於M87的真實數據，從而產出影像。

由於不同演算法產生的影像略有不同，團隊決定進行平均化，儘管這引發了爭議，有人認為平均化是一種理想化，並非直接來自數據。但 Galison 教授指出，這個平均化影像是一個保守的論證：它強調了所有影像中都存在的共同特徵，同時淡化了只出現在單一或少數影像中的特徵。因此，它代表了一種跨越不同方法的「共識影像」(consensus image)。

通過將近一年的反覆測試包含排除單一望遠鏡、改變頻率和演算法以及所有的測試結果都證明這個影像「保持完整」(left the image intact)，最終在2019年4月10日向公眾發布。

### 深度對話：模糊的邊界與交易區(trading zone)的建立

在最後QA時間，筆者像講者詢問「影像重建是否意味著我們正從『觀察』走向『解釋』？」時，Galison 教授回應說，這涉及科學哲學中關於「觀察 vs. 實驗」的古老辯論。他提到哲學家 Ian Hacking(1936-2023) 曾主張，只有我們可以操縱的事物才是真實的，而不能操縱的則是純粹的解釋。他認為這個界線在過去一百年裡已經變得模糊 (blurrier boundary)。

講者指出，天體物理學的出現已經開始打破這個邊界。如我們使用與觀察火焰相同的光譜設備來觀察遙遠恆星的光譜，並相信在實驗室和太空中看到相同的氫線都是真實的。此外，即使在大型粒子碰撞實驗中，科學家對亞原子層面的操縱能力也是有限的。基於這些原因，他認為試圖在觀察與解釋之間劃出一個清晰的界線是值得懷疑的 (dubious)。就黑洞影像而言，透過確立其在不同方法下的穩健性，它已證明自己是一個客觀影像，是「真實存在，不會消失的」(here to stay)。

另一由筆者所提出的問題則好奇探討詢問「BHI 如何在天文學家、數學家 and 哲學家之間建立「交易區」(trading zone)」。Galison 教授解釋，科學實踐並非是激進的範式轉移，而是科學家努力發展共同語言來彌合知識差距。如BHI的目的：BHI 正是為了創造一個足夠通用的語言，讓各領域專家能夠理解彼此的關切，進而提出共同的問題。而講者另外也提到關於學科融合的挑戰，要建立共同語言是一個漫長且痛苦的時期。他舉例，奈米科學領域中，原子物理學家、化學家和工程師必須花很長時間才能開發出共同的量子力學語言；數學家也曾質疑弦理論家：「你們的術語沒有明確定義，證明不夠嚴謹，你們到底在說什麼？」。筆者也在問題中進一步詢問哲學在這計劃中的實質影響。Galison 教授證實，哲學確實影響了實驗設計。目前 BHI 正在進行的「光子環」(photon ring) 研究，就是基礎物理學、天文學和部分哲學相結合的直接成果。最後提到學科本身 (如物理學) 也是一種混合學科 (hybrid discipline)，建立交易語言對於現代科學至關重要。

### 攝影與倫理：擴展「人性」的邊界

在討論完科學本質後，Galison 教授轉向黑洞研究如何體現人文學科（the humanities）的關懷。

他首先論證了M87影像作為一張「攝影」的地位。他認為攝影是一個「不斷擴展其範圍」的動態媒介（dynamic medium），沒有單一的標準可以界定它。即使是我們手機拍攝的照片，也大量依賴運算色彩（computed color）和多重影像的組合。他進一步指出，黑白照片本身就是偽色，因為我們平常看不到黑白世界。他以哲學家維根斯坦（Wittgenstein）的「家族相似性」（family resemblance）概念來定義攝影：一個概念是多個特徵的集合，沒有單一的必要和充分條件。目前紐約現代藝術博物館（MoMA）已將M87影像納入其永久攝影收藏中。

人文學科（從人類學角度切出）的另一個關鍵介入點，是望遠鏡的「責任選址」（responsible sighting）。望遠鏡選址不僅是尋找高而乾燥的地點，還必須考慮文化、歷史和倫理問題。這包括誰控制土地、山峰是否神聖、是否用於導航或宇宙學體系（cosmological scheme），以及對當地脆弱生態系統的影響。

Galison 教授強調，負責任的選址必須包含利益相關者（stakeholders）的理解。他提出三個重要的指導原則：

- ❶ 「非關我族，除非共議」（not about us unless with us）：關於山頂空間的使用，必須納入居住、使用或與該地有文化傳統關聯的人們的意見，不能由遠方的人決定。
- ❷ 「否」必須是一個可能的結果（no is a possible outcome）：討論不能預設望遠鏡必然會建造，這個最終結果必須是協商的結果，而非預設。
- ❸ 觀點的異質性（heterogeneity of indigenous views）：必須承認當地原住民社群之間可能存在完全不同的意見，不能假設只有單一的觀點。

他以夏威夷毛納基山建造30米望遠鏡引發的爭議為例，該實驗中扮演重要角色的望遠鏡曾被長期關閉。這些努力，使得天文學界得以用一種更具倫理性和責任感的方式與世界各地選址地點互動。

### 未來展望：窺視時空邊緣的「光子環」

演講的最後部分，Galison 教授將目光投向未來，聚焦於 BHI 的下一個科學目標：觀測黑洞周圍的「光子環」（Photon Ring）。

光子環的意義：這是由純粹的光（pure light）在黑洞附近被極度彎曲，甚至進入軌道繞行一圈或多圈後形成的明亮薄環。廣義相對論指出，光總是遵循直線（straight lines）路徑，即使這些路徑被劇烈扭曲。因此，光子環將反映時空本身的幾何結構（the geometry of space and time itself）。  
黑洞自旋與幾何學：觀測光子環可以讓我們直接測量黑洞的自旋（spin）。如果黑洞自旋速度越高，光環影像會變形，一側會出現凹陷。講者也提到相關之未來計畫：BHI 正在設計黑洞探測器（Black Hole Explorer），計畫將望遠鏡部署在太空中，與地球望遠鏡結合，形成一個比地球直徑大三倍的最高解析度望遠鏡（highest resolution telescope in the history of astronomy）。  
哲學的終極沉思：Galison 教授提出了一個「純粹的哲學性沉思」（purely philosophical rumination）來結束演講。光子環的多重軌道（例如二軌、三軌）意味著光子在黑洞周圍儲存了更長的時間。他想像，如果能觀測到這些多重軌道的光環，理論上我們將能看到一種類似於「整個可見宇宙歷史倒轉的電影」（a kind of movie of the history of the whole visible universe played backwards）。