

以假亂真

模擬天文學的過去、現在與未來

在20世紀以前，天文研究大致可分為觀測天文學和理論天文學。觀測天文學家精進技術以發現新天體和現象；理論天文學家則利用物理或化學定律來解釋和預測觀測現象，並驗證這些定律的適用範圍。20世紀以來，電腦科學迅速發展，使許多原本無法解的物理數學方程式可以透過超級電腦運算解出，「模擬天文學」因此誕生。

模擬天文學家利用已知定律和數學方程式，配合適當的初始條件，製造出「假」天體，並用數值模擬解析其演化過程。這些結果需經縝密測試、檢查並與理論和觀測結合，以解釋觀測資料，甚至預測未來技術進步後才能觀測到的細節。模擬天文學作為理論天文學的延伸，構成了與觀測天文學之間的橋樑，成為天文研究的第三大支柱。

以下這篇文章將回顧近年的兩個經典模擬成果，並介紹一個正在進行中的未來望遠鏡計畫預測模擬。

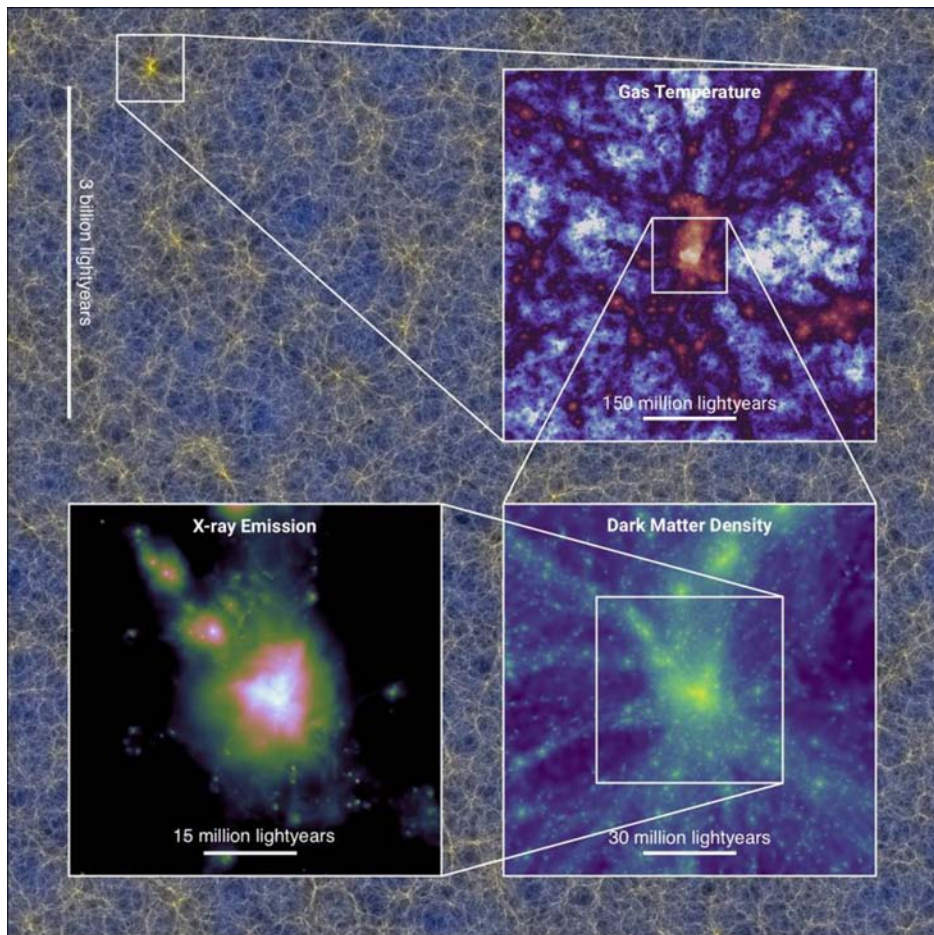


圖1. 迄今最大規模的宇宙學數值模型FLAMINGO的最新運算結果，模擬了宇宙大尺度結構中的物質分布。底圖中亮黃色為暗物質的分布情形，三張連續縮放圖分別為氣體溫度（右上）、暗物質密度（右下）與X射線觀測（左下）的模擬結果。

超級比一比：宇宙大尺度結構的觀測與模擬比對

這張圖片以地球為中心，從不同角度向外觀察，每個點代表一個星系的位置。圖中記錄了距離地球20億光年的範圍，展示了宇宙的大尺度結構。圖中的資料點以紅色和藍色區分，一半是真實觀測數據，另一半是電腦模擬結果。你能判斷出哪個顏色是真實觀測，哪個是模擬的嗎？

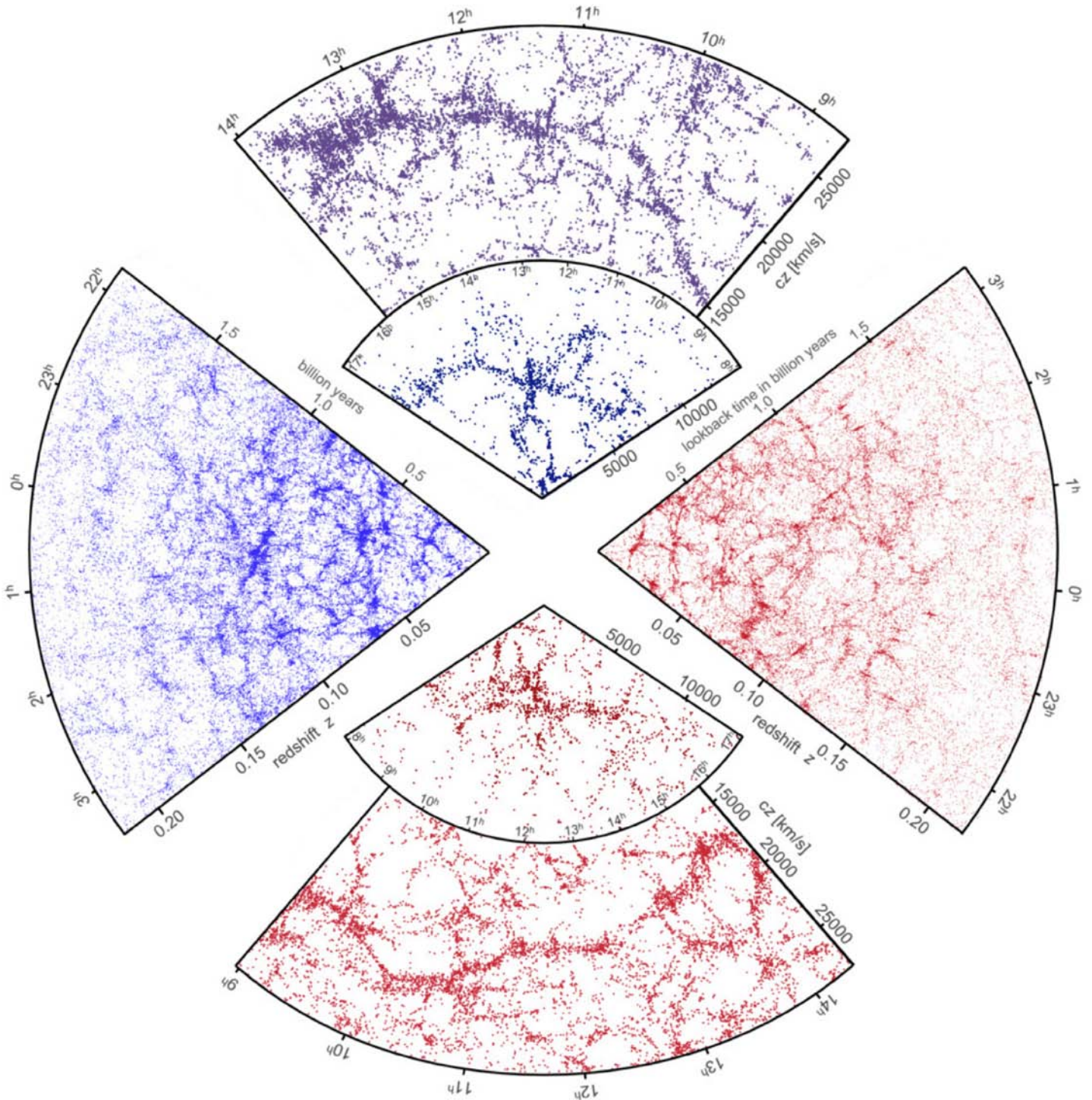


圖2. 這張圖展示了距離地球20億光年的宇宙結構，其中紅色和藍色資料點分別來自真實觀測與電腦模擬。你能分辨出哪一部分是真實的嗎？

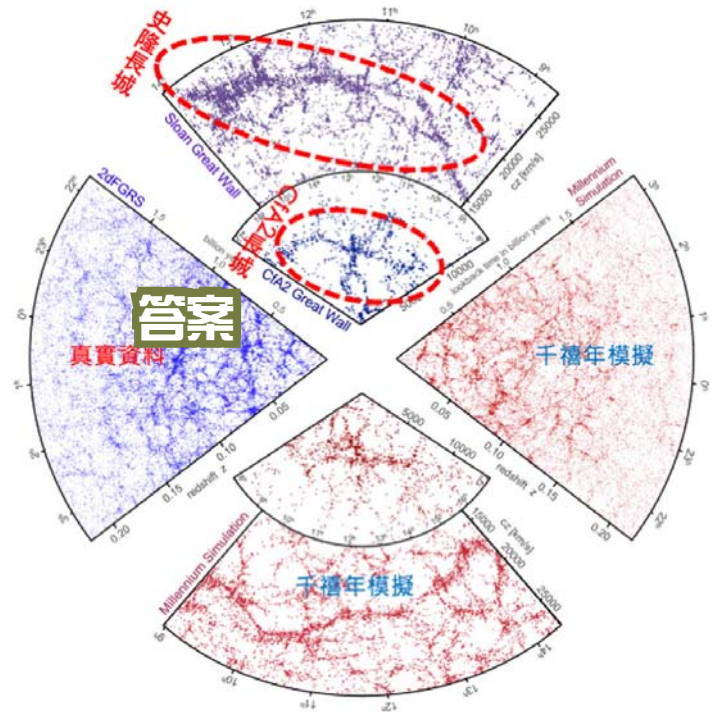
答案

藍色系資料點代表真實觀測，紅色系則代表電腦模擬。

如何分辨呢？以圖的上部四分之一區域為例，其上半部資料點是「史隆數位巡天」（SDSS）觀測所得，顯示了宇宙網的結構，包括2003年發現的「史隆長城結構」。這個已知結構幫助我們辨別圖的下部四分之一區域下半部未見過的結構是電腦模擬。

另一例子是上部四分之一區域的下半部，由哈佛-史密松天體物理中心（CfA）的巡天觀測所得，發現1989年的「CfA2長城結構」，這個結構在下部四分之一區域上半部的模擬宇宙中並未出現。

若沒有這兩個已知長城結構，我們幾乎無法分辨真實觀測和電腦模擬的資料點。換句話說，電腦模擬出的宇宙網已非常接近真實宇宙的樣貌。



千禧年模擬 天文模擬的里程碑

上述提到的宇宙網模擬，正是著名的「千禧年模擬」（Millennium Simulation Project），這是模擬天文學的一個里程碑。2005年，德國馬克斯·普朗克天體物理研究所發表了這一模擬的運算結果。

千禧年模擬使用了100億個暗物質粒子，在邊長23億光年的立方體中計算暗物質暈和星系的形成與演化，其結果與實際觀測數據高度吻合，進一步增強了天文學家對宇宙標準模型的信心。

千禧年模擬的模擬結果被公開，提供研究者下載使用，至今在大尺度宇宙結構的研究中仍然具有重要地位。許多開創性研究會先利用千禧年模擬來評估真實觀測的效果或檢驗研究方法的準確性。近20年來，與千禧年模擬相關或基於該模擬所發表的論文已超過一千篇。

模擬哈伯極深空場 幾可亂真的挑戰

這張圖是哈伯極深空場（Hubble eXtreme Deep Field），但只有一半是真實的。你能分辨哪邊是真實觀測，哪邊是模擬嗎？

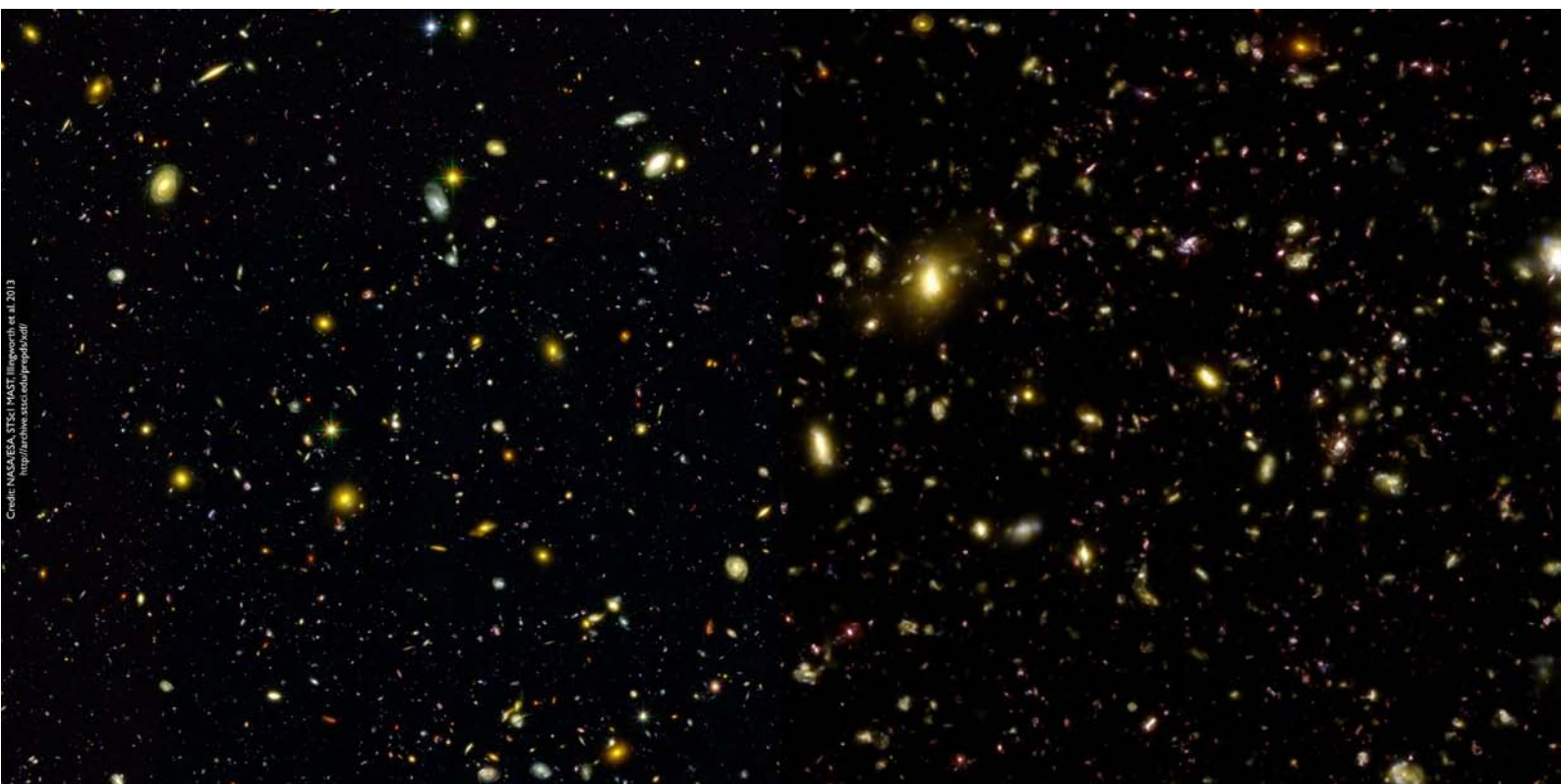


圖3. 這張圖展示了哈伯極深空場中的數千個星系，其中一半來自真實觀測，另一半由電腦模擬生成。你能分辨出哪一側是真實的觀測結果嗎？

答案

左半邊為真實哈伯觀測，每個天體都是星系，除了三顆具有十字光芒的前景恆星。右半邊是2013年「光輝計畫」（Illustris Project）的模擬結果，該計畫是一項大型宇宙學模擬計畫，專注於星系形成的研究。

仔細端詳，雖然模擬在解析度和顏色上略遜，但仍展示了宇宙中複雜而輝煌的結構和過程。

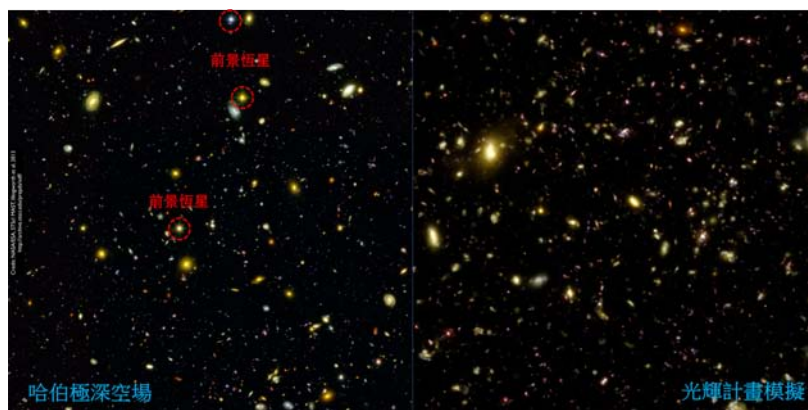




圖4. 這幅影像展示了相同天區的「預覽」，分別為模擬魯賓天文臺（左）與羅曼太空望遠鏡（右）未來觀測到的結果。

展望未來：預覽新一代望遠鏡資料

如今，天文學家利用電腦模擬，可以「預覽」未來天文望遠鏡觀測時可能獲得的資料。今年6月，科學家在美國伊利諾伊州的國家實驗室，利用超級電腦生成了近400萬張模擬圖像，這些圖像模擬了「薇拉·魯賓天文臺」（Vera C. Rubin Observatory）和「羅曼太空望遠鏡」（Roman Space Telescope）兩個即將上線的望遠鏡的觀測結果。

薇拉·魯賓天文臺位於智利，擁有8.4公尺口徑的可見光望遠鏡，配備史上最大的32億像素相機，預計2025年運行。NASA的羅曼太空望遠鏡則為2.4公尺口徑的紅外線望遠鏡，計劃於2027年5月前發射。

未來，薇拉·魯賓天文臺將與羅曼太空望遠鏡聯合研究暗物質與暗能量，而這些模擬結果提供了對未來數據的預覽，幫助天文學家規劃最佳的觀測策略。通過這些模擬，天文學家能夠研究「未來的數據」，尋找微小的特徵，並理解每個儀器對圖像的獨特影響，提前完善數據處理方法，從而能更準確地解讀未來的觀測數據。屆時，科學家將能夠從微弱的信號中獲得重大發現，解開宇宙學中的重大謎團。

本篇文章提到的這些模擬是天文學家根據已知的物理、化學定律和數學方程式，透過電腦運算一

步步得出的結果。在這些過程中，沒有加入任何人的幻想或人工智慧的判斷，因此模擬結果完全符合自然法則，而且可以用相同的方法重現。另一方面，利用人工智慧的機器學習來處理天文大數據，確實是未來研究天文的強大工具和趨勢。

參考資料

千禧年模擬：

<https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/galform/virgo/millennium/#semi>

<https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/millennium/>

<https://www.youtube.com/watch?v=74IsySs3RGU>

光輝計畫：

<https://www.illustris-project.org>

<https://www.youtube.com/watch?v=NjSFR40SY58>

NASA's Roman Mission Gets Cosmic 'Sneak Peek' From Supercomputers:

<https://www.nasa.gov/missions/roman-space-telescope/nasas-roman-mission-gets-cosmic-sneak-peek-from-supercomputers/>

投皓元：臺北市立天文科學教育館