

利用成對類星體， 窺見星系際介質細微結構！

翻譯/ 李見修

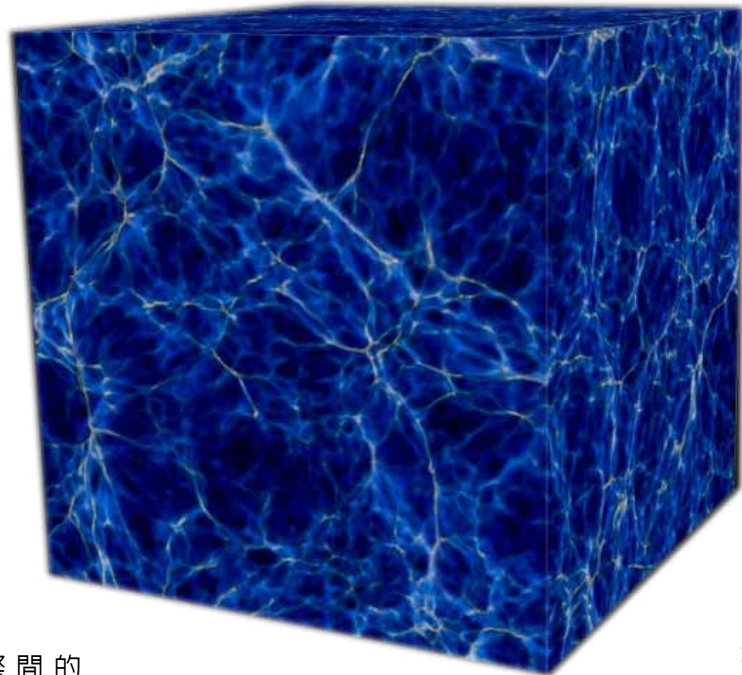
星系際介質

(Intergalactic medium, IGM)

星系際空間是宇宙中最荒蕪的地方——在這裡，平均每立方公尺內僅能找到一顆原子。這些原子是宇宙大爆炸之後所殘存最古老的氫原子，以中性氣體的状态充滿星系際間。雖然密度極低，但巨觀來看，這些散落在星系際間的氣體氫串連成巨大的網絡，綿延數十億光年，構成宇宙網狀結構（如右圖）。它們積沙成塔，提供宇宙中絕大部分的原子來源。

最近有一組天文學家窺見了太古之初氣體氫們的細微結構：他們研究的宇宙網狀結構遠在地球一百多億光年之遙，但透過巧妙設計的觀測，他們得以研究宇宙網狀結構內十萬分之一的細微變化，這尺度相當於一個星系的大小。研究結果發表在最近一期的英國《科學》(Science) 期刊 (<http://science.sciencemag.org/content/356/6336/418>)。

星系際間的氣體非常稀薄，它們幾乎不發光也不發熱，難以偵測。聰明的天文學家於是從比這些氣體更遠更亮的類星體下手：當遙遠類星體的光通過星系



110億年前的宇宙網狀結構（電腦模擬）。

© J. ONORBE / MPIA

際間的氣體時，地球上的觀測者便能看到星系際間氣體所造成的吸收譜線。

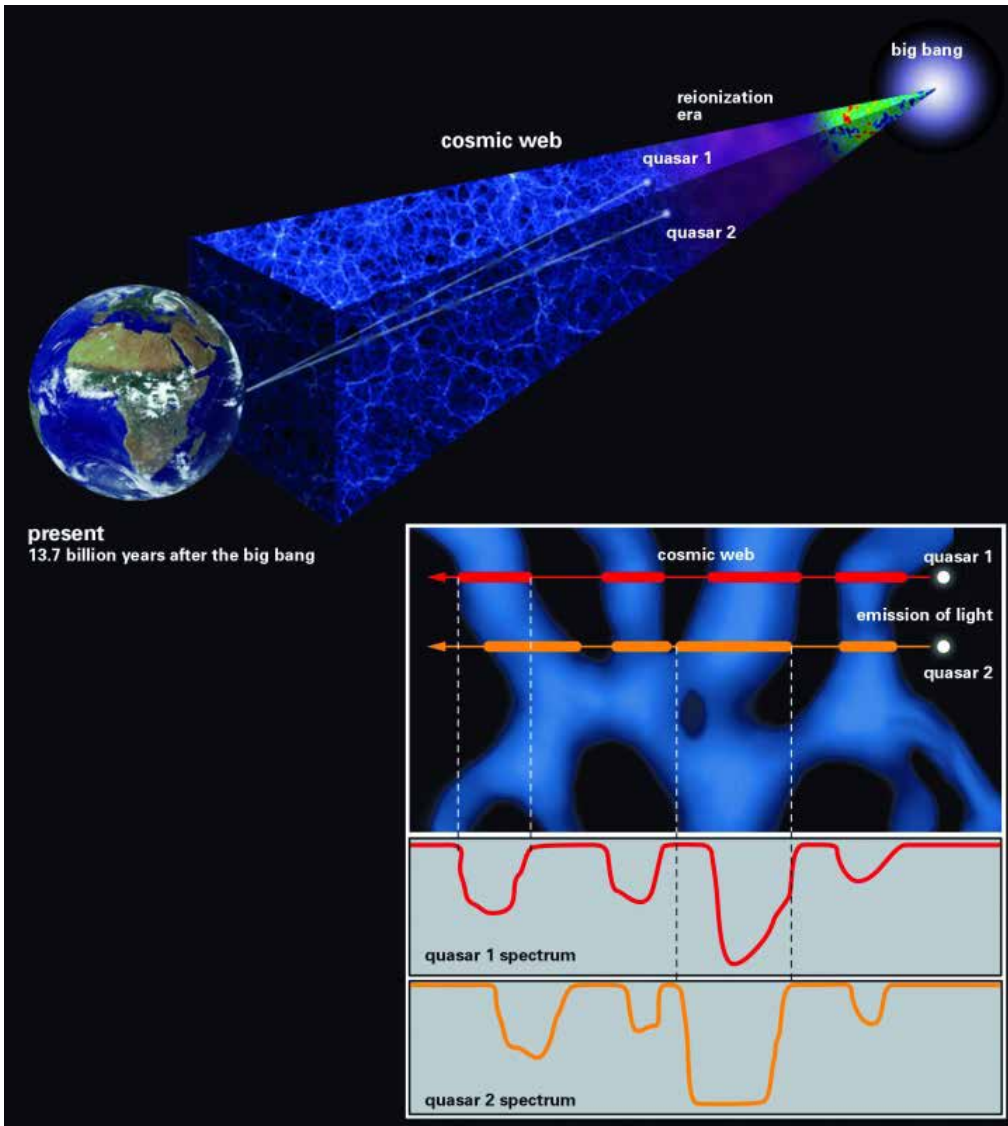
類星體 (Quasar)

類星體是星系生命史中一個短暫卻又絢爛的過程。當星系中央的巨質量黑洞吸積附近的物質時，會產生大量的輻射。類星體就像是宇宙中的燈塔，讓天文學家們得以研究那些落在類星體與人類之間的星際間太古氣體。

但是這個絢爛的過程只是星系演化史中非常短暫的過度階段，因此類星體極為稀有，在宇宙中通常相隔數億光年之遙。

為了研究星系際介質的細微結構，天文學家們利用了非常幸運的巧合：他們在漫漫宇宙中汲取極為稀有的成對比鄰類星體。因為它們距離很近，天文學家們就可以透過它們的吸收譜線，研究宇宙網狀結構的細微變化（如次頁圖）。

參與這項研究的德國馬克斯普朗克海德堡天文所研究員、美國加州大學聖塔芭芭拉分校副教授約瑟夫·漢納威 (Joseph Hennawi) 表示：「搜尋成對類星體就好像在大海撈針。為了找到它們，我們需要爬梳數十億張天體的影像，而且這些天體比我們肉眼能見的星體還要黯淡百萬倍。」



利用成對類星體研究宇宙網狀結構的示意圖。

上圖：成對類星體的光線通過宇宙網狀結構，達到地球上觀測者的眼中。

下圖：成對類星體通過的宇宙網狀結構有微小的差異，反映在類星體的吸收光譜上。吸收譜線的強度及位置，可以告訴我們宇宙網狀結構中氣體氫的含量多寡，以及它們的空間分佈。

© SPRINGEL ET AL. (2005) (COSMIC WEB)/J. NEIDEL, MPIA

漢納威將人工智慧中的機器學習演算法應用在天文學上，以便從當代數位巡天計畫的巨量資料中，有效率的尋找出成對類星體。

找到成對類星體之後，天文學家們便使用地表最大的光學望遠鏡來觀測他們，其中包括在夏威夷毛納基峰的兩座凱克十米望遠鏡。凱克望遠鏡是由凱克基金會所捐贈，由加州大學、加州理工學院、以及美國航太總署共同營運。

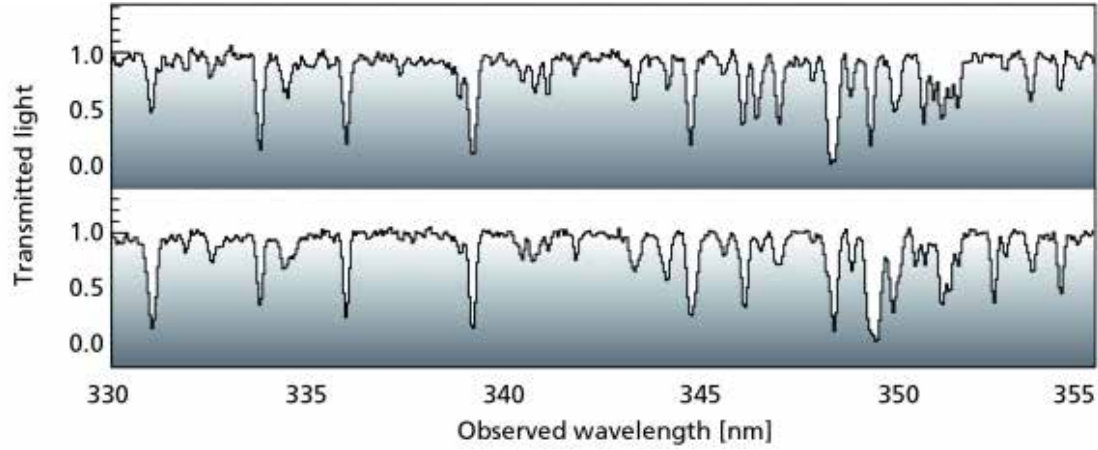
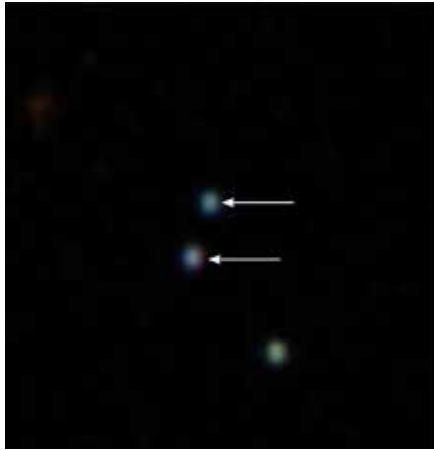
類星體的光譜主要來自凱克望遠鏡的低解析度影像暨光譜儀（LRIS）。這個光譜儀可以取得宇宙中最遙遠、最黯淡天體的影像及光譜。同時天文學家們也使用階梯光柵光譜儀暨相機（ESI）來取得成對類星體的高解析度光譜。

漢納威的學生——目前任職於英國劍橋大學的博士後研究員阿爾伯特·羅奈（Alberto Rorai）表示：「取得光譜後，最困難的是建立一套數學統計模型，來量化並解釋成對類星體光譜間的極

小差異。」羅奈在攻讀博士學位時，發展了一套模型，用來分析漢納威及同事們所取得的光譜。

之後，天文學家們將光譜所獲得的資訊，與超級電腦運算得出的宇宙大爆炸至今所產生的宇宙網狀結構模擬結果互相比較。

德國馬克斯普朗克海德堡天文所博士後研究員，同時也是主導超級電腦模擬運算的荷西·歐尼歐貝（Jose Oñorbe）表示：「我們帶入物理定律讓超級電腦



實際觀測所得的成對類星體光譜。© RORAI ET AL./MPIA

進行運算，模擬出大爆炸至今日的宇宙，其結果可以與觀測資料直接比對。我很開心看到最新的觀測結果，與我們對於宇宙網狀結構形成的理論模擬計算吻合。」

這些複雜的電腦運算，如果是在一台個人電腦上執行，需要耗時一千年才能處理完。好在有超級電腦，讓研究人員得以在短短幾週內就能得到模擬計算的結果。

漢納威表示：「這些星系際介質細微結構的觀測之所以如此引人入勝，是因為它們能告訴我們大爆炸之後宇宙網狀結構的溫度。」

天文學家相信，在大爆炸之後（距今幾十億年前），宇宙經歷了一次再游離的過程。在這個階段，宇宙中的恆星以及類星體加總所散發出的強烈紫外線，使得星系際介質的中性氫原子失去電子而成為離子。

再游離是宇宙學中很重要的一個階段，但是天文學家們對於再游離發生的機制，以及發生的時間點並不確定，而宇宙網狀結構的溫度可以讓我們反推再游離的過程以及時間點，幫助我們進一步了解宇宙早期演化。

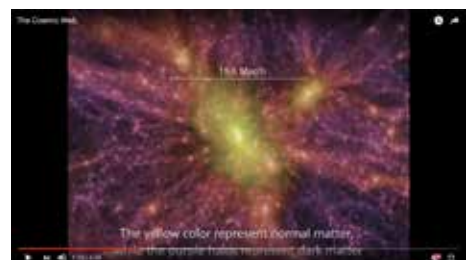
資料來源：http://www.keckobservatory.org/recent/entry/ripples_in_the_cosmic_web

李見修：Subaru望遠鏡支援天文學家

YouTube 暗物質相關連結



Quasars as Probes of the IGM - A. Boksenberg
https://youtu.be/_VH_X-jHJOg



The Cosmic Web.
<https://youtu.be/3Oz4Hz0fyHc>