

# 天文學家彙編了 有史以來最大的星系距離目錄

宇宙怎麼組成？有多大？一直都是人們想回答的問題。最早人們以為地球是宇宙中心，隨著天文望遠鏡的發展，我們對宇宙中不同尺度的結構發現越來越多也越來越大，圖1展示了從地球、太陽系、銀河系、星系群等宇宙中不同尺度的結構，而更大尺度的結構則包括星系團、纖維狀結構（galaxy filaments）和超星系團（supercluster），以及幾乎沒有星系的宇宙空洞（cosmic void），這些大小不一且錯綜複雜的結構，交織成我們現在的宇宙。

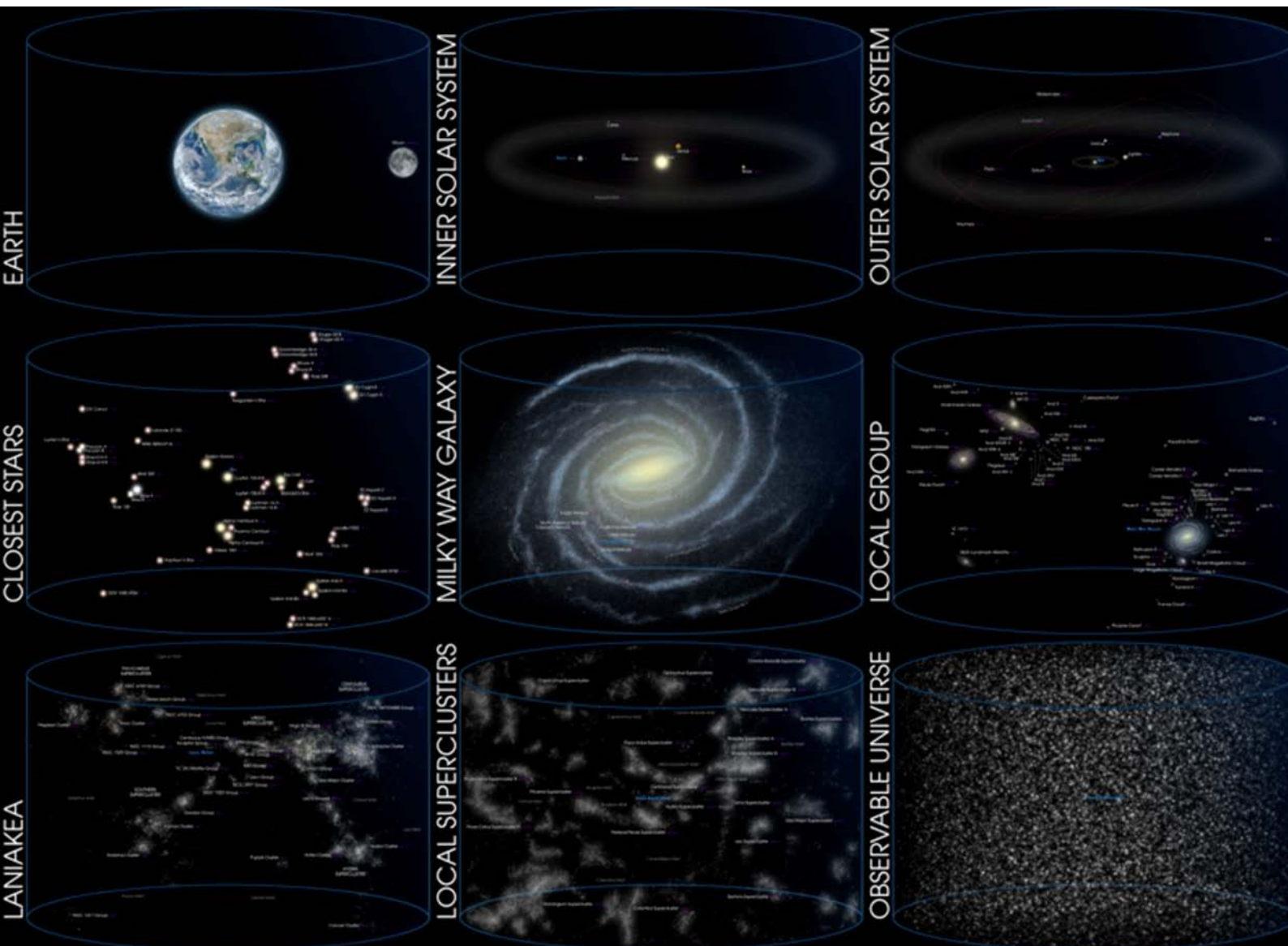


圖1. 目前可觀測的宇宙範圍裡，天文學家所發現的天文結構分佈圖，左上至右下分別為：地球、內太陽系、外太陽系、臨近恆星，銀河系、本星系群、拉尼亞凱亞超星系團、本超星系團、可見宇宙。圖片來源：Wikipedia

超星系團是一種包含大量星系的結構，但以往這個概念相當模糊，直到2014年夏威夷大學天文研究所的天文學家Brent Tully等人從星系的運動速度定義出超星系團（supercluster）的範圍，其中一個名為拉尼亞凱亞超星系團（Laniakea Supercluster，夏威夷語的意思是無盡的天堂），橫跨約5.2億光年範圍，是銀河系和總數約達10萬個星系共同組成的一個大家園。

天文學家觀測到的星系運動速度實際上是星系的本動速度（peculiar velocity）與退行速度（recessional velocity）的總和。星系的退行速度與宇宙膨脹有關，根據哈伯-勒梅特定律（Hubble-Lemaître law），離我們越遙遠的星系，則其退行速度也越快，因此星系的距離是估算星系本動速

度的重要參數之一。今年九月夏威夷大學天文研究所的天文學家Brent Tully和Ehsan Kourkchi的研究團隊發表了一份史上含有星系距離數量最多且精度最高的星系目錄，稱為Cosmicflows-4。他們應用了8種方法估算了多達56,000個星系的距離，圖2展示了這些星系在全天的分佈圖。

Cosmicflows-4目錄裡，星系距離估算數量佔最多的兩種方法是：一、從橢圓星系的有效半徑、中心速度彌散度與表面亮度之間的關係（基本平面 Fundamental Plane）估算距離。二、從螺旋星系的旋轉與亮度關係（塔利-費雪關係Tully-Fisher relation）估算距離，這兩種方法推估出來的距離誤差約20~25%。另外該研究團隊

還結合其他方法，包括從星系裡的Ia型超新星爆發推估距離（誤差約7%）、II型超新星爆發推估距離（誤差約15%）、星系表面亮度起伏（Surface brightness fluctuation）估計其距離（誤差約5%）。另外他們還透過星系中的兩種標準燭光測距方法：一、造父變星周光關係（Cepheid period-luminosity relation），二、紅巨星支尖（tip of the red giant branch），對於星系距離小於6,500萬光年，這些測距方法誤差約5%。他們綜合以上各種不同的測距方法，利用標準燭光測距將前5個方法串連起來做絕對校正，有效降低了系統誤差，尤其是誤差較大的測距方法。

天文學家Brent Tully表示：『天文學家自從一百多年前發

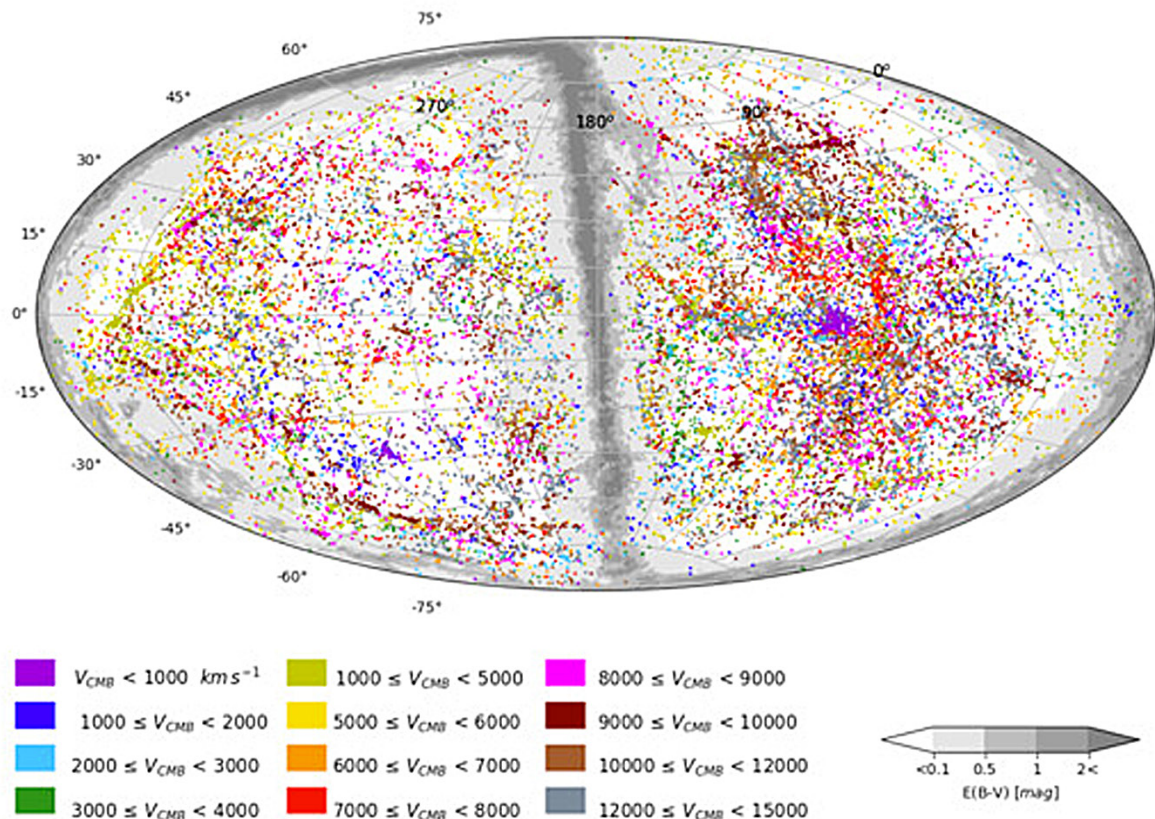


圖2. Cosmicflows-4全天的星系距離測量值。每個點代表一個星系，不同的顏色表示與我們不同的距離（註：數值除以哈伯常數）。



現星系不在銀河系內之後，一直想測量它們的距離來了解宇宙的大小。我們現今結合更準確、更多元的工具，能夠準確測量星系的距離、相關的宇宙膨脹速度以及宇宙年齡誤差不超過幾個百分比。』他們重新發表的星系距離測量結果推估了宇宙膨脹率或稱哈伯常數（Hubble Constant:  $H_0$ ），該團隊估算哈伯常數約  $75 \pm 0.8 \text{ km/s/Mpc}$ （Mpc：百萬秒差距，約326萬光年的距離），統計誤差相當小（約1.5%）。此外，太空望遠鏡科學研究所的天文學家Adam Riess，他的研究團隊近期利用哈伯太空望遠鏡觀測星系中的造父變星，從其周光關係校正星系中同時有Ia型超新星爆發的星系距離，藉此也能夠準確校正僅含有Ia超新星爆發的星系的距離，他們的研究結果顯示哈伯常數約  $73.3 \pm 1.0 \text{ km/s/Mpc}$ ，該數值與Brent Tully 團隊的結果一致。不過令科學家覺得無法理解的是，普朗克太空任務的研究團隊利用宇宙微波背景（圖3）與宇宙學模型預測哈伯常數卻是

$67.5 \pm 1.0 \text{ km/s/Mpc}$ 。

宇宙模型與觀測所得到的哈伯常數之間的矛盾，也是現今宇宙學最爭議的問題，若不是我們對目前的宇宙學模型理解有問題，就是我們對測量星系距離存在著隱藏的系統誤差但卻尚未被發現，未來詹姆斯·韋伯太空望遠鏡的結果也許能夠解開這矛盾。Cosmicflows-4的星系距離目錄也被應用於估算星系本動速度，藉此可以分辨出更多拉尼亞凱亞超星系團的成員；而透過星系與周圍物質的運動，不僅可以回溯星系自形成以來的運動軌跡，也許還能讓我們更好地了解由宇宙暗物質主導的大尺度結構是如何在漫長歲月中形成的。

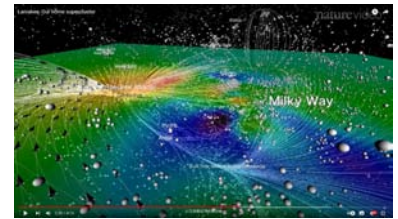
參考資料：

<https://www.hawaii.edu/news/2022/09/26/map-galaxies-largest-ever-catalog/>

<https://arxiv.org/abs/2209.11238>

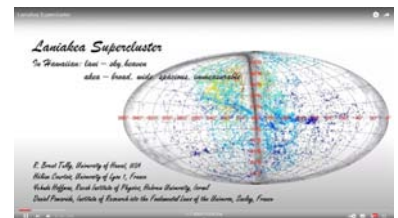
<https://www.quantamagazine.org/cosmologists-debate-how-fast-the-universe-is-expanding-20190808/>

YouTube相關影片：



Laniakea: Our home supercluster

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



Laniakea Supercluster

<https://www.youtube.com/watch?v=No0omeHlxwo>

林建爭：美國夏威夷大學天文研究所泛星計畫博士後研究員

王品方校稿：美國夏威夷專案文物修復師

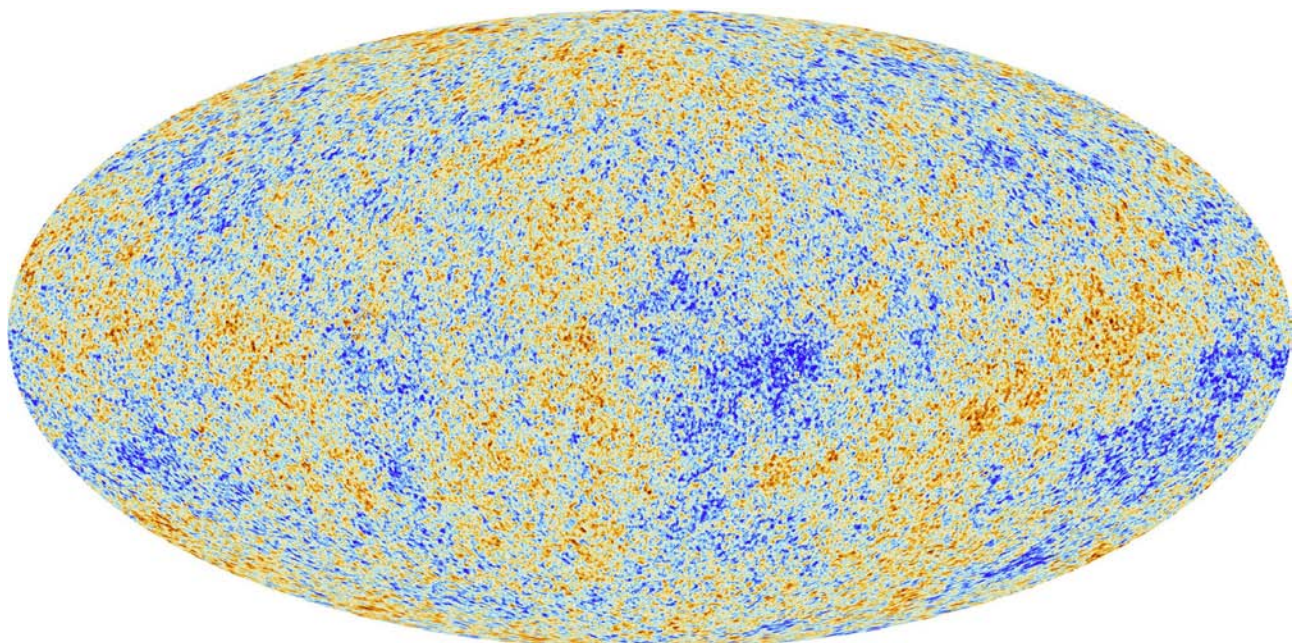


圖3. 普朗克太空任務所觀測到的宇宙微波背景。圖片來源：Wikipedia