

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科
探究精神獎

051901

銀河系中星團之位置分布及其特性—以自行撰
寫之程式進行三維視覺化呈現

學校名稱： 國立中科實驗高級中學

作者：	指導老師：
高二 黃子彧	林靜英
	王郁茜

關鍵詞： 疏散星團、球狀星團、三維視覺化

摘要

本研究以自行撰寫之程式，配合使用開放的天文資料庫，探討銀河系中疏散星團與球狀星團的分布與特性，並將其進行三維視覺化呈現。結果顯示，疏散星團成員星數量較多、年齡較小、鐵氫比較大者較為接近銀河盤面；球狀星團鐵氫比較大的星團多扁平分布在銀心附近；鐵氫比較小的星團則散布在銀暈；疏散星團有較多軌道接近正圓的星團，而球狀星團只有 9 個；兩者離地球較遠的星團普遍體積較大，且在地球相對於銀星的對側皆幾乎沒有數據點。程式所產出的結果已製作成互動式網站，期望能讓使用者更理解本研究的目的，並提升天文學習的直觀性。

壹、前言

一、研究動機

高一時，我曾選修天文攝影課程，老師帶著我們到合歡山上的卡爾小鎮觀星，首次親眼看見了 M45 昴宿星團（Pleiades）與 M41 鬼宿星團（Praesepe），這些璀璨的星團深深吸引了我。然而，當我望向星空，心中不禁產生疑問：這些星團的實際形狀究竟是什麼？它們在銀河系中分布的位置有何特徵？

傳統圖像多以二維平面示意銀河系結構與星團分布，難以呈現出它們的真實空間位置與動態特性。於是開始思考，能否結合天文資料庫與程式設計，將這些星團資料進行分析處理，並進行三維視覺化，幫助大家更直觀理解星團在銀河系中的分布及特性。

二、研究目的

本研究採用開放的天文資料庫作為數據來源，透過自行撰寫的 Python 程式進行資料處理與三維視覺化，以探索銀河系中星團的分布與特性，其分為四個部分進行探討：

- (一) 觀察疏散星團的空間形狀，分析其結構特徵與形成原因。
- (二) 探討疏散星團在銀河系結構中的位置分布，分析其分布特性與影響因素。
- (三) 探討球狀星團的空間分布模式及其可能成因，並與銀河系結構的關聯性進行討論。
- (四) 分析兩類星團在數量、位置及運動方向上的差異。

三、文獻回顧

(一) 星團

1. 疏散星團 (Open cluster)

疏散星團集中在銀盤之上，由數十至數百顆恆星組成。

2. 球狀星團 (Globular cluster)

球狀星團大多分布在銀暈，恆星數量達數十萬顆至千萬顆（汪惠玲等，2024）。

(二) 銀河系結構：

1. 核球 (Galactic bulge)

核球通常位於星系的核心部分，銀河系核球為小型的棒狀結構，比星系的其他部分更加緊密和緻密。核球的質量和大小在不同星系中有所差異，但通常它們會在星系的中心區域內呈現出較高的恆星密度。在Galactic Astronomy中有提及到Freudenreich的模型中的核球的尺度參數為 2.97 kpc ，在簡明天文學中中心核球半徑約為一萬光年，換算後大約也為 3 kpc (Binney & Merrifield, 1998) (周體健, 1997)。

2. 銀盤 (Galactic disk)

銀盤位於核球外側，觀察 21公分氫線 (HI) 可以得知銀河系HI氣體延伸到約 21 kpc 的半徑，厚度約為 1350pc (Binney & Merrifield, 1998)。銀盤可以分為厚盤及薄盤兩個部分，薄盤的厚度在 $200\text{~}300\text{pc}$ ，範圍延伸到 $2.5\text{~}3.5\text{ kpc}$ (Prieto, 2009)。

3. 銀暈 (Galactic halo)

包圍銀河系或其他星系的橢球狀區域，主要由暗物質、恆星、球狀星團和高溫氣體組成。銀暈的特性與銀河盤（包含旋臂）不同，因為它的結構較為彌散，且內部的恆星運動不像盤面上的恆星那樣有規律的旋轉，銀暈可以延伸至少 25 kpc (Binney & Merrifield, 1998)。

本研究中，採用核球半徑 3 kpc ，銀盤半徑 21 kpc ，厚度 1.35 kpc ，銀暈半徑 25 kpc 以區分星團所在並用以計算星團密度。

4. 旋臂 (Spiral arms)

旋臂是銀河系內恆星、氣體與塵埃的高密度區域，呈現對數螺旋結構，是由恆星和氣體沿著橢圓軌道運動所形成 (Binney & Merrifield, 1998)。主要旋臂包括Scutum Arm (盾牌臂)、Sagittarius Arm (人馬臂)、Local Arm (獵戶臂) 和Perseus Arm (英仙臂) 等 (Ye Xu, 2018)。

5. 星際介質 (Interstellar Medium, ISM)

星際介質 (ISM) 是填充於恆星之間的物質，包含稀薄氣體（中性氫HI、分

子氣體CO、電離氣體HII)、塵埃、磁場以及高能帶電粒子。這些成分彼此緊密耦合，形成一個統一的動態結構，並且對銀河系的結構與動力學有重要影響 (Binney & Merrifield, 1998)。

(三) 自行運動 (Proper Motion)

自行運動 (Proper Motion) 是指天體在天空背景上的角度移動，通常以毫角秒/年 (mas/yr) 為單位來測量，也可以利用自行運動來判斷星團成員星。星團的成員通常具有類似的自行運動，因為它們來自同一個母體，並且沿著相似的方向運動，透過自行的方向與大小，可以將真正的星團成員與背景恆星區分開來。

(四) 銀河中心座標系中的太陽位置及運動參數

銀河中心座標系 (Galactocentric) 是用於描述天體相對於銀河中心的空間參考座標系。在這一框架中，關鍵的參數包括太陽相對於銀河中心的位置與運動。參數包括：太陽距離銀河中心的距離、太陽的垂直高度、太陽的三維速度。太陽與銀河中心的距離預設值為 8.122 kpc ，是測量在銀河中的位置的基本參數。太陽的垂直高度 (25 pc)，表示太陽相對於銀河平面的位置。繪圖時標示之地球位置，使用此太陽之參數。

(五) 鐵氫比

鐵氫比為用來衡量恆星的金屬豐度 (metallicity)，而鐵是最常用來代表「金屬」的元素之一。鐵氫比 ([Fe/H]) 的公式如下：

$$[Fe/H] = \log_{10} \left(\frac{n(Fe)}{n(H)} \right)_{\text{star}} - \log_{10} \left(\frac{n(Fe)}{n(H)} \right)_{\odot}$$

其中：

$[Fe/H]$ = 星團鐵氫比

$\left(\frac{n(Fe)}{n(H)} \right)_{\text{star}}$ = 恒星鐵相對於氫的豐度

$\left(\frac{n(Fe)}{n(H)} \right)_{\odot}$ = 太陽鐵相對於氫的豐度

鐵氫比的變化範圍小於 -3 到大於 0 之間，使用參數 (X, Y, Z) 來表示氫、氦和其他元素的重量百分比，而太陽混合物的 $X = 0.70, Y = 0.28, Z = 0.02$ (Binney & Merrifield, 1998)。

(六) 疏散星團資料庫

1. MWSC星表

MWSC目錄包含3006個疏散星團，並結合 2MASS（近紅外數據）、PPMXL（自行運動）、UCAC4（高精度天體測量）確定了恆星的中心位置、視直徑、適當運動、距離、顏色過量和年齡等參數，並使用轉折點恆星的平均年齡作為區分年齡的依據，對於年輕的星團，由於其主序星數量相對較少，有時會輔以前主序星分支的資訊，使用等時線擬合技術來確定其年齡。鐵氫比的計算則是數據來自 Dias et al. (2002a) 的匯總，其不確定性約為 $0.1\,dex$ (Kharchenko et al., 2013)。

2. CG20星表

CG20星表是使用了Gaia DR2數據庫來確認和取出星團的成員。使用了一個名為UPMASK的程式集，以恆星的視差和運動進行群聚分析來區分成員星和場星。研究人員再以視覺檢查候選星的空間分布、運動和視差分布，以確保這些星群在所選的視野內呈現出緊湊的成員星聚集特徵。最終在確定了150個對應星團的成員後，形成了1481個星團的成員名單，並使用Gaia的高精度數據而進行驗證，但是資料庫中未包含年齡、鐵氫比 (T. Cantat-Gaudin & F. Anders, 2019)。

最後我們選用MWSC作為主要的研究星表，CG20僅使用各星團的恆星數量進行繪圖及討論。

(七) 球狀星團資料庫

1. Harris星表

Harris球狀星團目錄始於William E. Harris教授於1996年發表的綜合性參考資料，並在2010年更新，是球狀星團研究的基準參考。該目錄提供了每個星團的位置、結構參數、金屬豐度和動力學特性等數據，被廣泛應用於銀河系形成歷史、恆星演化和動力學研究等領域。隨著Gaia衛星等新觀測設備的數據整合，Harris目錄正持續獲得更新和精確化，繼續支持現代天文學對銀河系結構和演化的深入理解。

2. MWSC星表

MWSC目錄中的球狀星團部分包含了位置、距離、年齡、紅化、半徑等參數，以及成員星的概率成員資格，這些數據為研究銀河系球狀星團系統提供了重要的補充視角。相比傳統的Harris目錄，MWSC採用了更統一的方法學來處理開放星團和球狀星團，提供了一個連貫的銀河系星團總體視圖，有助於研究不同類型星團的分布和演化。

仔細比對所能取得的星團資料庫，發現目前網路上的兩者資料是一致的，故雖程式碼使用Harris星表資料，但其實應是兩星表已合併完成之數據。

貳、研究設備及器材

一、數據來源

(一) CDS PORTAL

史特拉斯堡天文數據中心（CDS）收集並向全球分發天文數據及相關資訊，包括多個重要天文資源，使用之主要資料庫如下：

1. SIMBAD

提供太陽系以外天文物件的基本資料、交叉識別、相關文獻以及測量數據，用於查詢星體基本資料。

2. VizieR

提供25,839 個目錄，包括目錄表格及相關數據，這些數據經過驗證與增補，用於取得 MWSC、CG20、Harris 星表數據。

(二) Gaia

提供銀河系內近20億顆恆星的天體測量（astrometry）、光度學（photometry）、光譜學（spectroscopy）資料，以及大量來自銀河系外和太陽系天體的數據。

二、分析軟體及程式

(一) Python與相關套件

Python 是一種高階、直譯式程式語言，以語法簡潔、可讀性高著稱，廣泛應用於資料科學、人工智慧、天文模擬與教育等領域。本研究主要以 Python 為開發環境，實作資料分析與視覺化處理。使用之主要套件如下：

1. Pandas

進行資料清洗與結構轉換。

2. NumPy

處理矩陣運算與物理量轉換中的數值計算。

3. Astropy

進行天球座標與銀心座標之轉換，並統一單位格式。

4. Plotly

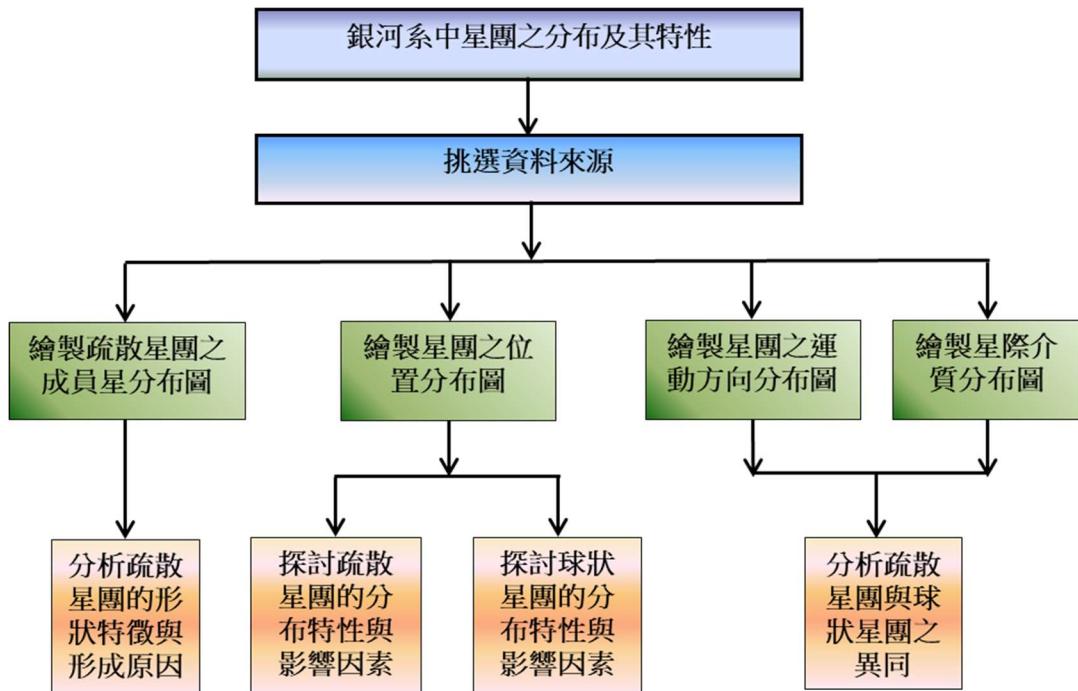
用於繪製星團三維空間位置與運動方向的互動式視覺化圖表。

(二) Google COLAB

Google COLAB為一項由Google提供的雲端運算服務，基於Jupyter筆記本環境開發，允許使用者無需本地安裝即可於瀏覽器中撰寫與執行程式碼，並可直接調用雲端資源進行數值運算與資料分析。

參、研究過程及方法

一、研究架構



圖一、研究架構圖（研究者自繪）

二、研究流程

本研究以自行撰寫之程式，繪製了疏散星團之成員星分布圖、星團之位置分布圖、星團之自行運動分布圖及星際介質分布圖，詳細步驟分述如下。

(一) 繪製疏散星團之成員星分布圖，包含下列步驟：

1. 從CDS資料庫取得星團基本資料，再利用這些基本資料，從Gaia資料庫取得星團附近之恆星資料。
2. 計算星團內恆星的距離、絕對星等、光度與亮度，其中設定 parallax大於0.2以過濾背景。
3. 依據自行運動篩選星團成。
4. 繪製以星團中心為原點，而地球到星團中心的連線為 Z 軸三維分布圖，畫出星團附近所有恆星及成員星，並分別標示，恆星大小以光度定義，顏色以色指數定義。

(二) 繪製星團之位置分布圖，包含下列步驟：

1. 從 MWSC 與 CG20 兩資料庫取得疏散星團資料、Harris 資料庫取得球狀星團資料。
2. 使用 Astropy 函式庫處理座標轉換，將星團的天球座標系轉換為銀心座標系。
3. 根據星團在銀心座標系的位置，依據文獻（Binney & Merrifield, 1998）之內

容，擇定核球半徑為 3 kpc ；銀盤半徑為 21 kpc ，厚度為 1.35 kpc ；銀暈則是依據數據中最遠的星團定義，半徑為 38.51 kpc ，將星團標示分類成處於核球、銀盤或銀暈。

4. 計算各區域的體積，並算出各區域星團數量換算成密度。
5. 以顏色分別代表位置、成員星數量、年齡、鐵氫比繪製立體分布圖。
6. 依據文獻 (Ye Xu, 2018) 之內容，在立體圖中加入旋臂。

(三) 繪製星團之運動方向分布圖，包含下列步驟：

1. 從 MWSC 資料庫取得疏散星團資料、Harris 資料庫取得球狀星團資料。
2. 使用 Astropy 函式庫處理座標轉換，將星團的天球座標系轉換為銀心座標系。
3. 根據星團在銀心座標系的位置，依據文獻 (Binney & Merrifield, 1998) 之內容，擇定核球半徑為 3 kpc ；銀盤半徑為 21 kpc ，厚度為 1.35 kpc ；銀暈則是依據數據中最遠的星團定義，半徑為 38.51 kpc ，將星團標示分類成處於核球、銀盤或銀暈 (Galactocentric)。
4. 計算位置與速度的內積，並用內積公式計算之間的夾角 (theta_deg)，以判斷星團是否在繞銀心公轉 (theta_deg 介於 $89^\circ \sim 91^\circ$)。
5. 繪製三維的分布圖，以顏色代表位置，並畫出各星團的運動方向。

(四) 繪製星際介質分布圖，包含下列步驟：

1. 從 CDS 資料庫取得文獻中 (L.G. Hou, 2014) (Marc-Antoine Miville-Deschénes, 2016) 中 HII regions 與 CO 之資料。
2. 對分子雲的資料進行離群值處理。
3. 用 Astropy 函式庫處理座標轉換，將星團從銀河座標系統轉換為銀心座標系。
4. 繪製三維的分布圖，恆星大小以實際大小定義，顏色以質量定義。

三、研究中所使用之計算公式

(一) 星團運動方向

將徑向速度 (RV)、赤經自行 (pmra) 與赤緯自行 (pmdec) 合併後，轉換為速度分量，再使用 Astropy 函式轉換成銀河座標的向量，速度分量的轉換公式如下：

$$V_x = RV \times \cos\alpha \times \cos\delta - V_\alpha \times \sin\alpha - V_\delta \times \cos\alpha \times \sin\delta$$

$$V_y = RV \times \sin\alpha \times \cos\delta + V_\alpha \times \cos\alpha - V_\delta \times \sin\alpha \times \sin\delta$$

$$V_z = RV \times \sin\delta + V_\delta \times \cos\delta$$

其中：

RV = 徑向速度 (km/s)

$pmra$ = 赤經自行 (mas/yr)

$pmdec$ = 赤緯自行 (mas/yr)

d = 距離地球的距離 (pc)

α = 星團赤經

δ = 星團赤緯

$V_\alpha = 4.74047$ (單位轉換之常數) $\times pmra \times d$

$V_\delta = 4.74047$ (單位轉換之常數) $\times pmdec \times d$

(二) 繪製各星團中的恆星之座標轉換－以星團中心為原點

先將星團成員星的赤經、赤緯減去星團中心的座標，轉換為弦度，再以地球到星團中心的方向為Z軸，轉換成以星團中心為原點的直角座標系，轉換公式如下：

$$X = d - d_c$$

$$Y = d \times \sin(\Delta\alpha)$$

$$Z = d \times \sin(\Delta\delta)$$

其中：

$$\Delta\alpha = (\alpha - \alpha_c) \times \frac{\pi}{180}$$

$$\Delta\delta = (\delta - \delta_c) \times \frac{\pi}{180}$$

α_c = 星團中心的赤經

δ_c = 星團中心的赤緯

d_c = 星團中心距離地球的距離 (pc)

d = 成員星距離地球的距離 (pc)

(三) 座標轉換－銀心座標 (Galactocentric)

先將天球座標轉換為銀河座標，再轉換為銀心座標，在銀心座標中，銀河中心為原點，地球在距銀心 8.2 kpc 、距銀盤 0.025 kpc 處，球座標－銀河座標轉為笛卡爾座標－銀心座標的轉換公式如下 (Astropy Project, n.d, 2007)：

$$x = d \times \cos b \times \cos l - R_\odot$$

$$y = d \times \cos b \times \sin l$$

$$z = d \times \sin b + Z_\odot$$

其中：

d = 距離地球的距離 (pc)

l = 星團銀經

b = 星團銀緯

R_{\odot} = 地球到銀河中心的距離 (8.2 kpc)

Z_{\odot} = 地球的銀河高度 (+0.025 kpc)

(四) 旋臂對數螺旋 (logarithmic spiral)

在銀河盤面上，螺旋臂的形狀可以用一個對數螺旋來表示，而這條螺旋的半徑隨著方位角的變化而指數增長或減小。大多數星系的螺旋臂大致符合此公式，可以使用觀測數據來來擬合螺旋臂結構。（Ye Xu, 2018）

$$\ln \left(\frac{R}{R_{ref}} \right) = - (\beta - \beta_{ref}) \tan \psi$$

其中：

R = 在銀河方位角 β 處的銀心距離

R_{ref} = 在參考方位角 β_{ref} 處的銀心距離

β = 以太陽方向為 0 度、順時針增加的銀河方位角

β_{ref} = 以太陽方向為 0 度、順時針增加的銀河方位角

ψ = 螺旋臂的俯仰角

肆、研究結果

一、疏散星團之外形

(一) 疏散星團之3D圖與誤差範圍

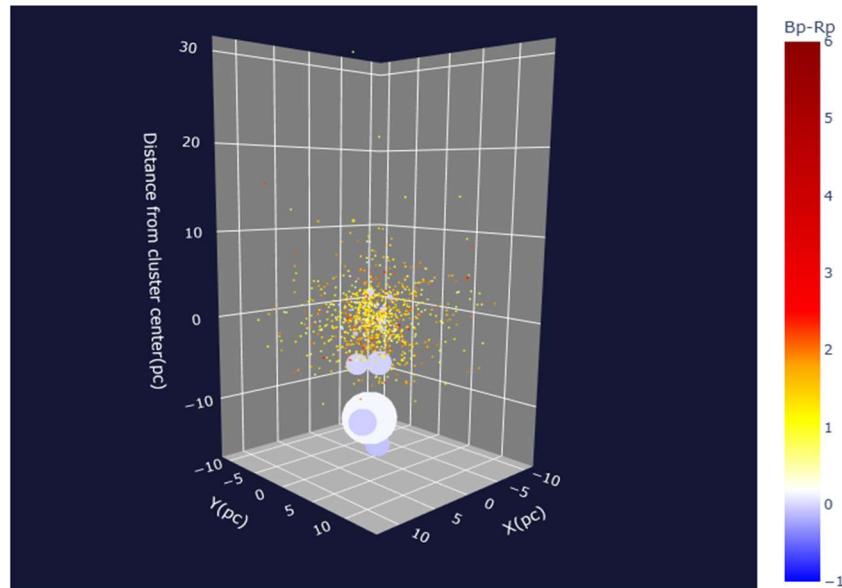
圖二～七展示了繪製的星團及其外形。前述圖是使用Gaia資料庫之恆星資料繪製，以星團中心為原點，地球到星團中心的連線為Z軸，而恆星大小以光度定義，BP (blue photometers) 、RP (red photometers) 分別為Gaia中藍光波段濾鏡與紅光波段濾鏡，由於Gaia中沒有可見光波段 (V-band) 這項資料，因此以BP減RP取代色指數 (B-V) 來定義顏色。

由結果中發現，星團的恆星數量以千顆為單位計，明亮的星有靠近地球側的傾向，以及越遠的星團會往徑向方向嚴重的拉伸，我們認為與Gaia資料庫的誤差有關，於是計算視亮度15等的恆星所造成的誤差區間以計算誤差能造成的拉伸長度。

1. M45

表1、M45誤差資料

視差 (mas)	誤差區間 (pc)	誤差拉伸量 (pc)
7.364	135.24~136.35	1.11

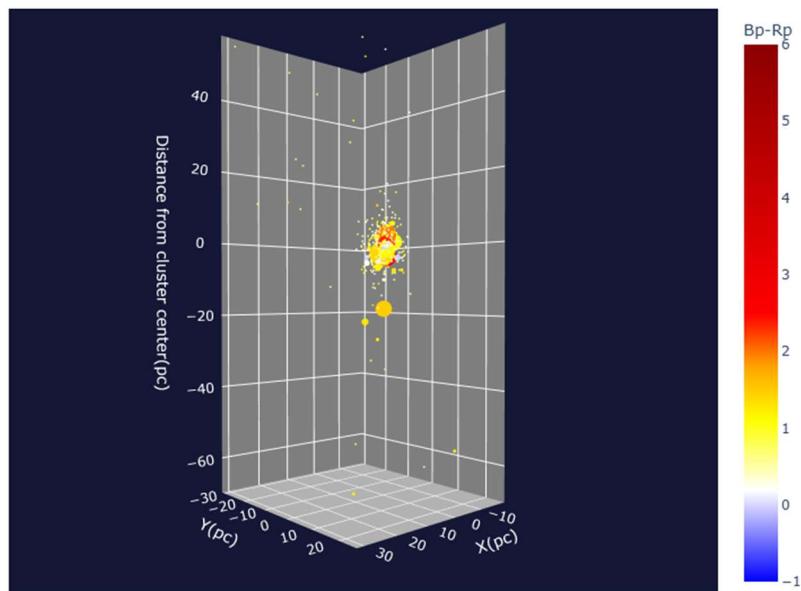


圖二、M45成員星分布圖 (研究者自繪)

2. M44

表2、M44誤差資料

視差 (mas)	誤差區間 (pc)	誤差拉伸量 (pc)
5.371	185.15~187.23	2.08

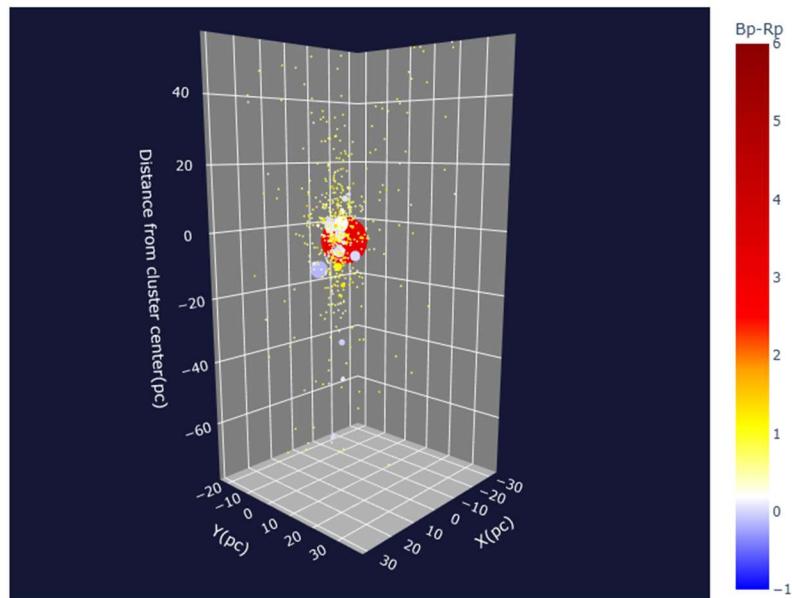


圖三、M44成員星分布圖（研究者自繪）

3. M7

表3、M7誤差資料

視差 (mas)	誤差區間 (pc)	誤差拉伸量 (pc)
3.5704	277.75~282.45	4.70

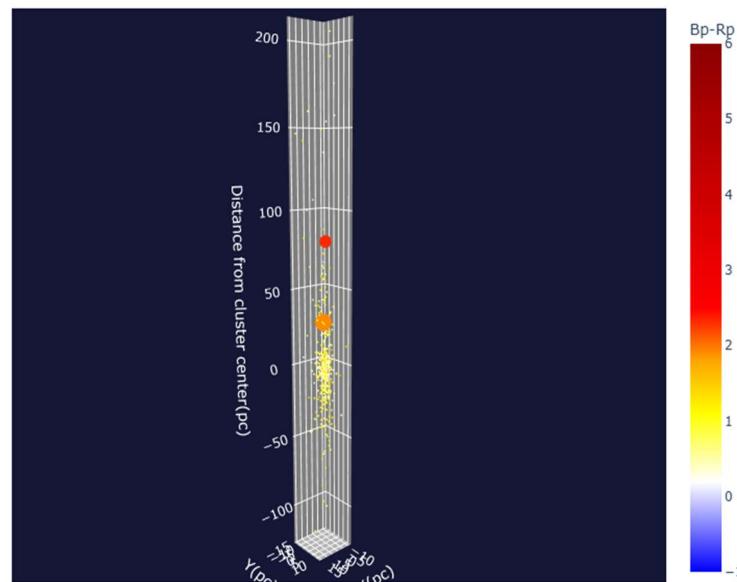


圖四、M7成員星分布圖（研究者自繪）

4. M6

表4、M6誤差資料

視差 (mas)	誤差區間 (pc)	誤差拉伸量 (pc)
2.1626	456.08~468.91	12.83

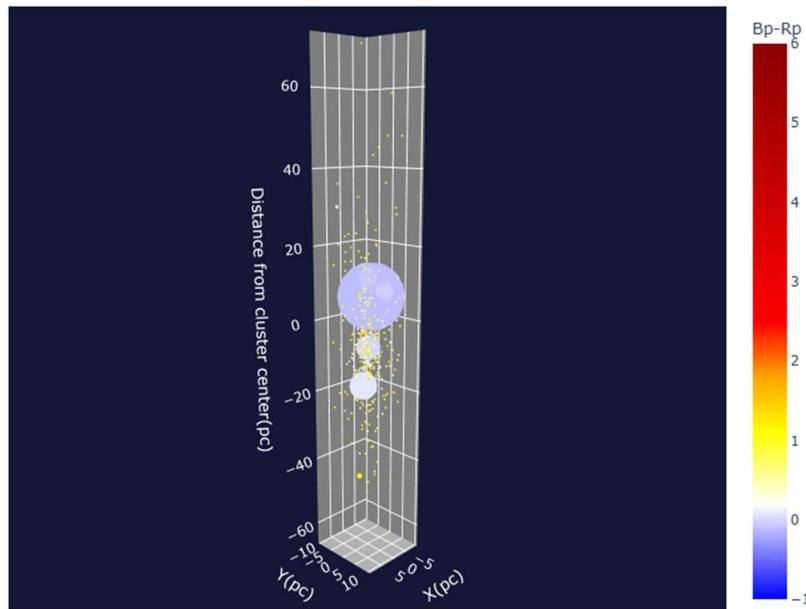


圖五、M6成員星分布圖（研究者自繪）

5. M47

表5、M47誤差資料

視差 (mas)	誤差區間 (pc)	誤差拉伸量 (pc)
2.0690	476.42~490.44	14.02

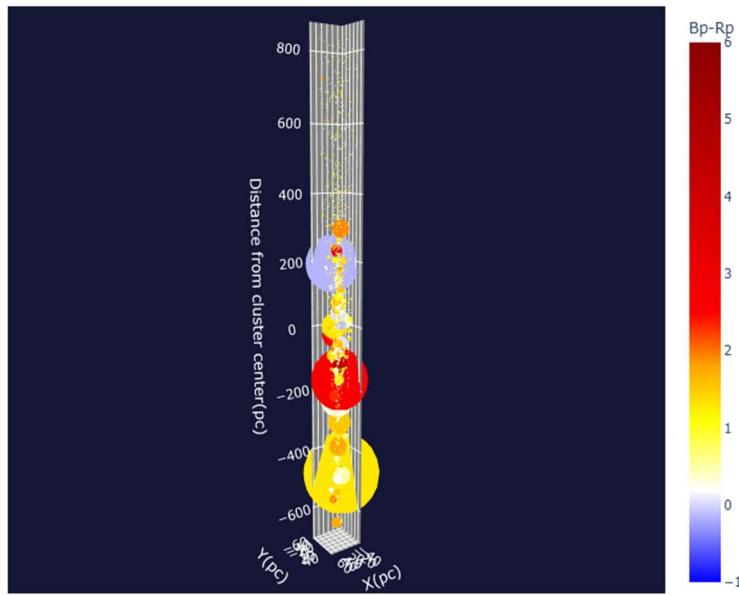


圖六、M47成員星分布圖（研究者自繪）

6. M46

表6、M46誤差資料

視差 (mas)	誤差區間 (pc)	誤差拉伸量 (pc)
0.6005	1586.04~1752.85	166.81



圖七、M46成員星分布圖（研究者自繪）

二、疏散星團之分布

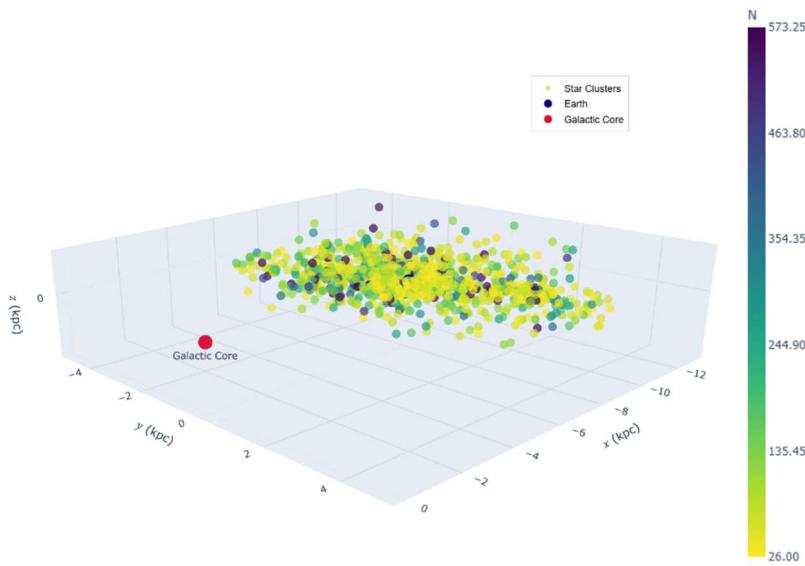
(二) 成員星數量與疏散星團分布之關係

圖八及九展示銀河系中成員星數量與分布情形之關係，其中圖十是以XZ平面來呈現。上述圖是使用CG20資料庫的資料繪製，以銀心為原點並以紅色圓點標示，地球在 $(-8.2, 0, 0.25)$ 並以深藍色圓點標示，色階顏色越接近紫色成員星數量越多，越接近黃色成員星數量越少，橘色圓點和紫色圓點分別為成員星數量大於400顆與成員星數量小於400顆之星團。

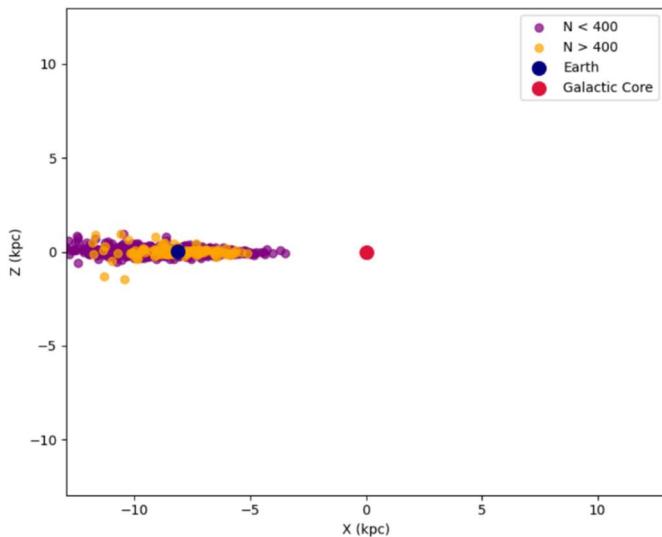
由結果中發現，在地球附近(5 kpc)，成員星小於400顆的小型星團大多分布在銀盤上，成員星大於400顆的大型星團分布位置可離銀盤較遠，將兩者之中位數進行T檢定， p 值 = 1.4×10^{-3} ，存在顯著差異。

表 7、疏散星團成員星數量與距銀盤之距離

成員星數量 (顆)	距銀盤距離之中位數 (kpc)
< 400	$6.8 \times 10^{-2} \pm 2.6 \times 10^{-3}$
> 400	$8.7 \times 10^{-2} \pm 1.1 \times 10^{-2}$



圖八、疏散星團之成員星數量與位置分布（研究者自繪）



圖九、疏散星團之成員星數量與位置分布XZ平面（研究者自繪）

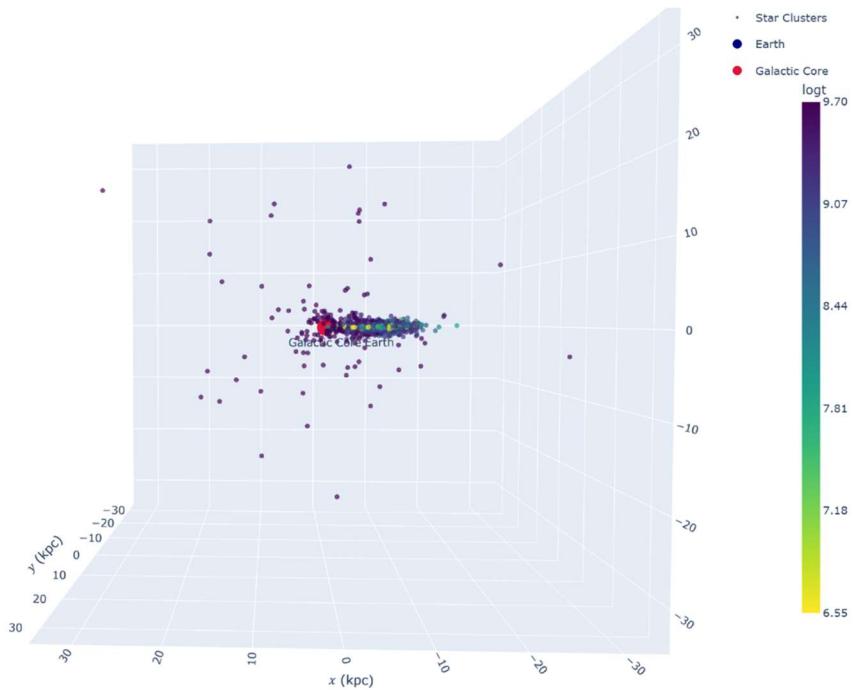
(三) 年齡與疏散星團分布之關係

圖十展示銀河系中年齡與分布情形之關係。本圖使用MWSC資料庫之資料繪製，銀心為原點並以紅色圓點標示，地球在 $(-8.2, 0, 0.25)$ 並以深藍色圓點標示，色階顏色越接近紫色年齡越大，越接近黃色年越小。

由結果中發現，在銀河系中，年齡在一億年以下者，大部分位於銀盤盤面上；銀暈中分布較多年齡在十億年以上的星團，將兩者之中位數進行T檢定， p 值 = 2.3×10^{-26} ，存在顯著差異。

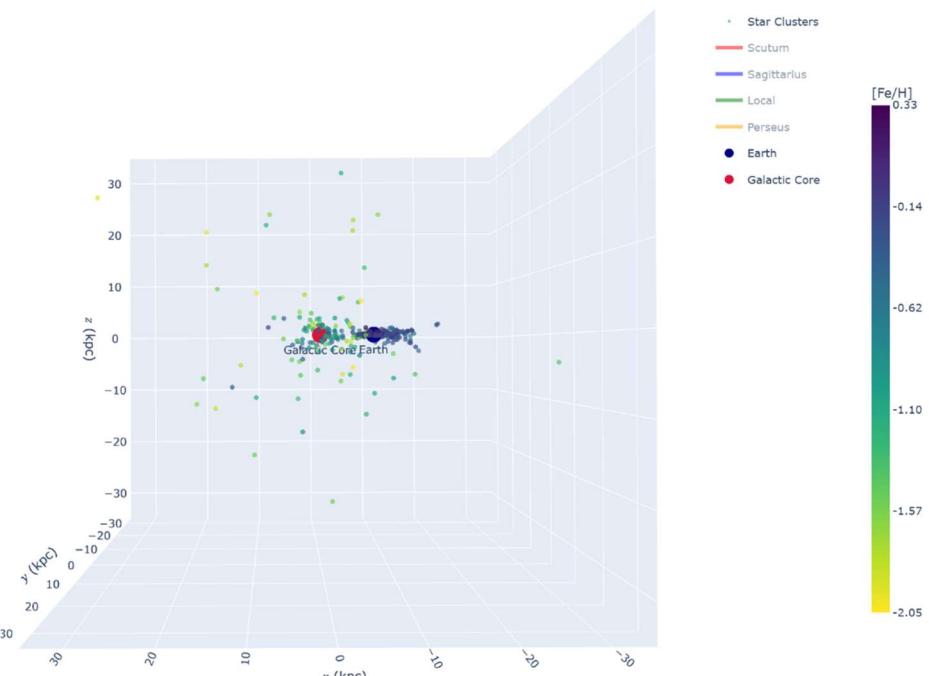
表8、疏散星團年齡與距銀盤之距離

年齡 (年)	距銀盤距離之中位數 (kpc)
$< 10^8$	$4.4 \times 10^{-2} \pm 2.3 \times 10^{-3}$
$> 10^9$	$3.9 \times 10^{-1} \pm 2.0 \times 10^{-2}$

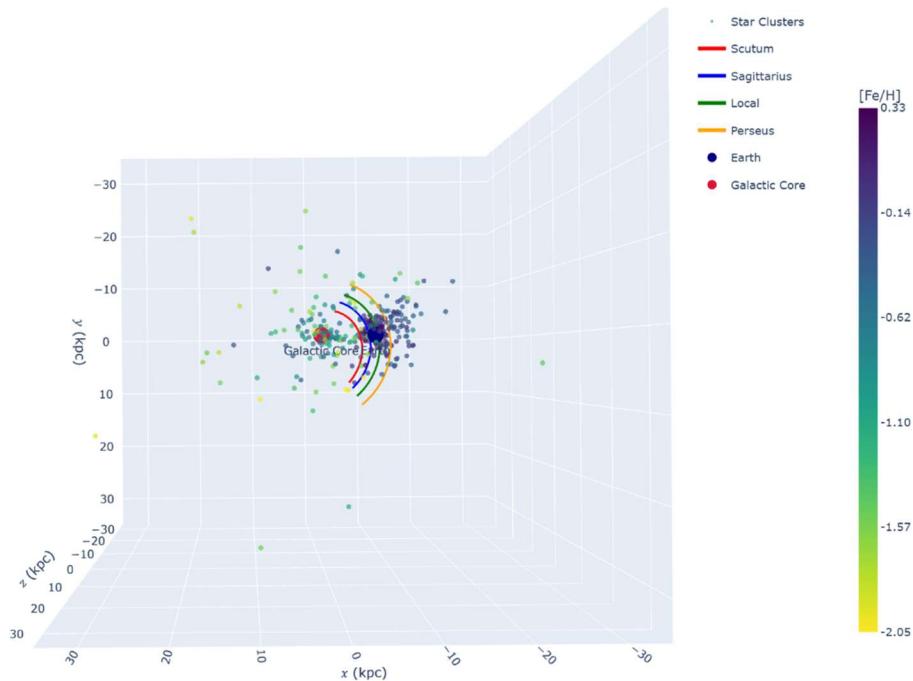


圖十、疏散星團之年齡與位置分布（研究者自繪）

(四) 鐵氫比與疏散星團分布之關係



圖十一、疏散星團之鐵氫比與位置分布YZ平面透視圖（研究者自繪）



圖十二、疏散星團之鐵氫比與位置分布XY平面透視圖（研究者自繪）

圖十一及十二展示銀河系中鐵氫比與分布情形之關係。兩圖皆使用MWSC資料庫之資料繪製，以銀心為原點並以紅色圓點標示，地球在 $(-8.2, 0, 0.25)$ 並以深藍色圓點標示，Scutum Arm（盾牌臂）、Sagittarius Arm（人馬臂）、Local Arm（獵戶臂）和Perseus Arm（英仙臂）四條懸旋臂分別以紅色、藍色、綠色和黃色線條表示，色階顏色越接近紫色鐵氫比越大，越接近黃色鐵氫比越小。鐵氫比是在取對數後相對於太陽的數值，因此可能出現負值，負值表示該物質中的鐵含量低於太陽的標準。

由結果中發現，在銀河系中，鐵氫比較大者，大部分分布於銀盤盤面上或較接近銀盤處；鐵氫比較小者，有較多分布在銀暈中，地球附近鐵氫比較高。

三、球狀星團之分布

(一) 鐵氫比與球狀星團分布之關係

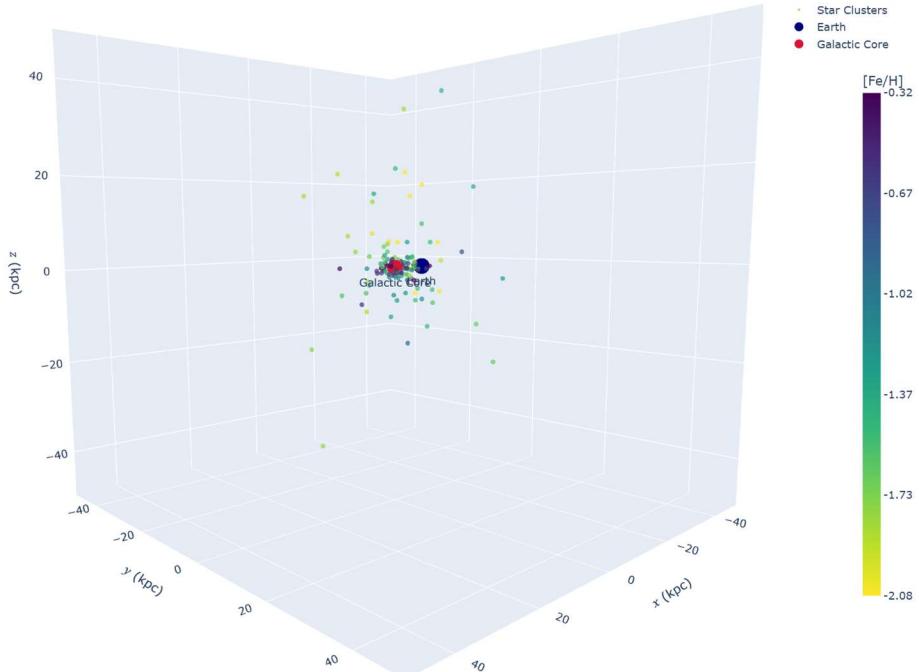
圖十三~十四展示球狀星團之鐵氫比與位置分布，其中圖十四是以XY平面呈。前述圖是使用Harris資料庫的資料繪製，以銀心為原點並以紅色圓點標示，地球在 $(-8.2, 0, 0.25)$ 並以深藍色圓點標示，色階顏色越接近紫色鐵氫比越大，越接近黃色鐵氫比越小，橘色圓點和紫色圓點分別為鐵氫比大於 -0.5 與鐵氫比小於 -1.5 之星團。鐵氫比是在取對數後相對於太陽的數值，因此可能出現負值，負值表示該物質中的鐵含量低於太陽的標準。

由結果中發現，鐵氫比小於 -1.5 的球狀星團分布範圍較廣，在銀河中心附近並沒有特別密集，有許多星團位在銀暈中；鐵氫比大於 -0.5 的疏散星團主要聚集在銀

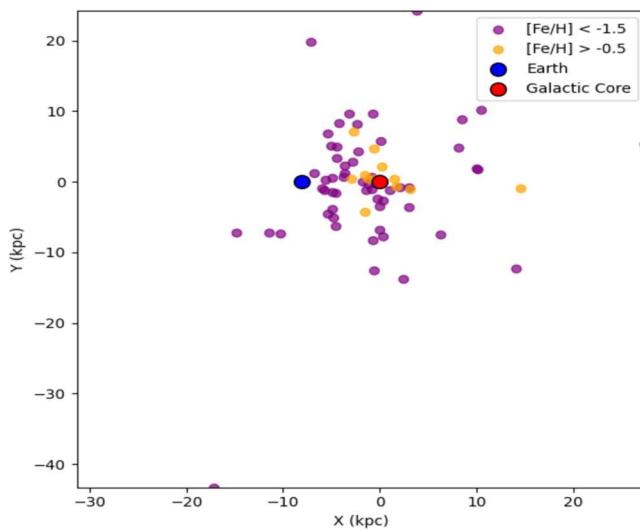
河中心附近，分布範圍密集。將兩者之中位數進行T檢定， p 值 = 1.9×10^{-5} ，存在顯著差異。

表 9、球狀星團鐵氫比與距銀心之距離

鐵氫比	距銀心距離之中位數 (kpc)
< -1.5	9.1 ± 1.2
> -0.5	$2.4 \pm 8.6 \times 10^{-1}$



圖十三、球狀星團之鐵氫比與位置分布（研究者自繪）



圖十四、以-0.5與-1.5為鐵氫比大小分界XY平面（研究者自繪）

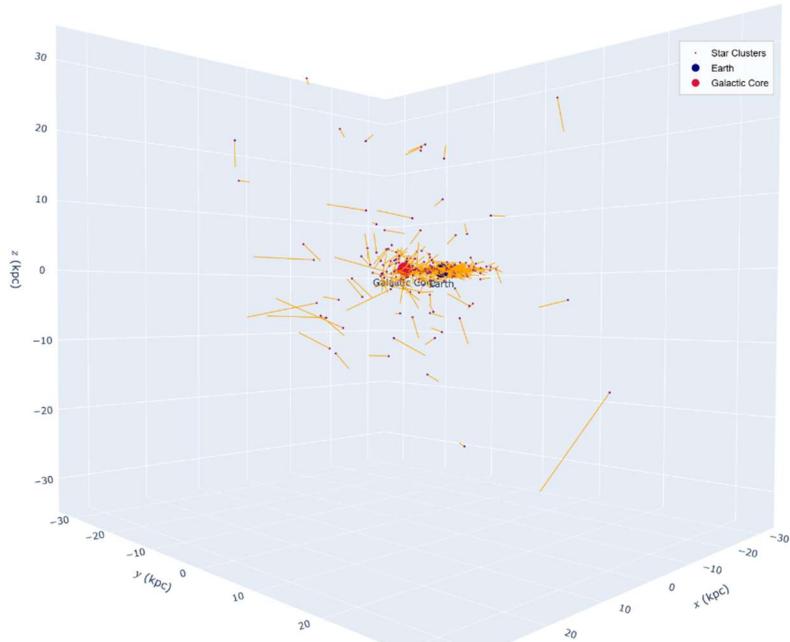
四、疏散星團與球狀星團之比較

(一) 運動方向

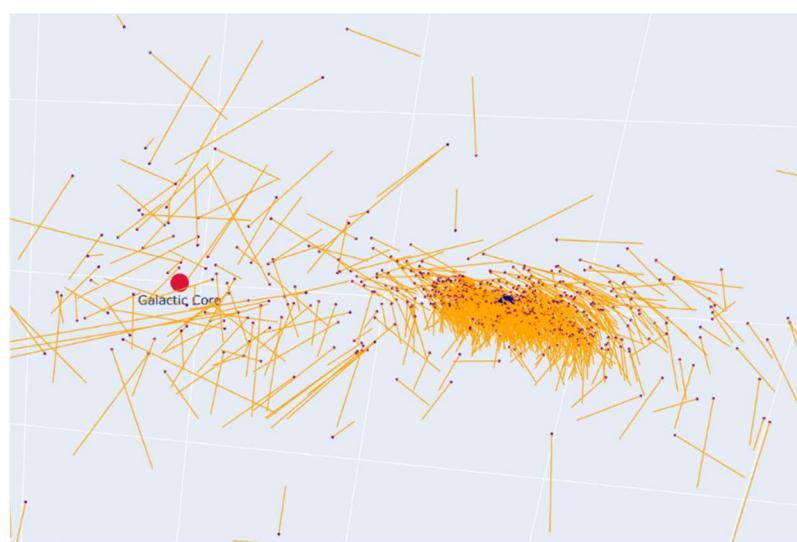
圖十五～十六展示疏散星團之運動方向，圖十七展示球狀星團運動方向。前述圖是使用MWSC和Harris資料庫的資料繪製，以銀心為原點並以紅色圓點標示，地

球在 $(-8.2, 0, 0.25)$ 並以深藍色圓點標示，紫色圓點為星團，橘色線條為運動方向，是將徑向速度、赤經自行與赤緯自行合併後，轉換出的速度分量。

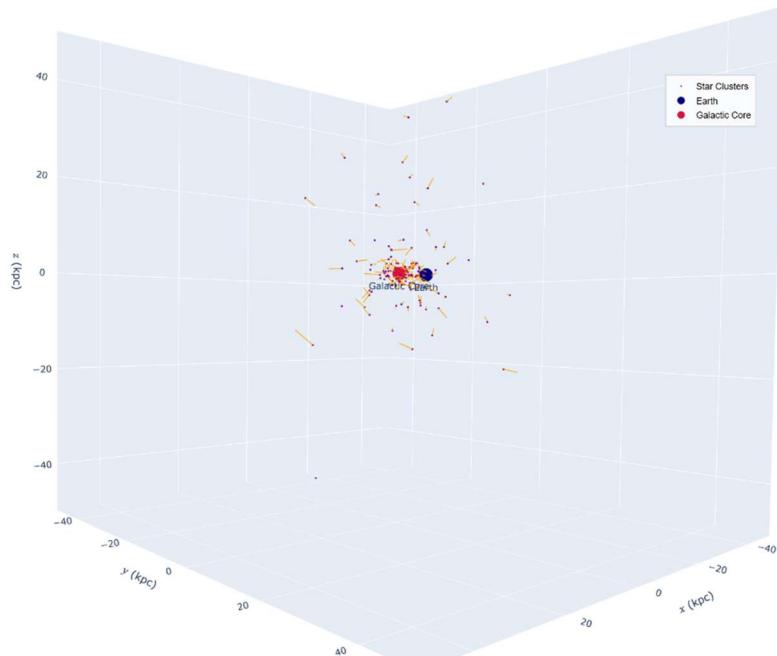
由結果中發現，在 961 個有徑向速度資料的疏散星團中，運動方向與銀心連線介於 $85^\circ \sim 95^\circ$ 的星團有 597 個，其中有 589 個在銀盤上，這表示這些星團應該是以銀心為圓心，接近正圓的軌道運行。這樣的計算的結果驗證了程式撰寫的正確性及可信度。而在 140 個有徑向速度資料的球狀星團中，運動方向與銀心連線介於 $85^\circ \sim 95^\circ$ 的星團只有 9 個，表示大部分的星團軌道應不為正圓，甚至有機會不是繞著銀河中心旋轉。



圖十五、疏散星團之運動方向 (km/s) (研究者自繪)



圖十六、疏散星團之運動地球附近局部放大 (km/s) (研究者自繪)

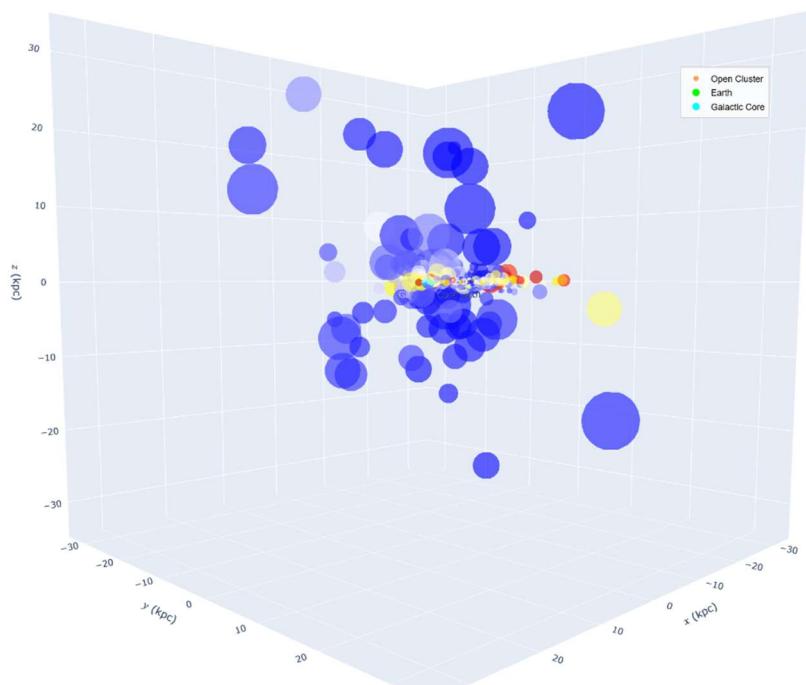


圖十七、球狀星團運動方向 (km/s) (研究者自繪)

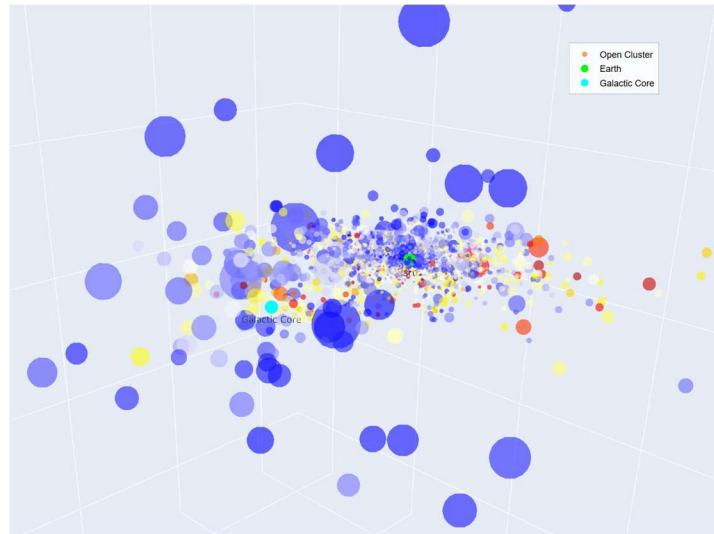
(二) 星團之大小

圖十八～圖二十展示銀河系中星團之大小與分布情形之關係，圖十八及十九為疏散星團之分布圖，圖二十為球狀星團之分布圖，前圖使用MWSC資料庫的資料繪製，後圖使用Harris資料庫的資料繪製，以銀心為原點並以螢光藍色圓點標示，地球在 $(-8.2, 0, 0.25)$ 並以螢光綠色圓點標示，星團大小以實際大小定義、顏色以色指數定義。

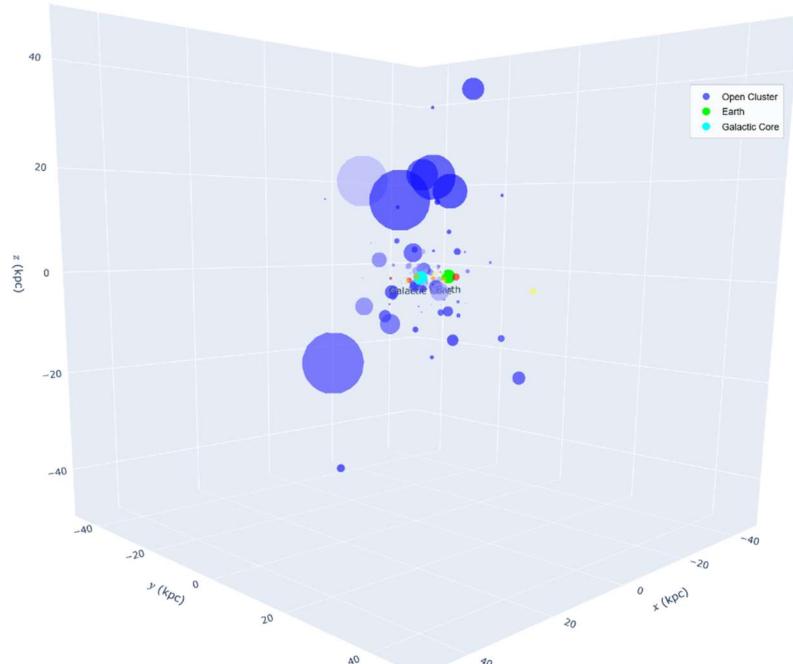
由結果中發現，距離地球較遠的疏散星團與球狀星團普遍體積較大，而在地球附近則較多較小的星團；球狀星團色指數為藍色的星團皆明顯較多。



圖十八、疏散星團之位置分布圖（研究者自繪）



圖十九、疏散星團之位置分布圖地球附近局部放大（研究者自繪）

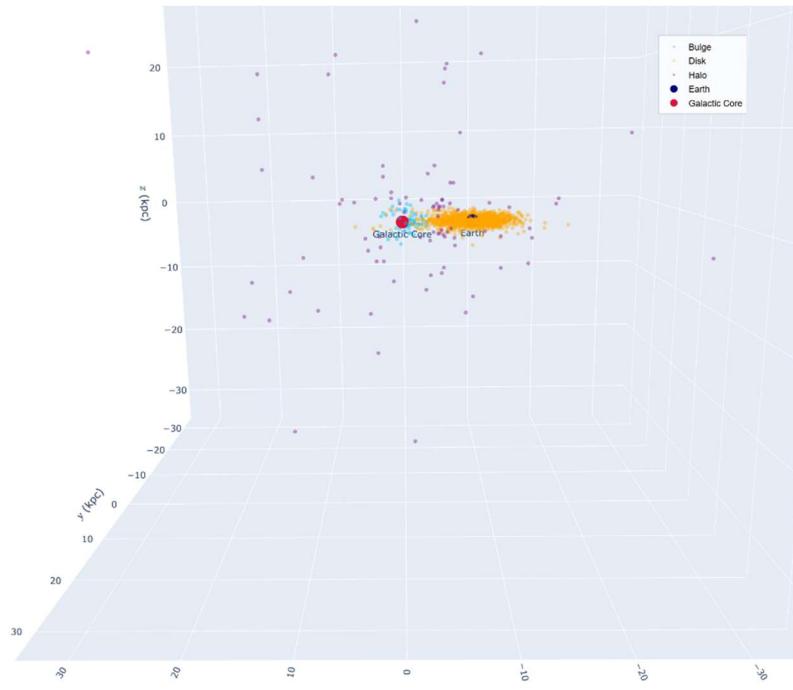


圖二十、球狀星團之位置分布圖（研究者自繪）

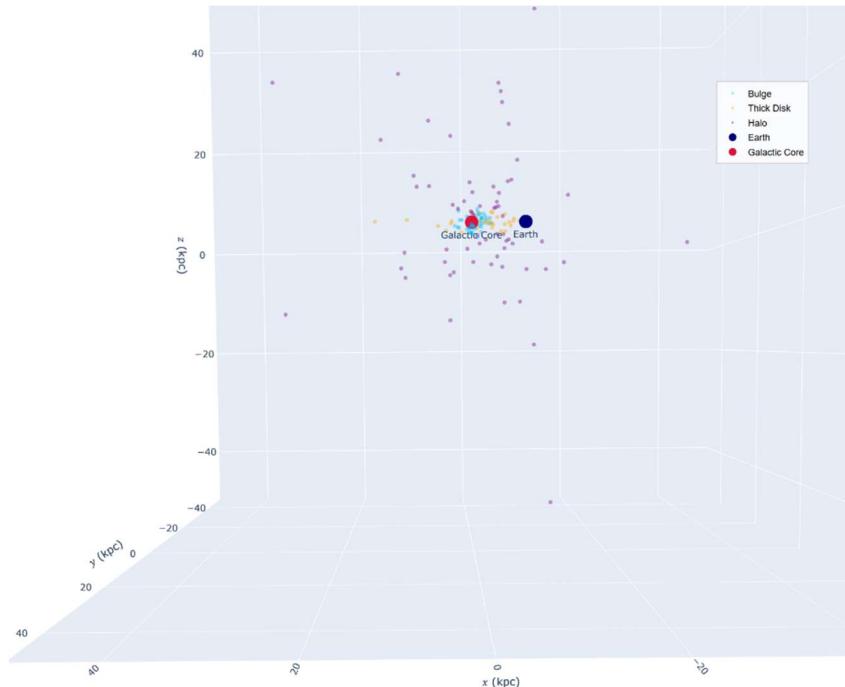
(三) 星團數據點之分布

圖二十一～圖二十二展示銀河系中星團的分布情形及其位置，圖十幾為疏散星團之分布圖，圖十幾為球狀星團之分布圖，前圖使用MWSC資料庫的資料繪製，後圖使用Harris資料庫的資料繪製，以銀心為原點並以紅色圓點標示，地球在 $(-8.2, 0, 0.25)$ 並以深藍色圓點標示，淺藍色圓點、橘色圓點和紫色圓點分別為分布在核球、銀盤和銀暈之星團。

由結果中發現，在地球相對於銀心的對側，疏散星團與球狀星團皆幾乎沒有數據點。



圖二十一、疏散星團之位置分布圖（研究者自繪）



圖二十二、球狀星團之位置分布圖（研究者自繪）

五、結果呈現

礙於篇幅及紙面之限制，未能呈現所有三維圖示結果，本研究以程式繪製的疏散星團之成員星分布圖，及疏散星團與球狀星團在銀河系中的分布圖，已放置於自行架設的互動式網站，可自由操作各觀察角度及尺度。而由於篇幅太長，因此程式的部分放置於Github，供進行類似研究者使用。

伍、討論

一、疏散星團之形狀

(一) 疏散星團之形狀與誤差範圍

使用 Gaia DR3 的資料繪製疏散星團成員星之位置分布圖，在觀察星團之形狀時，發現某些星團的形狀沿著地球的徑向方向異常的延長，與預期中的有所差異。經多方查證資料，發現在 Gaia Data Release 的相關資料中有提及：G星等小於 15mag 的中位視差不確定度為 $0.02\text{--}0.03\text{mas}$ ，G星等 = 17mag 時為 0.07mas ，G星等 = 20mag 時為 0.5mas ，G星等 = 21mag 時為 1.3mas 。因距離為 $1000/\text{parallax}$ (視差)，較遙遠的星團的視差值原本就非常小，導致極小的誤差就能產生很大的徑向距離誤差。根據以上資料，將各星團的視差加或減掉其視差誤差，並換算成徑向方向會產生的距離誤差，計算出的誤差範圍與各星團拉伸的樣態十分接近，又因星團被拉長之方向並非銀河中心或星團運動方向，應與重力或運動較無關係，故而大膽推測，使用 Gaia DR3 數據畫分布圖時，使疏散星團沿徑向拉長的主要原因，是觀察造成的視差誤差。

(二) 疏散星團距離與距離誤差之關係

在觀察的六個星團中，M6與M7由於位在觀察者向銀河中心觀察的方向上，周圍的恆星非常多，使用自行篩選成員星時，將許多不屬於此星團但恰巧自行相近之恆星也一起篩入，因此只取中間較亮的恆星來觀察分布範圍。由結果發現星團離地球越遠，其徑向方向距離產生的誤差越長，星團被拉長之百分比就越大，在 200pc 以下的星團像是M44或M45，被拉長的百分比為 5.6% 與 13.8% ；在 400pc 以上的星團像是M6或M47，被拉長的百分比為 21.4% 與 35.1% ，因此，建議如果要使用 Gaia DR3 的資料做星團外形的觀察，需要取在 400pc 以內的星團。在搜尋文獻時，其實已發現Pang et al. (2022) 研究了地球附近 500pc 內的疏散星團三維形狀，該研究結論為：小於 100Myr 的年輕星團可分為絲狀、多向分形；年齡大於 1億年 的星團可分為暈形（擁有緊湊的核心，但在外圍散佈著一些低密度恆星）及表現出單向潮汐尾的潮汐形。至此，決定將精力轉移於星團在本銀河系中的分布，未再持續以 Gaia 資料庫分辨星團成員星並繪製疏散星團外形的工作。

二、疏散星團之分布

(一) 成員星數量與位置分布之關係

將CG20中的疏散星團依據成員星數量進行了畫分，觀察到成員星數量大的星

團僅分布在靠近地球附近，擔心因星系中塵埃的遮蔽，造成遠處觀察到的成員星數量少於實際數量，所以只取地球附近 (5kpc) 進行觀察討論。由結果發現在地球附近 (5kpc)，成員星小於400顆的小型星團大多分布在距銀盤較近處，成員星大於400顆的大型星團大多分布在距銀盤較遠處。將兩者之中位數進行T檢定， p 值 = 1.4×10^{-3} ，存在顯著差異。

(二) 年齡、鐵氫比與位置分布之關係

將 MWSC 中的星團以年齡的大小為色階繪製位置分布圖，年齡取對數後的數值較小者，大部分位於銀盤盤面上；年齡在一億年以下者，大部分位於銀盤盤面上；銀暈中分布較多年齡在十億年以上的星團。在高中地球科學課本中有提到銀盤附近物質密度較大，形成的恆星質量較大，導致壽命較短，所以只能觀察到年輕的，但也因為物質密度夠大，較容易形成超新星殘骸或行星狀星雲產生重元素，故這附近的鐵氫比較大；而這個結果也暗示離銀盤較遠的星團年齡較老，鐵氫比較小。另外從圖中可發現地球附近的疏散星團鐵氫比都非常高，根據文獻 (Ye Xu, 2018) 繪製旋臂，旋臂涵蓋的範圍與鐵氫比較大的範圍大致相同，因此推測此區域因位於旋臂附近，超新星爆發頻度較大，故附近鐵氫比較大。

三、 球狀星團之分布

(一) 鐵氫比與球狀星團分布之關係

將 Harris 中的星團以鐵氫比的大小為色階繪製位置分布圖，結果發現鐵氫比大於 -0.5 者，大部分分布於距離銀河中心 10kpc 內，且皆位於銀盤盤面上；鐵氫比小於 -1.5 者，大部分分布於銀河系周圍。文獻 (Michael A. Beasley, 2020) 中有提到金屬量較低 ($[\text{Fe}/\text{H}]$ 低) 的球狀星團，可能起源於低質量的矮星系，並在後續的星系併吞過程中被銀河系捕獲，最終成為銀暈 (halo) 成分的一部分。相較之下，位於銀河核球的球狀星團則通常具有較高的金屬量，顯示其可能是在銀河系內部形成，與核球恆星的化學演化歷史一致。由此可知，金屬含量較多的球狀形團，大部分扁平分布在銀河中心附近，可能是在銀河系內部形成，而金屬含量較少的，則散布在距離銀河中心的銀暈可能來自矮星系。

四、 疏散星團與球狀星團之比較

(一) 星團的數量

我們所使用的資料庫中紀錄的疏散星團有 2996 個 (編號到 3784)，球狀星團只有 147 個，數量差異相當大。並且發現的疏散星團在地球附近特別多，球狀星團則

散佈得較遠。兩者的形成方式必然非常不同，且疏散星團在銀河系中應該較易於形成。

(二) 運動方向

我們使用MWSC和Harris的資料繪製運動方向分布圖，我們發現軌道接近圓形的星團大部分分布在銀盤上，疏散星團有較多軌道接近正圓的星團，而球狀星團只有9個，文獻中(Gratton, 2019)提到金屬量較高的球狀星團可能形成於銀河盤面，並維持與銀心的共軌運動。然而，銀河系的演化過程中，大規模的星系合併事件(如約100億年前的併吞作用)可能導致部分星團受到擾動，偏離原始軌道進入銀暈，不再沿盤面運行，而是呈現較隨機化的軌道特徵；部份球狀星團則可能來自鄰近矮星系，被銀河系動力捕獲，則其運動方向也會較為隨機。我們大膽猜測遠離盤面的球狀星團常具有較低的金屬量，是經歷了較長時間的動力學擾動，或受到其它星系外力影響，使其運動方向不再垂直於銀心。

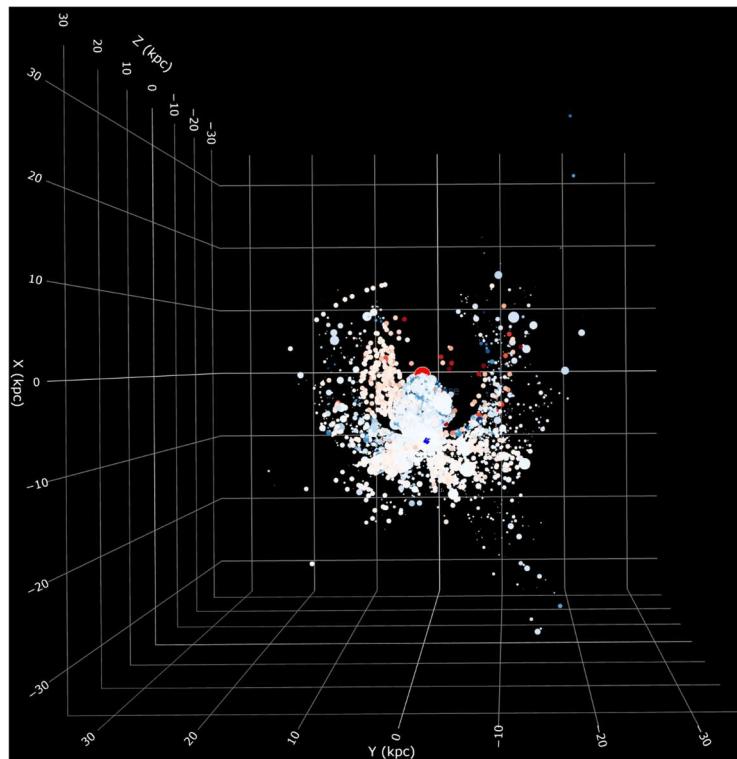
(三) 星團之大小

使用MWSC和Harris的資料繪製位置分布圖，發現距離地球較遠的疏散星團與球狀星團普遍體積較大，而在地球附近則較多較小的星團；因同樣大小之天體，距地球越遠視角越小，越不易觀測，因此對於較遠距離之星團，只能觀察到體積較大者。另外，球狀星團通常由年老且金屬豐度低的恆星組成，理論上應該缺乏高溫藍色恆星，然而，觀測顯示，色指數為藍色的星團皆明顯較多，根據文獻(Ferraro et al., 2014)推測，球狀星團中存在比主序轉折點更亮、更藍的藍掉隊星(Blue Straggler Stars)，藍掉隊星是一種普遍存在於任何恆星系統中的恆星族群，這些恆星雖然外觀上像是年輕、藍色、質量大的恆星，但實際上它們是在已老的球狀星團中形成的，在高密度的球狀星團核心區，恆星之間發生碰撞與合併，形成更大質量的恆星，這些碰撞的產物也會表現為藍色、質量較大的藍掉隊星。除此之外，研究過程中還發現，視星等和色指數(E(B-V))間存在著相關性，經過查找後，在COSMOS中發現，星光通過塵埃時，短波長會被吸收得更多，長波長會被吸收得較少，消光(A(V))與色指數(E(B-V))之間存在線性關係，使用視星等與絕對星等算出消光，經計算得出，皮爾森相關係數 $r = 0.709$ ，線性回歸方程： $A(V) = 2.482 \times E(B - V) + 15.376$ 。

(四) 星團數據點之分布

將MWSC和Harris中的疏散星團依照距離分為在核球、銀盤和銀暈上，發現在地球相對於銀星的對側，疏散星團與球狀星團皆幾乎沒有數據點；圖二十三為星際

介質HII regions和CO在銀河系中之分布圖，HII regions使用文獻（L.G. Hou, 2014）之資料繪製，CO使用文獻（Marc-Antoine Miville-Deschénes, 2016）之資料繪製，以銀心為原點並以紅色圓點標示，地球在 $(-8.2, 0, 0.25)$ 並以深藍色圓點標示，分子雲大小以實際大小定義，紅色色階之圓點為HII region，色階顏色越接近紅色質量越大，越接近白色質量越小；藍色色階之圓點為CO，色階顏色越接近藍色質量越大，越接近白色質量越小。由此圖可看出，在地球附近的盤面，星際介質分布密集，因此可能會阻礙觀察，造成在地球相對於銀星的對側幾乎沒有數據點。



圖二十三、星際介質HII regions和CO之分布圖（研究者自繪）

陸、結論

一、疏散星團之外形

使用Gaia DR3繪製分布圖時，疏散星團沿徑向拉長主要是因視差誤差所致。若需觀察星團外形，建議選擇 400 pc 以內的星團。

二、疏散星團在銀河系的位置分布

疏散星團成員星數量較多、年齡較小、鐵氫比較大者較為接近銀河盤面。

三、球狀星團在銀河系的位置分布

球狀星團鐵氫比較大的星團多扁平分布在銀心附近；鐵氫比較小的星團則散布在銀暉。

四、疏散星團與球狀星團之比較

疏散星團有較多軌道接近正圓的星團，而球狀星團只有9個；兩者離地球較遠的星團普遍體積較大，且在地球相對於銀星的對側皆幾乎沒有數據點。

柒、參考文獻資料

一、 數據

1. Données astronomiques de Strasbourg (CDS) . (n.d.) . CDS Portal 天文資料庫 (MWSC, CG20, Harris 星團表資料來源) . CDS Portal. Retrieved March 14, 2025, from <http://cdsportal.u-strasbg.fr/>
2. National Astronomical Data Center (NADC) . (n.d.) . Gaia 資料庫. NADC China-VO. Retrieved March 14, 2025, from <https://nadc.china-vo.org/data/data/Gaiadr3-source/>
3. Hou, L. G., & Han, J. L. (2014). The observed spiral structure of the Milky Way. *Astronomy & Astrophysics*, 569, A125. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201424039>
4. Miville-Deschénes, M.-A., Murray, N., & Lee, E. J. (2017). Physical properties of molecular clouds for the entire Milky Way disk. *The Astrophysical Journal*, 834(1), 57. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/834/1/57>

二、 學術資料

1. 汪惠玲等 (2024) 。*地球科學* (全一冊) 。三民書局股份有限公司。
2. 周體健 (1997) 。*簡明天文學*. 凡異出版社。
3. 莱纳, P., 鲁昂, D., 勒布伦, F., 米尼阿尔, F., & 佩拉, D. (2007) 。*观测天体物理学* (孙维新、胡景耀 译) 。中国科学技术出版社。
4. Allende Prieto, C. (2009). The stellar population of the thin disk. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 5(S265), 304 – 309. <https://doi.org/10.1017/S174392130992974>
5. Astropy Project. (n.d.). Galactocentric coordinates. *Astropy Documentation*. Retrieved March 11, 2025, from <https://docs.astropy.org/en/stable/coordinates/galactocentric.html#coordinates-galactocentric>
6. Beasley, M. A. (2020). Globular cluster systems and galaxy formation. In D. Alloin, G. Meylan, & R. Walter (Eds.), *Globular clusters and their galaxies* (Vol. X, pp. XX – XX). Springer. <https://arxiv.org/abs/2003.04093>
7. Binney, J., & Merrifield, M. (1998). *Galactic astronomy*. Princeton University Press.
8. Cantat-Gaudin, T., & Anders, F. (2019) . Clusters and mirages: Cataloguing stellar aggregates in the Milky Way. *Astronomy & Astrophysics*, 633, A99. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935172>

9. European Space Agency (ESA) . (2022) . Gaia data release 3. ESA Gaia Archive. *R etrieved March 14, 2025, from <https://www.cosmos.esa.int/web/Gaia/dr3>*
10. Gratton, R., Bragaglia, A., Carretta, E., D' Orazi, V., Lucatello, S., & Sollima, A. (201 9) . What is a globular cluster? An observational perspective. *The Astronomy and Astro physics Review*, 27, 8. <https://doi.org/10.1007/s00159-019-0119-3>
11. Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Schilbach, E., Röser, S., & Scholz, R.-D. (2012) . Global survey of star clusters in the Milky Way. *Astronomy & Astrophysics*, 543, A156. [https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118708​:contentReference\[oaicite:0\]{index =0}](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118708​:contentReference[oaicite:0]{index =0})
12. Pang, X., Tang, S.-Y., Li, Y., Yu, Z., Wang, L., Li, J., Li, Y., Wang, Y., Zhang, T., Pasq uato, M., & Kouwenhoven, M. B. N. (2022) . 3D morphology of open clusters in the s olar neighborhood with Gaia EDR3. II. Hierarchical star formation revealed by spatial an d kinematic substructures. *The Astrophysical Journal*, 931 (2) , 156. [https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac674e](https://doi.org/10.3 847/1538-4357/ac674e)
13. Salaris, M., Weiss, A., & Percival, S. M. (2004) . The age of the oldest open clusters. *Astronomy & Astrophysics*, 414 (1) , 163 – 174. [https://doi.org/10.1051/0004-6361:20 031578​:contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://doi.org/10.1051/0004-6361:20 031578​:contentReference[oaicite:0]{index=0})
14. Swinburne University of Technology. (n.d.). *Interstellar Reddening / COSMOS*. Retrieve d from <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/i/interstellar%2Breddening>
15. Xu, Y., Hou, L.-G., & Wu, Y.-W. (2018). The spiral structure of the Milky Way. *Researc h in Astronomy and Astrophysics*, 18(12), 146. [https://doi.org/10.1088/1674-4527/18/12/146](https://doi.org/10.1088/1674-4527/18/12/ 146)
16. Ferraro, F. R., Lanzoni, B., Dalessandro, E., Mucciarelli, A., & Lovisi, L. (2014). *Blue st raggler stars in globular clusters: A powerful tool to probe the internal dynamical evoluti on of stellar systems*. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/1406.3471v1>

【評語】051901

作者撰寫程式，分析開放的天文資料庫，以三維視覺呈現，探討銀河系中疏散星團與球狀星團分布與特性。結果顯示，疏散星團成員星數量較多、年齡較小、鐵氳比較大者較為接近銀河盤面；球狀星團鐵氳比較大的星團多扁平分布在銀心附近；鐵氳比較小的星團則散布在銀暈；疏散星團有較多軌道接近正圓的星團，而球狀星團則罕見；兩者離地球較遠的星團普遍體積較大，而在地球相對於銀星的對側皆幾乎沒有數據點。程式所產出的結果已製作成互動式網站，強化使用者天文研究的直觀性。本研究涵蓋疏散星團形狀、分布、成分與球狀星團比較等面向，惟分析深度不均。建議聚焦於主軸主題，如「位置與金屬量的空間關聯」，以強化研究整合度。也可以補充球狀星團形成與運動機制之理論背景（如軌道非正圓原因、外來矮星系併入理論），以增進科學解釋的完整性與說服力。建議增加對視差、距離、金屬量與自行運動誤差之討論，說明其對觀測結果與圖像判讀之影響，有助提升結論科學性。作者可比較並探討其程式之三維視覺化展示結果相較其他分析程式的異同以及優劣性。

作品海報

銀河系中星團之位置分布及其特性

－以自行撰寫之程式進行三維視覺化呈現

摘要

本研究以自行撰寫之程式，配合使用開放的天文資料庫，探討銀河系中疏散星團與球狀星團的分布與特性，並將其進行三維視覺化呈現。結果顯示，疏散星團成員星數量較多、年齡較小、鐵氫比較大者較為接近銀河盤面；球狀星團鐵氫比較大的星團多扁平分布在銀心附近；鐵氫比較小的星團則散布在銀暈；疏散星團有較多軌道接近正圓的星團，而球狀星團只有 9 個；兩者離地球較遠的星團普遍體積較大，且在地球相對於銀星的對側皆幾乎沒有數據點。程式所產出的結果已製作成互動式網站，期望能讓使用者更理解本研究的目的，並提升天文學習的直觀性。

研究動機與目的

高一時，我曾選修天文攝影課，在課程中，老師帶著我們到合歡觀星，我望向星空，心中不禁產生疑問：這些星團的實際形狀究竟是什麼？它們在銀河系中分布的位置有何特徵？傳統圖像多以二維平面示意難以呈現出它們的真實空間位置與動態特性。於是開始思考，能否結合天文資料庫與程式設計，將這些星團資料進行三維視覺化，幫助大家更直觀理解星團在銀河系中的分布及特性。在本研究中主要探討了以下幾個項目：

- (一) 疏散星團之形狀與造成原因
- (二) 疏散星團如何分布在銀河系中與造成原因
- (三) 球狀星團如何分布在銀河系中與造成原因
- (四) 分析兩類星團在數量、位置及運動方向上的差異

製圖步驟與方法

一、疏散星團成員星分布圖：

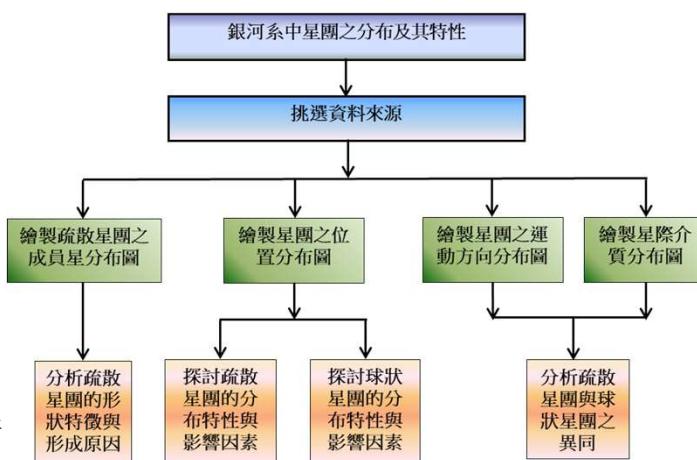
1. 從CDS資料庫取得星團基本資料
2. 從Gaia資料庫取得星團附近之恆星資料。
3. 依據自行運動篩選星團成員。
4. 繪製以星團中心為原點，而太陽到星團中心的連線為 Z 軸的三維分布圖，畫出星團附近所有恆星及成員星，並分別標示(以光度定義恆星大小、光譜定義顏色)。
5. 觀察成員星分布狀態。

二、星團位置分布圖：

1. 從MWSC與CG兩資料庫取得疏散星團資料、Harris資料庫取得球狀星團資料。
2. 使用Astropy函式庫處理座標轉換，將星團的天球坐標系轉換為銀心座標系。
3. 根據星團在銀心坐標系的位置，依據文獻(Binney & Merrifield, 1998)之內容，擇定核球半徑為 3 kpc；銀盤半徑為 21 kpc，厚度為 1.35 kpc；銀暈則是依據數據中最遠的星團定義，半徑為 38.51 kpc，將星團標示分類處於核球、銀盤、銀暈。
4. 計算各區域的體積，並算出各區域星團數量換算成密度。
5. 以顏色分別代表位置、成員星數量、年齡、鐵氫比繪製立體分布圖。

四、星際介質分布圖：

1. 從CDS資料庫取得文獻中 (L.G. Hou, 2014) (Marc-Antoine Miville-Deschénes, 2016) 中HII regions與CO之資料。
2. 對分子雲的資料進行離群值處理。
3. 用Astropy函式庫處理座標轉換，將星團從銀河座標系統轉換為銀心座標系。
4. 繪製三維的分布圖，恆星大小以實際大小定義，顏色以質量定義。



三、星團之運動方向分布圖：

1. 從MWSC資料庫取得疏散星團資料、Harris資料庫取得球狀星團資料。
2. 使用Astropy函式庫處理座標轉換，將星團的天球坐標系轉換為銀心座標系。
3. 根據星團在銀心坐標系的位置，依據文獻(Binney & Merrifield, 1998)之內容，擇定核球半徑為 3 kpc；銀盤半徑為 21 kpc，厚度為 1.35 kpc；銀暈則是依據數據中最遠的星團定義，半徑為 38.51 kpc，將星團標示分類處於核球、銀盤、銀暈。
4. 計算位置與的內積，並用內積公式計算之間的夾角，以判斷星團是否在繞銀心公轉 (介於 89°-91°)。
5. 繪製三維的分布圖，畫出各星團的運動方向。

所使用之計算公式

$$X = d \times \cos b \times \cos l - R_{\odot}$$

$$Y = d \times \cos b \times \sin l$$

$$Z = d \times \sin b + Z_{\odot}$$

其中：

d = 距離地球的距離 (pc)

l = 星團銀經

b = 星團銀緯

R_{\odot} = 地球到銀河中心的距離 (8.2 kpc)

Z_{\odot} = 地球的銀河高度 (+ 0.025 kpc)

$$V_x = RV \times \cos \alpha \times \cos \delta - V_{\alpha} \times \sin \alpha - V_{\delta} \times \cos \alpha \times \sin \delta$$

$$V_y = RV \times \sin \alpha \times \cos \delta + V_{\alpha} \times \cos \alpha - V_{\delta} \times \sin \alpha \times \sin \delta$$

$$V_z = RV \times \sin \delta + V_{\delta} \times \cos \delta$$

其中：

RV = 徑向速度 (km/s)

α = 星團赤經

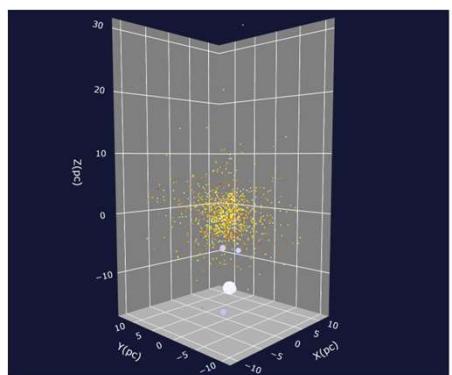
δ = 星團赤緯

$V_{\alpha} = 4.74047$ (單位轉換之常數) $\times pmra \times d$

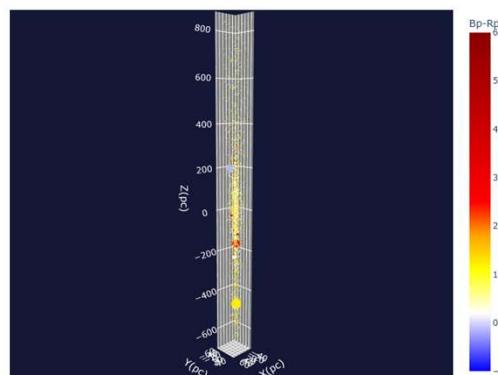
$V_{\delta} = 4.74047$ (單位轉換之常數) $\times pmdec \times d$

研究結果與討論

一、疏散星團之形狀



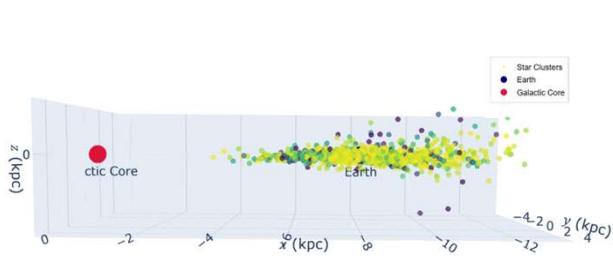
圖一、M45



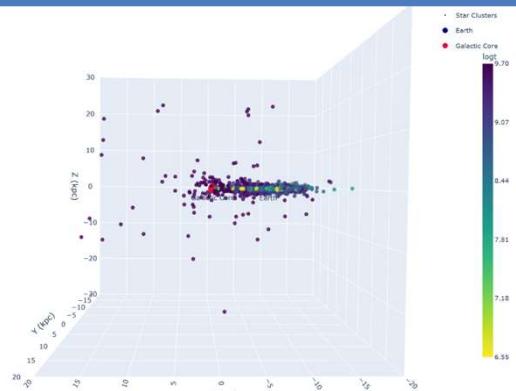
圖二、M46

- 明亮的星有靠近地球側的傾向，且離地球越遠，其徑向方向距離產生的誤差越長。

二、疏散星團之分布

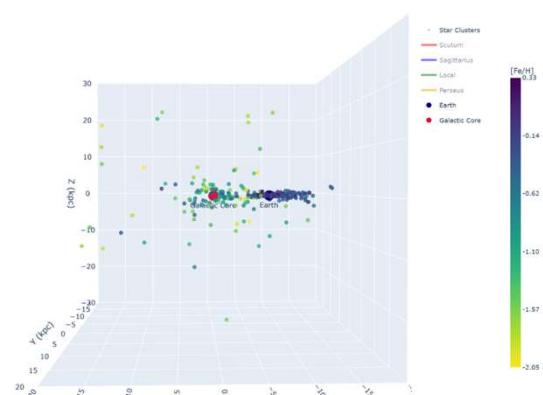


圖三、疏散星團之成員星數量與位置分布

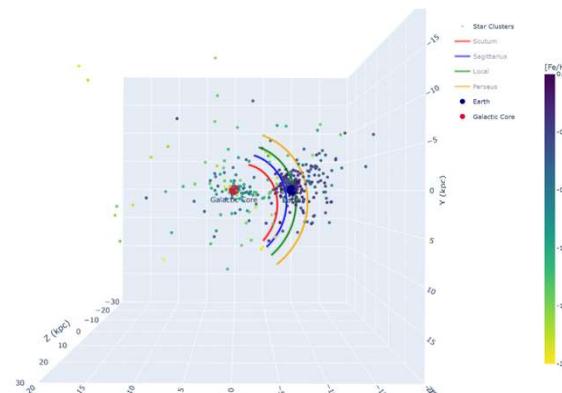


圖四、疏散星團之年齡與位置分布

- 成員星小於400 顆的星團大多分布在銀盤上，成員星大於400 顆的星團分布位置有機會分布到離銀盤較遠。
- 年齡在一億年以下者，大部分位於銀盤盤面上；銀暈中分布較多年齡在十億年以上的星團。



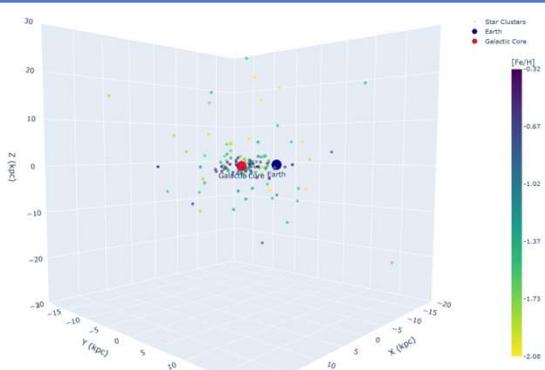
圖五、疏散星團之鐵氫比與位置分布YZ平面透視圖



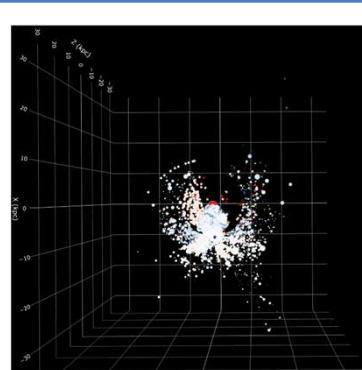
圖六、疏散星團之鐵氫比與位置分布XY平面透視圖

- 在銀河系中，鐵氫比較大者，大部分分布於銀盤盤面上或較接近銀盤處；鐵氫比較小者，有較多分布在銀暈中，地球附近鐵氫比較高。

三、球狀星團之分布



圖七、球狀星團之鐵氫比與位置分布

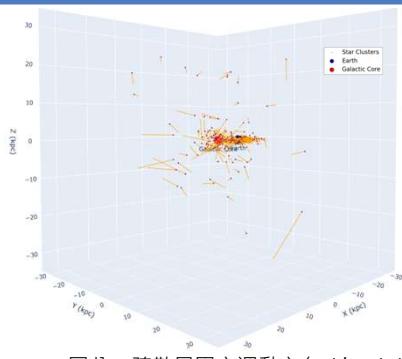


圖八、星際介質HII regions和CO之分布圖

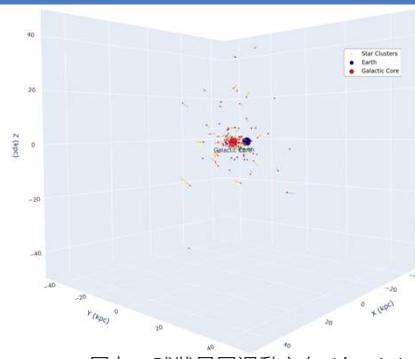
- 鐵氫比小於-1.5的星團許多位在銀暈；鐵氫比大於-0.5 的星團主要聚集在銀心附近。

研究結果與討論

四、疏散星團與球狀星團之比較

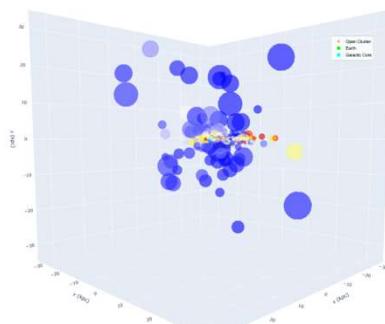


圖八、疏散星團之運動方向 (km/s)

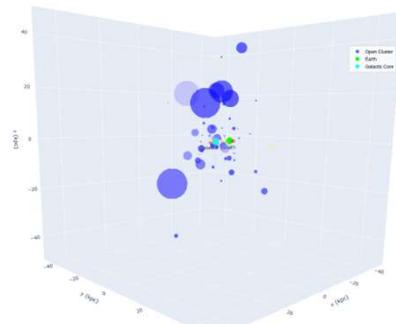


圖九、球狀星團運動方向 (km/s)

- 疏散星團接近正圓的軌道繞銀星運行；球狀星團軌道大部分不為正圓。

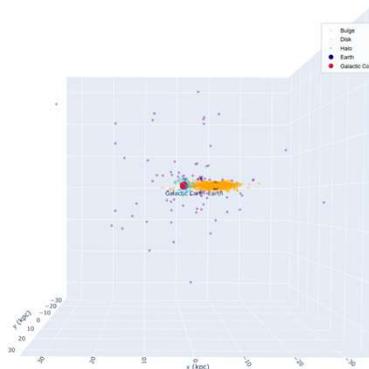


圖十、疏散星團之位置分布圖

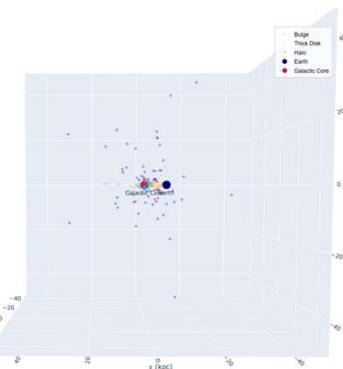


圖十二、球狀星團之位置分布圖

- 距離地球較遠的疏散與球狀星團普遍體積較大，球狀星團色指數為藍色的星團皆明顯較多。



圖十三、疏散星團之位置分布圖



圖十四、球狀星團之位置分布圖

- 在地球相對於銀心的對側，疏散星團與球狀星團皆幾乎沒有數據點。

結論

- 一、疏散星團沿徑向拉長主要是因視差誤差所致，觀察星團外形建議選擇400 pc以內的星團。
- 二、疏散星團成員星數量較多、年齡較小、鐵氫比較大者較為接近銀河盤面。
- 三、球狀星團鐵氫比較大的星團多扁平分布在銀心附近；鐵氫比較小的星團則散布在銀暉。
- 四、疏散星團有較多軌道接近正圓的星團，而球狀星團較少；且兩者離地球較遠的星團普遍體積較大，且在地球相對於銀星的對側皆幾乎沒有數據點。

參考文獻

一、數據

1. Données astronomiques de Strasbourg (CDS). (n.d.). CDS Portal 天文資料庫 (MWSC, CG20, Harris 星團表資料來源). CDS Portal. Retrieved March 14, 2025, from <http://cdsportal.u-strasbg.fr/>
2. National Astronomical Data Center (NADC). (n.d.). Gaia 資料庫. NADC China-VO. Retrieved March 14, 2025, from <https://nadc-china-vo.org/data/Gaia/dr3-source/>
3. Hor, L. G., & Han, J. L. (2014). The observed spiral structure of the Milky Way. *Astronomy & Astrophysics*, 569, A125. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201424039>
4. Miville-Deschénes, M.-A., Murray, N., & Lee, E. J. (2017). Physical properties of molecular clouds for the entire Milky Way disk. *The Astrophysical Journal*, 834(1), 57. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/834/1/57>

二、學術資料

1. 汪惠玲等 (2024). 地球科學 (全一冊)。三民書局股份有限公司。
2. 周體健 (1997)。簡明天文學。凡異出版社。
3. 莱纳, P., 鲁昂, D., 勒布伦, F., 米尼亚尔, F., & 佩拉, D. (2007)。观测天体物理学 (孙维新、胡景耀译)。中国科学技术出版社。
4. Allende Prieto, C. (2009). The stellar population of the thin disk. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 5(S265), 304 – 309. <https://doi.org/10.1017/S1743921309992974>
5. Astropy Project. (n.d.). Galactocentric coordinates. *Astropy Documentation*. Retrieved March 11, 2025, from <https://docs.astropy.org/en/stable/coordinates/galactocentric.html#coordinates-galactocentric>
6. Beasley, M. A. (2020). Globular cluster systems and galaxy formation. In D. Alloin, G. Meylan, & R. Walter (Eds.), *Globular clusters and their galaxies* (Vol. X, pp. XX – XXX). Springer. <https://arxiv.org/abs/2003.04093>
7. Binney, J., & Merrifield, M. (1998). *Galactic astronomy*. Princeton University Press.
8. Cantat-Gaudin, T., & Anders, F. (2019). Clusters and imprints: Cataloguing stellar aggregates in the Milky Way. *Astronomy & Astrophysics*, 633, A99. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936691>
9. European Space Agency (ESA). (2022). Gaia data release 3. *ESA Gaia Archive*. Retrieved March 14, 2025, from <https://www.cosmos.esa.int/web/Gaia/dr3>
10. Gratton, R., Braga-Gaia, A., Carretta, E., Orazi, V., Lucatello, S., & Sollima, A. (2019). What is a globular cluster? An observational perspective. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 27, 8. <https://doi.org/10.1007/s00159-019-0119-3>
11. Kharchenko, N. V., Piskunov, A. E., Schilbach, E., Röser, S., & Scholz, R.-D. (2012). Global survey of star clusters in the Milky Way. *Astronomy & Astrophysics*, 543, A156. [https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118708Ë:contentReference\[ocite:0\]\[index=0\]](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118708Ë:contentReference[ocite:0][index=0])
12. Pang, X., Tang, Y., Li, Y., Yu, Z., Wang, L., Li, Y., Wang, Y., Zhang, T., Pasquato, M., & Kouwenhoven, M. B. N. (2022). 3D morphology of open clusters in the solar neighborhood with Gaia EDR3. II. Hierarchical star formation revealed by spatial and kinematic substructures. *The Astrophysical Journal*, 931 (2), 156. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac674e>
13. Salaris, M., Weiss, A., & Percival, S. M. (2004). The age of the oldest open clusters. *Astronomy & Astrophysics*, 414 (1), 163 – 174. [https://doi.org/10.1051/0004-6361/20031578Ë:contentReference\[ocite:0\]\[index=0\]](https://doi.org/10.1051/0004-6361/20031578Ë:contentReference[ocite:0][index=0])
14. Swinburne University of Technology. (n.d.). Interstellar Reddening I COSMOS. Retrieved from <https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/i/interstellar%2Breddening>
15. Xu, Y., Hou, L.-G., & Wu, Y.-W. (2018). The spiral structure of the Milky Way. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 18(12), 146. <https://doi.org/10.1088/1674-4527/18/12/146>
16. Ferraro, F. R., Lanzoni, B., Dalessandro, E., Mucciarelli, A., & Lovisi, L. (2014). Blue straggler stars in globular clusters: A powerful tool to probe the internal dynamical evolution of stellar systems. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/1406.3471v1>