

2015 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

- 作品編號** 160007
- 參展科別** 物理與天文學
- 作品名稱** 星系演化？剖析巡天資料庫驗證星系顏色
與紅移關係
- 得獎獎項** 大會獎：一等獎
美國 ISEF 正選代表：美國第 66 屆國際科
技展覽會
推薦參加英語測驗之指導教師
- 就讀學校** 臺北市立第一女子高級中學
- 指導教師** 林郁梅
- 作者姓名** 柯芷蓉、江郁儀
- 關鍵字** 星系演化、紅移、SDSS 數位巡天

作者簡介



我們是北一女中高三學生，柯芷蓉和江郁儀，我們很高興可以代表台灣參加這次的英特爾國際科學展覽。一路上遇到很多困難，不僅要獨自面對，還要同時兼顧課業，因為科展讓我們成長許多。我們想藉著這次機會誠摯地感謝呂浩宇老師，一路陪著我們度過大大小小的比賽，在百忙之中耐心地教導我們，還有其他教授和老師們，李文献教授、林沛練教授，學長學姊們的經驗分享，最後，謝謝所有曾經幫助過我們的人。

星系演化?-剖析巡天資料庫驗證星系顏色與紅移關係

摘要

透過研讀論文 Strateva et al. (2001；簡稱 S01)，開啟了我們對於星系的星等、星色考量紅移情況下之關係的興趣，並展開以下研究。S01 利用 Sloan Digital Sky Survey (SDSS)所提供的測光數據，首次依據顏色 u^*-r^* ，將星系解析為偏紅以及偏藍兩個族群。本研究藉由 SDSS 最新提供的光譜資料進一步取得精確的紅移數據，經由 K-correction 復原靜止坐標系中各星系的星色，並可透過距離模數消除距離對於星系亮度的影響。因此，本研究得以分辨出兩類星系族群的紅移演化。我們發現紅移效應和星系本質的特性對於 $r^* < 17.77$ 且 $z < 0.3$ 的星系有顯著的影響。在研究的目標範圍內，兩類星系族群皆沒有發現紅移演化對於顏色的影響。本研究也與 S01 作比較，討論了分析中可能的誤差來源。

Abstract

The inspiring works of Strateva et al. (2001; S01 hereafter) have prompted us to revisit the color-magnitude distribution of galaxies in redshift space. Based on photometric data of the Sloan Digital Sky Survey (SDSS), S01 for the first time robustly discriminated between two independent galaxy populations, which appear bluer and redder in the u^*-r^* color, respectively. The major advantage of this work is to further utilize the lately released SDSS spectroscopic survey data. The accurately measured spectroscopic redshifts (z) enable us to recover restframe color for individual galaxies via K-correction, and remove distance modulus from the K-corrected magnitudes. Therefore, we can clarify the redshift evolution of these two galaxy populations, unambiguously. We found that the effects of doppler redshift and a intrinsic relation between galaxies' color and luminosity are both prominent for the $r^* < 17.77$ samples in between $0 < z < 0.3$. From these specific samples, we do not find redshift evolution in color space, for both galaxy populations. We address the difference between our samples and those used in S01, and discuss the potential bias in our analysis.

壹、研究動機

恆星在可見光波段的顏色及光度與恆星質量及其演化階段相關。如赫羅圖(Hertzsprung-Russell Diagram)顯示恆星的顏色主要取決於它不同演化階段時的表面溫度。因此，具有不同恆星組成的星系於可見光波段亦展現出不同顏色。那麼星系的恆星組成及顏色是否也會與其形成過程及不同演化的階段相關呢？觀測得的星系顏色又如何受到宇宙膨脹造成的都卜勒紅移(Doppler redshift)的影響呢？其中又以哪個因素的影響最為主要？這一連串的問題引起我們的興趣，便開始彙整專業巡天觀測數據，並與文獻中研究結果進行比對與討論。

貳、研究目的與問題

- 一、從文獻資料，蒐集並歸納以了解都卜勒紅移及星系中的恆星組成如何影響星系的顏色，以及了解如何由巡天觀測檢視星系演化對恆星組成的影響。
- 二、探討星系顏色與其影響因素間的相關性，以了解各別因素對於星系顏色影響的比例。
 - (一)觀察單一星系團內星系樣本其顏色對亮度是否有相關性。此觀察可排除都卜勒紅移造成的顏色偏差，以利檢視星系內恆星數目與恆星的質量分佈如何相關。此外並檢查星系顏色對亮度的相關性在對全天星系樣本所做的統計中是否亦顯著。
 - (二)個別顏色族群(偏紅，偏藍)之星系顏色對單一影響因素的相關性。
 - (三)不同亮度或紅移之星系顏色對單一影響因素的相關性。
 - (四)統整星系顏色與所有影響因素間的相關性。
- 三、進行影響因素的修正，除去紅移造成的誤差後回歸星系本身的顏色(K-correction)，以進一步探討所得的顏色與影響因素間的相關性。

參、研究設備及器材

一、SDSS 資料庫

(一) 關於 SDSS (Sloan Digital Sky Survey)：

1. SDSS 是使用位於新墨西哥州阿帕契點天文台(Apache Point Observatory; 圖一)的 2.5 米口徑望遠鏡進行的巡天計畫。該計畫進行了 SDSS-I (2000-2005), SDSS-II (2005-2008), SDSS-III (2008-2014), 及 SDSS-IV (2014-Present) 等四個階段。每個階段又依據不同科學目標執行數個特定的巡天項目。
2. 該計畫開始於 2000 年，目標觀測 25%的天空，獲取超過一百萬個天體的多色測光資料和光譜數據。SDSS 的星系樣本以紅移 0.1 為中值，對於紅星系的紅移值達到 0.4，對於類星體紅移值則達到 5，並且希望探測到紅移值大於 6 的類星體。截至目前，SDSS 計畫已對全天三分之一的天區提供了最詳盡的多波段三維宇宙影像，並測量了上百萬個天體的光譜(表一)。
3. 2006 年，SDSS 進入了名為 SDSS-II 的新階段。為進一步探索銀河系的結構和組成，史隆超新星巡天計劃搜尋 Ia 型超新星爆發，以測量宇宙學尺度上的距離。
4. 2008 年 10 月 31 日，SDSS-II 發布了最後一次數據。史隆數字化巡天第三期工程 SDSS-III 已經於 2008 年 7 月啟動，將持續至 2014 年。

種類	各數
星系	790220
類星體($z < 2.3$)	89458
類星體($z \geq 2.3$)	12892
M 型和更晚型的恆星	64895
其他恆星	126351
天空光譜	59843
待確認天體	19861

表一 SDSS 貢獻

(二) 關於本研究部分

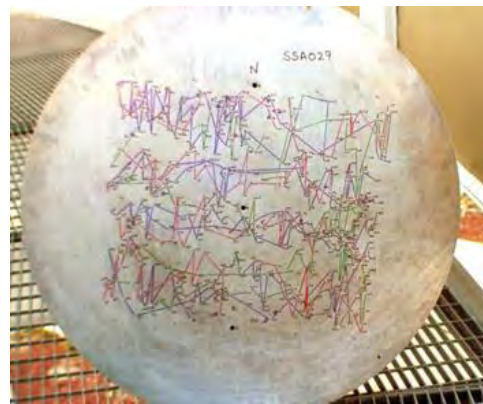
SDSS 系統化的巡天以及數據校正提供大量可靠的星系樣本測光及光譜資料，並已廣泛運用於先進天文研究分析。在本研究我們藉由蒐集 SDSS 的資料庫中數據來應證前述星系顏色與亮度之關係，並應證 S01 提出的假說。SDSS 的 Sky Server 系統所運用的五個濾鏡 u、g、r、i、z 中(表二)，我們主要運用的有對紅移小於 0.3 的星系較靈敏的 u、g、r 三個濾鏡的數據。而各濾鏡的觀測範圍如表一所示。

表二 各濾鏡觀察波段

濾鏡		平均觀測波段	
近紫外光	Ultraviolet	u	3543Å
可見光-綠光	Green	g	4770Å
可見光-紅光	Red	r	6231Å
近紅外光	Near Infrared	i	7625Å
近紅外光	Infrared	z	9134Å

※註：此研究報告中，z 表示紅移，並非代表濾鏡

※ 註：此研究報告中的 u*、g*、r*表示星體在 u、g、r 濾鏡下的亮度，不代表濾鏡。



圖一 SDSS 望遠鏡身(左圖)，及用來接光纖以測量光譜的盤狀儀器(右圖) 圖片來源:
(<http://astro.uchicago.edu/~frieman/SDSS-telescope-photos/sdss-telescope.jpg>)
(https://www.sdss3.org/dr9/spectro/spectro_basics.php)

二、紀錄與分析軟體

(一) Microsoft Word: 進行紀錄

(二) Microsoft Excel: 彙整數據

(三) Topcat: 製作圖表

(Tool for Operations on Catalogues and Tables, from <http://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>)

肆、研究方法及過程

研究流程

一、影響星系顏色與光度的因素討論

(一)收集相關資料，並閱讀分析 SDSS 星系數據的文獻(S01 等)

(二)由 SDSS 線上資料庫下載星系數據並統整

二、探討星系顏色、亮度與紅移的關係

(一)探討星系顏色與亮度的關係

1. 蒐集同一星系團的星系顏色與亮度繪圖
2. 蒐集全天的星系顏色與亮度繪圖
3. 與 S01 的 g^* 對 u^*-r^* 作比較

(二)探討星系顏色與紅移的關係

1. 以星系顏色及紅移繪圖
2. 與 S01 內容作比較並發現與其所提出之偏藍色星系族群演化之假說不符

(三)探討星系紅移與亮度的關係並驗證 S01 之假說

1. 以星系紅移與亮度繪圖
2. 推測可能造成與其假說不符的原因

(四)發現星系顏色、亮度與紅移三者間的關係

(五)探討天體紅移對星系顏色的影響

1. 引入對紅移造成效果的修正項(K-correction)¹並設立誤差上限
2. 繪製已修正星系顏色與亮度之散佈圖、作回歸曲線並與未修正星系顏色時的圖作比較
3. 利用不同波段的亮度對已修正及未修正星系顏色作折線圖並分析其趨勢

¹ K-correction 的概念為對照已知星系光譜樣本(template)，將對遠距星系做測光觀測(photometry)所量到各濾鏡的星等，反推回該星系在靜止座標系時於各個濾鏡所觀測的波段之光度。

研究方法

一、影響星系顏色與光度的因素討論

(一)研究要點

了解影響星系顏色的因素

(二)研究步驟

- 1.上網搜集、閱讀資料並對 S01 中所提之亮度、距離等影響星色因素產生興趣
2. 整理、歸納資料並討論這些數據背後的物理意義

二、星系團內組成及其分類

(一)研究要點

觀測大質量星系團，驗證 SDSS 可觀測到已知的星系顏色與光度關係

(二)研究步驟

1. 在 SDSS 的網站上尋找星系團區域的圖片，我們選擇分析 Abell 426、Abell 1656 兩星系團資料
2. 收集並彙整星系團區域內的星系其在 u 、 r 兩個濾鏡下的星等。
3. 以 u^* 為橫軸表示亮度、 u^*-r^* 為縱軸表示顏色製圖。 u^*-r^* 的數值越大代表該星體顏色越偏紅，反之顏色越偏藍。
4. 分析同一星系團中的星系在顏色與亮度的關係

三、資料的搜集與準確性的驗證

(一)研究要點

1. 學習撰寫 SQL 程式語言，利用網路資料庫以取得所需的數據(表二)、(表三)
2. 將 Dr. Iskra Strateva 等人發布之論文(Strateva et al. 2001；以下簡稱 S01)中的圖，與我們重新蒐集、繪製的圖進行對比，以驗證我們所蒐集資料的可靠性及研究流程的可重複性(表五)

(二)研究步驟

1. 利用 SQL 程式語言搜尋我們所需的星系條件
2. 將搜索出的星系依照 S01 的圖進行繪製
3. 以 u^*-r^* (顏色)為橫軸、 g^* (亮度)為縱軸製圖，以驗證資料收集的正確

表三 所需的搜索條件

顯示前一百萬筆資料。資料內容包含

1. 光譜資料表(specobj)中的紅移
2. 光學影像資料表(photoobjall)中的 u 濾鏡下星等、g 濾鏡下星等、r 濾鏡下星等、天體類型、赤經、赤緯
3. photoobjall 表中的 u 濾鏡下星等減 photoobjall 表中的 r 濾鏡下星等
4. 刪除紅移有問題的數據

所有資料數據可由 specobj, photoobjall 兩個表中取得，條件:

1. u 濾鏡下視星等、g 濾鏡下視星等、r 濾鏡下視星等皆要大於 0
2. g 濾鏡下星等要小於 21
3. r 濾鏡下星等小於 17.77 (為原光譜巡天選擇天體的條件)
4. 光學影像天體類型代碼為 3 (影像中天體被分類為星系)
5. 紅移的數據為正常
6. 光譜數據天體分類代碼為 2 (光譜中天體被分類為星系)
7. 比對同時存在於光學影像及光譜數據中星系的代號

表四 SQL 搜索條件(表三轉換而來)

```
Select top 1,000,000  
specobj.z as z,  
photoobjall.u as u,  
photoobjall.g as g,  
photoobjall.r as r,  
photoobjall.type as type,  
photoobjall.ra as ra,  
photoobjall.dec as dec  
photoobjall.u - photoobjall.r as "u-r",  
zWarning as Zwarning  
  
From  
specobj, photoobjall  
  
Where  
photoobjall.u > 0 and  
photoobjall.g > 0 and  
photoobjall.r > 0 and  
photoobjall.g < 21 and  
photoobjall.r < 17.77 and  
photoobjall.type = 3 and  
zWarning = 0  
specobj.specClass = 2 and  
specobj.bestobjid = photoobjall.objid
```

四、驗證 S01 提出之假說

(一)研究要點

了解 S01 如何對測光影像中所觀察到的星系的距離做假設，以及如何利用該假設以及觀測到的星系顏色推論星系演化。

(二)研究步驟

1. 將蒐集的星系資料進行 g^* 與 z 關係的分析
2. 比較以 u^*-r^* 為橫軸、 z 為縱軸製圖，並與 S01 分析結果作比較
3. 因 u^*-r^* vs g^* 與 u^*-r^* vs z 的圖表分析有所差異，所以進一步再將紅移值分為不同的區間進行討論，同時分析星系個數上的差異

五、加入修正紅移後的數據分析

(一)資料蒐集

1. 研究要點

- (1)了解 specobj 以及 photoZ 兩表中所提供的紅移校正資料
- (2)以 SQL 進行資料的重新搜索，取得 K-correction 等資料(表四)

2. 研究步驟

- (1)利用網路資料庫以取得 K-correction 數據並新增加入誤差校正的條件
- (2)繪出不同限制範圍的資料天區圖且紀錄資料數目
- (3)比較並選定最適宜的資料範圍以利後續研究

(二)繪圖、比較及提出論點

1. 研究要點

- (1)藉由修正後的數據，進行星系各項參數的討論
- (2)找到在不同亮度下最適合區分偏紅、偏藍星系的分界

2. 研究步驟

- (1)繪製未經修正後的 u^*-r^* 對 g^* 的散佈圖
- (2)繪製已經修正後的 u^*-r^* 對 g^* 的散佈圖
- (3)在圖中點出不同 g^* 區間下偏藍、偏紅星系的峰值及谷值
- (4)比較分析，找出偏藍、偏紅星系最適合的分界線

(三)分析數據並驗證論點

1. 研究要點

藉由分析不同波段的 g^* 進一步驗證偏藍、偏紅星系最適合的分界線

2. 研究步驟

- (1)繪製未經 K-correction 修正後的 u^*-r^* 為橫軸，縱軸為個數，並區分亮度 g^* 的範圍
- (2)繪製經 K-correction 修正後的 u^*-r^* 為橫軸，縱軸為個數，並區分亮度 g^* 的範圍
- (3)將上述兩張圖進行比較及分析

表五 數據

所需的搜索條件	SQL 搜索條件
<p>顯示前 150 筆資料</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>photoZ</i> 資料表中已作紅移修正的 u、g、r 三濾鏡下的星等 • 光譜資料表 <i>specobj</i> 中的紅移 • 光學影像資料表 <i>photoobjall</i> 中的 u 濾鏡下星等、g 濾鏡下星等、r 濾鏡下星等、天體類型、赤經、赤緯 • <i>photoobjall</i> 表中的 u 濾鏡下星等減 <i>photoobjall</i> 表中的 r 濾鏡下星等 • <i>photoobjall</i> 表中的 u 濾鏡下星等減 <i>photoZ</i> 表中的已作修正的 u 濾鏡下星等 <i>photoobjall</i> 表中的 r 濾鏡下星等減 <i>photoZ</i> 表中的已作修正的 r 濾鏡下星等 上述兩者在相減，得出經過紅移修正的 u 濾鏡下星等減 r 濾鏡下星等 • <i>photoZ</i> 中已經有的修正紅移 u 濾鏡下星等減 g 濾鏡下星等、g 濾鏡下星等減 r 濾鏡下星等 • 由 <i>photoZ</i> 的修正紅移 u 濾鏡下星等減 g 濾鏡下星等、g 濾鏡下星等減 r 濾鏡下星等相加得 u 濾鏡下星等減 r 濾鏡下星等 <p>資料數據來源 <i>specobj, photoobjall, photoZ</i> 三個資料表</p> <p>條件:</p> <ul style="list-style-type: none"> • u 濾鏡下視星等、g 濾鏡下視星等、r 濾鏡下視星等皆要大於 0 • r 濾鏡下星等小於 17.77 • g 濾鏡下星等要小於 21 • 光學影像天體類型代碼為 3 (尋索星系) • 光譜數據天體分類代碼為 2 (尋索星系) • 天體必須同時存在於 <i>specobj</i>、<i>photoobjall</i> 及 <i>photoZ</i> 三表中 • 紅移的數據為正常 	<pre> Select top 150 photoZ.kcorrU as k_u, photoZ.kcorr_G as k_g, photoZ.kcorr_R as k_r, specobj.z as z, photoobjall.u as u, photoobjall.g as g, photoobjall.r as r, photoobjall.type as type, photoobjall.ra as ra, photoobjall.dec as dec, photoobjall.u - photoobjall.r as "u-r", photoobjall.u - photoZ.kcorr_U - photoobjall.r + photoZ.kcorr_R as "(u-k_u)-(r-k_r)", zWarning as Zwarning, photoZ.rest_ug as re_ug, photoZ.rest_gr as re_gr, photoZ.rest_ug + photoZ.rest_gr as "rest_ur From specobj, photoobjall, photoZ Where photoobjall.u > 0 and photoobjall.g > 0 and photoobjall.r > 0 and photoobjall.r < 17.77 and photoobjall.g < 21 and photoobjall.type = 3 and specobj.specClass = 2 and specobj.bestobjid = photoobjall.objid and photoZ.objid = photoobjall.objid and zWarning = 0 </pre>

伍、研究結果

一、 影響星系顏色的因素討論

(一) 外觀幾何形狀

依照星系碰撞融合假說推論質量大的星系演化階段越晚期，顏色越紅，並應為橢圓狀星系。大質量的星系是由眾多小質量的星系團相撞後融合而成。在相撞前，小質量的星系有大量的氣體，呈現扁平並具有懸臂狀的結構。其中部分氣體可能在與星系之間介質的交互作用中被脫去。當星系相撞時，相撞星系的氣體受到壓縮，在短時間內形成大量的新恆星，使得氣體快速被耗用殆盡。在此之後星系因氣體缺乏，將難以再形成新的恆星。在大量相撞過程的干擾後，星系不再有精細的結構而呈現橢圓。橢圓星系自然包含數量最多的恆星，因此光度較亮。

依前述假說，因其不再形成短命的大質量恆星，其色澤偏紅。於是我們可以猜測，質量大的星系，是歷經了較多的碰撞融合及較長的演化，並擁有較多數量的恆星而有總光度較大的現象。於是科學家認為，星系團中光度愈大的星系，其位於演化階段較晚期，顏色較紅，並應為橢圓狀星系。

(二) 紅移效應

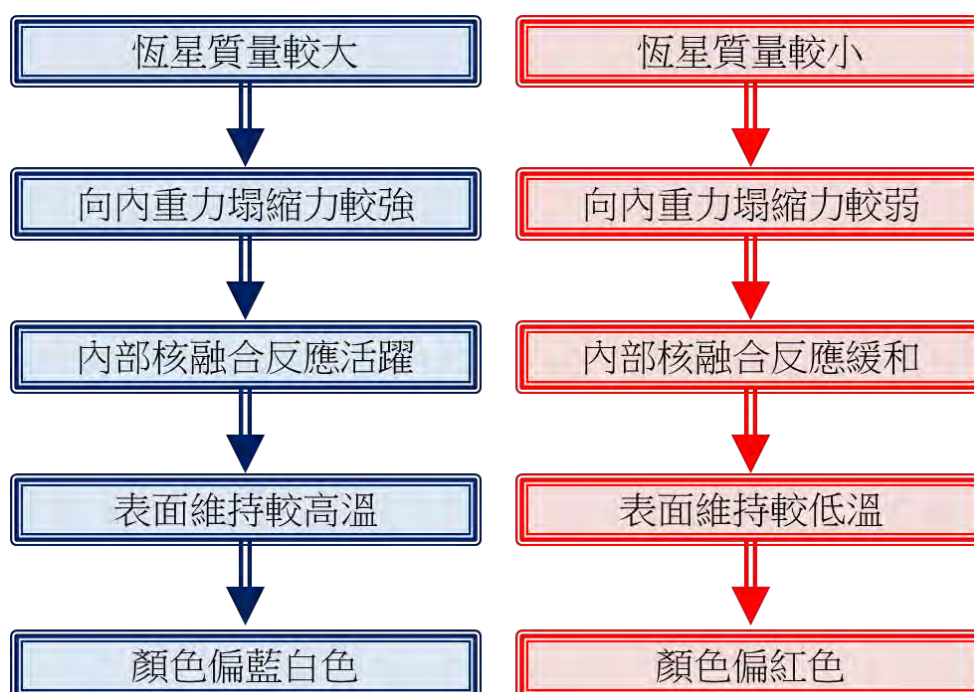
都卜勒效應在解釋當波源相對於觀察者進行相對運動時，其發出波之波長會與觀察者接收到的波長不同。波源若逐漸遠離觀察者，則觀察者所接收到的波長會較原先發出波長來的長；若波源逐漸接近觀察者，則觀察者所接收的波長會較波源發出的波長短。若在宇宙中，星體遠離則稱為紅移。

目前宇宙正在膨脹，就是經由紅移所測得的，而哈伯定律就是宇宙膨脹論的主要基礎。哈伯定律是由艾德溫·鮑威爾·哈伯 (Edwin Powell Hubble) 提出。根據哈伯定律，可以解釋星系的距離越遠，遠離的速率會越快(距離和遠離的速率成正比)。因此我們也可以藉由光譜紅移來測得星體遠離的速率。

(三) 星系中恆星組成

星系中含有大量恆星，在可見光觀測中呈現的顏色即為同時觀測星系內部所有恆星合成光譜的顏色。恆星的顏色與其質量大小及內部核融合反應有關係。恆星藉由核融合產生的熱與輻射壓力來抵抗重力塌縮，並達成平衡，進而影響其表面溫度及顏色(圖二)。若星系中大質量的恆星較豐富，因為大質量恆星偏藍，所以整個星系顏色為偏藍，反之則偏紅。由於大質量恆星壽命極短，通常僅分佈於正在活躍形成恆星的系統。

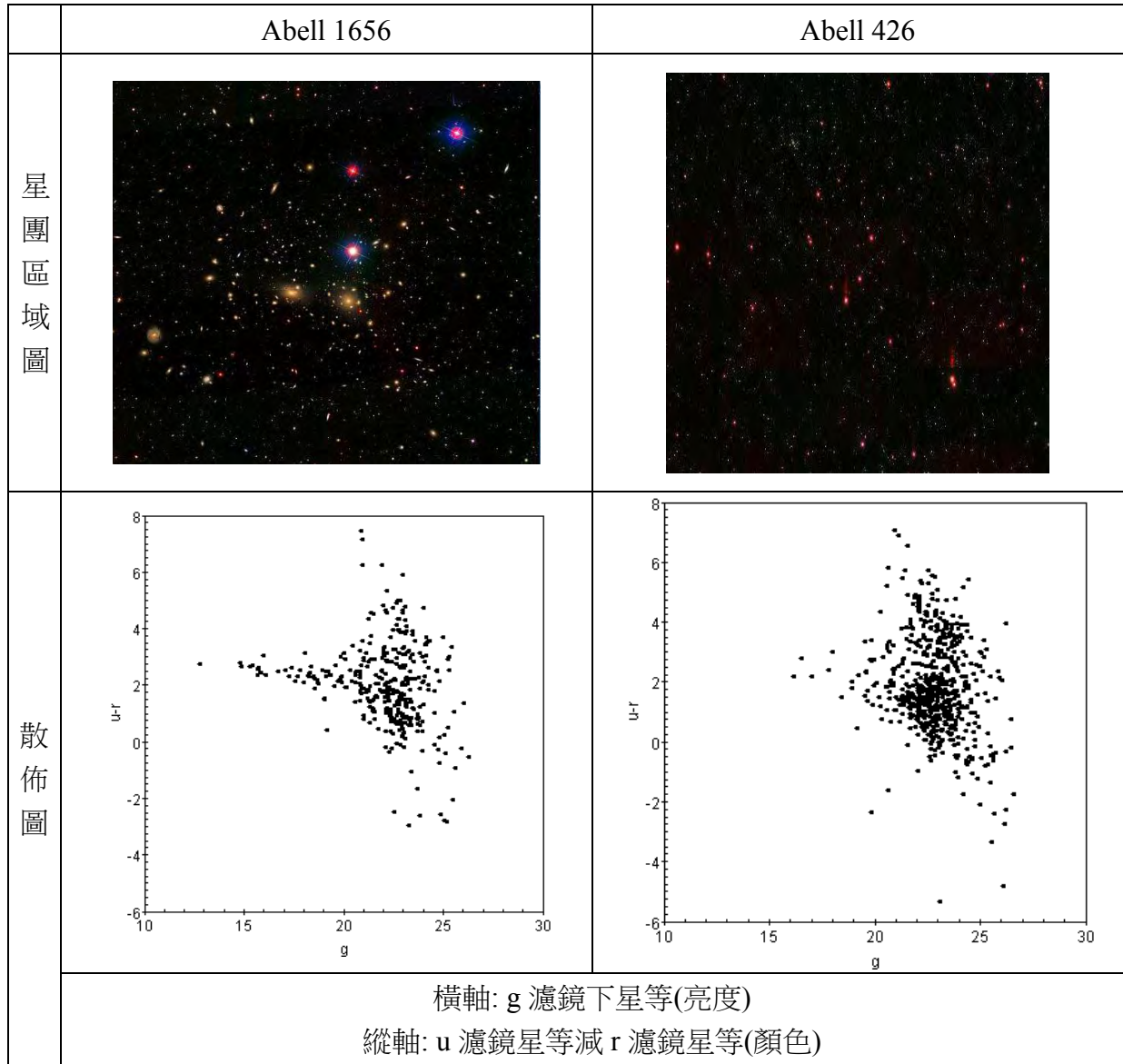
圖二



二、 星系團內組成及其分類

我們將兩個星系團各自的星系團涵蓋區域圖及最後的散佈圖並列呈現做個比較。(表六)

表六 星系團分類

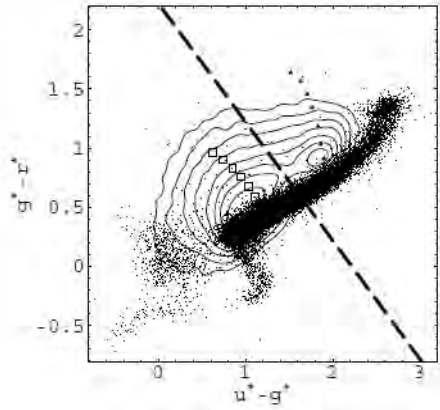
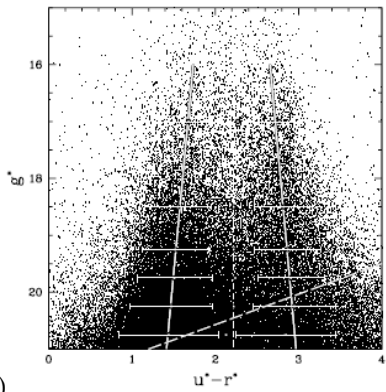
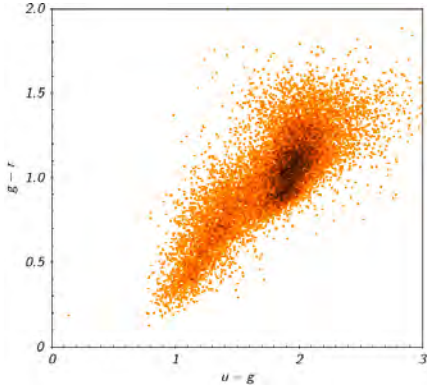
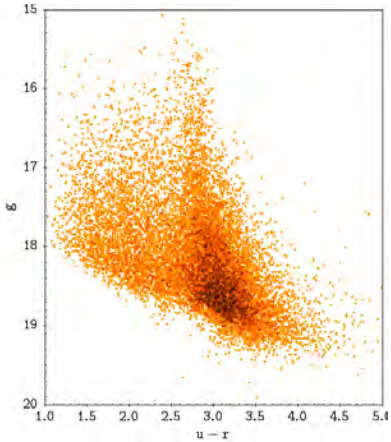


從表六兩張散佈圖中都可以看出一個顏色與亮度間的關係趨勢: 同為星系團成員的星系都呈現越紅($u-r$ 數值越大)越亮(g 數值越小)、越藍($u-r$ 數值越小)越暗(g 數值越大)的趨勢。

三、 資料的搜集與準確性的驗證

我們搜索出的資料有 573,688 筆資料，針對此進行製圖，並比對。(表七)

表七

	顏色	顏色與亮度
橫軸	u 濾鏡下亮度減 g 濾鏡下亮度 (數值越大越紅)	u 濾鏡下亮度減 r 濾鏡下亮度 (數值越大越紅)
縱軸	g 濾鏡下亮度減 r 濾鏡下亮度 (數值越大越紅)	g 濾鏡下亮度 (數值越大越暗)
S01		 (圖 A)
本研究		

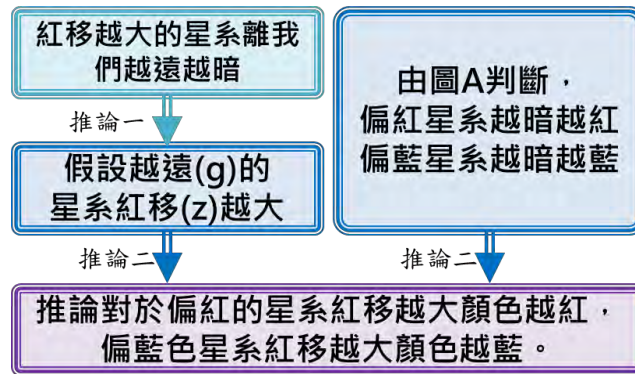
- (一)從我們畫出的圖中與論文中的圖做比較，可以發現類似的趨勢。也可得知我們的搜索數據與 S01 所分析的資料相同，可進行後續的分析討論。
- (二)在顏色與亮度的圖中有兩個明顯的高峰。位於左側高峰的星系可稱為偏藍的星系群、位於右側高峰的星系可稱為偏紅的星系群。
- (三)從顏色與亮度的分布趨勢中可得偏紅的星系群越暗越紅，偏藍星系群越暗越藍。

因為離我們紅移越大的星系會離我們越遠且星系會越暗，且由表七顏色與亮度中可以看出偏紅的星系中，越暗越紅，而偏藍星系中越暗越藍。因此 S01 假設越遠(g^* 越大)的星系，紅移(z)越大，並從表七的顏色與亮度中推論出，對於偏紅的星系紅移越大顏色越紅，偏藍星系紅移越大顏色越藍，還進而推論解釋高紅移且顏色偏藍的星系族群，其恆星形成較活躍，多新生成大質量的恆星使得星系整體色澤趨藍。但是對於此項推論我們抱持懷疑的態度。

四、驗證 S01 假說

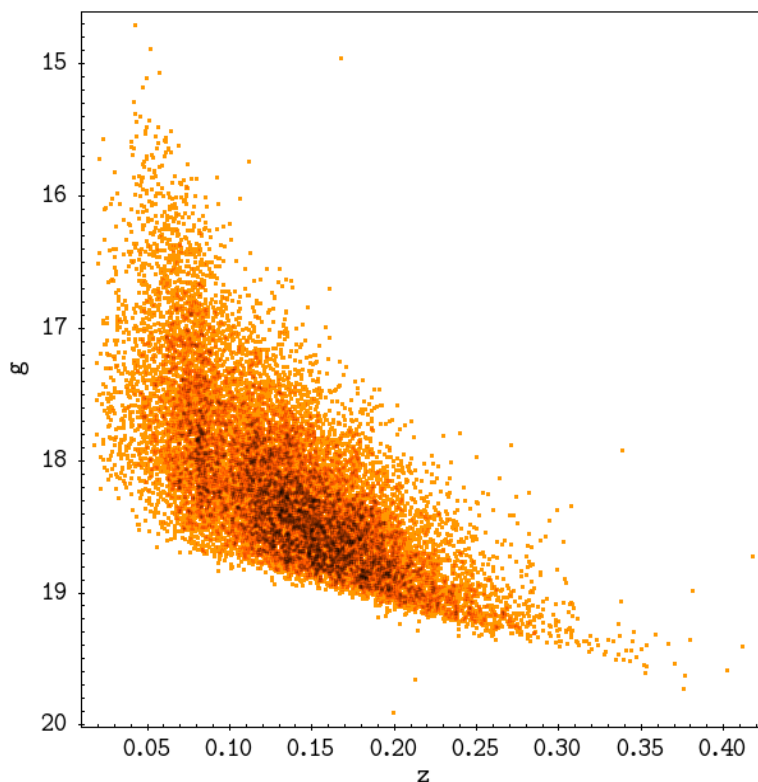
(一) S01 假設邏輯 (圖三)

1. 因紅移越大的星系離我們越遠且會越暗，因此假設越遠(g^* 越大)的星系，紅移(z)越大。
2. 且由表六推斷:偏紅的星系越暗則越紅，而偏藍星系越暗則越藍。
3. 所以推論對於偏紅的星系紅移越大顏色越紅，偏藍星系紅移越大顏色越藍。



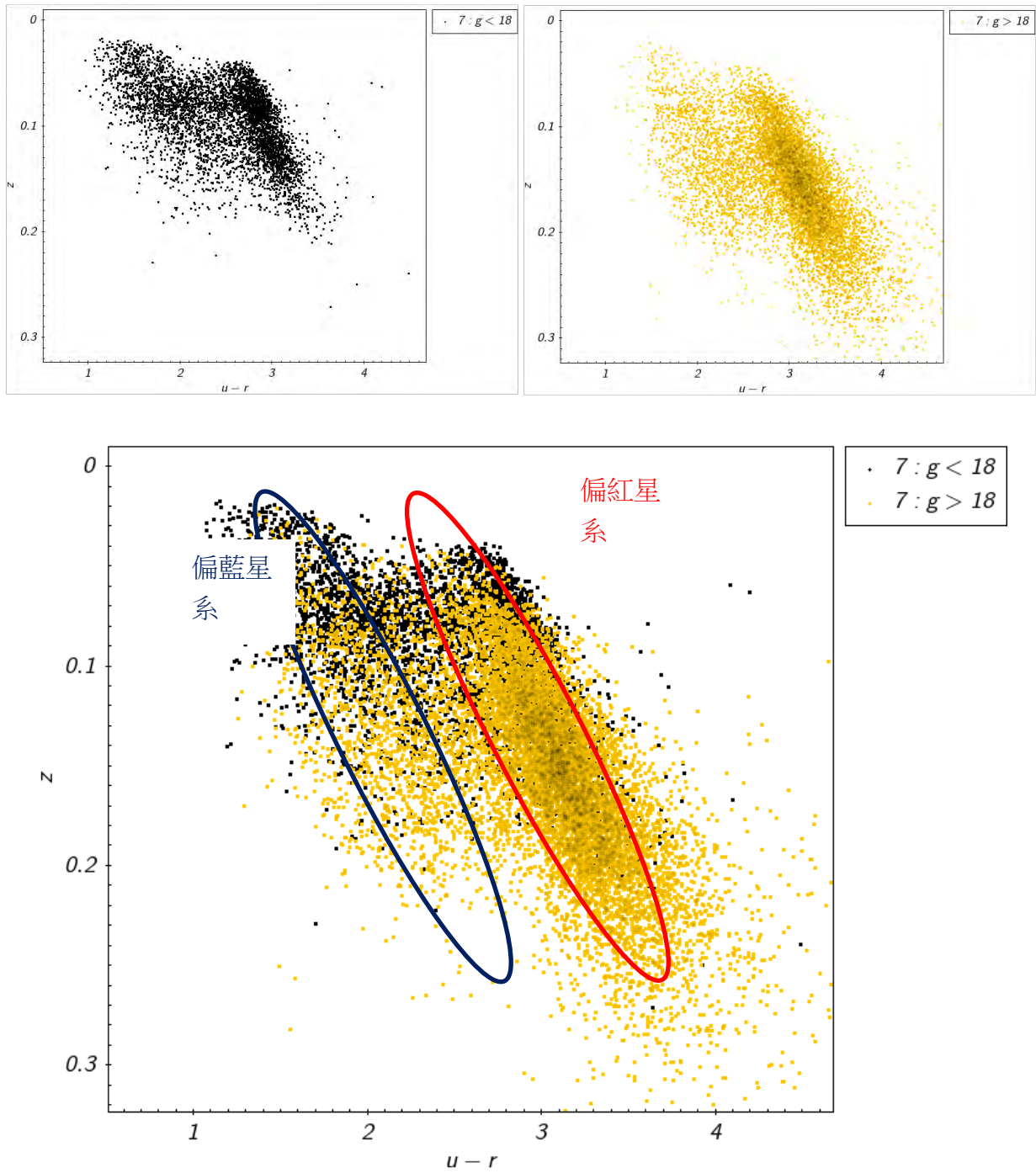
圖三

- (二) 我們繪製以 g^* 為橫軸、 z 為縱軸的圖(圖四)。可以發現 g^* 與 z 僅上界有良好的相關性，其餘則不明顯。而在上界所顯示的相關性則可能也是由於觀測限制所造成的偏頗現象。故 S01 假設 g^* 愈大的星系紅移愈大是有偏差的。



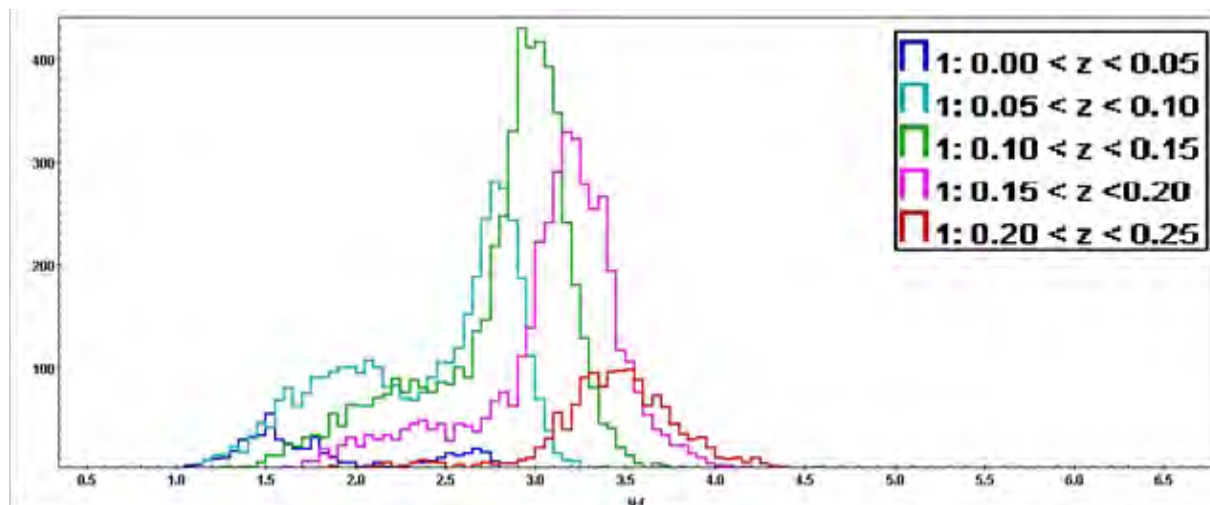
圖四

(三)我們進一步將表六顏色與亮度圖的雙軸(u^*-r^* vs. g^*)替換成以 u^*-r^* 為橫軸、 z 為縱軸製圖，結果我們獲得如下圖五。



圖五 上圖左右分別已 $g^* < 18$ 及 $g^* > 18$ 的星系的 u^*-r^* 顏色對紅移 z 作圖。下圖合併比較這兩部份的星系樣本。

(四)我們發現繪製獲得的圖五與表七「顏色與亮度圖」中雙峰分布趨勢並不相同。分析 $r^* < 17.77$ 的星系光譜樣本獲得的結果與 S01 推論不相符。所以我們針對在不同紅移情況下，偏藍與偏紅星系的數量與狀況做更進一步驗證。(圖六)

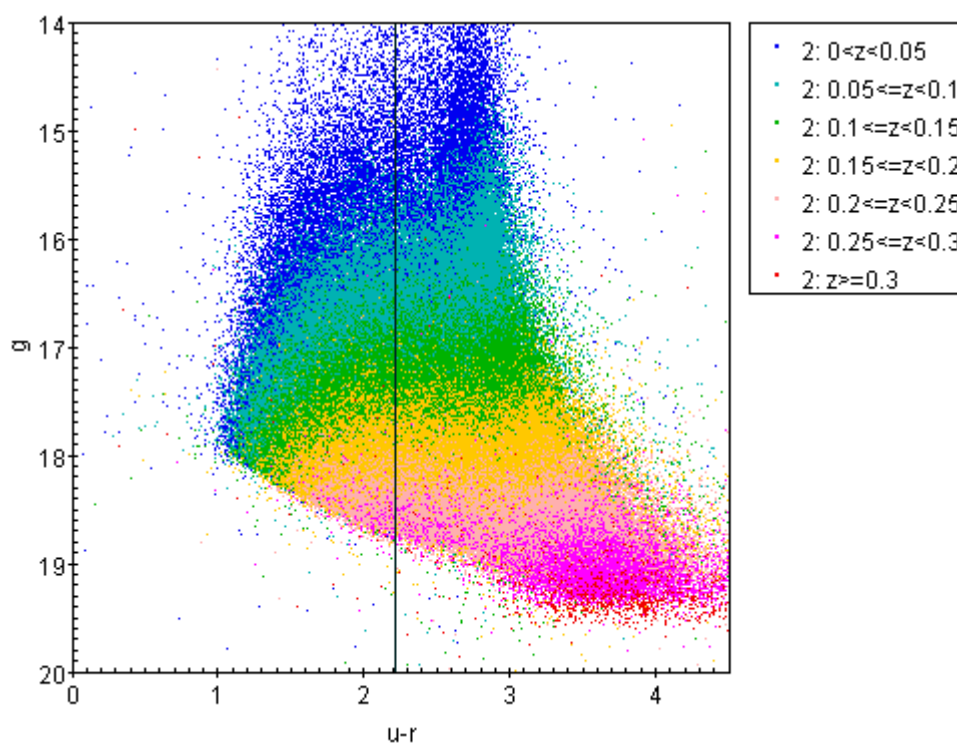


圖六

(五)從圖六中可以發現:

1. 深藍色、淺藍色的曲線中都有兩個高峰，也就是 S01 文中所指稱的偏紅及偏藍兩大星系分類。
2. 可觀察到在我們取得的 $r^* < 17.77$ 的星系光譜樣本中，偏紅及偏藍的星系群都有紅移越大越向圖的右側分布的趨勢，而此代表其是越偏紅的趨勢。

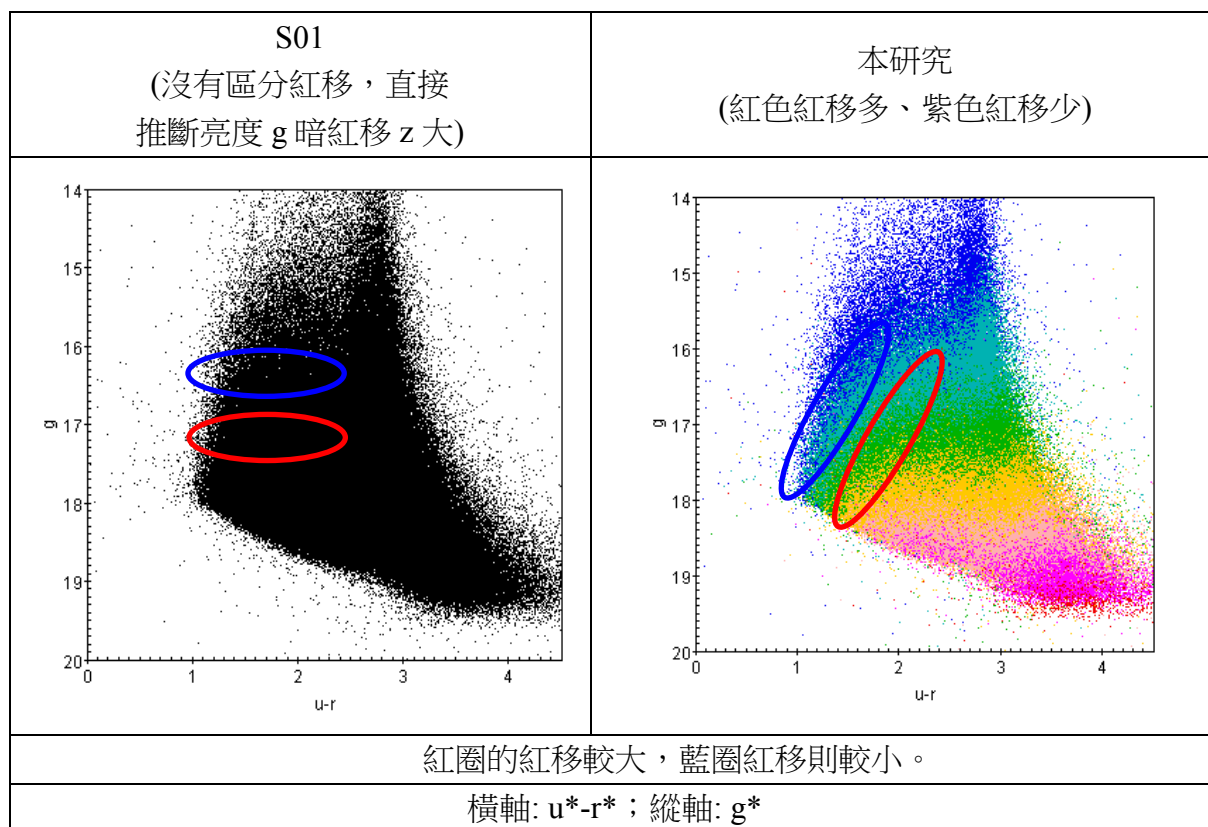
(六)我們將星系資料以紅移重新區分後，以 $u^* - r^*$ vs. g^* 再次作圖分析。(圖七)



圖七

1. 圖七結合了前面的圖(圖四、圖五、圖六)，可以看到同一紅移區間的數值點(也就是顏色相同的點)有越紅(u^*-r^* 越大)越亮的趨勢，也與星系團組成及其分類的結果-單一星系團中顏色與亮度的相關趨勢互相呼應。
2. 從不同紅移數據的分布趨勢可以得出有紅移越大，越偏紅的趨勢。

(七)與沒有紅移的數據比較(表八)



表八

(八)由於 S01 研究當時光譜巡天尚未完成，因此無法將數據點依紅移大小做分類，因此他們認為在偏紅星系中紅移越大顏色越偏紅，偏藍星系群中紅移越大顏色會越偏藍；我們所取得的星系光譜樣本則不論藍色星系還是紅色星系，都是星系越暗、紅移越大，結果皆越紅。(表八)

(九)在以上討論中，星系的顏色本身都包含有紅移的效應，而紅移也是影響星系顏色的重要因素。所以我們再接下來的研究會使用去除紅移的星系資料(以下稱 K-correction)，以求星系的顏色僅受其距離遠近、本身內部組成亮度的影響，以便更加深入探討在無紅移影響下，星系顏色與亮度的關係。

五、加入修正紅移後的數據分析

(一) 資料蒐集: K-correction 的取得

1. 從 SDSS 資料庫提供了利用星系模型對光學影像資料擬合測得的 K-correction 修正項，以及擬合度最高的星系影像模型在靜止座標系下測得的顏色及光度。本研究利用資料庫所提供的 K-correction 項初步分析修正後的星系顏色及光度(見表九)

表九

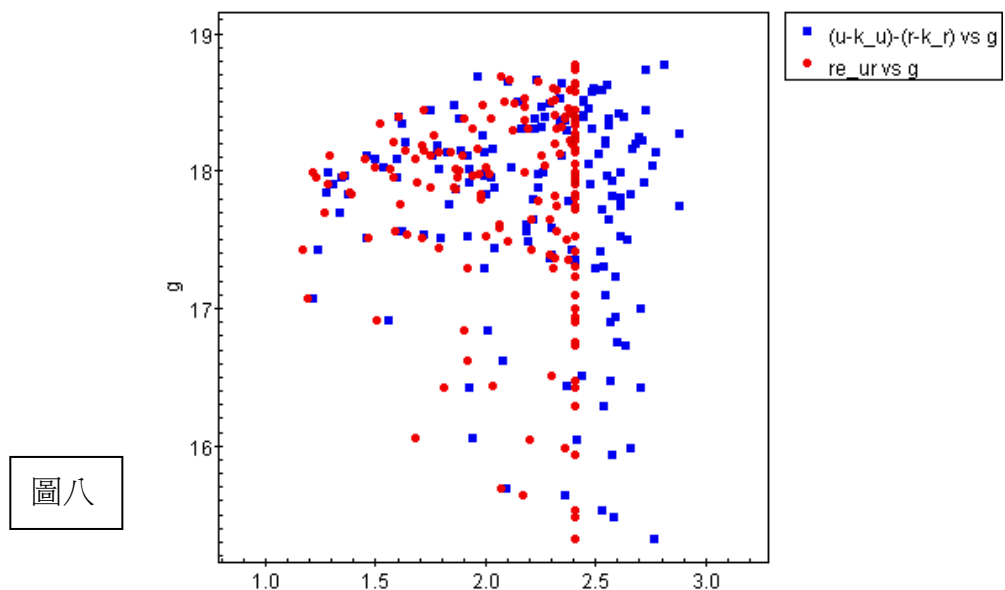
	資料取得形式	提供數據資料
photoZ	光子	K-correction 修正值(k_u)、經 K-correction 修正後的顏色值(re_ur)、紅移值
Photoobjall	光子	各濾鏡視星等(u*)
Specobj	光譜	紅移值(本研究所使用的 z 值來源)

2. specobj 修正紅移的方法是由積分光譜線來進行推算以去除紅移差距。
3. 從 photoobjall 取得的各濾鏡視星等(u*, g*, r*)是已包含紅移效應的結果，故若要將紅移效應所造成的各濾鏡星等變化移除，則可利用下方公式進行修正:

$$M(\text{修正後的視星等}) = m(\text{觀察的原視星等}) - K_{\text{corr}}$$

以 u 波段下的星等為例，修正紅移效應後的星等則是(u*-k_u)。

4. 利用觀測所得的視星等減去 K-correction 修正項及距離的效應所求得的靜止座標系星系顏色及光度，與 SDSS 資料庫所提供擬合度最高的星系影像模型之顏色及光度，雖有不同，但我們預期兩者應該會相似，誤差不會太大。所以我們僅取 150 筆資料，分別以(u*-k_u)-(r*-k_r)及 re_ur 對 g*作圖，並將兩圖疊合(圖八)。
5. 從圖八中可看出，我們取得的兩種 K-correction 資料有所誤差，且誤差都不相同。



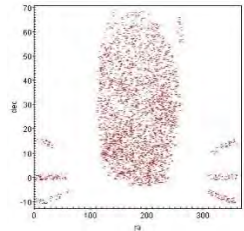
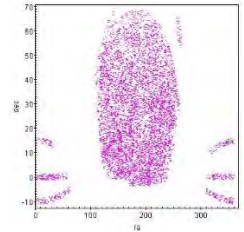
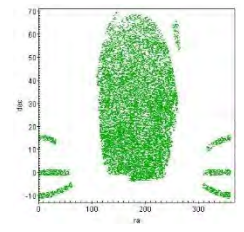
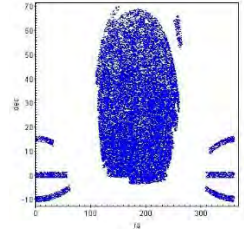
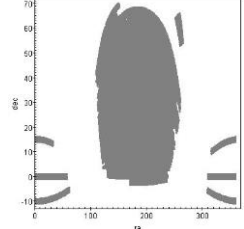
圖八

所以我們在資料搜索條件中加入誤差的限制: $\text{abs}(\text{photoZ.z} - \text{specobj.z}) < (\text{specobj.z} * 0.005)$ ，意即 photoZ.z 和 specobj.z 中的數值差異要小於 specobj.z 測量值的 0.005 倍，以此來做校準，0.005 代表的是容許的誤差值。

6. 我們用不同的誤差值來搜索資料，得到的數據資料數目以及資料天區分布如下。

(表十)

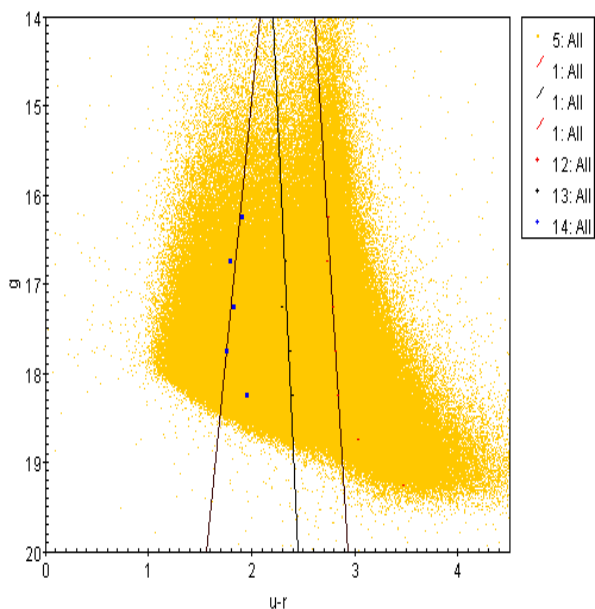
表十

誤差 上限	搜索條件	資料數	資料天區分布
0.001	$\text{abs}(\text{photoZ.z} - \text{specobj.z}) < (\text{specobj.z} * 0.001)$	3206	
0.002	$\text{abs}(\text{photoZ.z} - \text{specobj.z}) < (\text{specobj.z} * 0.002)$	6288	
0.005	$\text{abs}(\text{photoZ.z} - \text{specobj.z}) < (\text{specobj.z} * 0.005)$	15487	
0.01	$\text{abs}(\text{photoZ.z} - \text{specobj.z}) < (\text{specobj.z} * 0.01)$	30982	
無	無	573684	

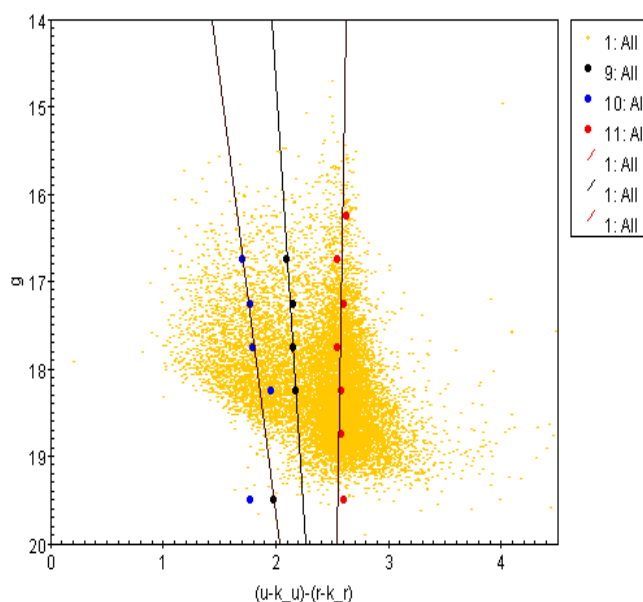
7、從表十中可看出，限制越嚴苛、數據的誤差縮小的情況下，會因此少掉大量的數據。但因為考量數據分析可信度的問題，所以在我們後續的研究多以誤差值在 0.005 以內的數據來做考量。

(二) 繪圖、比較及提出論點

1. 因為經過 K-correction 後的數據已經沒有受到紅移的影響，所以我們先觀察在 K-correction 前後亮度與顏色的影響。我們繪製兩張散佈圖。圖九以「 u^*-r^* 」為橫軸，沒有經過 K-correction 修正前的 g 為縱軸；圖十則以「 $(u^*-k_u)-(r^*-k_r)$ 」為橫軸、 g 為縱軸繪製散佈圖。再將表十一及表十二中不同範圍 g 下，偏藍偏紅星系的峰值以及谷值，分別點在圖九、圖十上，並將所有點連起來，觀察三條線的趨勢。



圖九



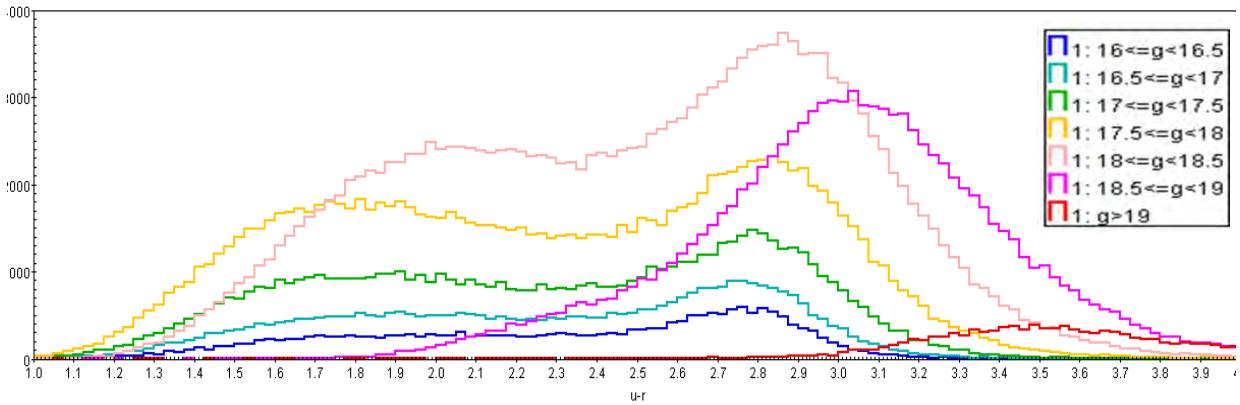
圖十

- (1) 圖九的三條直線與我們於研究二中得知的趨勢(偏紅星系越暗越紅，偏藍星系越暗越藍)相似，而由圖十，可以發現偏紅星系族群的那一條線，近乎垂直，沒有太多偏斜。
- (2) 我們將不同波段下的峰值、谷值連線時，並沒有取用 $g^*>19$ 的點。因為我們在那個範圍中的星系數據不足，並沒有將其列入討論範圍內。
- (3) 因為圖十中的直線近乎垂直，所以證明 K-correction 的修正項有一定的效果，我們欲更進一步分析這個現象。

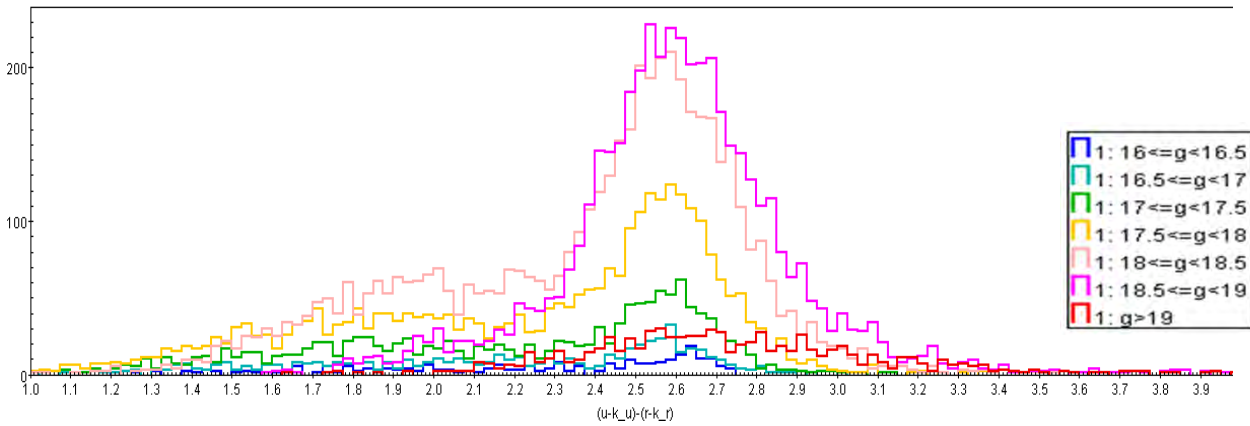
(三) 我們以不同範圍的 g^* ，以 u^*-r^* 和 $(u^*-k_u)-(r^*-k_r)$ 為橫軸，個數為縱軸繪圖，並比較。

(表十一)、(表十二)

表十一



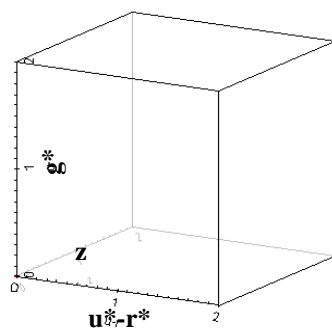
表十二



1. 我們發現星系的顏色會受距離與紅移的影響。
2. 在不同區間的 g^* 下偏紅與偏藍星系高峰所對應的 u^*-r^* 數值(表十一)，可能因尚未進行修正，數值大致呈現偏紅星系隨著亮度越大、越暗，則顏色越偏紅；偏藍星系亮度越大、越暗，則顏色會偏藍的趨勢。
3. 經修正後的數據(表十二)隨著 g^* 的改變，兩峰峰值似乎不隨亮度變動。
4. 結合(表十一)、(表十二)以及(圖九)、(圖十)可以發現若要在未修正 K-correction 的狀況下區分偏藍和偏紅星系兩族群，期峰谷連線為一斜直線；而在修正過後區分兩星系族群的鉛直線大約等於 $u^*-r^*=2.22$ 。

陸、討論

- 一、星系因形成及演化過程，本身性質具有顏色與亮度的相關性，但觀測結果亦受到距離及紅移的效果所影響。因此，觀測所得的星系顏色、亮度及紅移，此三者還環環相扣相互影響，此關聯性可以空間三軸的方式來表示(圖十一)。在進行分析時，要考慮此三者的關係，才能得到最全面的結果。

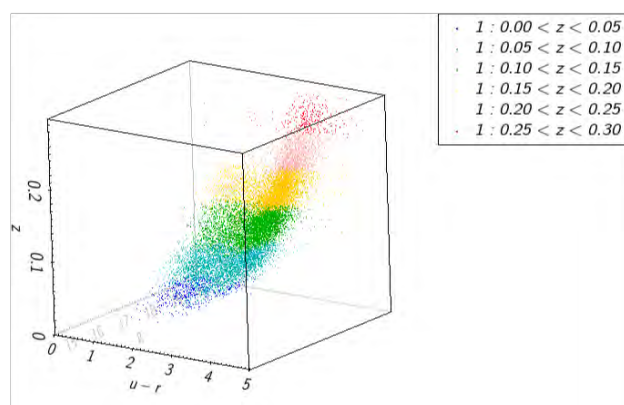


圖十一

空間中的分布		投影至顏色、亮度平面	
A		B	
投影至紅移、顏色平面		投影至紅移、亮度平面	
C		D	

表十三

- 二、在星系團的組成及分類中，我們分析在同一星系團中的星系。因為這些星系屬於同一個星系團，彼此間的紅移差異相差不大，因此可以忽略。所以我們進行分析時，可以直接分析顏色(u^*-r^*)及亮度(g^*)的關係。所畫出的圖，即是星系在空間中的分布投影到 g^* 與 u^*-r^* 平面上的(表十三 B)。而這也與資料蒐集的驗證與前人研究的比對有所呼應。
- 三、資料蒐集的驗證與前人研究的比對中我們發現 S01 的推論與我們所做出的結論會有所出入是因為依星系團的組成及分類、資料蒐集的驗證與前人研究的比對的討論知實際上星系顏色與光度及紅移皆有相關性。S01 並未考慮星系顏色與光度間的相關，而誤解偏藍星系族群亮度愈暗顏色愈藍的趨勢為高紅移的星系恆星形成較為活躍的效果。經由以星系顏色對紅移直接作圖，我們可初步排除套用 S01 中偏紅的星系紅移越大顏色越紅，偏藍星系紅移越大顏色越藍的推論來詮釋我們的星系光譜樣本的可能性。
- 四、資料蒐集的驗證與前人研究的比對中我們所繪出的紅移圖中，可以發現紅移區間越大，其雙峰的趨勢會漸不明顯。而我們在搜索資料點時，相較於 S01 而言多收集了紅移區間位於 0.4 到 0.5 的數據，以便能更明顯的觀察紅移的狀況，所以我們也能發現在 $0.3 < z < 0.4$ 和 $0.4 < z < 0.5$ 的這兩條線幾乎沒有雙峰，而這與 S01 發現紅移小於 0.3 的星系可區分為顏色偏紅及偏藍的兩個獨立族群相符，但此分布在 z 大於 0.3 以上則有待商榷。
- 五、從我們所繪出圖七，從中分析相同顏色的數據點，亦即紅移相同的數據，發現是呈右上至左下的排列，也就是越紅的星系會越亮。我們以空間來表示，如圖十二可以更明顯的觀察。此結果與我們在星系團的組成及分類研究的結果相符。而我們在資料蒐集的驗證與前人研究的比對中所使用的數據點是全天星系的數據，因此結果與星系團的組成及分類的結果相符，因此我們可以推論，在單一星系團中的星系間趨勢，亦呈現於以全天星系所作的圖。



圖十二

- 六、在加入修正紅移後的數據分析研究中，我們自行修正所取得的色指數 $(u^*-k_u)-(r^*-k_r)$ 與 photoZ 資料庫中所提供的 re_{ur} 有所偏差，且此偏差並不固定。我們認為上述誤差乃因 specobj 所套入的公式模型，僅為一個大概，所以會造成誤差。
- 七、在加入修正紅移後的數據分析研究中，我們對不同範圍的 g^* 繪圖，發現隨著 g^* 增加，偏藍、偏紅星系的分界線也左移。我們推測是偏藍星系都距離我們較遠，所以在去除星體本身紅移之後，還是存在因距離遠而產生的偏紅現象。

柒、結論

一、影響星系顏色與光度的因素討論

影響星系最主要的有星系外觀形狀、內部組成恆星質量、紅移效應三者最為主要。

二、星系團的組成及分類

(一) 單一星系團中的星系有越紅越亮的趨勢

(二) 類似於由對單一星系團所觀察到的顏色-亮度相關趨勢亦可在用全天星系為樣本所做的統計中觀察到。

三、資料蒐集的驗證與前人研究的比對

(一) 論文中提出的假設「紅移越大顏色越偏紅，偏藍星系群中紅移越大顏色會越偏藍」不完全正確。

(二) 我們所取得的 $r^* < 17.77$ 星系光譜樣本不論是偏紅或偏藍星系群都是紅移越大顏色越紅。該星系光譜樣本可充分代表 S01 中分析的樣本中的亮度較亮的子集合。由此可知 S01 中的推論不完全正確。然其較暗的子集合顏色及亮度隨紅移的變化仍有待進一步的觀測分析。

四、加入修正紅移後的數據分析

(一) 辨別星系的顏色應該隨著不同紅移而調整分隔偏紅及偏藍星系的分界線。

(二) 隨著星系的亮度減暗(g^* 變大)，分界線應該往偏藍的方向移動。

(三) 若使用的是有修正紅移的數據，則區分偏藍偏紅星系則能以修正過後 $u^*-r^*=2.22$ 的線來做界線。

捌、參考資料及其他

- 一、Iskra Strateva (2001). *The Astronomical Journal*,122: 1861-1874,2001October*Color Separation Of Galaxy Types In The Sloan Digital Sky Survey Imaging Data*
- 二、**Sloan Digital Sky Survey/ SkyServer**, from <http://cas.sdss.org/dr7/zh/proj/basic/galaxies/>(檢索日期 103 年 3 月 16 日)
- 三、**SQL Search**, from <http://skyserver.sdss3.org/public/en/help/howto/search/>(檢索日期 103 年 5 月 22 日)
- 四、**SDSS** 介紹,from<http://www.sdss.org/> & <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8F%B2%E9%9A%86%E6%95%B8%E4%BD%8D%E5%B7%A1%E5%A4%A9>
- 五、**哈伯序列**。取自「維基百科」：(檢索日期 102 年 6 月 16 日)
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%93%88%E6%9F%8F%E5%BA%8F%E5%88%97>
- 六、**Michael S. Turner**。宇宙的起源。科學人雜誌精彩 100 物理學特輯-聚焦物理世界，108，108-115。
- 七、**恆星演化**。取自「維基百科」：(檢索日期 102 年 6 月 16 日)
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%81%86%E6%98%9F%E6%BC%94%E5%8C%96>

Abstract

We revisited the previously hypothesized time-evolution of galaxies' color in the redshift ranges from 0 to 0.3, using the spectroscopic data from Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Our samples reveal two distinct populations of galaxies, which are bluer and redder in color, and have blue-skewed and red-skewed color distribution functions towards the larger apparent magnitudes, respectively. This blue-skewed color distribution of the blue population galaxies (BPGs) was attributed to the more active star-formation at higher redshift in a previous study.

Surprisingly, by directly plotting galaxies' color versus redshift, we did not find any evidence of evolution of color over cosmic time. Our hypothesis to resolve this apparent paradox is that the distributions of galaxy in the color-apparent magnitude diagram are subject to the intrinsic color-luminosity relations of galaxies. Indeed, after removing the distance modulus and the redshift effects in color, we found that our galaxy samples at all redshifts approximately follow the same trends of being bluer at the fainter end.

In conclusion, we have identified two dominant competing mechanisms which affect the observed galaxy distributions in the color-apparent magnitude diagram: (1) distance modulus and redshift, and (2) the intrinsic color-luminosity relations of galaxies. For the red population galaxies (RPGs), the former mechanism has a more prominent effect, which leads to the red-skewed distribution. On the other hand, the effect of the intrinsic color-luminosity relations may be more prominent for BPGs, whose fainter part is dominated by the low-redshift faint and blue galaxies.

I. Introduction

In the homogeneously and isotropically expanding universe, the observed light emitted from a distant source is redshifted and has a long travel time. A spectroscopic and photometric survey of galaxies covering a broad range of redshift provides us an opportunity to trace the evolution of galaxies.

To investigate one of the biggest puzzle in astronomy, how spirals evolve into an elliptical, we first read the previous work, Strateva et al. (2001), who claimed to observe galaxy evolution. Based on earlier photometric surveys, they resolved galaxies into distinct red population (most ellipticals; red and bright) and blue population (most spirals; blue and faint), showing the red-skewed and blue skewed, respectively (FIG. 1). They deduced the magnitude for the higher redshift and concluded the blue population shifts to the blue side because of the more active star formation with the higher redshift.

Based on the newly released redshift data, we took the step forward to investigate the galaxy color, redshift and magnitude. Instead of galaxy evolution, we found the different results and made our own conclusions.

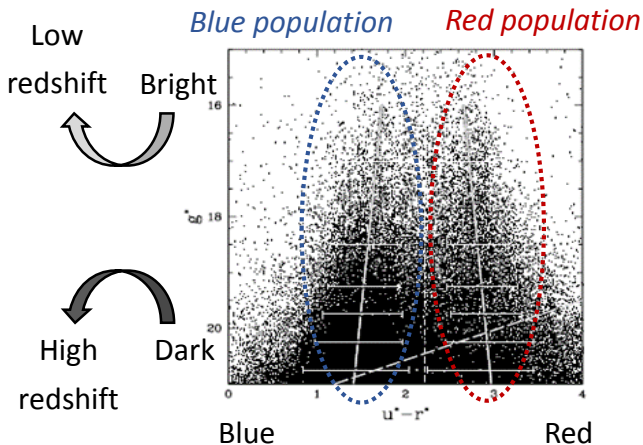


FIG. 1 Photometric color-mag diagram from Strateva et al. (2001)

II. Scientific Questions

1. Does the blue population evolve into the red population with increasing redshift?
2. What caused the inclinations in color-magnitude diagram? Star formation? Galaxy evolution? Or others?
3. Are the existing definitions of the separator between red and blue population reliable? Could we find a more accurate separator of our own?

III. Data and Methodology

A. Collecting Galaxy Samples

1. Data Base: Sloan Digital Sky Survey (SDSS)
SDSS is a photometric and spectroscopic survey covering $\sim 10^4$ deg² on the sky which has yielded 573,684 spectra of galaxies brighter than $r^* \sim 17.77$. It has five available color filters, namely Sloan-u (3550Å), g (4770 Å), r (6230Å), i (7620Å), z (9130Å) (FIG. 1). In this manuscript, u^* , g^* , r^* represent the apparent magnitude measured from each band (i.e. $-2.5 \log_{10} F_{\lambda} + \text{constant}$, where F_{λ} is the flux observed at the particular wavelength λ).
2. Observational Data Sets
 - 1) Choosing measurements:
We based the measurements of magnitude on g band for the sake of reliability. According to the technical summary of SDSS [3], g band is the most sensitive band among all available filters. In addition, galaxy color can be nicely diagnosed by comparing the observed flux from SDSS u and r filters (e.g. FIG. 2). We chose

u^*-r^* index as the color indicator, which is the most sensitive to the color distribution of the blue and red galaxies.

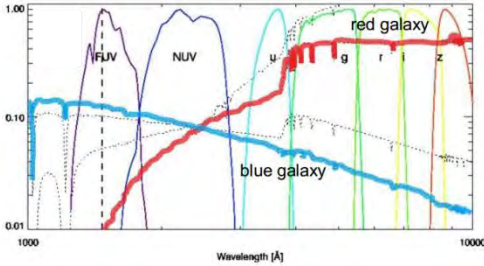


FIG. 2 The response functions of SDSS u , g , r , i , and z filters (and GALEX FUV and NUV filters), over-plotted with the spectral energy distribution of blue and red galaxies. (NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER) [4]

2) Obtaining data using Structured Query Language (SQL):

We have written a SQL program to systematically download the spectra (TAB. 1).

<pre>Select top 1,000,000 specobj.z as z, photoobjall.u as u, photoobjall.g as g, photoobjall.r as r, photoobjall.type as type, photoobjall.ra as ra, photoobjall.dec as dec photoobjall.u - photoobjall.r as "u-r", zWarning as Zwarning From specobj, photoobjall</pre>	<pre>Where photoobjall.u > 0 and photoobjall.g > 0 and photoobjall.r > 0 and photoobjall.g < 21 and photoobjall.r < 17.77 and photoobjall.type = 3 and zWarning = 0 specobj.specClass = 2 and specobj.bestobjid = photoobjall.objid</pre>
---	--

TAB. 1 Our SQL code for SDSS data survey

B. Investigating the Relation among Galaxy Functions

We plotted color versus magnitude, color versus redshift, redshift versus magnitude, and the three-dimensional system of color, magnitude, and redshift.

C. Including K-correction and Distance Modulus

To find the separator of the red and blue galaxy populations, we included K-correction for galaxy true color and distance modulus for absolute magnitude. K-correction is a value to recover the equivalent measurements in rest frame. In practice, this can be done by shifting spectra back to $z=0$, or using empirical methods to estimate the rest frame color from apparent magnitudes. The function of distance modulus is

$$m = -2.5 \log_{10} L(d).$$

IV. Results

A. Relations among Color, Magnitude, and Redshift

With detailed redshift data, we directly investigated how galaxy color evolves with redshift instead of making deduction about the relation between redshift and magnitude.

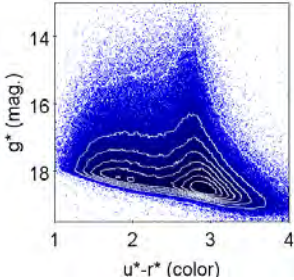


FIG. 3 Color vs. magnitude

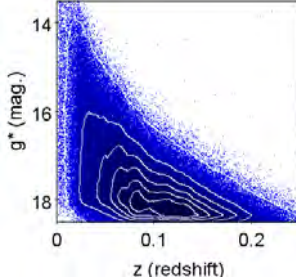


FIG. 4 Redshift vs. magnitude

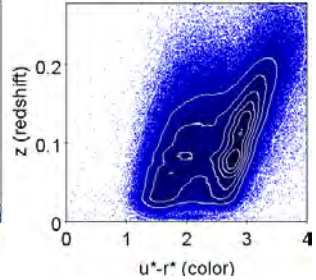


FIG. 5 Color vs. redshift

1. Color vs. magnitude

We found the distinct two galaxy populations, showing the trends that the blue population shifts to the blue end and the red population shifts to the red end with fainter magnitude (FIG. 3). However, we had different interpretation from the conclusion of *Strateva et al. (2001)*.

2. Redshift vs. magnitude

Magnitude merely provides an upper limit for redshift but strong relation between redshift and magnitude (FIG. 4). For example, if we set the magnitude as 16, galaxies correspond to a wide range of redshift without one-to-one correlation. Therefore, the deduction of *Strateva et al. (2001)* that dark galaxies have higher redshift is biased.

3. Color vs. redshift

We now could directly investigate the relation between color and redshift with the newly released redshift data, both populations shift to the red end with increasing redshift (FIG. 5). We further deduced that caused by the intrinsicity of spirals and ellipticals or the Redshift Effect.

B. Galaxy Distribution on Color-magnitude

We plotted the color-magnitude diagram with the newly released spectroscopic redshift data (FIG. 6).

In a single redshift interval, take redshift $z \sim 0$ subset for example, both blue and red galaxy populations shift to the blue end with fainter magnitude, showing galaxy intrinsicity (FIG. 7). On the other hand, the galaxies shift to the red and faint end with increasing redshift influenced by Redshift Effect, such as redshift $z [0, 0.5]$ and redshift $z [0.05, 0.1]$ subsets (FIG. 7 & FIG. 8). We identified galaxy intrinsicity and Redshift Effect these two competing mechanisms, which affect galaxy distribution in color-magnitude diagram.

The lines in FIG. 6 are linear regressions of the blue galaxy population (left), the green valley (middle), and the red galaxy population (right). We suggested that galaxy intrinsicity is more influential for blue galaxy population, while Redshift Effect is more prominent for red galaxy population.

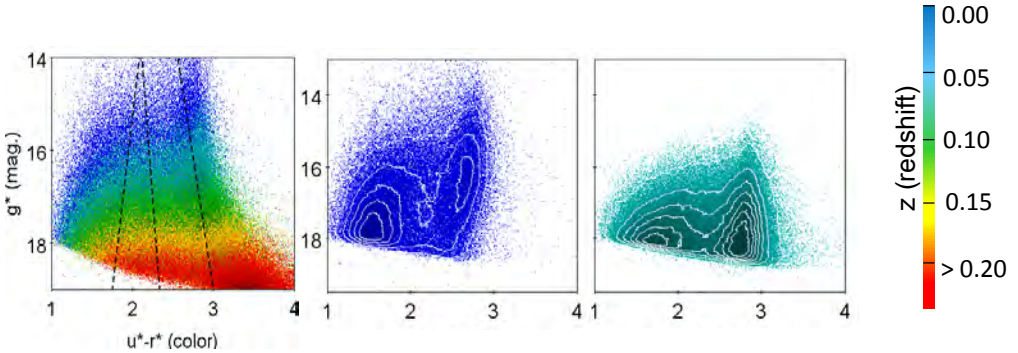


FIG. 6 Color-magnitude diagram with redshift data

FIG. 7 Color-magnitude with redshift 0.00-0.05

FIG. 8 Color-magnitude with redshift 0.05-0.10

C. Hypothesis and Verification

Hypothesis for two competing mechanisms

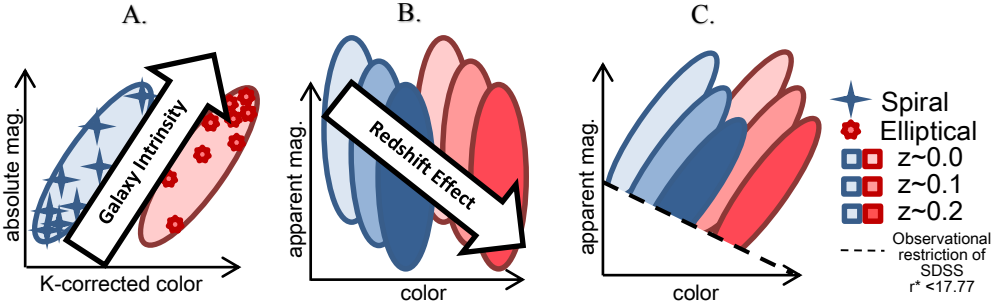


FIG. 9 Hypothesis of the distribution in color-magnitude diagram

We have identified two dominant competing mechanisms (FIG. 9A & B), which affect the galaxy distribution in the color-magnitude diagram (C):

1. Galaxy intrinsic color-luminosity relations (A)

Blue and red galaxy populations respectively dominated by spirals and ellipticals shift to the blue end with fainter magnitude.

2. Distance modulus and Redshift Effect (B)

The distance makes galaxies in higher redshift look fainter and Doppler Effect makes them redder in color-magnitude diagram.

Verification

1. Galaxy intrinsicity

We suggested that the inclination of the blue population (FIG. 6) is caused by galaxy intrinsicity instead of active star formation. For verification, we plotted the histogram of each magnitude interval galaxy (FIG. 10). Indeed, the blue galaxy population is dominated by fainter and bluer galaxies.

2. Redshift Effect

We suggested that the inclination of the red population (FIG. 6) is mainly caused by the Redshift Effect. Divided by our separator (for details p.12), we found the linear regression of the red population is approximately perpendicular after removing the Redshift Effect via K-correction (FIG. 11), consistent with our hypothesis (FIG. 9B). In addition, we suggested that the trend of the blue population should also be perpendicular, but with the observational restriction of SDSS $r^* < 17.77$, the bluer and fainter galaxies are lost, causing the inclination.

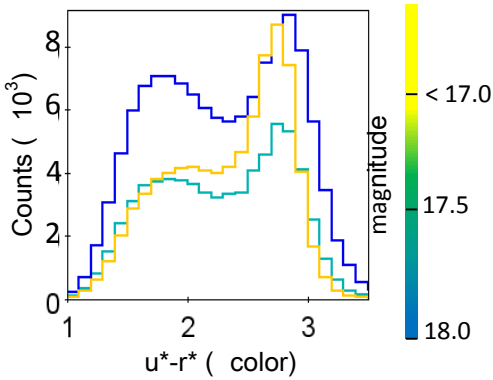


FIG. 10 Color histogram

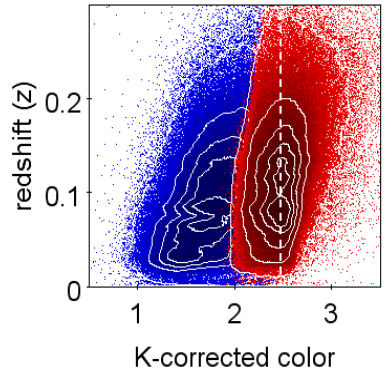


FIG. 11 K-corrected color vs. redshift

D. Separator of Two Galaxy Populations

To find out a group of galaxies belong to ellipticals or spirals, we defined a separator between red and blue populations, which dominated by ellipticals and spirals, respectively. By the separator, we wanted to know how galaxies in the blue population evolve into the red one.

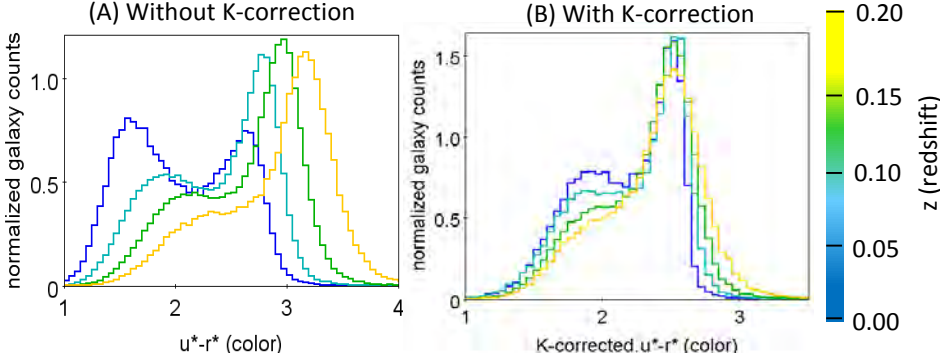


FIG. 12 Color histograms with different redshift intervals

At first, we eliminated two effects, distance and Redshift Effect, to make sure our separator reliable. We used distance modulus to measure the galaxies' intrinsic brightness and to get the absolute magnitude data. In addition, we removed the Redshift Effect via K-correction, to reveal the true color of galaxies. We found that the peaks of two populations and the valley shift back to the blue side after K-corrected, corresponding to the same value of color (FIG. 12).

Compared FIG.13 with FIG. 6, each subset shifts to the blue end after K-corrected, going to the left side, and shifts to the bright end of magnitude by eliminating the influence of distance, getting upper in the diagram. As a result, every redshift interval galaxies overlaps on redshift ~ 0 subset (FIG. 13).

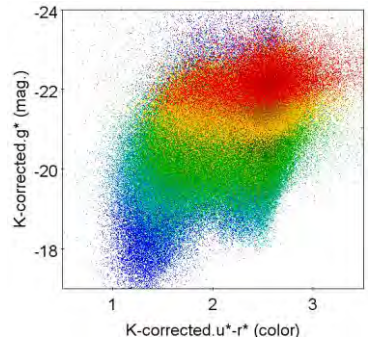


FIG. 13 K-corrected Color vs. absolute mag.

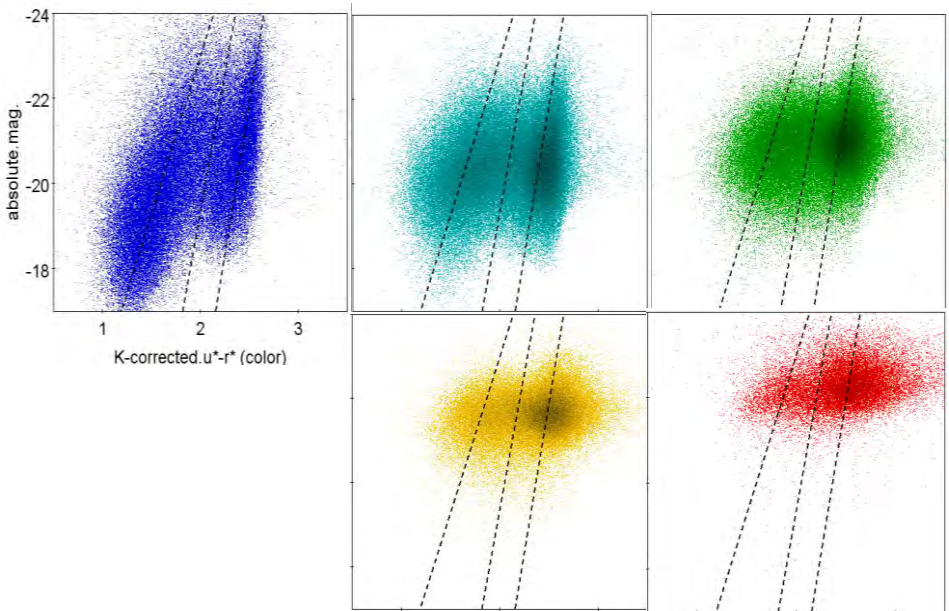


FIG. 14 K-corrected color vs. absolute magnitude. Three dashed lines are the linear regressions of $0.00 < z < 0.05$ subset.

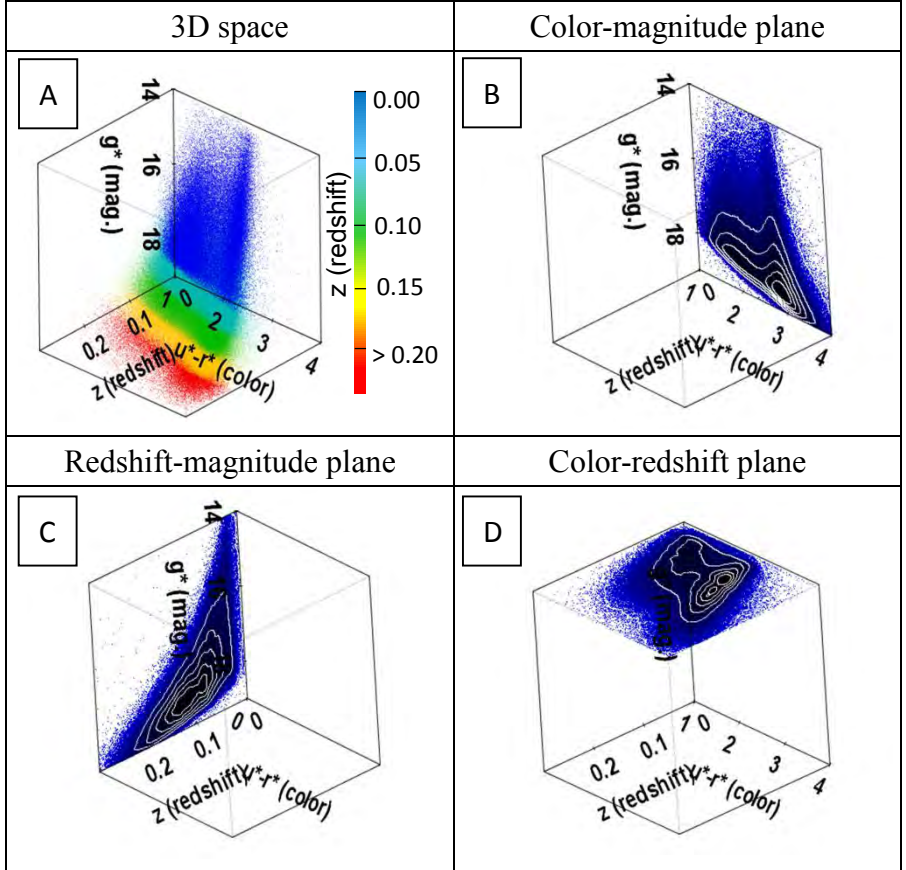
The separator and the trends of blue and red populations of redshift ~ 0 subset fit every redshift interval subset (FIG. 14). We suggested that there is no significant signal of galaxy evolution in redshift 0 to 0.3, and quantified the fuctions of distributions below.

Separator	$y = -14.180 x + 13.596$
Blue galaxy population	$y = -7.403 x - 8.158$
Red galaxy population	$y = -12.979 x + 6.632$

On the other hand, we found both populations show the trends of intrinsity after removing the Redshift Effect, consistent with the hypothesis of two competing mechanisms (FIG. 9).

V. Conclusions

1. The Three-dimensional Relation Among Color (u^*-r^*), Magnitude (g^*), and Redshift (z)



TAB. 2 The 3D cube of color, magnitude, and redshift

Color, magnitude, and redshift are closely related and none of them can be ignored or mixed (TAB. 2A). The conclusion of the previous work based on only one of the 2D projection and that's why it is biased. (TAB. 2B). We further found the upper limit of magnitude at each


redshift value instead of one-to-one correlation (TAB. 2C). Moreover, with the projection on color-redshift plane, we did not find any evidence of galaxy evolution (TAB. 2D).

2. Two Competing Mechanisms in Color-magnitude diagram

Galaxy intrinsicity and Redshift Effect are the dominant competing mechanisms which affect the galaxy distribution in color-magnitude diagram. Galaxy intrinsicity is more influential for blue population; on the other hand, Redshift Effect is more prominent for red population.

3. The Separator of Blue and Red Galaxy Populations

The separator provides us a standard to classify the ellipticals and spirals within spectroscopic data.

The function of the separator 

Absolute magnitude = $-14.180 (\text{K-corrected color}) + 13.596$

VI. Q&A

1. Where your data come from? How did you obtain?

We obtained 573,684 galaxies data from Sloan Digital Sky Survey Data Release 12 by Structured Query Language (SQL) Search (FIG. 15). The SDSS DR12 (FIG. 16) not only advanced provides redshift data but covers much larger celestial sky than the Early Data Release version (FIG. 17) which Strateva et al. (2001) based on.

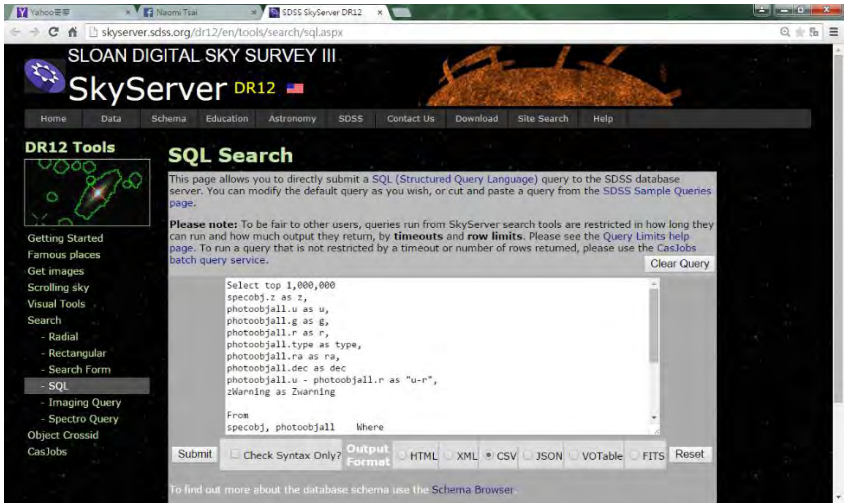


FIG. 15 SQL Search in the SDSS DR12

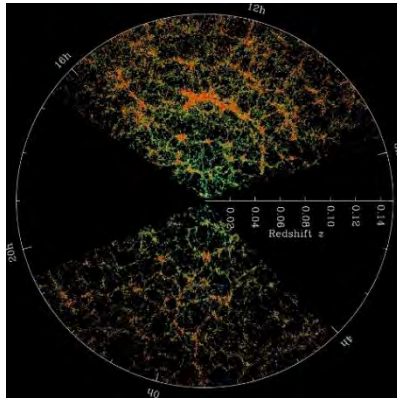


FIG. 16 Data Release 12 distribution of the galaxies on the celestial sky

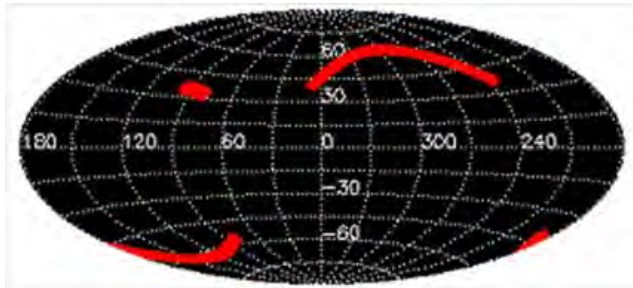


FIG. 17 Early Data Release distribution of the galaxies on the celestial sky

2. **How did you define the regression lines of your separator?**

We recorded the magnitude of peaks and valleys of each subset in the histograms, input the information into marks in the scattering diagram. Therefore we could fit the regression line of these marks and defined our separator.

3. **Did any other works also diagnose the separator of two galaxy populations?**

Yes. There are two accepted criterion: 1) Concentration index
2) Exponential and de Vaucouleurs' Profile likelihoods.

- 1) Strateva et al. (2001) accurately selected Concentration =2.6 as a criterion and found it performs well only at the bright end ($g^* < 16$). Concentration data require well-resolved galaxies, which actually could simply classify visually or spectroscopically though.
- 2) The profile likelihood criterion from De Vaucouleurs (1961) performs poorly and loses 94% blue population galaxies in the discussion of previous works. Strateva et al. (2001) have concluded that it is less discriminative than either concentration or color criterion.

On the other hand, color criterion does not require well-resolved galaxies and is applicable for all magnitude ranges. It is definitely a more convenient and accurate way to define two galaxy populations.

VII. Acknowledgements

**Institute of Astronomy and Astrophysics, Academic Sinica,
Taipei, Taiwan**

Postdoctoral fellow: Hau-Yu Liu

Department of Physics, National Central University, Taipei, Taiwan

Professor: Wen-Hsien Lee

**Department of Atmospheric Sciences, National Central University,
Taipei, Taiwan**

Professor: Pay-Liam Lin

Taipei First Girls High School, Taipei, Taiwan

Earth science teacher: Yu-Mei Lin

Equipment Section

Many thanks to Chih-Ying Zheng, Yu-Chen Liu, I-Hsiu Li, and all other professors, teachers, seniors and friends who have generously helped us in many ways.

VIII. References

- [1] Sloan Digital Sky Survey DR 12 (<http://www.sdss.org/>)
- [2] Iskra Strateva *et al.*, 2001, AJ, 122,1861S “Color Separation of Galaxy Types in the Sloan Digital Sky Survey Imaging Data”
- [3] York, D. G. *et al.*, 2000, AJ, 120, 1579 “The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary”
- [4] NASA GODDARD SPACE FLIGHT CENTER
(http://galexgi.gsfc.nasa.gov/docs/galex/Documents/ERO_data_description_2.htm)

【評語】 160007

本作品以公用的數據，就星系紅移相關參數作進一步解析，而能發現以稱為 K-correction 的流程就二維參數，推展成以三維參數來瞭解星系顏色，內容完整，並有新穎物理。