

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高中組 地球科學科

第一名

040509

剖析巡天資料庫檢驗星系顏色隨紅移之演化

學校名稱：臺北市立第一女子高級中學

作者： 高二 祝維憶 高二 柯芷蓉 高二 江郁儀	指導老師： 林郁梅
---	------------------

關鍵詞：星系、顏色、紅移

得獎感言

星系探索之旅

很開心可以在這次的比賽中獲得肯定，這一路上，我們學到的不僅是科學上的知識，還交到了很多朋友，增進了團隊合作的默契。在這一個禮拜的旅程中，我們欣賞到了宜蘭的美景、美食，當地人的熱情都讓我們印象深刻。雖然遇上了颱風，但仍然澆不熄我們對科學的熱情，這五天與其他參賽者的交流，更是讓我們滿載而歸。

想起當初我們在高一下時，開始著手研究。一開始我們閱讀了很多宇宙中天體的相關資料和背景知識，了解到了宇宙如何形成以及演化、相關的光譜資料，還有學會利用天文軟體繪製分析圖。在這一段過程中，我們培養出我們對科學的熱忱，也覺得非常的充實愉快。接下來，我們閱讀了 STRATEVA 團隊發表的論文，以此為基礎，做了進一步的研究、探討。我們發現真正快樂的不在於我們得到了多少讚美或獎項，而是在討論中，我們能夠互相砥礪，釐清彼此的想法，這對我們來說是最難忘特別，也最重要的事。

這一路走來，我們要感謝很多幫助、支持我們的人。指導我們的師長，陪伴我們走過種種艱辛，幫助我們修正不完美的地方，讓報告更加順利，也讓我們在面對評審的時候能夠從容應對。還有給我們指教的評審教授，使我們看到問題的另一面，提供更廣闊的研究方向，有時也以輕鬆的態度，消除我們的忐忑不安。我們還要感謝提供許多資源的北一女中、中央研究院、臺北市政府、國立科教館。因為有背後這麼多的付出，我們才能夠有現在的成果。

希望這次的旅程不是終點，我們還會在浩瀚的科學領域繼續探索，盡我們的綿薄之力，讓這個世界更美好。



憶起當時第一次對校外教授報告的緊張和不安，我們真的成長了很多。

摘要

藉由史隆巡天系統(Sloan Digital Sky Survey；以下簡稱 SDSS)對 147,920 個星系的觀測，Dr. Iskra Strateva 等人(Strateva *et al.* 2001；以下簡稱 S01)發現紅移(z)小於 0.3 的星系可分為偏紅及偏藍兩族群。並且，假設星系距離愈遠、紅移愈大則視星等愈大，S01 分析推論偏紅的星系族群紅移愈大則愈紅，符合都卜勒效應結合哈伯定律對紅移的預期；偏藍星系族群則紅移愈大愈藍，與並不能單純以都卜勒效應解釋。S01 解釋高紅移的偏藍星系族群恆星形成較活躍，多新生成大質量的恆星使得星系整體色澤趨藍。

S01 分析並未直接採用星系紅移數據。因星系亮度與紅移的相關性尚受其他要素影響，使得 S01 的結論仍有不確定性。我們下載 SDSS 提供的 573,688 筆星系紅移數據，發現該樣本不論是偏紅或藍的星系，皆符合紅移越大越接近紅色的趨勢。

壹、研究動機

天文學和物理及地球科學密不可分。在物理及地球科學課中，我們學習到現今的宇宙正在膨脹。且由哈伯定律可知，天體距離越遠，相互遠離的速率會越快。而當宇宙膨脹的時候，距離遠近不同的天體所產生的電磁波訊號會產生都卜勒效應，使得我們所接收的星體光譜較原星體的光譜向偏長波長的方向平移。宇宙學中的都卜勒現象又稱為紅移。

我們對於星體紅移的現象很有興趣，並想知道這些遠離中的星系其顏色及亮度之間有甚麼關聯。因此我們搜尋文獻資料，並找到 Iskra Strateva 等人在 2001 年發布的論文 (S01)。他們使用 Sloan Digital Sky Survey (SDSS)對星系作研究，探究星系之間的顏色與亮度的關係，並提出偏藍的星系群紅移越大其顏色會越藍的結論。這個結論似乎與課堂中習得的天體紅移概念相衝突，因此我們進行了以下研究。

相關教材：

龍騰 基礎地球科學(上) 第二章 2-3 宇宙

南一 基礎地球科學(下) 第五章 5-2 星色與光譜 5-3 時間與距離

龍騰 基礎物理(一) 第六章第一節 波的性質 第九章第二節 膨脹中的宇宙

貳、研究目的

- 一、藉由 SDSS 的 Sky Server 系統(Ref. 3)觀測數個星系團光學影像，並由資料庫中取得星系團成員的亮度與顏色資料，藉由同一星系團其距離可以視為約相等的前提下，將距離對星系顏色所造成的影響極小化，來應證星系團中星系顏色與亮度的趨勢。
- 二、接著撰寫 Structure Query Language(以下簡稱 SQL)由 SDSS 系統下載了具有光譜紅移測量的星系數據來驗證 S01 的結果，以剖析在星系顏色亮度及紅移三維空間中分佈的趨勢。
- 三、將星系資料依據不同特性(紅移值、星系顏色)進行分析討論，同時也考量入 k -correction 修正的影響，延伸 S01 的分析並藉由更新的觀測資料以討論找出其中的相關性。並對偏藍色及偏紅色兩星系族群分別進行分析並比較其異同。

參、研究設備及器材

一、SDSS 資料庫

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，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。

表一 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

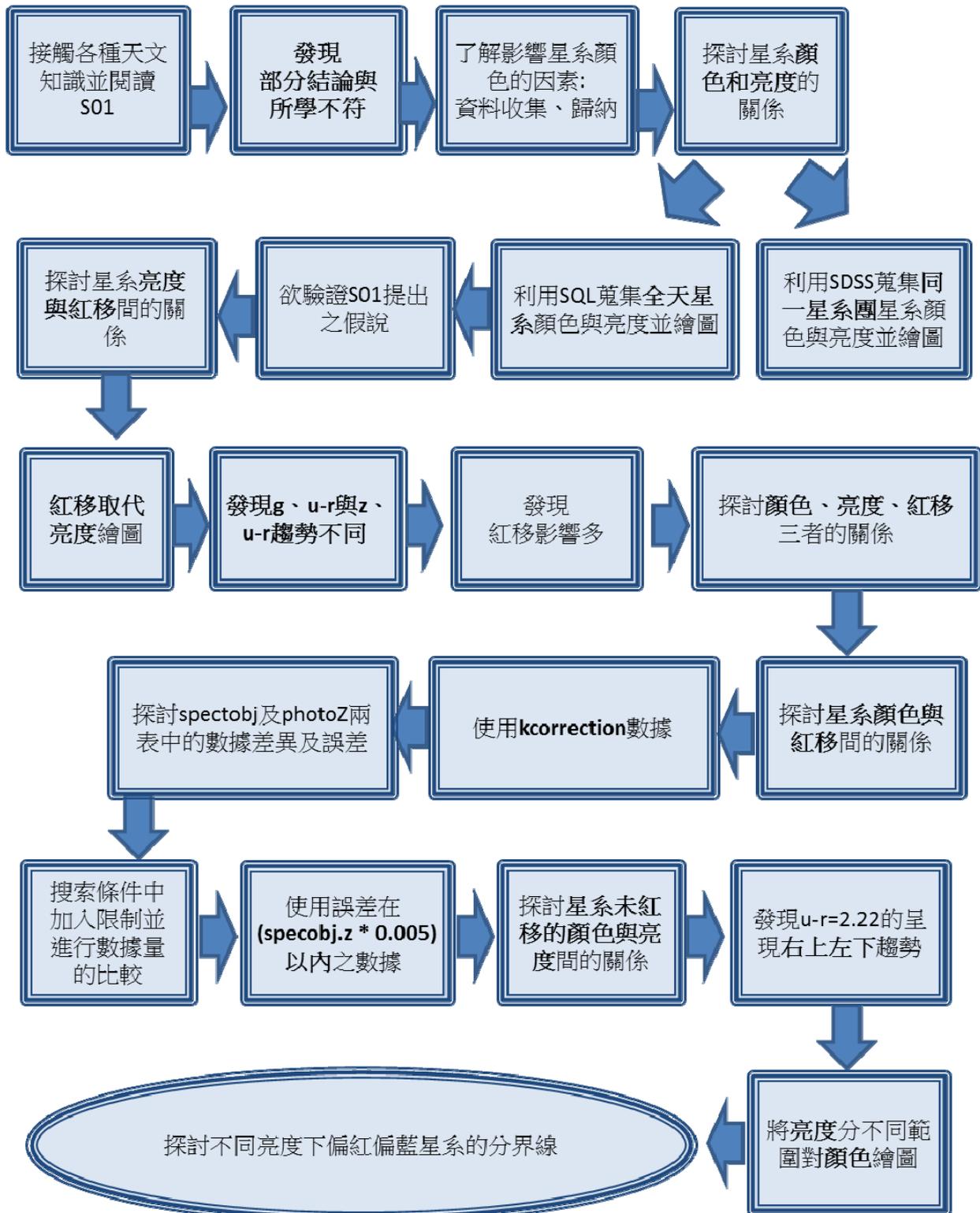
※註：此研究報告中的 u、g、r 表示星體在 u、g、r 濾鏡下的亮度，不代表濾鏡。

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

肆、研究過程或方法

一、研究流程



二、影響星系顏色與光度的因素討論

(一) 研究要點

了解影響星系顏色和光度的因素

(二) 研究步驟

1. 網路上搜尋相關資料與書面資料閱讀
2. 進行蒐集資料的整理

三、**星系團組成及其分類**

(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。

四、**資料蒐集的驗證與前人研究的比對**

(一) 資料的搜集與準確性驗證

1. 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正確性。(表五)

2. 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性。

表二 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. 篩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

轉換為 SQL 程式語言，搜索條件如表三。

表三 SQL 搜索條件

```
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 and
```

(二) 驗證 S01 提出之假說

1. 研究要點

了解 S01 中提出的假說背景並進行驗證。

2. 研究步驟

- (1) 將蒐集的星系資料進行 g 與 z 關係的分析比較。
- (2) 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

表四 數據

所需的搜索條件	SQL 搜索條件
<p>顯示前 150 筆資料。資料內容包含</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. photoZ 資料表中已作紅移修正的 u、g、r 三濾鏡下的星等 2. 光譜資料表(specobj)中的紅移 3. 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 4. photoobjall 表中的 u 濾鏡下星等減 photoobjall 表中的 r 濾鏡下星等 5. photoobjall 表中的 u 濾鏡下星等減 photoZ 表中的已作修正的 u 濾鏡下星等 photoobjall 表中的 r 濾鏡下星等減 photoZ 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 6. photoZ 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 7. 由 photoZ 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>所有資料數據可由 specobj, photoobjall, photoZ 三個表中取得</p> <p>條件:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. r 濾鏡下星等小於 17.77 3. g 濾鏡下星等要小於 21 4. 光學影像天體類型代碼為 3 (尋索星系) 5. 光譜數據天體分類代碼為 2 (尋索星系) 6. 天體必須同時存在於 specobj、photoobjall 及 photoZ 三表中 7. 紅移的數據為正常 	<p>Select top 150 photoZ.kcorr U 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_u as re_u, photoZ.rest_r as re_r, photoZ.rest_u + photoZ.rest_r as "rest_ur"</p> <p>From specobj, photoobjall, photoZ</p> <p>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</p>

(二) 繪圖及比較

1. 研究要點

藉由修正後的數據，進行星系各項參數的討論

2. 研究步驟

(1) 繪製經 k-correction 修正後的 u-r 為橫軸，縱軸是 g

(2) 將星系分為大於 $u-r=2.2$ 及小於的兩群，進行圖表分析與討論

(三) 提出論點

1. 研究要點

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) 將 g 分為不同範圍

(2) 以個數為縱軸、 $u-r$ 為橫軸對不同範圍的 g 製圖

(3) 找出 g 的最高峰及最低點找出最適合的分界線

伍、研究結果

一、影響星系顏色與光度的因素討論

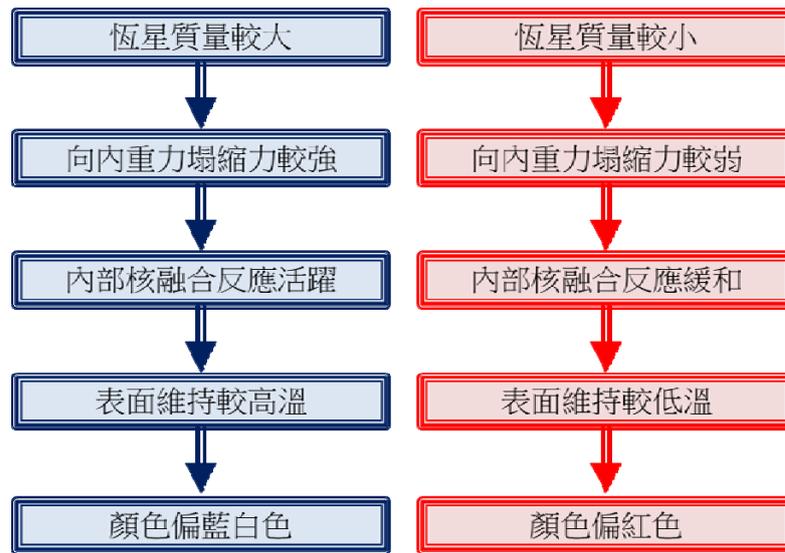
(一) 外觀幾何形狀

依照星系碰撞融合假說推論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) 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。(圖一)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。



圖一

(三) 紅移效應

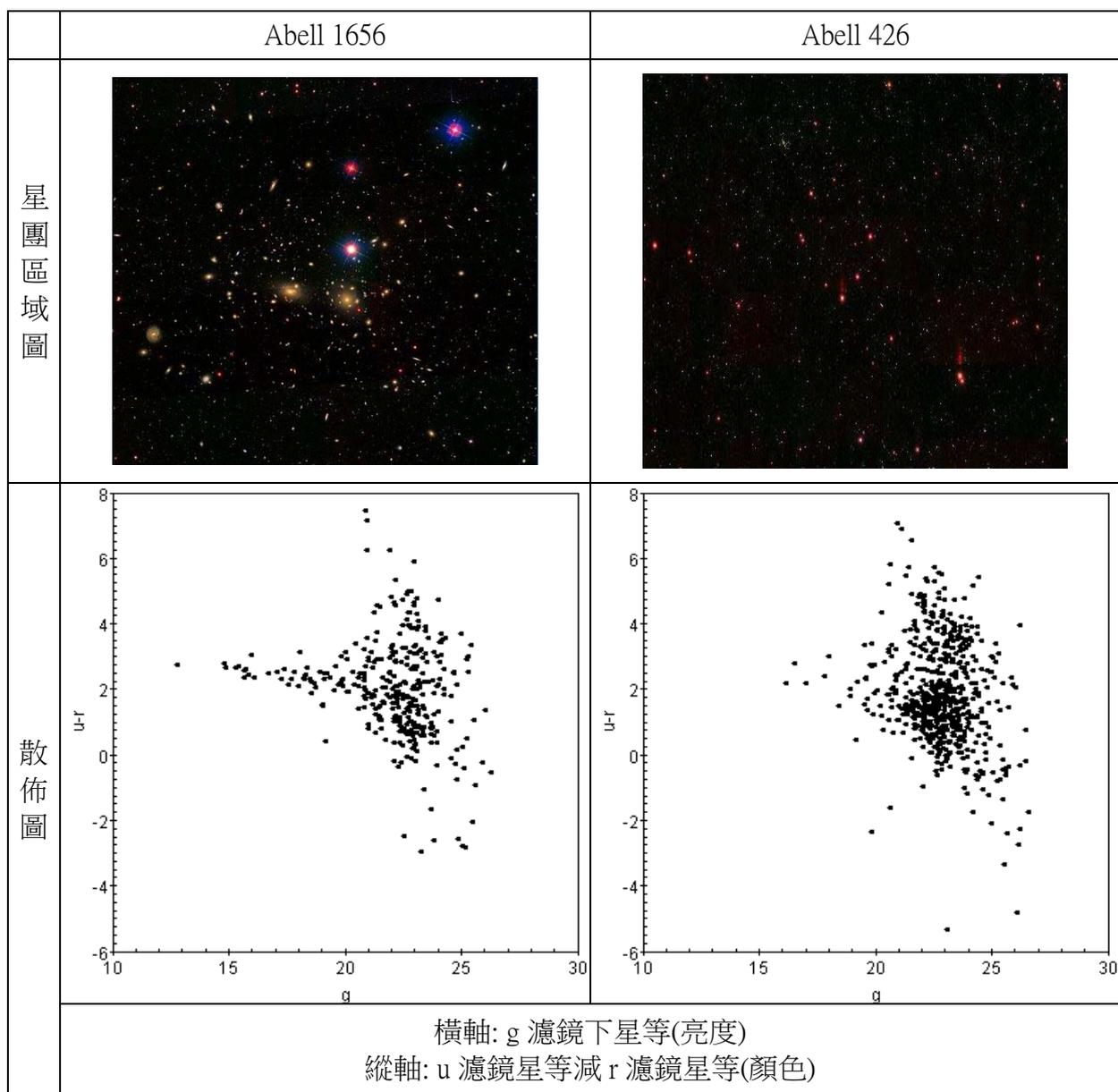
都卜勒效應在解釋當波源相對於觀察者進行相對運動時，其發出波之波長會與觀察者接收到的波長不同。波源若逐漸遠離觀察者，則觀察者所接收到的波長會較原先發出波長來的長；若波源逐漸接近觀察者，則觀察者所接收的波長會較波源發出的波長短。若在宇宙中，星體遠離則稱為紅移。

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)。我們也可以藉由紅移來測得星體遠離的速率。

二、星系團組成及其分類

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。(表五)

表五 星系團分類



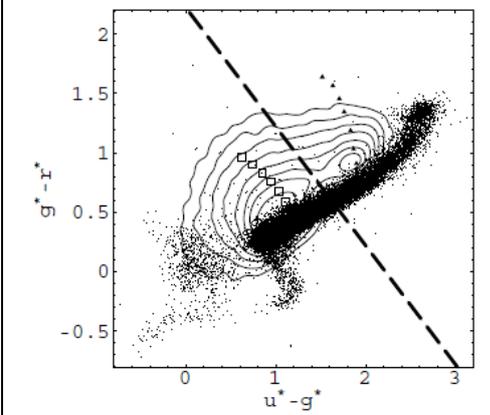
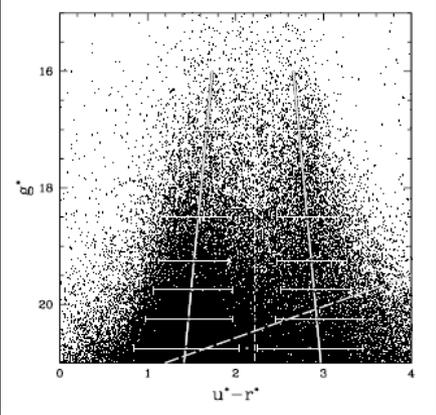
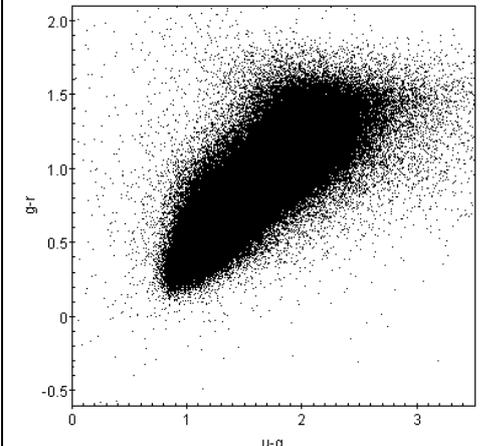
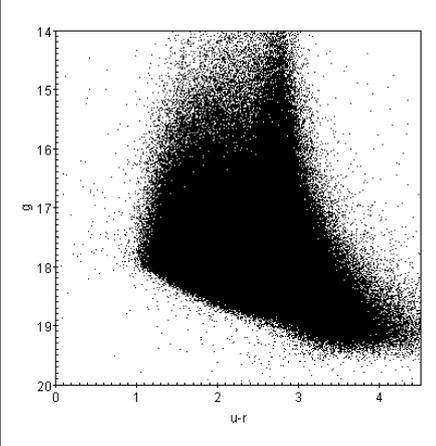
從兩張散佈圖中都可以看出一個顏色與亮度間的關係趨勢: 同為星系團成員的星系都呈現一種越紅(u-r 數值越大)越亮(g 數值越小)、越藍(u-r 數值越小)越暗(g 數值越大)的一種趨勢。

三、資料蒐集的驗證與前人研究的比對

(一) 資料的搜集與準確性驗證

我們搜索出的資料有 573,688 筆資料，針對此進行製圖，並比對。(表六)

表六

	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 的論文圖		
我們的驗證		

1. 從我們畫出的圖中與論文中的圖做比較，可以發現部分趨勢十分的相近。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。
2. 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。
3. 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。

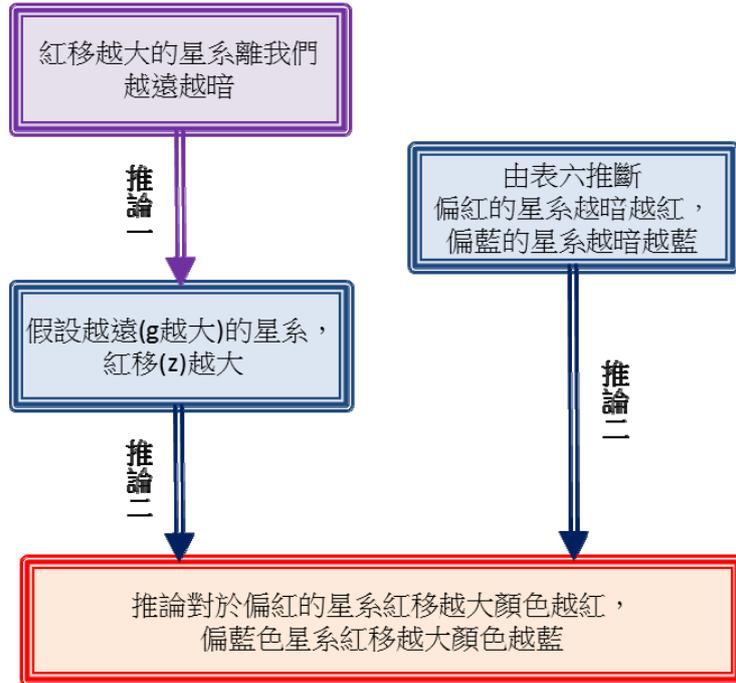
因為離我們紅移越大的星系會離我們越遠且星系會越暗，且由表六的顏色與亮度中可以看出偏紅的星系中，越暗越紅，而偏藍星系中越暗越藍。因此 S01 假設越遠(g 越大)的星系，紅移(z)越大，並從表六的顏色與亮度中推論出，對於偏紅的星系紅移越大顏色越紅，偏藍星系紅移越大顏色越藍，還進而推論解釋高紅移的顏色偏藍星系族群恆星形成較活躍，多新生成大質量的恆星使得星系整體色澤趨藍。但是對於此項推論我們抱持懷疑的態度。

(二) 驗證 S01 假說

1. S01 假設邏輯 (圖二)

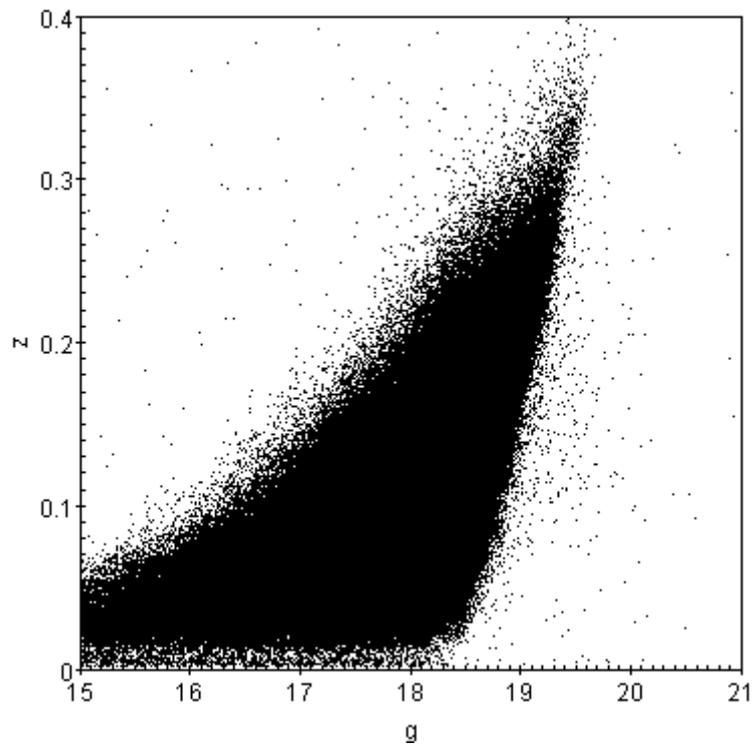
- (1) 因紅移越大的星系離我們越遠且會越暗，因此假設越遠(g 越大)的星系，紅移(z)越大。
- (2) 且由表六推斷星系偏紅的星系越暗越紅而偏藍星系越暗越藍。

(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。



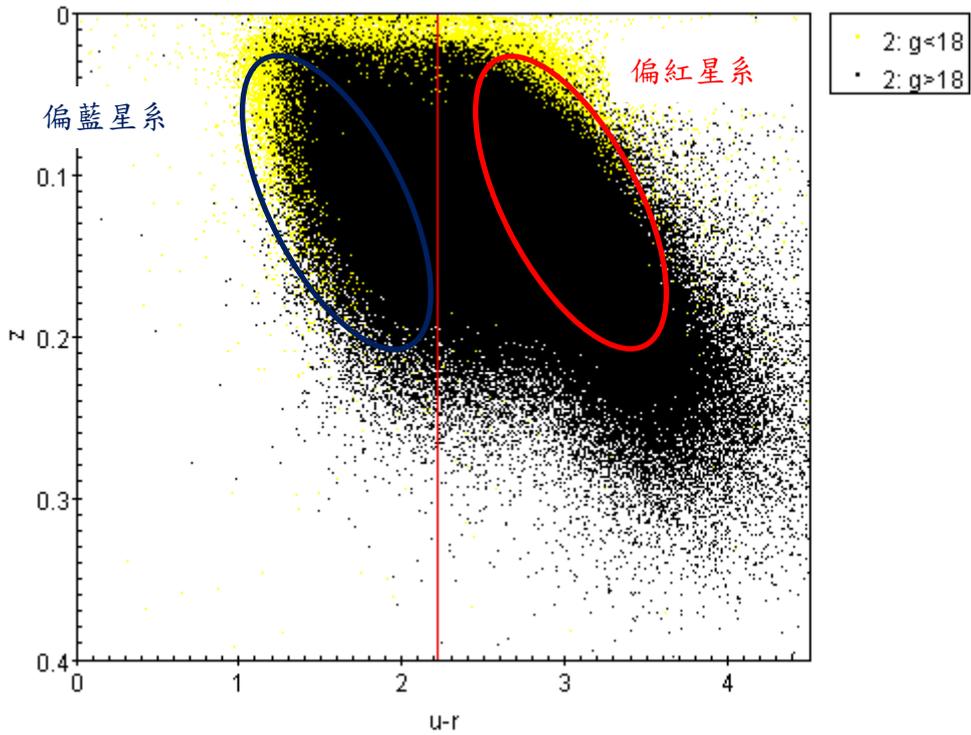
圖二

2. 我們繪製以 g 為橫軸、 z 為縱軸的圖(圖三)。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。



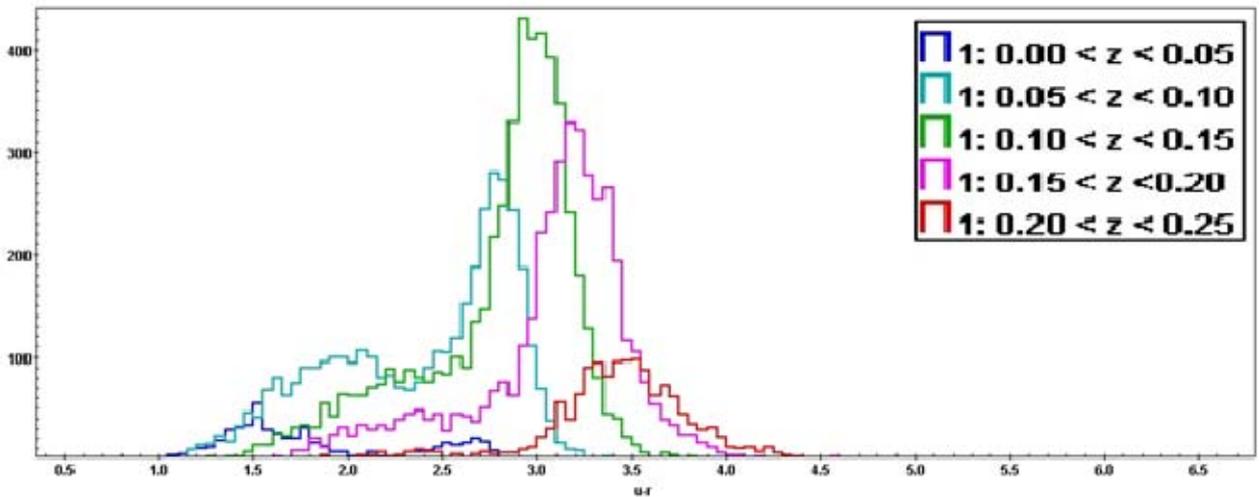
圖三

3. 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四。



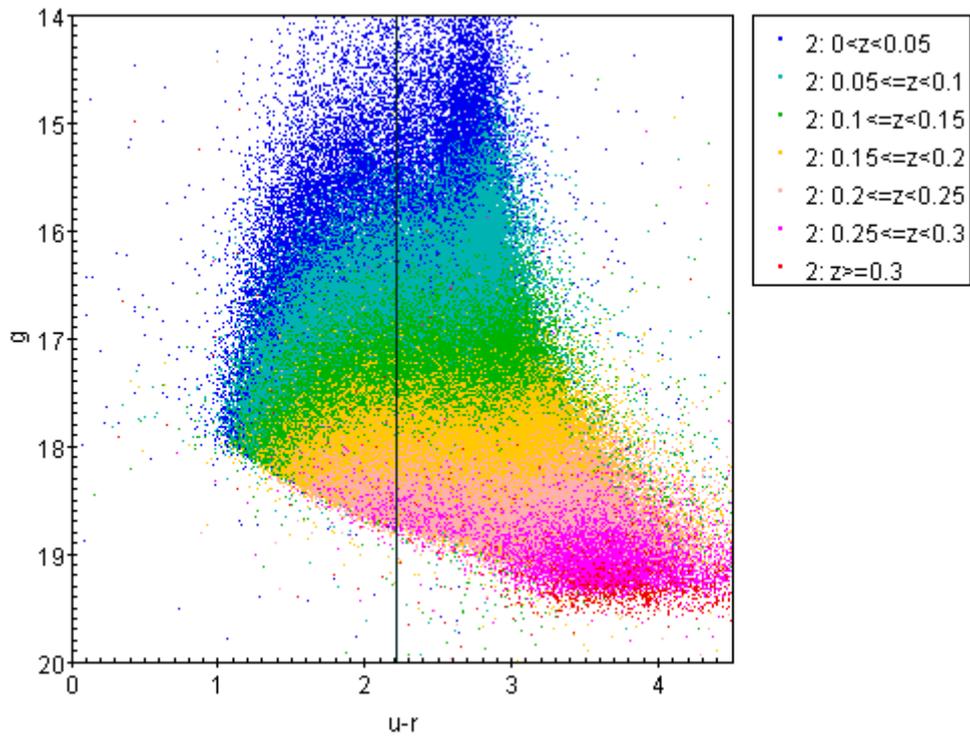
圖四

4. 我們發現繪製獲得的圖四與表六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進行更一次驗證。(圖五)



圖五

5. 從圖五中可以發現:
- (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。
6. 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。(圖六)



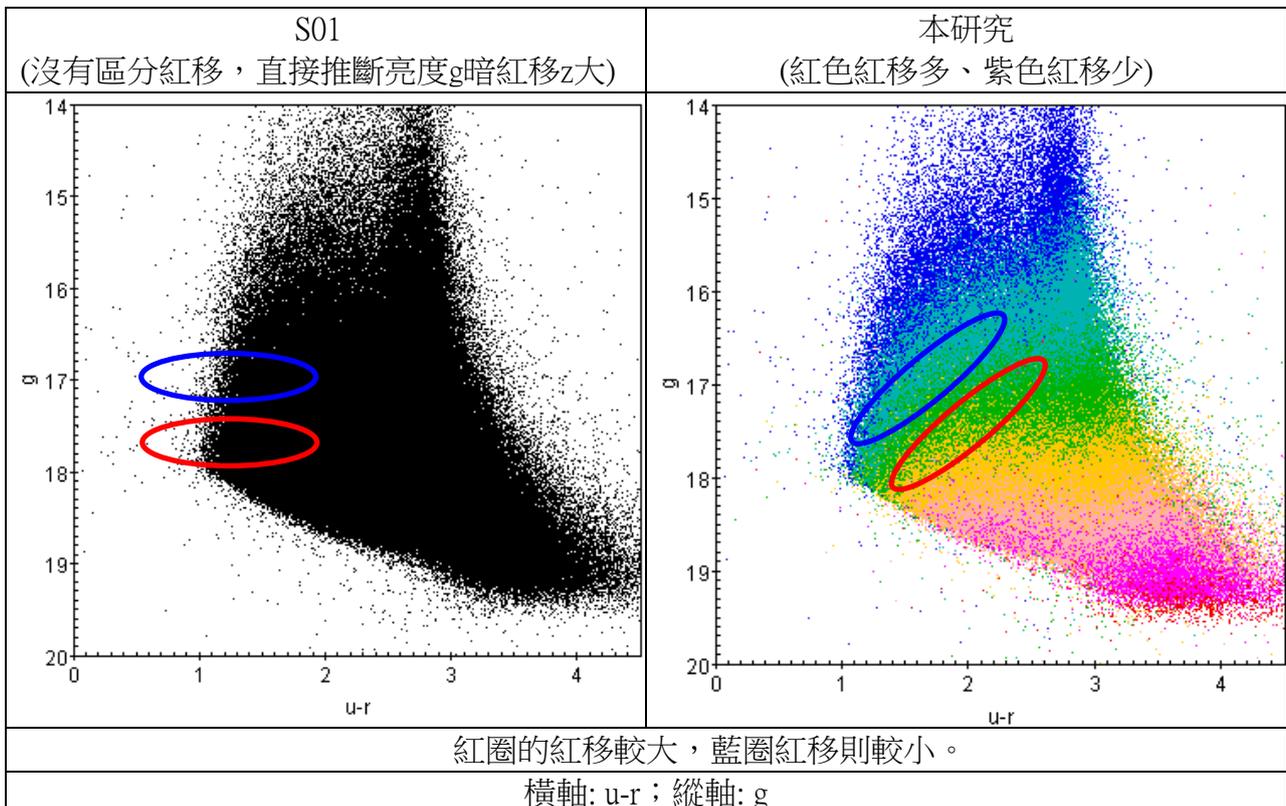
圖六

(1) 圖六算是結合了前面的圖(圖三、圖四、圖五)，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。

7. 與沒有紅移的數據比較(表七)

表七



8. 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。(表七)
9. 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。

四、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(見表八)

表八

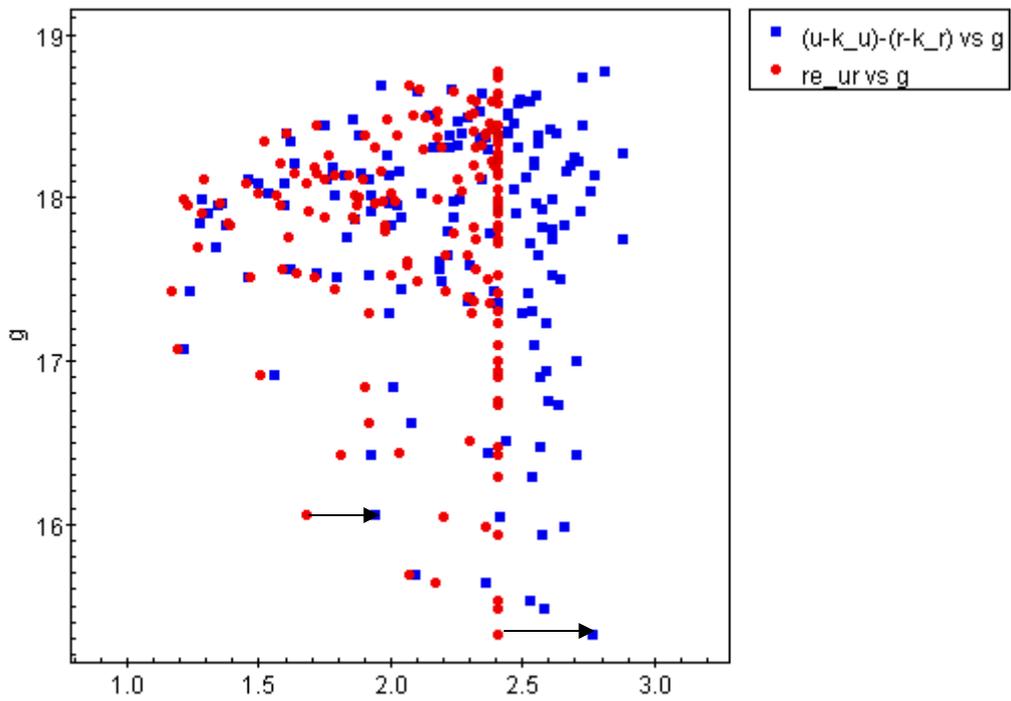
	資料取得形式	提供數據資料
photoZ	光子	k-correction 修正值(k_u)、經 k-correction 修正後的顏色值(re_ur)、紅移值
photoobjall	光子	各濾鏡視星等(u)
specobj	光譜	紅移值(本研究所使用的 z 值來源)

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。

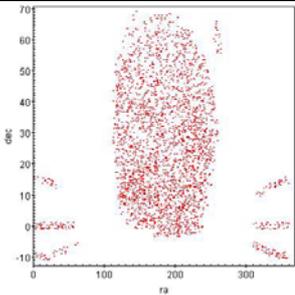
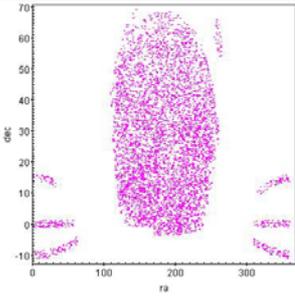
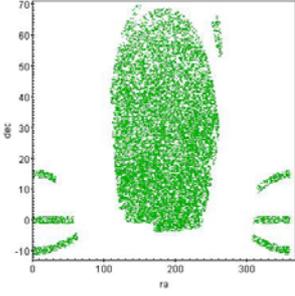
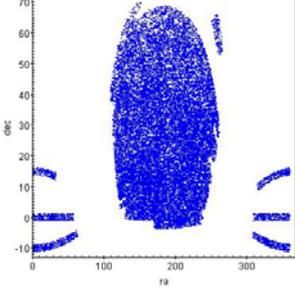
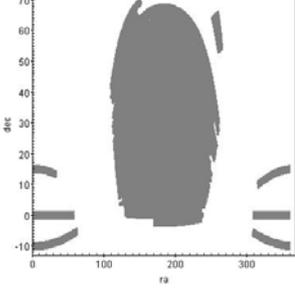
4. 利用觀測測所得的視星等減去 k-correction 修正項及距離的效應所求得的靜止座標系星系顏色及光度，與 SDSS 資料庫所提供擬合度最高的星系影像模型之顏色及光度，雖有不同，但我們預期兩者應該會相似，誤差不會太大。所以我們僅取 150 筆資料，分別以(u-k_u)-(r-k_r)及 re_ur 對 g 作圖，並將兩圖疊合(圖七)



圖七

5. 從圖七中可看出，我們取得的兩種 k-correction 資料有所誤差，且誤差都不相同。所以我們在資料搜索條件中加入誤差的限制: $\text{abs}(\text{photoZ.z} - \text{specobj.z}) < (\text{specobj.z} * 0.01)$ ，意即 photoZ.z 和 specobj.z 中的數值誤差要小於 specobj.z 中的 0.01 次方，以此來做校準，0.01 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。(表九)

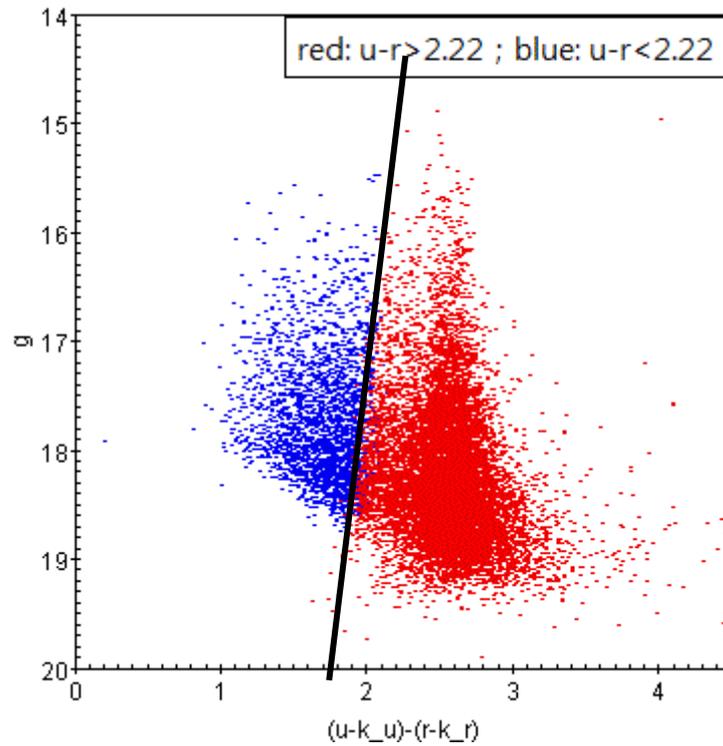
表九

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. 從表九中可看出，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) 繪圖及比較

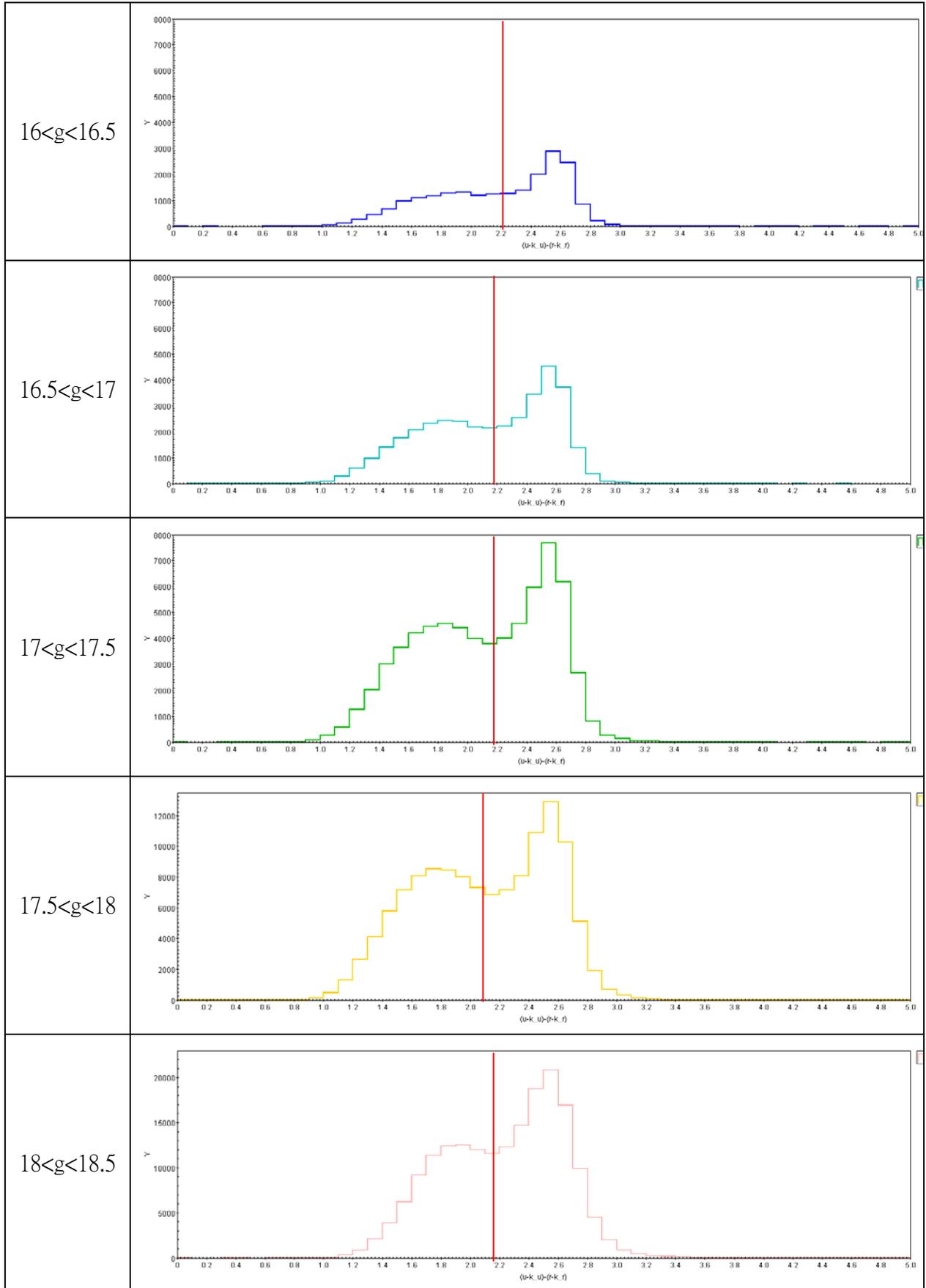
1. 我們以「 $(u-k_u)-(r-k_r)$ 」為橫軸，沒有 $(g-k_g)$ 的 g (也就是沒有 k -correction 的 g) 為縱軸繪圖，並以不同的顏色區分 $u-r$ 大於 2.22 及小於 2.22 的星系(圖八)

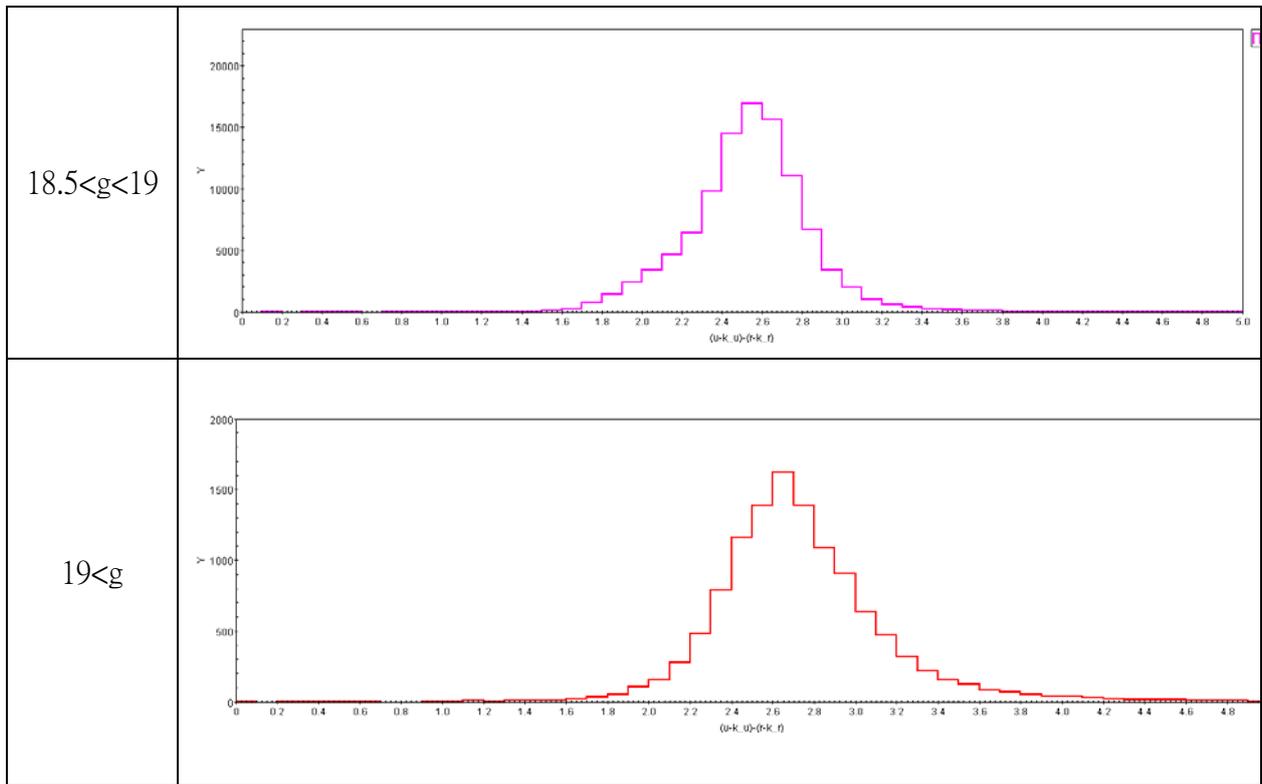


圖八

- (1) 從圖中我們發現 $u-r=2.22$ 的線呈現一種右上左下的趨勢。也就是說在亮度較亮的星系中，修正紅移並未造成太大的影響，而亮度較小的星系群，在修正紅移之後，就有明顯的改變
 - (2) 由前一點所述，我們決定以不同的 g 範圍來作圖，以便更明顯區分偏紅及偏藍的星系群。
2. 我們以不同範圍的 g ，以 $u-r$ 為橫軸各數為縱軸繪圖。(表十)

表十

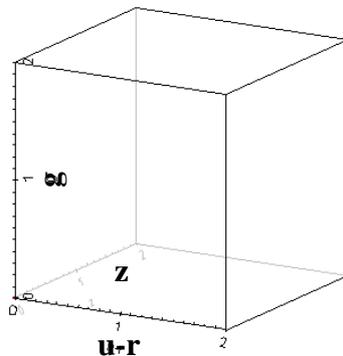




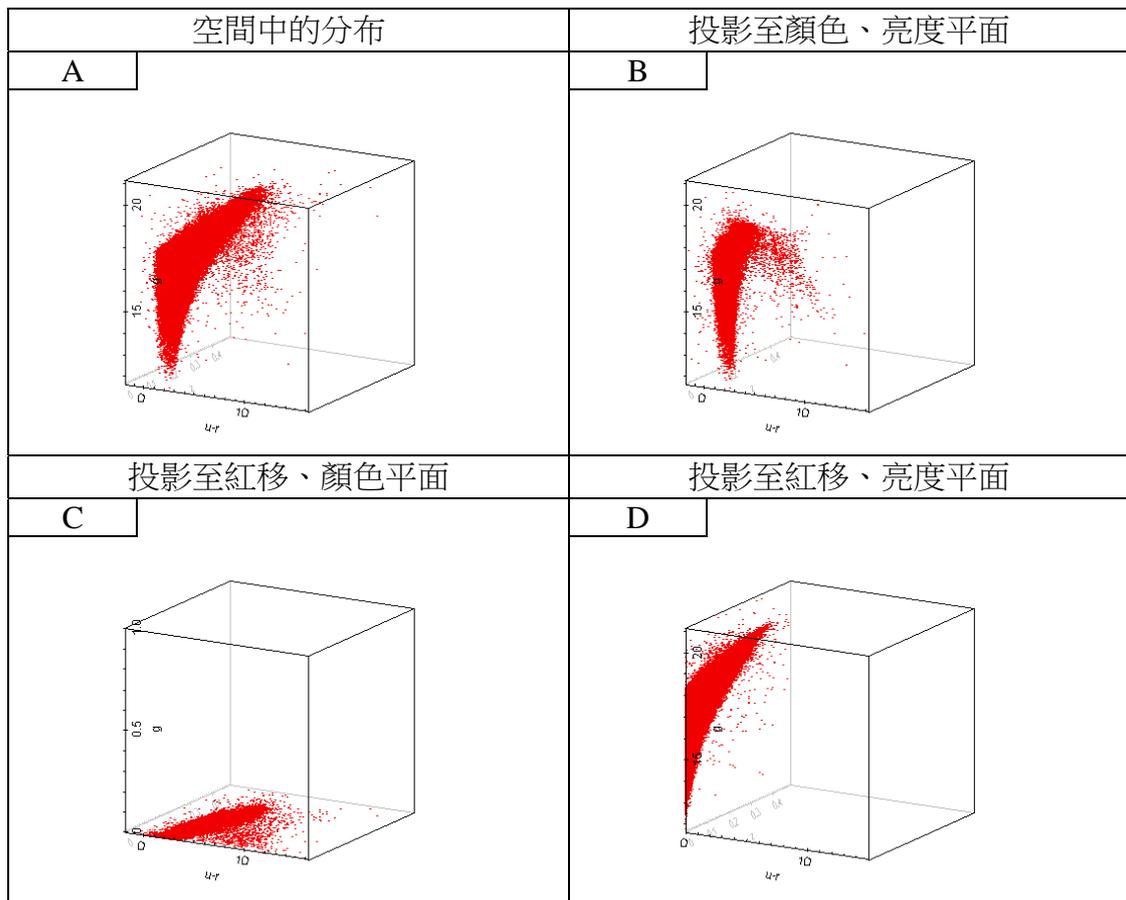
- (1) 我們發現畫出來的圖在 $g < 18.5$ 的地方都能明顯看到兩個峰值。右邊的代表偏紅色星系群，左邊代表偏藍色星系群。而 $g > 18.5$ 的圖中則不能明顯區分。
- (2) 在能區分偏藍偏紅星系群的圖($g < 18.5$)中，我們發現區分兩者的分界線有越來越往左的趨勢。

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(圖十二)。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。



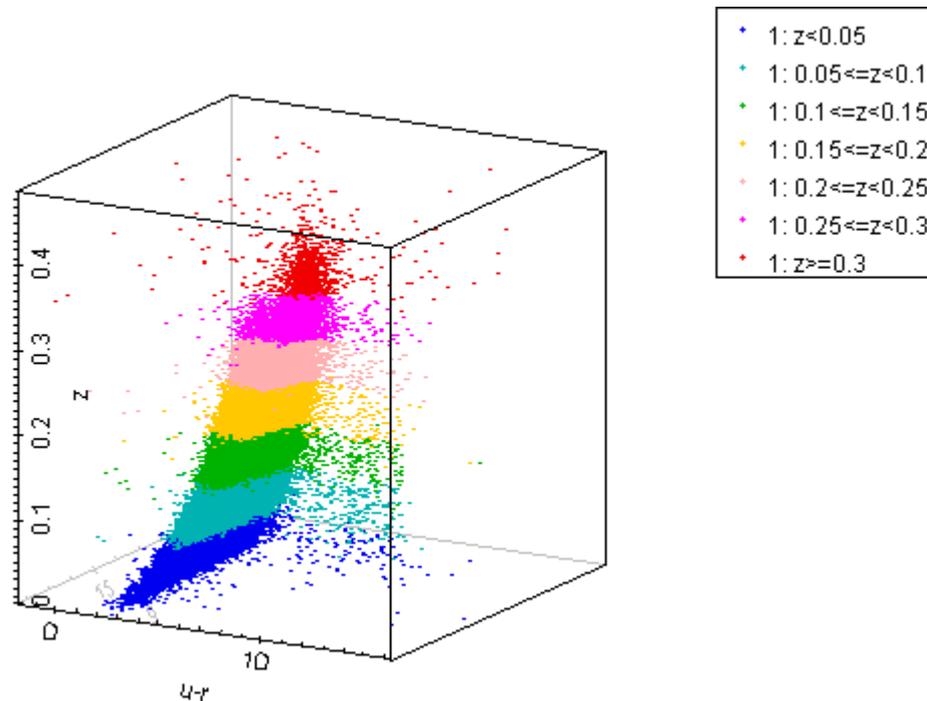
圖十二



表十一

- 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(表十一 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、從我們所繪出圖六，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，如圖十三，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。



圖十三

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。我們認為應該會有相同的結果，但事實上有些許誤差，且誤差不固定。我們認為上述誤差乃因 photoZ 所套用的紅移 z 值僅為一個大概，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，還是有因為距離我們遠而產生的紅化現象

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) 單一星系團中的趨勢可推及至全天星系

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 變小)，分界線應該往偏藍的方向移動。

捌、參考資料及其他

IskraStrateva (2001). The Astronomical Journal,122: 1861-1874,2001October *Color Separation Of Galaxy Types In The Sloan Digital Sky Survey Imaging Data*

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)

SQL Search, from <http://skyserver.sdss3.org/public/en/help/howto/search/>(檢索日期 103 年 5 月 22 日)

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>

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。

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>

【評語】 040509

立論清晰，方法紮實，處理大量星系顏色與紅移之關係，結果具體且有創新性之科學價值，對星系顏色隨紅移之演化有深入之探討。團隊合作強，表達清晰，反應靈敏，背景知識良好。