

# Shapley 超星系團中星系團的排列

何佩勵<sup>a, b</sup>、陳林文<sup>a</sup>、Stéphane Leon<sup>c</sup>、Jean Guibert<sup>d</sup>、顏吉鴻<sup>e</sup>

a. 國立台灣師範大學地球科學系

b. 交通部中央氣象局天文站

c. Instituto de Astrofísica de Andalucía, Granada, Spain

d. Centre d'Analyse des Images, GEPI/Observatoire de Paris, France

e. 中央研究院天文與天文物理研究所

## 摘要

我們利用Shapley超星系團 (supercluster) 核心A3558附近大約 $20^\circ \times 20^\circ$ 天空的星系資料，偵測到220個星系密集區 (overdensity region)，將其中同屬一個星系團/群內的次結構 (substructure)者合併計算後，我們共得到164個單獨的星系團或星系群，其中有37個包含一個以上的星系密集區在內，可視為正在進行星系團/群合併的候選者 (merger candidate)。利用FLASH的星系紅移資料估算這些星系團/群的紅移速度，並計算其橢圓度及長軸方位角，結果顯示在Shapley超星系團之中，最鄰近的星系團/群之間存在互相排列 (alignment) 的現象，其中正在進行星系團/群合併的候選者有較為明顯的排列情形。另外，視橢圓度 (apparent ellipticity) 與最鄰近星系團間的排列角度呈現負相關的趨勢，也就是，橢圓度愈大的星系團/群表現出愈明顯的排列。從我們的結果來看，對於有次結構、較大橢圓度的星系團/群，有較好的排列，這結果與星系團沿著大尺度絲狀結構 (large-scale filament structure) 非均向性地聚集合併的模式是一致的。至於對超星系團核心A3558的排列，較好的排列侷限於核心附近的Abell星系團，我們尚無法由目前的結果推測Shapley超星系團塌縮 (collapse) 的範圍。

## Alignment of Galaxy Clusters in the Shapley Supercluster

Ho Pei-Li<sup>a, b</sup>, Chen Lin-Wen<sup>a</sup>, Leon Stéphane<sup>c</sup>, Guibert Jean<sup>d</sup>, Yan Chi-Hung<sup>e</sup>

a. Department of Earth Sciences, National Taiwan Normal University

b. Astronomical Observatory, Central Weather Bureau

c. Instituto de Astrofísica de Andalucía, Granada, Spain

d. Centre d'Analyse des Images, GEPI/Observatoire de Paris, France

e. Institute of Astronomy and Astrophysics, Academia Sinica

## Abstract

Using a sample of  $\sim 10^4$  galaxies in a  $20^\circ \times 20^\circ$  sky centered on the core of the Shapley Supercluster, we identify 164 galaxy clusters/groups out of 220 detected

galaxy overdensity regions in this area, including 103 previously unknown galaxy systems and 37 cluster merger candidates which consist of more than one overdensity region. Cross-checking with the FLASH redshift survey catalogue, we have further estimated the redshifts of these sources, followed by a series of statistical analysis to study the formation history of the supercluster. The clusters/groups in the Shapley Supercluster show a tendency of alignment with their nearest neighbors, and the alignment signal is stronger for the merger candidates. In addition, we note that clusters/groups with larger ellipticity are better aligned with their nearest clusters, which suggests the apparent ellipticities of clusters and their alignment angles are anti-correlated. Both results indicate that the Shapley Supercluster was formed in accordance with the anisotropic accreting scenario of galaxy clusters formation along the large scale filaments. The signal of cluster alignment with the core of the Shapley Supercluster (A3558) is however weak, only marginally detected in a few Abell clusters in the vicinity of core, thus more galaxy velocity data are required to further constrain the collapse region of the Shapley Supercluster.

關鍵字 (Keywords) : Shapley 超星系團 (supercluster)、星系密集區 (galaxy overdensity region)、星系團排列 (alignment of galaxy clusters)

## 1. 前言

星系團的形成源自宇宙初始結構的微小不均勻，目前普遍認為是透過階式由下而上的過程 (hierarchical bottom-up scenario)，由較小的結構逐漸聚集成較大的結構，也就是，星系、星系群、星系團。聚集成併並非是均向的 (isotropic)，而是沿著大尺度由物質所形成的絲狀結構向重力較強的區域崩落 (infall) 聚集，這使得星系團與鄰近星系團間有互相排列的情形。自從 Bingelli (1982) 發現星系團的主軸有指向最鄰近星系團的趨勢後，許多利用可見光或 X-ray 的研究也都發現類似的現象，只是表現出明顯排列的尺度有所不同 (West 1989; Plionis 1994; Chambers, Melott & Miller 2001)。就星系團的演化來看，正在聚集成併物質的星

系團表現出較多的次結構、及非球狀對稱，且次結構的排列應該與大尺度結構的方向一致，並且也有指向鄰近星系團的趨勢 (West, Jones & Forman 1995)。倘若星系團不再繼續聚集成併其他物質，其次結構將逐漸合併，整個星系團將逐漸均功化 (virialisation)。Plionis & Basilakos (2002) 利用 APM 星系團目錄中約 900 個星系團資料發現，星系團密度愈高的地方，星系團的次結構愈多，而次結構愈多的星系團，也就是愈處在聚集成併早期的星系團，與鄰近星系團間的排列愈明顯。由這結果可以推測在超星系團這樣星系團高度聚集的地方，星系團間應該有更明顯的排列。

Shapley 超星系團 (以下簡稱 SSC) 是目前

已知紅移小於 0.1 的範圍內，星系團密度最高的超星系團 (Zucca et al. 1993)，Raychaudhury et al. (1989; 1991) 利用可見光和 X-ray 波段的觀測也發現，這個區域除了是星系和星系團高度密集的区域之外，許多星系團具有明顯的多重 (multiple) 結構。Bardelli et al. (1998a; 1998b; 2001) 在可見光的研究也指出，SSC 中的 A3558、A3528 和 A3571 與其臨近的星系團都有明顯的次結構，配合 X-ray 和電波波段的的研究推測 (Gastaldello et al. 2003; Venturi et al. 2002, 2003)，這些星系團應處於星系團合併的不同階段。

由於 SSC 除了具有高星系團密度及高次結構的特性之外，Reisenegger et al. (2000) 依據他們的球狀塌縮模型 (spherical collapse model) 或 Diaferio & Geller (1997; 1999) 的模型指出，SSC 核心附近正處於塌縮 (collapse) 的階段。我們很有興趣想了解，在 SSC 這樣的環境中，星系團間的排列如何？是否受到向著 SSC 核心塌縮的影響？我們是否可以找出塌縮的範圍？本篇研究希望利用 SSC 核心附近  $20^\circ \times 20^\circ$  的天空之中，大約 10,000 個的星系資料來偵測這個區域中的星系密集區 (galaxy overdensity region)，並找出其中可能的 merger candidates。再利用慣性力矩 (moments of inertia) 的方法來計算視橢圓度及長軸方位角，並由此了解在 SSC 中排列的情形。本文第 2 節是敘述本篇研究使用的資料，第 3 節是敘述星系密集區的偵測和紅移的推算，第 4 節是敘述橢圓度及長軸方位角的計算及分析，第 5 節是敘述與 SSC 核心及最鄰近的星系團/群的排列，第 6 節是討論在 SSC 中星系團/群的排列現象，第 7 節是總結。

## 2. 星系資料

Shapley 超星系團核心大約是 A3558 的位

置，也就是赤經 13h28m、赤緯-31.5 度附近，大致是在宇宙微波背景偶極非均向性 (dipole anisotropy of the Cosmic Microwave Background) 的方向上，其中已知的星系團和星系群主要位於紅移量 0.04 至 0.055 之間。

本篇研究使用的星系資料範圍位於赤經 12h40m~14h00m、赤緯-22.0~-42.0 度。原始觀測資料是 ESO Schmidt 南天巡天觀測 R 波段的底片 (plate)，利用法國巴黎天文台的 MAMA 數位化掃描機器進行數位化，再利用天體視星等與表面積的關係進行星系-恆星的分離，我們選擇視星等  $R < 16$  的星系。

## 3. 星系密集區的目錄

### 3.1 偵測星系密集區的方法

我們利用星系的密度分布來找出星系密集區，首先必須先將原始星系座標資料做等面積 (equal area) 座標的轉換，再以  $3 \times 3$  (arcmin<sup>2</sup>) 為一個格點，做 FWHM 為 6 arcmin 的高斯平滑處理，找出星系密度大於  $4\sigma$  (訊噪比) 的格點，並將這些格點當中彼此相鄰的合為同一個星系密集區，並以當中密度最高的格點中心位置做為此區的中心，由於在同一個星系密集區內可能有多重峰值 (multiple peaks)，我們另將整個天區動態減除背景，背景值是以  $1^\circ \times 1^\circ$  的區域做滑動平均而得，也就是，密度愈高的區域減除的背景愈高，這個程序可以讓我們將多重峰值辨識出來。另外，為了避免只是幾個星系在投影位置上很接近所造成的局部高密度，在離每個星系密集區中心  $0.15$  半徑範圍內至少需有 8 個星系，在  $0.2$  範圍內至少需有 12 個星系。

### 3.2 星系密集區紅移速度的推算

由於我們使用的星系資料並沒有紅移速度的觀測，我們希望藉由 FLASH 的星系紅移觀測

目錄 (FLAIR Shapley-Hydra redshift survey catalogue), 來推算我們偵測到的星系密集區的紅移速度。FLASH 主要觀測範圍是 Shapley 超星系團到 Hydra 星系團之間大約  $70^\circ \times 10^\circ$  的天區, 包括 3141 個  $b_j \leq 16.7$  的紅移觀測資料 (Kaldare et al. 2003), 其中 1455 個位於我們的研究區域。在應用 FLASH 的資料估算紅移之前, 我們利用 NED (NASA Extragalactic Database) 中位於本區、已知紅移量的星系團來尋找估算紅移最佳參數的範圍, 參數包括估算的準確度和估算的數量。我們分別找出距離星系團中心  $0^\circ.1$ 、 $0^\circ.2$ 、 $0^\circ.3$  範圍內 FLASH 目錄中的星系, 並計算這些星系紅移量的 median 值, 並比較兩個紅移量間的誤差。由表一可看出  $0^\circ.1$  範圍所得的推算值與 NED 的紅移量相比較誤差最少, 雖然  $0^\circ.2$  範圍可以找到更多對應的星系團 (增加 7 個), 但分析當中 11 個誤差大於 20% 的例子, 其中 3 個是新增的, 6 個與  $0^\circ.1$  範圍相同, 2 個以  $0^\circ.1$  範圍推算是小於 20%, 只有一個以  $0^\circ.1$  範圍推算誤差大於 20% 變成小於 20%。這樣來看, 多找到的有接近一半 (3/7) 誤差大於 20%, 並且也沒有改善以  $0^\circ.1$  範圍推算的誤差, 以  $0^\circ.3$  推算的結果也類似, 所以我們使用距離星系密集區中心  $0^\circ.1$  範圍內的 FLASH 星系來做紅移的推算。

表一: FLASH 推算的紅移量與 NED 紅移量的比較  
( $\Delta z$ : 兩個紅移量的差值,  $z$ : NED 的紅移量)

範圍	$ \Delta z /z \times 100\%$	$\leq 10\%$		$\leq 20\%$	
		個數	比例	個數	比例
$0^\circ.1$	58	47	81%	51	87%
$0^\circ.2$	65	52	80%	54	83%
$0^\circ.3$	70	53	75%	56	80%

### 3.3 星系密集區目錄

依據偵測星系密集區的方法, 我們一共找到了 220 個星系密集區, 這些星系密集區有的是單獨的星系團或星系群, 有的是星系團內的

次結構, 也不排除有部份可能是投影造成的結果。我們進一步以  $3\sigma$  的等密度線 (isodensity) 為範圍, 以類似 friends-of-friends 的方法連結當中距離小於一個 Abell 半徑 ( $1.5 h^{-1} \text{Mpc}$ ,  $H_0 \equiv 100h \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ) 的星系密集區, 將其視為一個正在合併的結構, 220 個星系密集區在經過這個程序處理之後, 我們得到 164 個星系團/群, 其中有 37 個在  $3\sigma$  的等密度線範圍內有一個以上的星系密集區, 這些有可能是處在星系團合併的階段。

對照 NED 及 REFLEX 星系團巡天觀測目錄 (ROSAT-ESO Flux Limited X-ray Galaxy Cluster Survey Catalogue, Böhringer et al. 2004) 已被辨識的星系團及星系群資料, 再經過目視的檢驗, 我們以  $0.4 h^{-1} \text{Mpc}$  做為搜尋的半徑, 結果有 88 個星系團或星系群可對應到我們找到的星系密集區, 另外有約半數的的星系密集區仍未被發現, 對於這些星系密集區的性質可再做進一步的研究。

在 220 個星系密集區中, 可由 FLASH 推算得紅移量的有 91 個, 再加上與 NED 星系團及星系群相對應的, 最後共有 109 個星系密集區有紅移量。而 164 個經過次結構合併處理的星系團/群則有 84 個紅移量。

## 4. 視橢圓度及長軸方位角的計算與分析

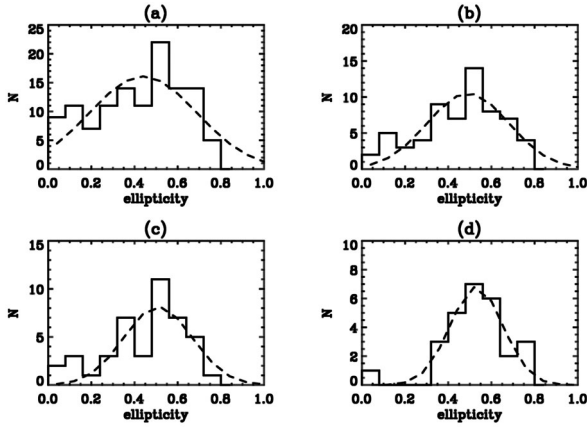
### 4.1 計算方法

我們利用慣性力矩的方法來計算星系團的視橢圓度及長軸方位角 (Carter & Metcalfe 1980; Basilakos, Plionis & Maddox 2000, 以下簡稱 BPM)。延續之前偵測星系密集區的等面積格點劃分, 並以  $3\sigma$  等密度線為星系團/群的計算邊界, 為避免格點數太少造成的計算偏

差，邊界內的個格點數至少要有 5 個。而中心位置則以邊界內每個格點的密度為比重，重新計算質量中心。使  $x=(Ra_g-Ra_c)\times\cos(\delta_c)$ 、 $y=(\delta_g-\delta_c)$ ，其中註腳  $g$  和  $c$  分別代表格點和星系團/群的中心，然後再計算 4 個力矩 (moment) 值： $I_{11}=\sum w_i x_i^2$ ， $I_{22}=\sum w_i y_i^2$ ， $I_{12}=\sum w_i x_i y_i$ ，其中  $w_i$  為格點密度。最後，解  $\det(I_{ij}-\lambda^2 M_2)=0$  ( $M_2\equiv 2\times 2$  單位矩陣)，即可得兩個本徵值 (eigenvalue)  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ ，定義橢圓度為： $\varepsilon=1-\lambda_2/\lambda_1$ ，其中  $\lambda_2<\lambda_1$ 。解得的本徵向量 (eigenvector) 即為長軸方位角，我們定義方位角以正北為 0 度，角度向東增加。

## 4.2 視橢圓度及長軸方位角的分布

### 4.2.1 視橢圓度的分布



圖一：星系團/群視橢圓度分布的直方圖與擬合的高斯分布 (點線)。樣本分別為(a)全部，(b)有紅移估算值，(c)紅移量 0.04-0.055，(d) merger candidates。

164 個星系團/群中滿足 4.1 的計算條件者共有 118 個，其中有紅移估算值的有 63 個。圖一是星系團/群視橢圓度分布的直方圖與擬合 (fit) 的高斯分布 (點線)。圖一 a 是全部的樣本，共有 118 個，圖一 b 是有紅移估算值的樣本，共有 63 個，這組資料我們將用來進行星系團/群是否存在排列現象的研究。圖一 c 是位於紅移量 0.04-0.055 的樣本，也就是 SSC 中星系

團數量最集中的地方，共有 43 個。圖一 d 是 merger candidates，共有 27 個，其視橢圓度在 0.3 以下的只有一個，顯示 merger candidates 次結構分布的非均向性。

若我們由橢圓度 ( $\varepsilon$ ) 來計算軸比值 (axial ratio  $q=\sqrt{(1-\varepsilon)/(1+\varepsilon)}$ ) (BPM)，我們可以得到以上四組資料的軸比值及其擬合的高斯分布，與 BPM 利用 APM 星系團目錄約 900 個星系團得到的結果相比較 (表二)，結果顯示，位於紅移量 0.04-0.055 之間的 c 組、及 merger candidates 的 d 組資料，有較低的軸比值平均值。

表二：軸比值高斯分布的平均值與標準差。四組樣本與圖一相同

	q 平均值	標準差
a	0.62	0.2
b	0.58	0.15
c	0.56	0.12
d	0.54	0.12
BPM	0.65	0.15

### 4.2.2 長軸方位角的分布

我們利用測量到的長軸方位角的 Fourier 轉換式

$$C_n = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum \cos 2n\theta_i$$

$$\text{與 } S_n = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum \sin 2n\theta_i$$

來檢測分布的均向性 (Struble & Peebles 1985)，其中  $\theta$  代表方位角， $N$  代表樣本總數， $n$  為 1 或 2，若  $N$  個方位角的分布是均勻分布於 0-180 度之間，則  $C_n$  與  $S_n$  的平均值將為 0，標準差為 1，若其值大於 3 以上 ( $3\sigma$ )，表示存在明顯的非均向性，我們分析與 4.2.1 相同的 4 組資料，其值如表三。結果顯示， $C_{1,2}$  與  $S_{1,2}$  的值都小於 1.5，並沒有存在明顯的非均向性。而利用全部樣本統計的  $C_{1,2}$  與  $S_{1,2}$  的值都在標準差範圍內，這表示我們的資料及計算方法並沒有系統上的偏差 (systematic bias)。

表三：星系團/群方位角的 Fourier 轉換式計算結果。  
四組樣本與圖一相同

	$C_1$	$S_1$	$C_2$	$S_2$
a	0.17	-0.58	-0.15	0.42
b	-0.67	1.49	0.61	0.11
c	-0.2	1.48	0.72	0.36
d	0.97	1.45	-0.25	1.07

## 5. 星系團的排列

### 5.1 排列角度與距離的計算

我們首先定義地球上點A到參考點B間的方向角，在點A、B與天北極P三點所形成的球面 $\triangle ABP$ 中，方向角 $\vartheta_B$ 為AP與AB兩個邊的夾角。兩個星系團/群間的排列可定義為 $\phi_{A,B} = |\theta_A - \vartheta_B|$ ， $\theta_A$ 代表A的長軸方位角， $\vartheta_B$ 代表到參考目標間的方向角，我們取兩者差值的銳角絕對值為排列的角度，倘若在統計的 $N$ 個樣本中沒有特定的排列存在，則其預期平均值 $\langle \phi_{A,B} \rangle \cong 45^\circ$ ，其Poisson的標準差定義為 $\sigma = 90 / \sqrt{12N}$  (Struble & Peebles 1985)，排列的程度由 $\delta = \sum_{i=1}^N \frac{\phi_{A,B}}{N} - 45$ 來表示，負值愈大代表排列愈顯著。另外，為避免長軸方位角因橢圓度太小所造成計算上的不準確性，我們只選擇橢圓度大於0.05的星系團/群，總樣本數為61個。

由A到參考點B之間的距離是利用A、B兩點的赤經、赤緯及紅移量來計算，我們利用以下轉換式將其轉換為直角座標。

$$x = r \cos \delta \cos \alpha,$$

$$y = r \cos \delta \sin \alpha,$$

$$z = r \sin \delta,$$

其中 $\alpha$ 、 $\delta$ 分別為赤經和赤緯， $r$ 是視線方向的距離，

$$r = \frac{2c[1 - (1+z)^{-1/2}]}{H_0[1 + (1+z)]} \quad (\text{Peebles, 1993}),$$

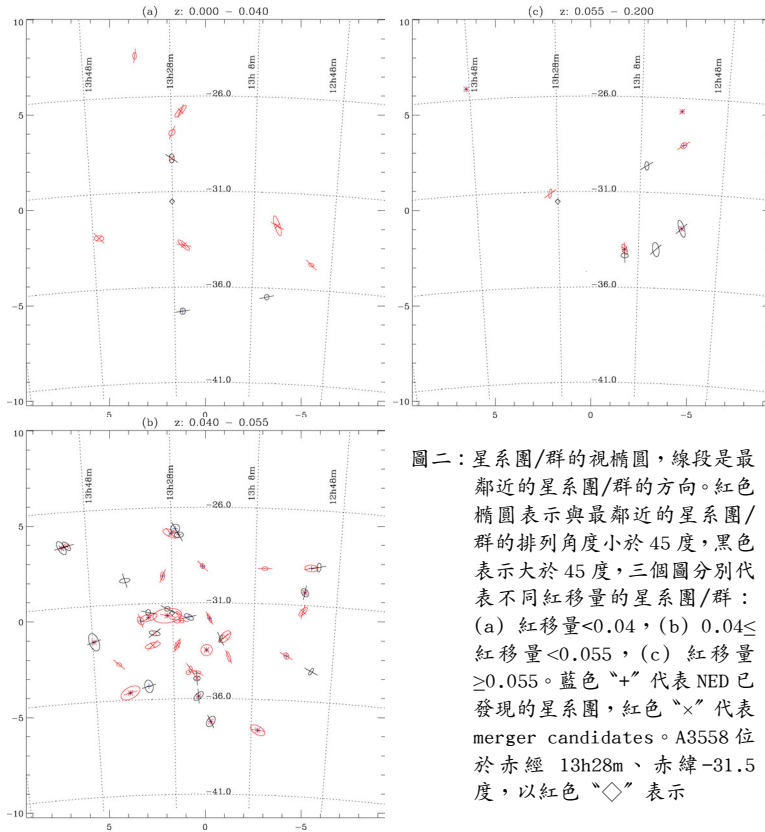
$H_0 \equiv 100h \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ ， $z$ 為紅移量，雖然星系團的紅移速度是由宇宙膨脹的速度再加上星系

團的本動速度 (peculiar velocity)，在忽略本動速度的情況下，換算為視線方向的距離時可能會產生誤差，但在本文所引用的相關文獻中，都是以這樣的方法得到排列的結果。

### 5.2 排列的結果

對於SSC的排列研究，我們樣本中的星系團/群的主要參考目標是核心的A3558，以及其最鄰近的星系團/群，我們可由圖二看到星系團/群的視橢圓以及對著最鄰近星系團/群的方向，圖三是排列角度的統計結果，由圖三a可看出，與A3558距離 $10 h^{-1} \text{ Mpc}$ 範圍內屬NED中的星系團 (主要是Abell 星系團) 有較低的平均排列角度 ( $\langle \phi_{A,B} \rangle = 34.1^\circ$ )，其餘的平均角度都接近均向分布的 $45^\circ$ 。圖三b顯示與A3558距離分別為10, 15, 20, 25, 30 Mpc範圍內的樣本，與最鄰近的星系團/群間的平均排列角度 $\langle \phi_{A,B} \rangle$ 為 $29.8, 36.3, 36.8, 38.6, 40.3$ ，比 $45^\circ$ 低約1-2 $\sigma$ ，其中merger candidates在與SSC核心分別距離10, 15  $h^{-1} \text{ Mpc}$ 的範圍內有更低的平均排列角度 ( $\langle \phi_{A,B} \rangle$ 分別為 $13.8, 34.2$ )。圖三c只考慮NED已發現的星系團，除了與A3558距離 $10 h^{-1} \text{ Mpc}$ 之內的星系團 ( $\langle \phi_{A,B} \rangle = 15.8$ )，以及與A3558距離 $20 h^{-1} \text{ Mpc}$ 之內的merger candidates ( $\langle \phi_{A,B} \rangle = 32.3$ ) 有較低的平均排列角度 (比 $45^\circ$ 低約 $\sim 1-2\sigma$ )外，其餘與最鄰近的星系團並沒有排列的情形。

由圖四我們發現，與最鄰近的星系團/群之間的排列角度與該星系團的視橢圓度之間有負相關 (anticorrelation) 的趨勢，特別是NED星系團及merger candidates，這個負相關對距離SSC核心A3558約10-15  $h^{-1} \text{ Mpc}$ 範圍內的樣本最明顯，相關係數約為-0.6，此負相關性隨著與A3558距離的增加而遞減。



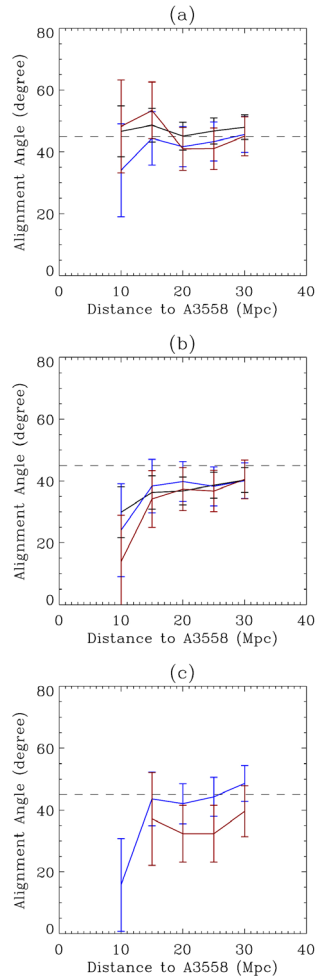
圖二：星系團/群的視橢圓，線段是最鄰近的星系團/群的方向。紅色橢圓表示與最鄰近的星系團/群的排列角度小於45度，黑色表示大於45度，三個圖分別代表不同紅移量的星系團/群：(a) 紅移量 $<0.04$ ，(b)  $0.04 \leq$  紅移量 $<0.055$ ，(c) 紅移量 $\geq 0.055$ 。藍色“+”代表NED已發現的星系團，紅色“x”代表merger candidates。A3558位於赤經 13h28m、赤緯 $-31.5$ 度，以紅色“◇”表示

## 6. 討論

在本篇研究中，以SSC核心A3558為參考目標所進行的排列研究結果顯示 (圖三a)，表現出對A3558較明顯排列的樣本侷限於A3558附近 $10 h^{-1}\text{Mpc}$ 範圍內的Abell星系團，但這些星系團與最鄰近星系團間有更好的排列 (圖三b及c， $\langle \phi_{A,B} \rangle = 24.1, 15.8$ )。Reisenegger et al. (2000) 的研究指出，SSC核心附近正處在場縮的階段，場縮的範圍可能在 $8h^{-1}\text{Mpc}$ 到 $14h^{-1}\text{Mpc}$ 之間。對於處在場縮範圍內的星系團/群是否會對核心表現出較明顯的排列，由我們目前的結果來看，其與最鄰近星系

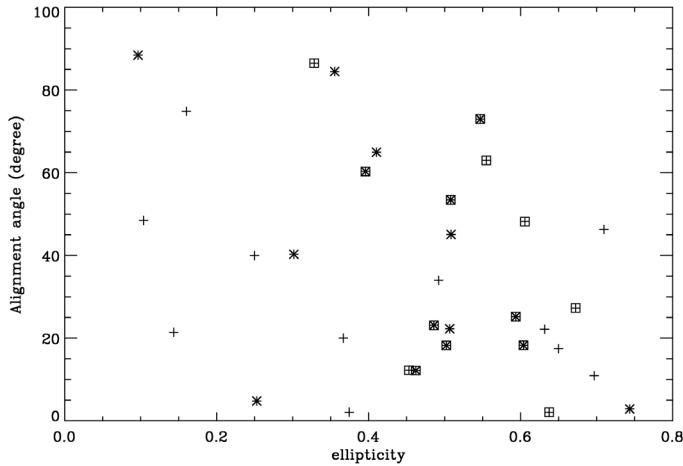
團間的排列似乎還是較明顯。另外，在場縮範圍內的星系團其本動速度較不可忽略，使得在距離的計算上有較大的不確定，我們尚無法從目前的結果判斷場縮的範圍。

以最鄰近的星系團/群為參考目標所進行的排列研究結果顯示 (圖三b及c)，對所有的星系團/群或是只考慮NED的星系團，分別在距離SSC核心 $20 h^{-1}\text{Mpc}$ 或是 $10 h^{-1}\text{Mpc}$ 的範圍內的有較為明顯的排列現象 ( $\delta \sim -2\sigma$ )。對於merger candidates，也分別在距離SSC核心 $15 h^{-1}\text{Mpc}$ 或是 $20 h^{-1}\text{Mpc}$ 的範圍內，較其他星系團有更低的平均排列角，由於目前認為星系團的形成是沿著大尺度物質分布的絲狀結構聚集，所以其次結構也應該沿著絲狀結構排列，我們所偵測到merger candidates與最鄰近的星系團之間表現出較低的平均排列角，一方面符合了上述的理論，另一方面，也可驗證其是否為正在進行合併的星系系統。



圖三：排列角度的統計值與A3558距離的關係。黑色線條代表所有的星系團/群、藍色線條代表NED已發現的星系團、紅色線條代表merger candidates。三個圖分別為(a)參考目標為SSC核心的A3558，(b)參考目標為最鄰近的星系團/群，(c)只考慮NED已發現的星系團，參考目標為其最近的NED星系團。虛線代表均向分布 $\langle \phi_{i,j} \rangle = 45^\circ$ 。

另外，與最鄰近的星系團/群之間的排列角度與該星系團的視橢圓度之間有負相關的趨勢(圖四)，這表示視橢圓度愈大排列愈明顯。橢圓度的大小可以作為一個星系團是否處在星系團合併階段的一個指標，愈接近均功態的星系團其橢圓度愈小。雖然我們測量的橢圓度只是投影上的視橢圓度，並不能代表真正的橢圓度，若以目前認為的星系團外形是接近橢長型



圖四：與最鄰近星系團/群的排列角度vs.橢圓度。本圖只選擇距離A3558在20 h<sup>-1</sup>Mpc範圍內的星系團/群。“+”代表該範圍內的所有的星系團/群，“\*”代表範圍內NED已發現的星系團，“□”代表範圍內的merger candidates。

(prolate, BPM) 來看，由Monte Carlo模擬得到的結果顯示，真橢圓度 (intrinsic ellipticity) 在機率上是大大於視橢圓度 (例如，視橢圓度平均值為0.5的樣本，其真橢圓度平均值約為0.65)。投影上橢圓度較小的，有可能其真橢圓度較小或是其長軸方向較接近視線的方向，但視橢圓度較大者，代表其有大的真橢圓度。所以視橢圓度較大的星系團/群有可能是正向著重力較強的區域崩落，或是處在星系團合併的早期。這個結果與目前認為的星系團形成方式一致，對於處在星系團合併階段、尚未達到均功態的星系團與鄰近星系團間有較好的排列。

我們的結果與Plionis & Basilakos (2002) 利用APM星系團目錄約900個星系團所作的結

果類似，亦即除了星系團與最鄰近的星系團間有排列的現象之外，愈是處在星系團合併階段的星系團與最鄰近的星系團間有愈好的排列。雖然我們的研究受限於樣本數量，導致Poisson標準差較高，缺乏 $\delta \sim 3\sigma$ 的結果，但排列角度的平均值與該研究近似或更低 (該研究中，與最鄰近的星系團間最低的平均排列角度為 $\langle \phi_{A,B} \rangle = 37.3$ )。

## 7. 總結

我們利用SSC核心A3558附近大約20°×20°天空的星系資料所偵測到的星系團/群，進行排列的研究，結果顯示在SSC內的星系團及星系群與最鄰近的星系團/群之間存在互相排列的現象，其中merger candidates有更明顯的排列情形。另外，星系團/群的視橢圓度與排列的角度呈現負相關的趨勢，顯示處在星系團合併階段、尚未達到均功態的星系團有愈好的排列。這些結果也都顯示了星系團

或星系群的形成是沿著大尺度非均向性的結構聚集。至於對A3558的排列，表現出較明顯排列的樣本侷限於A3558附近10 h<sup>-1</sup>Mpc範圍內的Abell星系團，我們尚無法從目前的結果判斷塌縮的範圍。由於本篇研究是利用可見光的星系資料，在計算橢圓度及方位角時可能因為前景與背景星系的混雜而導致誤差，我們另外也利用ROSAT X-ray的星系團觀測資料進行相關的分析與比對 (Ho & Chen 準備中)。

## 誌謝

CLW感謝中華民國國科會對本計畫的經費補助 (計畫編號NSC-91-2112-M-003)。



## 參考文獻

- Bardelli, S., Zucca, E., Zamorani, G., Vettolani, G., Scaramella, R., 1998a, *MNRAS*, 296, 599
- Bardelli, S., Pisani, A., Ramella, M., Zucca, E., Zamorani, G., 1998b, *MNRAS*, 300, 589
- Bardelli, S., Zucca, E., Zamorani, G., Moscardini, L., Scaramella, R., 2000, *MNRAS*, 312, 540
- Basilakos, S., Plionis, M., Maddox, S. J., 2000, *MNRAS*, 316, 779
- Bardelli, S., Zucca, E., Baldi, A., 2001, *MNRAS*, 320, 387
- Binggeli, B., 1982, *A&A*, 107, 338
- Böhringer, H., Schuecker, P., Guzzo, L., Collins, C.A., Voges, W., Cruddace, R.G., Ortiz-Gil, A., Chincarini, G., De Grandi, S., Edge, A.C., MacGillivray, H.T., Neumann, D.M., Schindler, S., Shaver, P., 2004, *A&A*, 425, 367
- Carter, D., Metcalfe, N., 1980, *MNRAS*, 191, 325
- Chambers, S., Melott, A., Miller, C., 2002, *ApJ*, 565, 849
- Diaferio, A., Geller, M. J., 1997, *ApJ*, 481, 633
- Diaferio, A., 1999, *MNRAS*, 309, 610
- Gastaldello, F., Ettori, S., Molendi, S., Bardelli, S., Venturi, T., Zucca, E., 2003, *A&A*, 411, 21
- Kaldare, R., Colless, M., Raychaudhury, S., Peterson, B. A., 2003, *MNRAS*, 339, 652
- Peebles, P. J. E., 1993, *Principles of Physical Cosmology*, Princeton: Princeton University Press
- Plionis, M., 1994, *ApJS*, 95, 401
- Plionis, M., Basilakos, S., 2002, *MNRAS*, L329, 47
- Raychaudhury, S., 1989, *Nature*, 342, 251
- Raychaudhury, S., Fabian, A. C., Edge, A. C., Jones, C., Forman, W., 1991, *MNRAS*, 248, 101
- Reisenegger, A., Quintana, H., Carrasco, Eleazar R., Maze, J., 2000, *AJ*, 120, 523
- Struble, M. F., Peebles, P. J. E., 1985, *AJ*, 90, 582
- Venturi, T., Bardelli, S., Zagaria, M., Prandoni, I., Morganti, R., 2002, *A&A*, 385, 39
- Venturi, T., Bardelli, S., Dallacasa, D., Brunetti, G., Giacintucci, S., Hunstead, R. W., Morganti, R., 2003, *A&A*, 402, 913
- West, M. J., 1989, *ApJ*, 347, 610
- West, M. J., Jones, C., Forman, W., 1995, *ApJ*, L451, 5
- Zucca, E., Zamorani, G., Scaramella, R., Vettolani, G., 1993, *ApJ*, 407, 470