

星系团的观测特征、空间分布 和成员星系的演化

栾 陵

(中国科学院北京天文台)

提 要

星系团是宇宙学研究的重要领域之一,本文从观测的角度介绍了星系团的一些特征,如丰度、成份、形态分类和尺度,以及星系团的X射线和射电辐射性质,还简介了有关星系团演化的一些最新进展。数字模拟是天体物理中近年来应用得较多的研究手段之一,本文也介绍了在cD星系演化方面的一些数字模拟结果。星系团空间分布的研究直接依赖于所取样本的完备性,本文简述了在这个领域内的部分工作近况。

一、星系团的稳态性质

丰度是星系团成员星系的量度,它是一个依赖于确定星系团的判据的量。证认一个星系团的基本原则是某一天区的星系的面数密度与背景场星系面数密度之比值大于或等于某一数值: $\langle\sigma/\sigma_b\rangle\geq N$ 。证认的方法一般是根据某一判据在底片上目视寻找(近来也有人开始用机器进行证认)。在星系团证认的过程中有可能混入场星系,精确的改正方法是测量红移,因为同一星系团的成员星系的红移应当大致相同,即处于同一距离,属于同一演化层次。

Sandage & Hardy (1973)对许多星系团的丰度作了统计研究,结果表明,只有10%的星系属于富星系团,大部份星系属于小星系群,场星系也只占很少一部份。事实上,属于小星系群的星系数目与属于富星系团数目之比,成团星系与场星系的数目之比,仍是一个未解决的问题。解决这个问题需要大范围天区或在适当选区内完备的星系团样本,并且这些样本都应当进行红移测量。

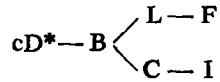
星系团也可象恒星光谱型和光度型、星系Hubble型那样进行分类,趋势也是这样:早型(规则)——晚型(不规则)。早型星系团的动力学内在联系强于晚型星系团。可以用来进行分类的参数除形态外,还有亮星系的主导程度和成员星系的成份。

Zwicky(1961—1968)在他的星系团表中将星系团分为三类:致密星系团——亮星系密集,至少有十个星系看上去相连;中等密集星系团——有一个或多个密集区,其中最亮的十个星系之间相距只有几个星系的直径;疏散星系团——无明显密集的迹象。

1985年12月25日收到。

1986年4月15日收到修改稿。

Rood & Sastry(1971)将星系团分类成一个音叉形状:



其中cD型(Supergiant)——星系团中有一个主导的cD星系,如Abell星系团A401, A2199, B型(Binary)——星系团中有一对主导的亮星系,如Coma星系团, L型(Line)——星系团中有三个以上的亮星系成行状,如Perseus星系团, C型(Core)——星系团最亮的十个星系中至少有四个密集在团心,如A2065, F型(Flat)——星系团最亮的十个星系中有几个成扁平组态,如A397, I型(Irregular)——成员星系分布不规则,无明显中心。Rood & Sastry将他们的分类方法应用到Abell星系团,结果是:cD型21%, B型9%, L型9%, C型14%, F型18%, I型29%。每条音叉臂上占有成团星系的三分之一左右。

Bautz & Morgan (1970)根据主导星系的特点将星系团分为五类: I型——星系团中心有一占主导地位的cD星系,如A2199; II型——最亮几个星系的特征介于cD星系(有广延的包层)和正常巨椭圆星系之间,如Coma星系团; III型——无占主导地位的星系,如Virgo星系团和Hercules星系团。此外, I-II型和II-III型均为中介型。

Morgan(1962)和Oemler(1974)根据星系团成员星系的成份将星系团分为三类: cD星系团——有占主导地位的超巨星,团的核域无旋涡星系,且核域中椭圆星系的比例高于其他类型的星系团。这种类型的特点是中心密集、球对称、梯度大; 贫旋涡星系团——有形态和质量密集现象,但不象cD星系团那样规则; 富旋涡星系团——形状不规则,无中心密集现象,平均密度低,梯度小。

以上这些分类系统都与星系团的表现特征密切相关。因此,排除投影效应尤其是星系团中心区域的投影效应和排除场星系是至关重要的。

观测表明,密集星系团中心区域大多是椭圆星系或S0星系,而旋涡星系则在场星系中出现的频率很高。平均说来,在成团星系中,E+S0星系的数密度高于旋涡星系数密度,而在场星系中情况正好相反。Van den Bergh (1975)指出, Seyfert星系在富星系团和贫星系团中都很少,大多出现在场星系中。另外,星系团中E型、S0型和S型星系所含气体比前景或背景场中相应类型星系所含气体少。

星系团并没有明显的界线。在底片上寻找和证认星系团时需要依靠一定的判据,判据的内容之一就是要给出一个阈值,在这阈值之内是星系团。例如Abell (1958)判据给出的阈值是以星系团中心为圆心,以 $R=1.7/Z_{\text{arcmin}} \approx 3h_{50}^{-1} \text{Mpc}$ 为半径的圆。Zwicky (1961—1968)的阈值是一个等值轮廓线,在这个轮廓线内星系面数密度是附近场星系面数密度的两倍。通常还定义一些半径来描述星系团的尺度,如引力半径 R_G ——在 R_G 处引力能与动能相等; 核半径 R_c ——在 R_c 处星系数密度是核域数密度的一半; 动力学半径 R_d ——从星系团中成员星系的速度分布曲线入手,考虑星系时标小于Hubble时标而定出。

能否从理论和观测上给出星系团尺度的范围呢? Peebles及其同事对Zwicky星系团表、Shanes & Wirtanen星系团表和Jagellionian星系团表作了统计分析,估计了星系的二点和

* cD星系的定义详见第四节。

三点相关函数,发现相关函数是角距离的简单幂函数。他们的结果表明星系成团的尺度在 $0.06h_{50}^{-1}\text{Mpc}$ 到 $40h_{50}^{-1}\text{Mpc}$ 之间,并且无趋于此范围内某一值的倾向。现在观测到的星系团的大小绝大多数在此范围内。Abell根据他的星系团表指出,星系团的半径取为 $3h_{50}^{-1}\text{Mpc}$,足以包含富星系团的主要区域,至多有些低密度的外层被忽略掉。Zwicky指出他的星系团表中最大星系团的尺度量级约为 $10h_{50}^{-1}\text{Mpc}$ 。

从观测上确定星系团的尺度,一般采用两种方法:一种是密度截断法,即密度分布中低于某一密度值的区域都被忽略掉,另一种是从速度分布曲线来定,即考虑小于 Hubble 时标的速度分布区域为星系团对应的速度分布。可是,从结果的一致性来讲,并不使人十分满意,例如 Coma 星系团,这个星系团被研究得最多,但不同的研究者给出了不同的结果 [Zwicky (1957), Oemler et al. (1965), Rood et al. (1972), Rood (1975)],这些不一致的主要来源是对 Coma 星系团周围的场星系数密度的假设不同。

二、星系团的辐射

大多数河外 X 射线辐射源都与星系团有关 [Bahcall & Bahcall (1975), Gursky & Schwartz (1977)]。星系团中 X 辐射源的核半径约为 $0.5h_{50}^{-1}\text{Mpc}$,而其他河外 X 辐射源如单星系和类星体并没有表现出有统一的尺度。它们之间的 X 辐射光度对比如下:星系团, 10^{43} — $10^{45}\text{ergs} \cdot \text{s}^{-1}$;单个正常星系, $\lesssim 10^{42}\text{ergs} \cdot \text{s}^{-1}$;类星体, $\sim 10^{46}\text{ergs} \cdot \text{s}^{-1}$ 。星系团的 X 射线辐射可能由以下三种机制产生:1.相对论性电子与微波背景辐射光子碰撞产生逆 Compton 散射;2.星系团内气体的热韧致辐射;3.类似于银河系内的某些致密源。

很多射电星系也出现在星系团中。大约有 20% 的强射电星系位于富星系团的中心区域,因为强射电星系多是椭圆星系,而富星系团中心则是椭圆星系密集之处。一般说来,如果强射电源位于星系团内部,那么它极可能出自星系团某个最亮的星系。

有人对星系团的 X 辐射和射电辐射性质作过相关研究 [Owen (1974), Rowan-Robinson & Fabian (1975)],结果表明它们是强相关的。这个结论意味着,对星系团来说, X 射线源通常也是射电源。

顺便提一下,不少人的研究结果都表明 [Oemler (1973), Rood (1974), Bahcall (1974)],规则富星系团的质量、光度和质光比都差不多,它们的特征值是: $M \sim 10^{15 \pm 1} h_{50}^{-1} M_{\odot}$, $L \sim (10^{12} - 10^{13}) h_{50}^2 L_{\odot}$, $M/L \sim (50 - 500) h_{50} \cdot M_{\odot}/L_{\odot}$ 。

三、星系团的空间分布

研究宇宙大尺度结构最有用的工具之一是相关函数 $\zeta(r)$,即距离为 r 的两个物体超过随机分布的几率分布,这套理论发展得很快,现在已经有人用 N 点相关函数来研究星系和星系团的分布,也有不少人用计算机模拟星系和星系团的分布。Struble 和 Peebles (1985) 最近的一项工作是用 Binggeli (1982) 检验方法研究了星系团的列向问题,他们发现,星系团和其最亮星系有指向其邻近星系团和最亮星系的倾向。这个倾向是符合 Binggeli 的结果的,但是这个倾

向很小,有可能是系统误差造成的。

用相关函数研究星系和星系团的分布和宇宙大尺度结构需要很好的样本。由Peebles等人发展的相关函数方法在理论上已比较成熟,但结果的可靠性则很大程度上依赖于所取样本的完备性。

已有不少人用Abell星系团作样本研究了星系团的空间分布[Kirshner(1981), Bahcall et al. (1982), Davis et al. (1982), Batuski et al. (1984)]。其中Batuski等人用Abell星系团构造了三维宇宙模型,离地球的距离约为280Mpc(取Hubble常数为75km/s/Mpc)。他们发现在北银冠附近有两个巨大的空洞,尺度在100Mpc到略大于400Mpc之间。相反,在南银冠附近,Abell星系团之间表现出明显的纤维状结构。他们用二点相关函数对估算的红移 $Z < 0.085$ 的Abell星系团作了相关分析,发现在100—200Mpc的尺度上,星系团表现出明显的相关性。

总的说来,从考察星系团的空间分布可以发现,星系团之间有的成纤维状或链状结构,使星系团看起来似乎相连,有的则是巨大的空洞(Schmidt et al., 1984)。这种空洞正在不同的天区多次发现。从大爆炸宇宙学的观点来看,宇宙在大尺度上应该是均匀的。从以上的介绍可以看到,宇宙不均匀的尺度至少是几百个Mpc。那么我们不禁要问,宇宙均匀的尺度到底是多大?理论上,国内外的不少学者都作过研究,但真正解决这个问题的关键还是要求从观测上得到更好更完备的星系团样本,而且这些样本都应该具有较精确的红移值。

Schechtman (1985)从Shane-Wirtanen星系计数表中挑出了646个星系团。其中97个具有红移值的Shane-Wirtanen星系团与距离阶数小于或等于四的Abell星系团表现出相同的红移分布。作者认为,Shane-Wirtanen星系团的空间密度高,可以提供更清晰的星系团空间分布图像。

Zwicky星系团数目比Abell星系团多得多,用Zwicky星系团来研究星系团的空间分布也许是一个很好的尝试。

四、星系团成员星系的演化

星系团是星系密集之处。星系之间、星系和星系际气体之间的相互作用使得成团星系的演化环境与一般场星系很不相同。观测表明,星系团中有与场星系大相径庭的超巨星系,如cD星系。另外,成团星系有向椭圆星系和S0星系演化的趋向,而场星系则多是旋涡星系。观测还发现很多富星系团中存在星系际热气体,气体与星系之间的相互作用有可能改变星系自身的性质,如自身气体含量和恒星形成率。总之,成团星系的演化极大地受到环境的影响,即受到星系团整体的形成和演化的影响。正如星团是研究恒星演化的很好的对象一样,星系团是研究星系演化的很好的“实验室”。由于篇幅所限,下面仅简介一些有关星系团中cD星系和旋涡星系演化的研究概况。

cD星系是很特殊的星系,它在星系团中以主导星系的身份出现,从来不出现在低密度的背景场中($\rho < 1$ 星系/Mpc³)。cD星系是由形状不定的延展恒星晕所包围的亮椭圆星系,其晕的尺度为100kpc(取 $H_0 = 50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$) (Struble & Rood, 1982)。cD星系不出现在背景场中这个特点,使它成为研究成团星系演化的焦点,因为它是密集环境的产物,它的

演化显著地受到星系团环境的影响。那么, cD 星系是如何形成的呢? 近年来有以下几种模型讨论这个问题: 相食模型——由星系团中最亮的几个星系通过与邻近星系晕的动力学摩擦, 发生并合作用, 最终在星系团中心形成一个巨大的高光度的 cD 星系; 潮汐剥落模型——最初由很多巨椭圆星系组成了星系团的核心区域, 但只有中心的一个能够保持其恒星晕, 其他星系的恒星晕都被星系团的潮汐场剥落而在势场中运动。这样, 中心星系看上去很突出 (Merritt, 1984); 冷气聚合模型——星系团内介质 (ICM) 释放出大量冷气体, 以每年 $100M_{\odot}$ 的流量向星系团中心流去, 从而形成一个 cD 星系。这种冷气体可能是由暗物质释放出来的 (Blandford & Smarr, 1984)。

近年来的研究表明 [Roos & Norman (1979), Aarseth & Fall (1980)], 潮汐相互作用确实可以剥落星系, 释放出质量和光度成为 ICM。同时, 相食模型中的并合作用也确实能够建立起一个更大质量的“显赫”星系。不少观测 [Morbey & Morris (1983), Schneider et al. (1983)] 也支持相食模型。不过, 大多数的数字模拟结果表明, 前两种模型不足以在星系团的时标内产生 cD 星系。当然, 结果的可靠性还有待于进一步的研究。

X 射线观测表明, ICM 中有大量冷气体流向星系团中心星系。显然, 若保持这个过程, 在 Hubble 时标内足以产生一个可与 cD 星系比拟的质量积累。因此, 不少人都对冷气体聚合模型很感兴趣。cD 星系内部是一个椭圆星系, 人们不禁要问, 冷气体向中心星系的猛烈流入是否会改变星系的结构呢? Tonry (1985) 的数字模拟结果表明, 椭圆星系在承受气体流时可以保持其椭圆结构。但是, 冷气体聚合模型也有一个“质光比”困难。cD 星系内部与正常椭圆星系的很多特征相似, 如密度、速度弥散度、星族 (光谱和颜色) 等, 这是被广泛接受的事实。也就是说流入的气体没有改变 cD 星系的恒星形成率。这些气体若不是生成不易探测的低质量恒星, 则 cD 星系的质光比将明显高于正常椭圆星系。然而, 观测表明 cD 星系的质光比与正常椭圆星系差不多。

第一节中已经提到, 在星系团的核心, E 星系和 S0 星系多于 S 星系。有人解释说这是由于星系团成员星系的碰撞, 使得星系中的星系介质被剥落, S 星系失掉尘埃和气体后成为 S0 星系。星系团中心星系密集, 碰撞频率高, 故越靠近核心, S0 星系越多而 S 星系越少。Gunn & Gott (1972) 提出: S 星系失去星际气体和尘埃成为 S0 星系是由于 S 星系通过星际气体时产生的暴雨式压力所致。Melnick & Sargent (1977) 作了几个星系团的速度弥散度与 S0 星系比率的相关研究, 结果支持 Gunn & Gott 的假设。另外, Faber & Gallagher (1976) 提出, 星系团中存在大量 S0 星系并不是由于剥落 S 星系的星际气体, 而是由星系团形成的初始条件所决定的。这些内容涉及到星系团演化的内容, 现在还没有定论。

Butcher & Oemler 近年来着重研究了旋涡星系的演化问题, 他们假定遥远星系团中蓝星系都是 Sb 星系或更晚型的正常旋涡星系, 他们给出 (Butcher & Oemler, 1978) 的遥远星系团中蓝星系族的比率 f_B 为 56%。这就是所谓的 B-O 效应。但最近的观测表明 Butcher & Oemler 给出的 f_B 可能偏高了 [Dressler & Gunn (1982, 1983), Dressler et al. (1984)]。于是, Butcher & Oemler (1984) 通过比较邻近星系团和遥远星系团的蓝星系比率, 重新定义了 f_B , 它要求星系不但要蓝, 而且必须位于星系团的中心区域并且亮于 $M_v = -20.0^m$ 。根据这个较明确的定义, 遥远星系团的 f_B 降为 20%。邻近星系团 (其中有些是很密集的) 中的旋涡星系的比

率也大多在这个值附近。因此,有人认以以前的B-O效应已经不存在了。但 Butcher & Oemler指出, 邻近星系团中旋涡星系大部分偏红, 而遥远星系团中旋涡星系则大多数偏蓝, 根据它们的样本, 四个场旋涡星系中有三个是蓝的, 而四个邻近星系团中只有一个是蓝的。同 B-O效应当初令人感到惊奇一样, 所谓 O-B 效应也同样令人感到惊奇, 它可以如下表述: 遥远的密集的星系团中旋涡星系的颜色与今天的场旋涡星系的颜色是一样的, 但它们今天已经变红了。通俗些说, 就是密集星系团这样的特殊环境使得很久以前, 也就是我们今天所观测到的很遥远的星系团($Z \sim 0.5$) 中的旋涡星系由蓝演化为红(这正是邻近星系团中旋涡星系的颜色)。如果 Butcher & Oemler 是正确的, 那么大多数邻近星系团中的 S0 和早型旋涡星系的祖先(Butcher & Oemler 假设为 Sb 或更晚型旋涡星系)在 $Z \sim 0.5$ 正在剧烈地诞生着新的恒星。

由于观测资料非常有限, 若现在就给出一幅正常旋涡星系的演化图像还为时过早。然而, 要详细研究星系团成员星系的演化, 必须有已知成员星系红移值的比较完备的星系团样本。至1984年止, 只有三个小天区定出了20个以上星系的红移值, 它们是 3C 295 (Dressler & Gunn, 1983), C 10024 + 1654 [Dressler & Gunn (1983), Dressler et al. (1984)] 和 C 11446 + 2619 (Butcher & Oemler, 1984), 测定红移需要测量星系的光谱, 这是很烦琐很费时的的工作。

最后, 应当指出, 随着大型光学望远镜、空间望远镜、射电望远镜和红外望远镜的发展以及近年来探测技术和数据处理技术的迅猛进步, 可以从各波段得到星系团的观测资料, 星系团的研究可望在不久的将来取得较大的进展。逐步弄清星系团的形成和演化过程, 使之成为宇宙学研究中希望取得突破的前沿领域之一。

致谢

衷心感谢李竞先生对我写这篇文章所给予的支持和鼓励, 是他指出了本文不少疏忽之处。感谢上海天文台潘容士同志所提供的资料和非常有益的讨论。

参 考 文 献

- Aarseth, S. J. and Fall, S. M., *Ap. J.*, 236 (1980), 43.
 Abell, G. O., *Ap. J. Suppl.*, 3 (1958), 211.
 Bahcall, J. N. and Bahcall, N. A., *Ap. J. Lett.*, 199 (1975), L89.
 Bahcall, N. A., *Ap. J.*, 187 (1974), 439.
 Bahcall, N. A. and Soneira, R. M., *Ap. J.*, 262 (1982), 419.
 Batuski, D. J. and Burns, J. O., *Bull. Amer. Astro. Soc.*, 16 (1984), No. 4, 962.
 Bautz, L. P. and Morgan, W. W., *Ap. J. Lett.*, 162 (1970), L149.
 Binggeli, B., *A. Ap.*, 107 (1982), 388.
 Blandford, R. D. and Smarr, L., 1984 (preprint).
 Butch, H. and Oemler, A. Jr., *Natnre.* 310 (1984), 31.
 Butcher, H. and Oemler, A. Jr., *Ap. J.*, 219 (1978), 18.
 Davis, M., Huchra, J., Latham, D. W. and Tonry, J., *Ap. J.*, 253 (1982), 423.
 Dressler, A. and Gunn, J. E., *Ap. J.*, 263 (1982), 533.
 Dressler, A. and Gunn, J. E., *Ap. J.*, 270 (1983), 7.
 Dressler, A., Gunn, J. E. and Schneider, D. P., *Ap. J.* 294(1985).
 Dressler, A., Thompson, I. B. and Shectman, S. A., *AP. J.*, 288 (1985), 481.
 Faber, S. M. and Gallagher, J. S., *AP. J.*, 204 (1976), 365.

- Gunn, J. E. and Gott, J. R., *Ap. J.*, 176 (1972), 1.
 Gursky, H. and Schwartz, D., *Ann. Rev. A. Ap.*, 15 (1977), 541.
 Kirshner, R. P., Oemler, A. J., Schechter, P. L. and Shectman, S. A., *Ap. J. Lett.*, 248 (1981), L57.
 Merritt, D., *Ap. J.*, 276 (1984), 26.
 Morbey, C. and Morris, S., 274 (1983), 502.
 Morgan, W. W., *Ap. J.*, 135 (1962), 1.
 Oemler, A. Jr., Ph. D. Thesis, (1973), Cal Tech.
 Oemler, A. Jr., *Ap. J.*, 194 (1974), 1.
 Owen, F. N., *Ap. J. Lett.*, 89 (1974), L55.
 Roos, N. and Norman, C. A., *A. Ap.*, 76 (1979), 75.
 Rood, H. J. and Sastry, G. N., *P. A. S. P.*, 83 (1972), 313.
 Rood, H. J., *Ap. J.*, 201 (1975), 551.
 Rowan-Robinson, M. and Fabian, A. C., *MNRAS*, 170 (1975), 49.
 Sandage, A. and Hardy, E., *Ap. J.*, 183 (1973), 743.
 Schmidt, K. H., *Astrophysics and Space Science Library*, 111 (1984), 73.
 Schneider, D. P., Gunn, J. E. and Hossel, J. G., *Ap. J.*, 268 (1983), 476.
 Schectman, S. A., *Ap. J. Suppl.*, 57 (1985), No. 1, 77.
 Struble, M. F. and Peebles, P. J. E., *A. J.*, 90 (1985), 582.
 Struble, M. F. and Rood, H. J., *A. J.*, 87 (1982), 7.
 Tonry, J., *Ap. J.*, 291 (1985), 45.
 Van den Burgh, S., *Ap. J. Lett.*, 198 (1975), L1.
 Zwicky, F. Herzog, E., Wild, P., Karpowicz, M. and Kowal, C. T., *Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies, 1961—1968, 6 Volumes. Pasadena: Cal Tech.*

(责任编辑 林一梅)

Clusters of Galaxies: Observational Properties, Spatial Distributions and Evolutions of Member Galaxies

Luan Ling*

(Beijing Observatory, Academia Sinica)

Abstract

Observational properties of clusters of galaxies are discussed in this paper, e. g. morphological classification, galactic contents, size, radio emissions and X-ray emissions. Some of the latest developments in the studies of evolutions of member galaxies of clusters of galaxies are introduced as well. The studies of space distribution of clusters of galaxies depend strongly on the samples, some recent work in this field are briefly presented and discussed.

* The author is pursuing Ph. D in Lick Observatory, University of California, U. S. A.