

超星系团与“薄饼”假说

马 骥 邹振隆

(中国科学院北京天文台)

提 要

二维与三维星系巡天观测表明,存在着长纤维状超星系团和巨大的空洞。邻近超星系团的详细研究表明它们互相连通而形成巨大的网络。有效的定量识别图案的集团分析方法用于大天区三维巡天资料,使上述直观印象进一步得到了证实。星系分布的这些特征和它们的拓扑结构,可以用绝热模型解释。更深度的巡天观测,多粒子数值模拟和进一步的理论研究正在进行中,会在不久的将来进一步揭示星系在大尺度上的分布特征。

一、超星系团的观测研究

超星系团的研究,一方面紧密联系着星系起源和演化问题,另一方面,又与宇宙学的研究紧密相关。由于观测技术的进步和数值模拟的广泛应用,近年来超星系团的研究取得了惊人的进展,成了天体物理和宇宙学中最活跃的领域之一。

早在肯定“星云”的河外星系性质之前,人们就已经知道星云分布的成团倾向。1908年 Charlier 在指出室女星系团、后发星系团的同时,勾画了以逐级成团为特征的宇宙学模型。1922年 Reynolds 发现了从后发星座到室女星座延展达 40 度的星云带,成为发现本超星系团的第一人^[1]。

三十年代,三位河外天文学的先驱对河外星系的分布特征存在着意见分歧^[2]。Hubble 认为,星系在全天总体分布上是随机均匀的。Zwicky 则认为星系分布于形状不对称的巨大“团泡体”之中,并以此种结构充满整个宇宙。Shapley 原则上同意 Hubble 关于在大尺度上分布均匀的意见,但强调宇宙中存在着尺度可达 70 兆秒差距的巨大结构。

五十年代,de Vaucouleurs 首次确认和描述了本超星系团。Abell 指出 5 至 6 个富星系团组成超星系团的现象。七十年代 Peebles 和 Zeldovich 等做了更多的研究工作,使得我们对超星系团的认识日渐深入,不同意见之间的争论也提高到了新的水平上。

1. 二维纤维结构及其真实性

Shane 和 Wirtanen 完成了迄今为止最广泛的星系巡天(简称 SW 巡天)。他们用了十二年的时间,测量了亮于 19 等的近百万个星系位置,并按 $10' \times 10'$ 的分辨率,给出了全天星系计

数表(通常称为 Lick 星系表)。在根据此表绘出的星系分布图上,最引人注目的是其中的大尺度纤维状结构。Moody等人^[9]指出,图上最显著的结构可以延伸 10 度,而宽度不超过 1 度。应用简单的程序,可以从 Lick 星系表中挑选出十几个明显的纤维结构。

有两种观点解释这些纤维结构。

1970 年 Zeldovich 等人提出了“薄饼”模型^[4]。为了验证这一理论, Doroshkevich^[5]进行了二维数值模拟,发现“薄饼”模型会导致网络状结构。因此,观测到的纤维被认为是对“薄饼”模型的支持。

但是,Lowell 曾鼓吹多年的火星运河,古代关于星座图象的生动描绘,都说明人的视觉对无规点集中可能存在的分布模式过于敏感,而又不能对模式的统计含义作出判断。在 Peebles^[6]用逐级成团理论构造出的数值模拟样品中,也能看到一些“纤维”。虽然,正如 Longair^[7]风趣地批评所指出的,这些模拟的“纤维”是“粗笨学徒”的手艺,既不鲜明,也较少出现。但是,这种批评也是建立在直观印象的基础上。

看来,为了深入讨论这些问题,一方面需要对星系的距离作出测量,从而把星系在天球上的二维分布图象变成在空间中的三维分布图象,以排除由于投影效果而产生假象;另一方面,需要找出客观的、定量的研究方法,以认真估计一些分布模式的统计意义。

2. 后发-A1367和武仙超星系团

对于遥远的星系,测定其距离的唯一手段是测出它的红移。如果一些星系不但在天球上互相靠近而组成纤维,并且红移也彼此相近,那就可以比较令人信服地证明,它们确实互相邻近而成为同一个超星系团的成员。

早期测量星系红移并不容易。1935年到 1955 年 20 年内总共只测定了 920 个红移值。对超星系团的准三维分析始于六十年代对后发星系团的研究。在 Mayall, Kintner 等工作的基础上,Chicarini 和 Rood 对后发星系团西侧 5 度至 13 度的天区进行了红移研究,发现了一条指向 A1367 的星系链条。随后, Tifft 和 Gregory 进一步扩大了研究范围,结果表明,初看起来分开很远的后发和 A1367 两个星系团,实际上是一个大的超星系团的两个组成部分。

对于武仙星系团周围的天区也作过类似的工作。1961 年 Abell 研究发现 A2199 附近六个星系团可能是一个超星系团。Chicarini 和 Rood 把研究范围扩大到从 A2151 直至 A2199 的整条天区,赤经方向延伸 $1^{\text{h}}.5$, 赤纬延伸 120 度。红移测量表明,这块天区被一个延伸 80 兆秒差距的巨大超星系团所占领。Oort^[8]认为这一超星系团可能延伸到 A2063 和 A2052 星系团。

值得注意的是,Chicarini^[9]发现,在武仙星系团南侧,赤经 14^{h} 到 16^{h} 天区中许多星系似乎组成了一个链条,把武仙超星系团和后发-A1367 超星系团也连在一起了。

3. 英仙-双鱼和天猫-大熊超星系团

Tifft 和 Gregory 等人^[10]首先用红移测量证明,英仙星系团 A426 是更大结构的一部分。Giovannelli^[11]用 Arecibo 305 米射电望远镜,测量了赤经 22^{h} 至 4^{h} 之间,赤纬 3° 到 48° 之间角大小大于 1 弧分,形态迟于 SO 的全部星系的 21 厘米谱线红移。由于射电观测不受银河带消光的影响,所以通过对这 1435 个星系样本的分析,证实了 Burn^[12]的设想,即英仙超星系团和银河北岸的天猫-大熊超星系团隔河相连,构成一个长纤维状的巨大超星系团。Focardi

等^[13]对赤经在 $23^{\text{h}}.5$ 到 1^{h} , 赤纬在 21.5 度至 33.5 度的星系进行了红移测量, 发现原以为是场星系的 99 个星系之中, 有 93 个星系的红移值也在 5,240 公里/秒左右, 与英仙超星系团诸星系红移相近, 弥散速度只有 300 公里/秒。这个结果把英仙超星系团进一步向南延伸。

4. 巨大空洞的发现

关于超星系团的存在, 人们早就作过推测。但是, 在证实这些推测的过程中, 人们却发现了超出人们预料的一个惊人事实: 宇宙中还存在着巨大的空洞区域, 即在与超星系团尺度相当的某些区域中, 有时连一个星系也找不到^[14-16]。

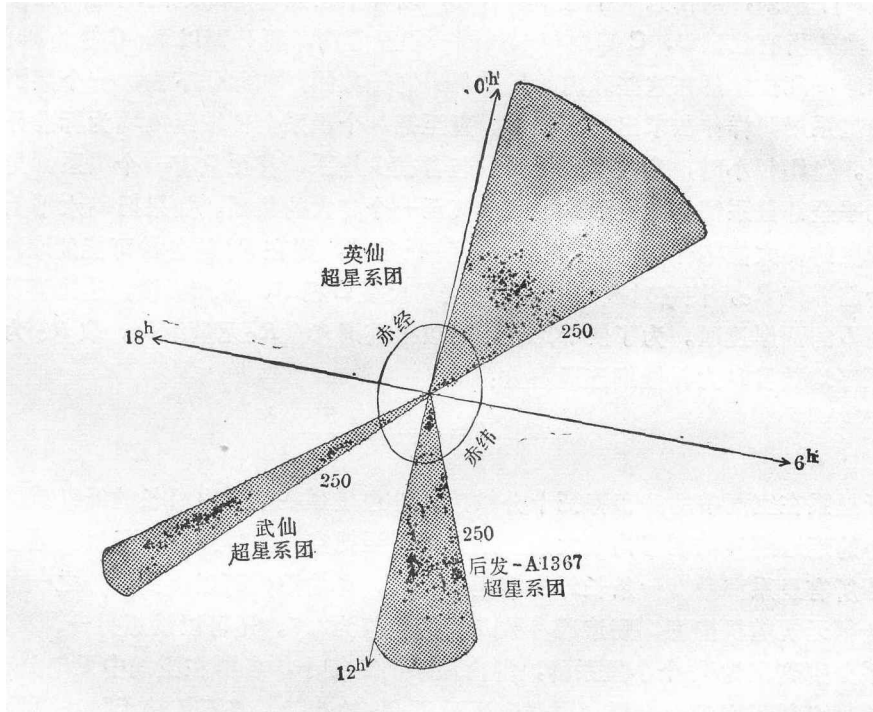


图 1

图^[14]显示了在英仙、后发、武仙等三个超星系团方向上的星系三维分布图。由图可见, 在不到全天面积2%的方向上就找到了三个巨大的超星系团。在这些超团与银河系之间, 也可看到大大小小的一些空洞。Kishner 等人^[17]曾在牧夫座方向上找到了一个相当巨大的空洞, Bahcall 等人^[18]在银经 140 度到 240 度之间, 银纬 30 度到 50 度之间找到了一个尺度可能更大的空洞, 在天球上延伸达 100 度, 长度可达 600 兆秒差距, 空间纵深也达 300 兆秒差距以上。所有这些发现都进一步支持了星系在大尺度上分布极不均匀的结论。

近年来, 发现的超星系团和空洞日益增多, 超星系团之间也相互连接, 星系仿佛是分布在一个纵横交错的巨大网络之中。在这种情况下, 孤立地观察局部天区是不够的。必须对全天各个方向, 对宇宙遥远的深处, 进行系统的考察。由于这时将面对数量巨大的观测资料, 用直观印象进行判断是不行的, 需要采用新的定量的统计方法。

二、集团分析与大尺度红移巡天

1. 集团分析方法

星系分布的高密度区域似乎构成了互相连通的网络结构。为了识别这种图案式结构,目前广泛采用集团分析方法。这种方法在相变理论等领域中的应用已趋成熟,只是在近年来才被引入超星系团的研究之中^[19-21]。

一般采用星系间的距离 R 作为判断图案结构的参数。假设在空间尺度为 L 的某个区域中分布着 N 个星系,从任意一个星系 A 出发,以某个任意选定的距离 R_1 为半径作球,凡位置在此球之内的所有星系 B, C 等均与 A 属同一星系集团,再分别以 B, C 等为球心,仍以 R_1 为半径作球,凡位置落在这些球内的星系仍属同一集团,如此作下去,一个集团选完,再以集团外的星系用同样作法求出另一集团。直至把 N 个星系全部按距离 R_1 为标准分解为若干个星系集团。当 R_1 很小时,多数星系集团只包含很少星系,甚至只有一个星系。当把 R_1 取得很大时,几乎全部星系都会归属于少数几个甚至一个庞大的集团。如果把 R_1 水平上挑出的各个集团的线度的最大值 D_1 作为与 R_1 相对应的特征参量,则在 R_1 的各种可能的取法之中,可以找到一个临界值 R_c ,使它对应的 D_c 值与空间尺度 L 相等,换句话说,连通距离 R_c 可以把给定空间 L 的两岸连通。为了便于比较,可以把连通参量 R_c 无量纲化。取 R_c 为半径的球体内的星系平均数目 B 为无量纲连通参量:

$$B = \frac{4\pi}{3} N \left(\frac{R_c}{L} \right)^3$$

它对于星系在空间中的分布特征十分敏感。设想星系在空间中沿长的纤维或网络排列,显然,比较小的连通距离就能够构成大的星系集团直至把空间两岸连通,所以连通参数 B 的取值较小。若所有星系都沿着一条长纤维等距离排列, B 的数值可以小到千分之一的量级。若 N 个星系全部无规随机排列,则连通参数 B 的期望值为2.7。还可以设想另一种极端情况,如果 N 个星系分别聚集为 N_c 个小星系群,群内星系间距很小,各群在空间中无规分布。要把空间两岸连通就必须连通各个小群,因此连通距离 R_c 的选择,将不依赖于星系总数 N ,而主要依赖于小星系群的数目 N_c 。换言之,利用星系总数 N 算出的无量纲连通参数 B 将比随机分布的情况大 N/N_c 倍,即比2.7大得多。通过集团分析求出某种星系分布的连通参数 B 的数值,就可以定量地判断出该组星系在空间中的分布特征。

除连通参数 B 外,集团分析方法还可以通过所谓多重数分布来区别几种不同的分布情况。当以某个连通距离 R 把星系分成几个集团时,不同星系集团中含有的星系数目可以差别很大。依所含星系数目的大小,可依次把星系集团分为三种:富团,中等集团和贫团,具体的分割标准需依据具体情况酌定。若归属于三种集团的星系所占的百分数分别为 γ, β, α ,由于三者之和为1,故有两个独立变量,称为对应连通距离 R 的多重数分布。比较随机分布,星系网络状分布和分小群分布三种星系样品时,若 R 非常小,所有星系都分布在贫团中,若 R 非常大,所有星系又都会归属一个极大的富团,这种情况下,多重数分布没有什么意义。但是,对于网络状分布样品的临界连通距离 R_c ,三种多重数分布会表现出很大的差别。这时网络状分布

样品, 由于已形成大尺度的集团, 几乎包含了所有星系, 所以 γ 近于 1, α , β 都近于 0。在同样连通距离下, 随机分布的星系几乎还没有形成任何较大的集团, 所以会有 α 近于 1, β , γ 都近于 0。而以小群分布为特征的星系样品中, 虽然大的星系集团尚未形成, 但大部分星系却在较小的连通距离上形成了中等集团, 会出现 β 接近于 1 而 α 和 γ 接近于 0 的情况。由此可见, 选择适当的连通距离, 多重数分布可以给出连通参数无法给出的另一些揭示星系分布特征的信息。

2. 大尺度红移巡天的集团分析结果

目前已经发表的最大红移样品, 是 Huchra 等人^[22]对南北银冠区亮于 14.5m 的约 2400 个星系的红移巡天结果 (下面简称 CFA 红移巡天)。甚至在巡天结果正式发表之前, 几个天文学家小组已经根据预印本提供的资料对超团特征进行了分析。

Zeldovich 等人^[19]和 Einasto 等人^[20]的工作报道了他们对 CFA 巡天样品所作的集团分析。对于 CFA 样品, 他们曾作过六种不同的资料选择。看来, 处于纤维链条上的星系较暗, 要对纤维特征进行考察, 星系亮度下限不可定得太高, 因而样品的空间深度也不能太深。此处我们只介绍满足这一要求的一种观测样品, 并称之为 O 样品。上述作者还用数值模拟的方法, 产生出了几组根据不同理论模式得出的模拟星系样品, 以与观测样品进行比较。星系随机分布模拟出的样品称为 P 样品。根据逐级成团模型, 按照 Soneira 等人^[23]的计算方法产生的样品为 H 样品, 而根据 Klipin 等人的绝热模拟方法^[24]产生出的样品称为 A 样品。对这四种不同样品的集团分析的结果可用表 1 表示。

表 1 不同样品的集团分析结果

样 品	$R_c(\text{Mpc})$	B	β	γ
O	4.7	0.8	0.43	0.42
A	4.8	0.7	0.00	0.51
H	13.0	15.0	1.00	0.00
P	7.5	3.0	0.00	0.00

从表 1 可以看出:

(1) 观测样品 O 和绝热模拟样品 A 一样, B 值远远小于 2.7。说明它们都有纤维状结构存在, 这与二维和准三维的观测得到的直观印象一致。P 模型与理论预期结果一致, 接近 2.7。逐级成团模型的模拟样品所得 B 值远远大于 2.7, 与观测结果是不符的。

(2) 观测样品 O 与绝热模拟样品 A 另一相似之点在于在 R_c 水平上, 多重数分布参数中 γ 值相近, 即都有相当多的星系隶属富星系集团。这一点是逐级成团模型和随机分布模型难于解释的。

(3) 但是, 观测样品中也有相当多的星系在 R_c 水平上隶属中等星系集团。这一特点与逐级成团模型 H 的情况一致, 难于用绝热模型或随机分布模型加以解释。

用类似的成团分析方法, Vettolani 等人^[25]还从完全红移样品中找到了半径由 48 兆秒差距到 19.7 兆秒差距的巨大空洞 20 多个。

对大尺度红移巡天样品的集团分析, 其结果是令人鼓舞的, 但也还存在一些问题。首先是巡天样品的深度还不够, Huchra 等人正把红移样品扩充到 15.5m, 这时星系总数达九千

多个,报道说,一半以上的红移测量已经完成。此外,Palumbo 收集了红移速度小于 10 万公里/秒的 8,250 个星系中的 13,672 个红移测量结果,Veron 收集了 1,800 个类星体的红移值。更大样品的进一步分析,必将对超星系团的研究作出贡献。此外,由于星系团内星系有较大弥散速度,用红移推断距离会带来较大误差。对集团分析结果的理论解释也还面临着一些困难。

3. 超星系团的基本观测特点^[21]

粗略地说,超星系团的基本观测特点。可以总结如下^[21]:

- (1) 宇宙中大于星系团的基本结构元素是星系或星系团所组成的链状结构。
- (2) 星系的链条似乎可以把所有的超星系团连接成一个单一的互相交错的网络。
- (3) 超星系团由大尺度和中等尺度的纤维所组成,不属于任何超星系团的场星系即使存在,也不超过全部星系数目的百分之三。
- (4) 在超星系团的纤维之间,绝大多数空间是一些巨大的空洞区域。超星系团与空洞之间的光度密度的差别可达数百倍。

(5) 近的超星系团如大熊-天猫,英仙-双鱼,后发-A1367,天龙-半人马等都分布在超银道面附近,而较远的超星系团如武仙、大熊-狮子、飞马和南天链等,则处于较高的超银纬。可以想象,这些超星系团组成了北天与南天两个巨大的“本泡体”。目前看来,它们可能是星系分布上的最巨大结构。

三、绝热扰动的演化——“薄饼”假说

1. 两种特征质量

三十年代以来,对大尺度上宇宙的性质,曾有过很多的讨论。观测表明,红移范围从 0.03 至 0.5 的全部星系的分布,射电星系的分布,都是均匀各向同性的。微波背景辐射的仔细研究更雄辩地证明,宇宙在非常大的尺度上,即在较为遥远的过去,具有均匀各向同性的性质。

但在较小的尺度上,宇宙并不均匀,尺度愈小,这种不均匀性就愈明显。例如,星系内密度可达宇宙平均密度的一百万倍,前述超星系团的密度可达宇宙平均密度的七十倍,而空洞内密度可能低于宇宙平均密度的三分之一。通常认为,这种由均匀向不均匀的演化,可能是引力作用的结果。

引力趋向于增大系统的不均匀性。值得注意的是,引力物理中不包含任何基本的长度、质量或时间的特征量。用万有引力常数只能构成无量纲量 GM/rc^2 或 $G\rho t^2$ 。因此,要讨论在引力作用下形成任何特定的系统,都需要添加其他因素以增强引力的效应或形成特定的尺度。

早在本世纪初,Jeans 提出了在理想气体压力对抗引力时出现的特征尺度:

$$\lambda_J = C_s \left(\frac{\pi}{G\rho} \right)^{1/2}$$

式中 C_s 为流体声速, ρ 为流体平均密度。任何引力系统在尺度大于 Jeans 尺度时,引力就可以克服压力的抵抗而使系统坍缩,即大于 Jeans 尺度的密度扰动会逐渐增强而与均匀背景分

离。当 **Jeans** 尺度决定宇宙早期演化时, 在宇宙中将首先形成小于星系的小尺度结构: 如星族 III 恒星等。由小尺度结构在引力作用下汇合而成星系、星系团等大尺度结构, 这种模型称为逐级成团模型或等温模型。

在宇宙演化的早期, 还存在着另一个与引力对抗的因素, 决定着密度扰动存在的尺度。由于宇宙早期温度很高, 全部物质都处在电离状态。电子对光子的汤姆逊散射, 可以把物质密度的扰动与辐射场的扰动紧密联系在一起。辐射场的扰动很容易因光子的高速度扩散而消失。若设电子作用下光子的平均自由程为 λ , 由随机漫步理论可知, 光子在电子上散射 N^2 次后移动的距离为 $N\lambda$ 。因此扩散时间为散射次数的平方与单次散射所需时间之积:

$$t = (L/\lambda)^2 * \frac{\lambda}{c} = L^2/c\lambda$$

由此可得出光子在 t 时间内不能自由逃逸出系统的条件为:

$$L > \sqrt{ct\lambda} = \sqrt{\frac{ct}{\sigma n}}$$

式中 t 为系统寿命, n 为自由电子密度, σ 为电子的汤姆逊散射截面。这一尺度 L 内所包含的物质质量称为 Silk 质量。早期宇宙中所发生的密度扰动, 当扰动物质质量小于 Silk 质量时, 光子的扩散将把扰动消灭而恢复到均匀分布。只有大于 Silk 质量的系统才能够在早期宇宙中形成, 这是绝热模型的基本特点。由于 Silk 质量的量级与超星系团的质量相当, 所以在这种模型中, 宇宙中最先形成的系统是大尺度的超星系团, 而所有小尺度天体都是由超星系团分解而成。这种模型与等温模型相反, 宇宙物质分布以在超团尺度上的不均匀性为其最大特征。由于超团尺度远远大于 **Jeans** 尺度, 流体的压力在这里完全可以忽略不计^[26], 可以把这样的系统看作冷介质。

2. 冷介质行为的几何光学模拟^[27]

冷介质在引力作用下的坍缩过程, 可以用数学上的映射过程描述。从理论上可以证明, 这一过程与下述光学系统的行为一致。为了直观易懂, 我们通过几何光学模拟实验的描述加以讨论。

图 2 讨论平行光线入射到厚度不均匀透镜的情形。光线离开透镜的出射点坐标为 q , 出射光的传播方向 $\alpha(q)$ 为 q 的函数。出射光线传播 t 时刻之后的坐标为 x , 则有

$$x = q - t\alpha(q)$$

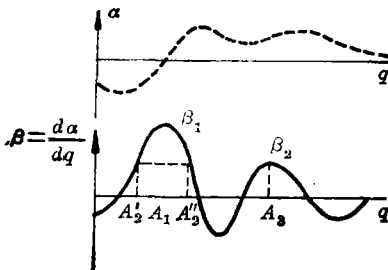


图 2

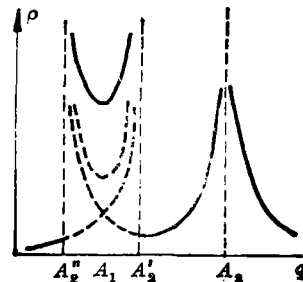


图 3

显见, 初始位置 q 不同的两条光线, 因为出射角不同而有可能聚焦, 即光线强度的分布为

$$\rho(q, t) = \frac{\rho_0}{1 - t (da/dq)}$$

在 $t = (da/dq)^{-1}$ 时邻域光线聚集, 光线强度 ρ 发散。

图 3 表示 $da/dq = \beta$ 不同的空间各处处在 $t = \beta^{-1}$ 时刻的光线强度分布。在该时刻, 光线在 A_1, A_1', A_2'' 三处聚焦。但 $\beta(A_1) > \beta_2$, 即 A_1 处在此时刻之前应已经聚焦, A_1', A_2'' 应当是聚焦区域的外边界。只有从 $A_2' A_2''$ 之间的内区向 $A_2' A_2''$ 趋近时, 光线强度才趋于无穷。可以看出, $A_2' A_2''$ 是与 A_1 不同的另一类奇点。

对于二维的情况, 可以进行类似的光学模拟实验。用拍照的方法可以测出距透镜不同距离处(即 t 不同时)的光线分布。这时可以得到更多类型的奇点图案, 如尖角型、燕尾型、蝴蝶型等。

理论术语描述上述过程时, q 视为宇宙流体元的初始共动坐标, x 为流体元的欧拉共动坐标。由 q 向 x 的变换即物质聚合形成焦面的演化过程, 称为由 q 中点集向欧拉空间 x 的映射过程。

仿照光线强度分布方程, 三维情况下物质的密度可以表示为

$$\rho = \frac{\rho_0}{(1 - ta)(1 - t\beta)(1 - t\gamma)}$$

分母中任何一项为 0 时, 物质分布形成奇点。一般, α, β, γ 所取数值不同, 若 α 远比 β, γ 大得多, 物质将首先在 x 方向上坍缩而形成薄饼结构, 因此模型得到“薄饼”假说之称。灾变理论表明, 能够形成的奇点类型有很多种, 高级的奇点形成较困难, 但密度的反差也更大。薄饼相交可以形成纤维, 纤维交叉形成球形结构。这种理论模型易于解释超星系团纤维结构和空洞的形成, 受到了人们较多的注意。

薄饼模型在理论上的最大困难在于大尺度结构演化较慢, 因此要求有较大的初始扰动幅度或较高的宇宙平均密度, 而这两个要求都强烈地受到观测的限制。暗物质的存在, 特别是中微子具有质量的可能性, 对于薄饼模型的成立较为有利, 但在这方面的研究争议尚多。从观测大尺度结构的角度来看, 目前还没有薄饼结构存在的观测证据, 要解释多重数分布中中等集团的形成也有困难。薄饼形成后要用非线性描述, 进一步追踪薄饼结构的演化, 讨论星系的形成, 也比较困难。要真正理解宇宙中大尺度结构的形成, 还需要作出进一步的努力。

3. 星系大尺度分布的拓扑结构

大尺度上星系分布的拓扑特征非常引人注目。完满地解释这一特征, 是“薄饼”模型的一大成功。

设想物质随机地分布在二维空间上, 物质密度 ρ 为二维空间坐标 x, y 的连续函数 $\rho(x, y)$ 。任意选定一个临界密度 ρ_c , 可以把二维空间分成 ρ 大于 ρ_c 的高密度区域和 ρ 小于 ρ_c 的低密度区域。如果 ρ_c 值取得很高, 则 ρ 大于 ρ_c 的高密度区域非常少, 绝大部分空间都属于低密度区域。也就是说, 低密度区域会形成互相连通的一片汪洋, 而高密度区域会成为互不相通的几个孤岛。当 ρ_c 值取得很低时, 低密度区域会成为一片高地当中的几个孤立的内湖, 而高密度区会成为连成一片的高地。一般来说, 两个区域的连通性质, 分别由两个区域所占

空间大小来决定, 占面积大的区域是连通的。

对于三维空间上定义的随机分布函数 $\rho(x, y, z)$, 类似方法分出的高、低密度区域的连通性质比二维情况更为复杂。若占体积较小的区域所占体积超过总体积的16%, 则两种区域都是连通的。

星系大尺度分布的观测表明, 星系分布在互相交错的纤维网络之中, 空间中90%以上的空间为空洞, 纤维网络所占体积很小。但从连通性质看, 纤维网络是互相连通的, 空洞却似乎被这些超星系团网络所隔开。显然这种拓扑特点是与上面对随机分布函数的分析相反的。特别是占空间90%的空洞反倒不能连通更似乎是咄咄怪事, 需要得到解释。这个问题是由Zeldovich等人提出的, 他们同时也根据“薄饼”假说作了出色的解答^[20]。

问题在于, 今日宇宙中的物质分布并不随机, 它是由宇宙初期的物质分布的映射形成的。由于引力具有势场性质, 映射不改变空间的连通性。所以, 要考察今日宇宙物质分布的拓扑性质, 不能根据这些结构现在所占体积大小, 而要考察对应区域在宇宙初期所占体积的大小。

在初始物质分布的空间 q 中, 密度的演化趋势由参数 α 、 β 、 γ 三者决定。若三个值都为正, 则系统可以先后在三维上受到压缩, 两个为正, 则可二维压缩形成纤维, 一个为正, 则可一维上压缩形成薄饼。只有当三者全为负时, 该区才会膨胀而形成空洞。绝热模型的计算表明, 在 q 空间中, 三参数同号的区域只占总体积的8%, 也就是说, 今日占据90%以上体积的空洞, 在宇宙早期只占全部体积的8%, 早期物质密度才是随机分布, 因此占体积8%的空间是不可能连通的。经过引力作用的映射之后, 它们也不能连通。

星系大尺度分布的拓扑性质, 有利于绝热模型。当然, 目前为止, 对两种模型作出任何结论都还为时过早。但理论研究的进展, 数值模拟的改进和对大样本观测样品的分析, 会在今后较短的时间内, 进一步加深我们对星系大尺度分布的理解。

参 考 文 献

- [1] Gregory, S. A. and Thompson, L. A., *Scientific American*, 246 (1982), No.3, 106.
- [2] Chicarini, G. and Rood, H. J., *Sky and Telescope*, 59 (1980), No.5, 364.
- [3] Moody, J. E. et al., *Ap. J.*, 273 (1983), 16.
- [4] Zeldovich, Ya. B., *A. Ap.*, 5 (1970), 84.
- [5] Doroshkevich, A. G. et al., *Astrofizika*, 9 (1973), 258.
- [6] Zeldovich, Ya. B., et al., *Pisma v Astron. Zh.* (in Russian), 8 (1982), No.4, 195.
- [7] Longair, M. S., in *Cosmology and Fundamental Physics*, (1981), concluding remarks.
- [8] Oort, J. H., *Ann. Rev. A. Ap.*, 21 (1983), 373.
- [9] Chicarini, G., in *Early Evolution of the Universe and Its Present Structure*, 159, ed. by G. O. Abell and G. Chicarini, (1982).
- [10] Tifft, W. G. and Gregory, S. A., *Ap. J.*, 243 (1981), 411.
- [11] Giovanelli, R., in *Early Evolution of the Universe and Its Present Structure*, 273, ed. by G. O. Abell and G. Chicarini, (1982).
- [12] Burns, J. and Owen, F., *A. J.*, 84 (1979), 1478.
- [13] Forcadi, P. et al., in *Early Evolution of the Universe and Its Present Structure*, 295, ed. by G. O. Abell and G. Chicarini, (1982).
- [14] Chicarini, G., *Nature*, 272 (1978), 515.
- [15] Einasto, J. et al., *MNRAS*, 193 (1980), 353.
- [16] Davis, M. et al., *Ap. J.*, 253 (1982), 423.

- [17] Kirshner, R. P., et al., in *Early Evolution of the Universe and Its Present Structure*, 197, ed. by G. A. Obell and G. Chicarini, (1982).
- [18] Bahcall, N. A. and Soneira, R. M., *Ap. J.*, 262 (1982), 419.
- [19] Zeldovich, Ya. B. et al., *Nature*, 300 (1982), 407.
- [20] Shandarin, S. F. and Zeldovich, Ya. B., *Comments on Astrophysics*, 10 (1982), No.1, 33.
- [21] Einasto, J. et al., in *Early Evolution of the Universe and Its Present Structure*, 265, ed. by G. O. Abell and G. Chicarini, (1982).
- [22] Huchra, J. P., et al., *Ap. J. Suppl.*, 52 (1983), 89.
- [23] Soneira, R. M., et al., *A. J.*, 83 (1978), 845.
- [24] Klipin, A. A. et al., *MNRAS*, 204 (1983), 891.
- [25] Vettolani, G., et al., *A. Ap.*, 144 (1985), 506.
- [26] Silk, J., *Mathematical Notes* 10, in *The Big Bang*, published by Freeman, W. H. and Company (1980).
- [27] Зельдович, Я. В. и др., *Успехи Физ. Наук.*, 139 (1983), Выпуск 1, 153.

Superclusters of Galaxies and the Pancake Model

Ma Er Zhou Zhenlong

(*Beijing Astronomical Observatory, Academia Sinica*)

Abstract

The two and three (with redshift measurement) dimensional surveys of galaxies give the strong visual impression of filamentary features and gigantic voids whose linear scale could be as large as 100 Mpc in the distribution of galaxies. With the aid of cluster analysis, which is a powerful and quantitative method of pattern recognition, the existence of superclusters and voids has been confirmed. Though some difficulties still exist, the morphology and the topology of these features can be well explained by the adiabatic scenario (Pancake model). The combined effort of the deeper redshift surveys, N body simulations and the theoretical research will make more stimulating progress in this frontier field of astrophysics.