

基于分形理论的浙江省城市体系 规模结构研究

班茂盛 祁巍锋

【摘要】 文章以分形理论为基础,利用“四普”和“五普”数据对浙江省城市体系规模的分形结构进行实证研究,利用建立的分形方程对浙江省未来城市体系的规模结构进行预测,并根据计算结果提出了相应的政策建议。

【关键词】 分形理论 城市体系 规模结构

【作者】 班茂盛 浙江大学人口与发展研究所,副研究员;祁巍峰 浙江大学区域与城市规划系,讲师。

城市体系是指在一个相对完整的区域或者国家中,由不同职能分工、不同等级规模、联系密切、互相依存的城镇所组成的集合(周一星,1995:395)。规模结构是城市体系的一项重要研究内容,目前已经建立了多种数学模型,如柏克曼的城市与市场区等级分布模型、帕累托分布模型以及齐夫模型等,这些模型的建立为区域城市体系规划提供了科学的依据,但在对这些模型的参数进行解释时,遇到很大困难。近几年的研究表明,城市规模分布模型中的指数正是分形体的特征量——分维的显示方式(佘宗卿,2000),国内外学者利用分形理论对城市体系的规模结构做了大量的基础理论和方法论方面的研究工作,取得了多方面的进展,但就实证研究而言,仍有不足之处,特别是对于市场经济发育最早且市场化程度较高的浙江省,目前尚无这方面的专门研究。针对实证研究中存在的问题,本文利用第四次和第五次人口普查数据,探讨浙江省城市体系规模分布的分形特征,预测其等级规模结构,为浙江省城市体系结构和功能优化提供依据,为有关城市分形研究提供必要的补充。

一、分形理论的简要介绍

分形几何学是相对于传统欧氏几何学的不足建立起来的,由此发展起来的分形理论逐渐成为现代非线性科学研究中的一门新兴数学分支。分形理论的研究对象主要是不光滑、不规则甚至支离破碎的空间形态,如海岸线、雪花的轮廓等。分形理论的创始人曼德布罗特(Mandelbrot)给出了分形的原始数学定义,即“分形是其豪斯道夫维(D_f)严格大于拓扑维数(D_t)的集,即 $D_f > D_t$ ”。随着研究的不断深入,逐步形成了较为全面的定义,一般认为,分形应该是具有下列性质的集合(林鸿溢、李映雪,1992:109~112):(1)具有精细结构,即在任意小的比例尺下,都可以呈现出更加精致的细节。(2)其不规则性在整体和局部均不能用传统的几何语言加以描述。(3)具有某种自相似的形式,但不是完全数学意义上的自相似性,而是统计意义上的自相似性。(4)一般 $D_f > D_t$,即豪斯道夫维严格大于拓扑维数。(5)该集常可由极简单的方法来定义,可能由迭代产生。(6)其大小不能用通常的测度(如面积、长度、体积)来度量。

随着分形定义的逐步明确,分形研究的对象也逐渐由仅限于几何物体的形态和结构扩大到动态系统的时间分形、经济社会的信息分形及生命科学中的功能分形。从目前的研究状况看,一般把形态、时间、功能和信息等方面具有自相似性质的研究对象称为分形。

对分形体进行定量分析的基本工具是分维。分维是分形特征的定量描述,通过对经典的欧氏维的定义进行拓宽,目前已经提出了多种分维计算方法,如豪斯道夫维、盒子维数、关联维数等,其中豪斯

道夫维是最基本的、最常用的分维计算方法。用某一尺度 r 度量任一不规则的几何对象,则测量结果 $N(r)$ 与 r 的大小有关,尺度 r 越小度量结果 $N(r)$ 越大,反之亦然。因此, $N(r)$ 与 r 具有这样的函数关系,即 $d = \lim_{r \rightarrow 0} \ln N(r) / \ln(1/r)$, 常数 d 为几何体的分形维数。由于是豪斯道夫首先提出的,又称为豪斯道夫维。基于豪斯道夫维的计算方法,我们可以利用度量尺度 r 与度量结果 $N(r)$ 构成的点列 $(r_i, N(r_i))$, 采用线性回归的方法计算出研究对象的分形维数。

分形理论的核心是自相似性,描述分形体自相似性的特征量是分维。因此,关于分形理论的基础研究主要集中在分维的确定与计算模型,而应用研究则主要是通过分维描述不同自然现象和社会现象的演化过程。

二、城市体系分形研究的进展与不足

分形理论的产生和发展为刻划复杂系统提供了合适的工具,国外的研究者先后研究了英国加迪夫市的边界和形状(Batty, 1985)、斯沃顿市的土地利用形态、伦敦市的住宅类型和雇佣劳动密度分布,同时利用离散选择模型在计算机上模拟了城市结构,得出了形似海绵状微细粒的分形城市轮廓(Batty 等, 1986),更深入的研究是借助受限扩散凝聚模型和电介质击穿模型模拟了英国加迪夫市和美国坦尼顿市的分形生长和空间扩展(Batty 等, 1989)。近年来细胞自动机(Cellular Automata, 简称 CA)被许多研究者用于模拟城市内部空间结构的演化,CA模型能够更准确地模拟城市化过程中城市空间结构的分形演化及其混沌动力学。可以说,国外的城市分形研究主要以“系统的城市”为研究对象,着重研究城市的形态、结构、生长、交通和演化机制等问题,只是在分形理论的创生过程中,德布罗特曾探讨过城市位序—规模分布的分数维性质(刘继生, 2000)。

国内的学者则对城市体系进行了大量研究,在基础理论方面,有学者基于克里斯泰勒的中心地理理论提出了城市体系空间结构的科赫(Koch)雪花模型,进而将其推广为区域城市随机分布的三角点阵模型,并给出了相应的数学描述和分维计算公式,证明了关于城市规模分布的 Davis 二倍数规律与三参数 Zipf 模型的等价性,将二倍数规律推广为任意倍数规律,将大量的城市规模分布模型统一到分形模型体系之中(陈涛等, 1994; 陈彦光, 1998);在方法探讨方面,有学者先后总结了回转半径法、网格计数法和空间关联函数法以及 Pareto 公式法、分形结构因子和信息熵替代法等城市体系等级结构和空间结构的分形维数及其计算方法(刘继生、陈彦光, 1998、1999)。在实证研究中,有学者对全国各省区城市规模分布的分形特征(陈勇, 1993)、东北地区城市体系空间分布的分形结构(刘继生, 1999)、河南省北部地区城镇体系的空间结构(陈彦光, 1998)以及山东(李新运, 1997)、四川省内江地区(姜世中, 1998)和江苏省无锡市城乡聚落(杨山, 2000)等进行了分形研究。

关于城市体系规模结构的分形研究,国内学者在基础理论和方法论方面做了深入的研究,但就实证研究而言,仍有一些值得改进之处。一是数据质量问题。国内学者在研究城市体系的分形结构时,都采用非农业人口代替城市人口来计算分维数,这将使结果产生偏差。因为从目前的实际情况看,城市非农业人口根本无法代表城市规模,以浙江省三大城市杭州、宁波和温州市为例,2000年三市的市区非农业人口分别为152万、72万和53万,但是按照第五次人口普查的城市人口统计口径,2000年这三大城市的城市人口分别已经达到245万、121万和137万,非农业人口少于城市人口的情况在浙江省乃至全国的各级城市中普遍存在。显然,非农业人口不能真正代表城市规模,因此,用非农业人口代替城市实际居住人口来研究城市体系的分形特征将导致分析结果产生偏差。二是研究区的选取问题。现有的文献主要是对东北地区、河南省北部地区以及山东、四川省等地的城市体系进行分形研究,而作为中国市场经济发育最早且市场化程度较高的浙江省,目前尚无这方面的专门研究,我们认为,城市体系的演化由于受到市场作用的牵引而更能显示自组织的作用,因此,对浙江省城市体系的规模—位序分布进行分形研究可以说是有关城市分形研究的必要的补充。

三、浙江省城市体系规模结构分形的实证研究

(一) 数学模型

区域内城市数量的多少取决于城市标准的划分。假设某一人口尺度 r , 规定人口规模 $S > r$ 的聚落为城市, 当改变人口尺度 r 时, 区域内的城市数量 $N(r)$ 必然也会发生变化。在一定时空条件下, $N(r)$ 与 r 之间具有负幂律关系: $N(r) = Cr^{-\alpha}$ 。式中, C, α 为参数。如果区域城市数目为 N_0 , 令 $P(r) = N(r)/N_0$ 表示人口规模大于等于门槛值 r 的城市数目百分比, 则有: $P(r) = Ar^{-\alpha}$ (这里参数 $A = C/N_0$)。此式为城市规模分布的 Pareto 公式, 它在本质上与 $N(r) = Cr^{-\alpha}$ 相同, 类似于豪斯道夫维数公式, 因此, $N(r) = Cr^{-\alpha}$ 是一个分形模型, 参数 α 具有分维性质, 可以表述为 $D = \alpha$ 。

另外, 如果我们将区域内的城市从小到大按人口规模进行排序, 则城市位序与城市人口规模之间存在: $P(k) = P_1 k^{-q}$ 。这便是著名的 Zipf 公式, 其中 k 为城市位序, $P(k)$ 为位序为 k 的城市人口规模, 系数 P_1 在理论上为首位城市人口规模, 参数 q 被称为 Zipf 指数, 可以证明, $P(k) = P_1 k^{-q}$ 与 $N(r) = Cr^{-\alpha}$ 在理论上等价, 因此 $P(k) = P_1 k^{-q}$ 也是一个分形方程, 对其两边取对数, 得到: $\ln P(k) = \ln P_1 - q \ln k$ 。式中 q 具有分维性质, 故被称为 Zipf 维数, 事实上它是分维的倒数, 即有: $D = \alpha = 1/q$ 。其中 D 为城市规模分布的分维。需要说明的是, 该式具有严格的条件限制, 即只有在系统数据极其规则的情况下, $\alpha = 1/q$, 否则只能是 $\alpha \approx 1/q$, 但这并不影响我们利用 α 和 q 值进行相关的信息分析。

(二) 浙江省城市规模分布的分维计算

本文选取浙江省城市人口规模在 10 万以上的城市作为研究区, 以第四次和第五次全国人口普查数据作为分析的截面数据。“五普”中关于城市人口的统计口径与“四普”的第二口径基本一致, 只是对暂住人口居住时间长度的规定略有差异, 但并不影响分析的结果。

根据市区实际居住人口数量, 将城市规模排序 (见表 1、表 2), 然后将点列 $(k, P(k))$ 标绘在双对数坐标图上, 绘制浙江省 1990 和 2000 年城市位序—规模分布 (见图 1、图 2)。

从 1990 和 2000 年浙江省城市位序—规模分布的 $\ln P(k) - \ln k$ 坐标图上可以看到, 点列 $(k, P(k))$ 基本成一条直线, 因此, 可以利用公式 $\ln P(k) = \ln P_1 - q \ln k$ 以及表 1 和表 2 的数据建立回归方程, 分别计算 1990 和 2000 年浙江省城市规模分布的 Zipf 维数 q , 分维取 $D = 1/q$, 计算结果见表 3。

(三) 浙江省城市体系规模结构预测

表 1 1990 年浙江省各城市人口规模排序结果

城市 (市区)	人口规模 (P(k))	排序 (k)	城市 (市区)	人口规模 (P(k))	排序 (k)
杭州	147.62	1	舟山	24.58	7
宁波	114.24	2	衢州	23.31	8
温州	80.52	3	湖州	20.41	9
金华	30.54	4	台州	17.81	10
嘉兴	29.79	5	丽水	11.19	11
绍兴	29.34	6			

注: 为便于比较, 台州市包括原椒江市的市人口、黄岩城关镇的镇人口和原黄岩市路桥镇的镇人口, 丽水市为原县级市丽水市的市区人口, 湖州市由于行政区划的原因“四普”时的市人口不能真实地反映市区建成区内的实际居住人口, 因此用市辖区的非农业人口作为市区人口。

资料来源:《浙江省第四次人口普查资料》, 中国统计出版社, 1992 年。

表 2 2000 年浙江省各城市人口规模排序结果 万人

城市 (市区)	人口规模 (P(k))	排序 (k)	城市 (市区)	人口规模 (P(k))	排序 (k)
杭州	245.13	1	临海	20.11	18
温州	136.99	2	东阳	20.08	19
宁波	121.47	3	丽水	18.10	20
台州	85.51	4	永康	17.82	21
绍兴	63.31	5	嵊州	17.66	22
金华	43.51	6	乐清	17.58	23
义乌	41.37	7	温岭	17.54	24
嘉兴	36.89	8	海宁	16.69	25
舟山	35.25	9	兰溪	15.54	26
湖州	35.24	10	余杭	15.44	27
慈溪	34.64	11	上虞	14.46	28
萧山	33.22	12	奉化	12.88	29
瑞安	26.07	13	平湖	12.44	30
衢州	22.95	14	桐乡	11.25	31
余姚	22.64	15	临安	11.04	32
诸暨	20.98	16	江山	10.91	33
富阳	20.28	17			

资料来源:《浙江省第五次人口普查资料》, 中国统计出版社, 2002 年。

表3 1990、2000年浙江省城市规模分布的 Zipf 维数

点列 分段	1990年				2000年			
	回归点数	q值	R值	D值	回归点数	q值	R值	D值
全部	11	1.0491	-0.929	0.953	33	0.8821	-0.986	1.134

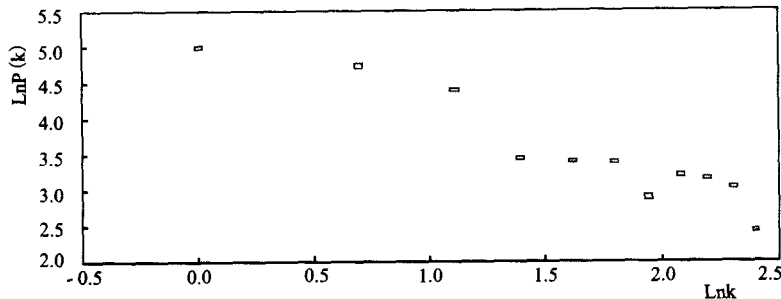


图1 1990年浙江省城市规模一位序双对数坐标图

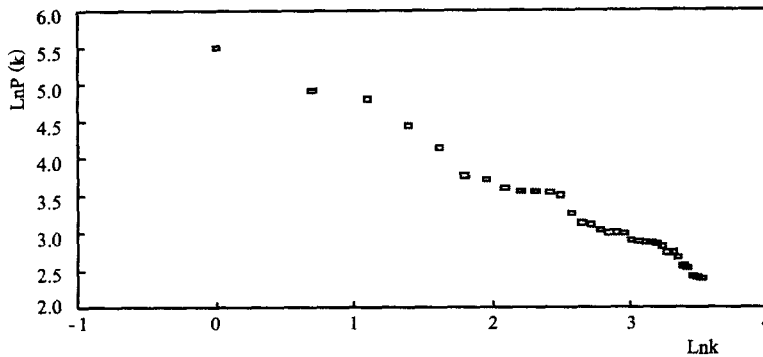


图2 2000年浙江省城市规模一位序双对数坐标图

上述研究表明,浙江省城市规模一位序分布具有明显的分形性质,因此,我们可以利用分形方程对浙江省未来城市体系的规模结构进行预测。

根据“浙江省城市化发展纲要”,浙江省2010年人口规模在10万以上的城市数量将达到48个,根据“杭州市都市区环境容量和人口规模预测”,2010年杭州市的城市人口规模将达到298.8万,将上述数据代入 Zipf 方程,得到:

$$\begin{cases} 298.8 = P_1/1^q \\ 10 = P_1/48^q \end{cases}$$

解方程组得, $P_1 = 298.8$, $q = 0.87755$, 因此,2010年浙江省城市体系规模结构预测的分形模型为: $P_r = 298.8/r^{0.87755}$, $r = 1, 2, 3, \dots, 48$ 。利用上述分形模型,便可以预测2010年浙江省城市人口规模和城市规模结构(见表4)。

四、讨论与结论

浙江省城市体系的规模结构具有明显的分形性质。规则分形体在任何尺度下都是自相似的,具有严格的无标度性;而随机分形只是在一定尺度范围内表现出自相似性或无标度性,可以通过绘制 $\text{Ln}P(k) - \text{Ln}k$ 图判断其自相似性。浙江省城市位序—规模分布的 $\text{Ln}P(k) - \text{Ln}k$ 坐标图显示,尽管随着 $\text{Ln}k$ 的增加, $\text{Ln}P(k)$ 的值也在变化,但 $\text{Ln}P(k)/\text{Ln}k$ 的值是不变的,即斜率不变,点列 $(\text{Ln}k, \text{Ln}P(k))$ 呈直线分布,表明浙江城市人口规模的对数与位序的对数之比是一个常数,具有统计上的自相似性特征,因此,浙江省城市规模分布是一种统计分形。

浙江省城市体系规模分布的分维数从1990年的0.953上升到2000年的1.134,表明中小城市的发展较快,整个城镇体系的等级差异性减小,人口分布趋于均衡。浙江省城市规模分布维数上升的主要原因在于市场经济发育最早且市场化程度较高,行政力量对不同等级行政区经济干预较少,一些县级市的经济高速增长,人口和产业向城市集聚的动力不断增强,城市人口规模不断增加。部分原来城市人口规模很小的县级市,如义乌、萧山和慈溪市“四普”时的市区人口分别只有6.7万、8.0万和6.7万人,而到了“五普”时已经分别达到41.4万、33.2万和34.6万人。1990年浙江省13个县级市中市区人口总量最多的余姚市也没有超过10万人,而2000年24个县级市市区中人口不足10万的只有建德市和龙泉市。

浙江省城市体系规模结构预测显示,2010年全省人口规模在50万~100万的大城市将达到5个,而目前只有台州和绍兴市的人口规模超过50万。我们认为,一些区位优势、经济发达的县级市将

来有可能发展成为人口规模超过 50 万的大城市,如义乌市“五普”时的城市规模已经超过 40 万,将来很有可能超过金华市而成为浙江省中部的中心城市,这是在市场条件下城市体系发育的客观规律所牵引,各级政府应该充分尊重这种规律性,尽可能为那些具有发展势头迅猛的县级市提供更大的成长空间。

表 4 浙江省城市体系规模结构预测

人口 等级规模	城市数量 (个)	城市人口 (万人)	人口 等级规模	城市数量 (个)	城市人口 (万人)
200 万以上	1	298.8	20 万~50 万	16	475.5
100 万以上	2	283.8	10 万~20 万	24	350.2
50 万~100 万	5	342.8	合计	48	1751.1

城市规模一位序分布具有分形性质,意味着城市系统的演化受到某种隐含规则的支配,是一个自组织过程,政府过多的干预不利于形成合理、有序的结构,但是,如果完全依靠系统自组织机制的调节,城市系统在其演化的过程中与其他系统的摩擦又会对社会的正常运行产生震荡,因此,政府应该对城市系统的演化进行一定的调节。城市化进程中,政府的主要作用在于致力于良好投资环境的营造,同时在既有的政策框架下大胆改革,扫除阻碍人口向城镇迁移的制度障碍。对于人口的迁移和企业迁址,无论是其迁向县域中心、市域中心,还是迁出本区域,政府都不应该采用行政方式进行干预。“有所为而有所不为”,这是推进城镇化进程各级政府应有的职能定位。

同全国其他省区的研究结果一样,浙江省的城市体系规模分布也具有分形的特征,这表明,尽管区域间存在着各种差距,但区域内的城市总是成体系发展的,城市体系是在客观规律的支配下形成与发育的,因此,有必要对“严格控制大城市规模,合理发展中等城市,积极发展小城镇”的既定城市发展政策进行重新反思。城市化进程中,一味地强调发展位于城市体系最低层级的小城镇必然违反客观规律,而过分扶持、强化某一个城市的发展同样是非理性的。对于某一区域而言,应该在充分调查的基础上,综合考虑不同城市的区位、产业结构、人口基础等多种要素进行合理的城市体系规划。

参考文献:

1. 周一星(1995):《城市地理学》,商务印书馆。
2. 仵宗卿(2000):《帕累托公式重构及其城市体系演化》,《人文地理》,第 15 卷第 1 期。
3. 林鸿溢、李映雪(1992):《分形论——奇异性探索》,北京理工大学出版社。
4. 刘继生(2000):《城市地理分形研究的回顾与前瞻》,《地理科学》,第 20 卷第 2 期。
5. 陈涛等(1994):《城镇空间体系的科赫(Koch)模式——对中心地学说的一种可能的修正》,《经济地理》,第 14 卷第 3 期。
6. 陈彦光(1998):《城市体系 Koch 雪花模型的实证研究》,《经济地理》,第 18 卷第 4 期。
7. 刘继生、陈彦光(1998):《城镇体系等级结构的分形维数及其测算方法》,《地理研究》,第 17 卷第 1 期。
8. 刘继生、陈彦光(1999):《城镇体系空间结构的分形维数及其测算方法》,《地理研究》,第 18 卷第 2 期。
9. 陈勇(1993):《城市规模的分形研究》,《经济地理》,第 13 卷第 3 期。
10. 刘继生(1999):《东北地区城市规模分布的分形特征》,《人文地理》,第 14 卷第 3 期。
11. 陈彦光(1998):《豫北地区城镇规模分布的分形研究》,《人文地理》,第 13 卷第 1 期。
12. 李新运(1997):《山东省城市体系分形特征及规模结构预测》,《经济地理》,第 17 卷第 1 期。
13. 姜世中(1998):《城市体系规模结构预测方法应用研究》,《人文地理》,第 13 卷第 3 期。
14. 杨山(2000):《发达地区城乡聚落形态的信息提取与分形研究——以无锡市为例》,《地理学报》,第 55 卷第 6 期。
15. Batty M.(1985), Fractals-geography between Dimensions, *New Scientist*, 106(1450):31-35.
16. Batty M. and Longley P.A.(1986), The Fractal Simulation of Urban Structure, *Environment and Planning A*, 18(9): 1143-1179.
17. Batty M. and Longley P.A.(1989), Urban Growth and Form: Scaling, Fractal Geometry, and Diffusion-limited Aggregation, *Environment and Planning A*, 21:1447-1472.

(责任编辑:朱萍)

Structure of Urban System in Zhejiang Province Based on Fractal Geometry Theory *Ban Maosheng Qi Weifeng* ·39·

Based on the fractal geometry theory, this paper makes empirical study on urban system scale's fractal structure in Zhejiang province by using the data of 1990 and 2000 censuses, forecasts the scale structure of urban system in Zhejiang province in the future by establishing fractal equation, and puts forward some policy suggestions.

Social Achievement Attribution and Its Determinants *Luo Jiaojiao Tu Hongbo* ·44·

Based on the behavior attribution theory, this paper introduces a social achievement attribution theory and analyses some determinants that influence social achievement attribution through empirical test. The result shows that there is the same law ruling both social achievement attribution and individual behavior attribution, and social achievement attribution theory provides better explanation on the social cognition and social function.

Population and Structure of Different Stratum in China *Zhang Yi Hou Huili* ·53·

Based on the data of the 2000 population census and the Standard International Occupation Prestige Scale, this paper elaborates the stratum structure of employees in China. The result shows that the farmers, blue collars and white collars account for 64.0%, 23.9% and 12.2% of and the total labors, respectively. Professional and administrative managers only account for 1.1% of the total. Such stratum structure can be regarded as a candle-holder with a large base, which is still far from the desired.

Conditions and Determinants of County Population Outflow in Guangdong Province *Li Ruojian* ·60·

According to the data of 2000 Population Census, the paper describes the large population outflow in Guangdong province, and points out some serious problems relating to the situation. The paper also points out that there are some positive effects of population outflow on rural economy. Due to structural rigidity, part of the positive effects has been offset and negative effects still exist.

Debates on Temporary Residence Permit System and Necessity for Adopting It *Wan Chuan Wang Dezhu Li Bo* ·66·

There are three waves of debate on the necessity of temporary residence permit system in recent years. Some advocate to abolish it because of its conflicting with the Law of Administrative License and the citizen right of free migration. They argue that this restriction leads to the rural-urban divide, forms stratum discrimination, and prevents temporary population from being treated as citizenship with equal rights. This paper points out that those points of view obscure the difference between temporary residence permit system and household registration system, and the difference between free migration and free residence registration, giving the wrong explanation of the rural-urban divide, because they fail to give proper evaluation on the current situation of urban and rural residents.

Informed Choice's Impact on and Contribution to Family Planning Management and Public Policies *Zhou Weiwen et al.* ·72·

Informed choice is characterized by the residents' rights to know the consequence of contraceptive methods and to decide for themselves. It reflects the transformation of the government role from administration to service. It introduces the human concerns and modern management concept into family planning, significantly reshaping the practice of family planning and providing valuable lessons for the ongoing reform of public policy and governance in China.