

基于分形的城市体系经济规模等级演变研究

周彬学¹, 戴特奇¹, 梁进社¹, 张锦宗²

(1.北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2.聊城大学环境与规划学院, 山东 聊城 252059)

摘要: 利用区域城市体系经济规模等级分形理论, 选取长江三角洲1995~2009期间4个年份的县级以上行政单位经济发展数据, 计算了经济规模等级分形维数。以该地区城市体系经济规模等级分形维数的演变特征为载体, 探讨了长江三角洲地区城市体系经济规模等级演变规律。结果表明: ① 虽然当前长三角地区各城市的经济社会发展水平差异较大, 中心城市垄断性仍然较强, 但其均匀化趋势明显。② 经济规模等级的空间梯度特征明显, 经济规模等级的均匀性随着距离区域核心城市距离的扩大而降低。③ 产业空间布局层次化逐步分明, 中心城市的第三产业比重不断提升, 区域控制能力不断增强, 与以第二产业为主导的中小城市形成有机整体, 区域经济竞争力整体得到提升。

关键词: 分形; 城市体系; 经济规模; 长江三角洲; 演变

中图分类号: F291 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2012)02-0156-07

区域经济空间组织形式演变可以归纳为低水平均衡阶段—极化发展阶段—扩散阶段—高水平均衡阶段四个阶段演进更替^[1-3], 在城镇体系发展的不同阶段, 其更替过程的空间模式会呈现出核心—边缘结构、多核心—边缘结构、网络结构、点—轴结构、双核结构、点—轴—面结构和板块结构等空间表现形式。经过长期的发展, 尤其是改革开放以来的快速发展, 中国的城镇体系骨架已经形成^[4]。作为城市体系骨架的支撑者, 城市体系经济规模等级体系演变特征研究非常重要。

长江三角洲简称长三角地区即包括上海市、江苏省、浙江省, 是中国经济最发达的地区之一。自改革开放以来, 该地区城市化速度不断加快, 经济保持两位数的增长速度, 产业结构和生产效率大幅改善, 是中国城市化研究的热点区域^[5]。长三角地区的经济发展水平尚不均匀, 核心区域逐步由以上海、南京、杭州为核心的点状分布扩展到沿江沿海地区, 形成当前的Z字形带状城市布局特征^[6,7]。在层次分明的城市体系中, 不同层次的城市发展机遇是否一致, 核心城市的发展对周边中小城市的带动作用 and 抑制作用那个更

强? 这些问题是城市体系演变研究的重要方面。

当前, 分形理论在城镇体系等级规模方面的研究工作主要集中在揭示特定区域城市体系人口规模及用地规模等级的结构特征^[8-15]。而作为人口和用地规模的主推因素, 城市体系的经济规模等级分布规律还被探讨的较少。城市经济规模分布规律是城镇体系发展方向的决定性因素, 探讨城市体系的经济规模分布规律有助于理解城市体系中不同城市担当其经济角色的原因, 为城市及区域规划工作提供另一个角度的参考。

城市体系经济规模等级分形理论在另文中已经证明了其可用性。本文利用经济规模等级分形理论, 通过对长三角地区4个年份经济社会数据的分形维数运算, 借助各指标的分形维数演变特征从多个视角探索该区域城市经济规模空间特征的演变趋势, 从经济规模角度判断长三角地区城市体系的发展阶段和发展趋势。

1 经济规模等级分形理论

在城镇规模等级的分形研究中, 学者们均用 Zipf 维数和 Hausdorff 维数来衡量城市规模分布的

收稿日期: 2011-05-16; **修订日期:** 2011-08-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001071)、国家科技支撑计划(2011BAJ07B01-2)和中央高校基本科研业务费专项资金(2009SD-5)资助。

作者简介: 周彬学(1981-), 男, 陕西韩城人, 博士研究生, 主要研究方向为城市与区域发展。E-mail:zhouzhouworld@163.com

分维数^[16,17],已有的维数计算主要围绕区域内每个城市的城市人口 R 和区域内高于某个人口规模的城镇数量之间的函数关系进行运算并判断城镇体系规模等级特征。本研究在此基础上将上述维数计算过程中的人口规模替换为经济及产业规模,计算产业规模等级的分形维数。具体假设如下:

在区域城镇体系中,不同城市和区域之间的产业发展特征和发展规模都有不同特征,可以设定一个经济规模 F 来度量。显然,改变经济规模尺度,区域城镇体系中的城镇数目 $N(F)$ 也会改变,当 F 由大变小时, $N(F)$ 不断增大,当满足关系式

$$N(F) \propto F^{-D} \quad (1)$$

即区域城镇累积数与经济规模尺度成负幂律分布时,可以认为城镇经济规模等级分布具备分形特征。类比于Hausdorff维数公式可知,式中 D 为分维,它在一定时期内为常数。(1)式通常表示为(2)式进行运算:

$$N(F) = AF^{-D} \quad (D > 0) \quad (2)$$

其相应的自然对数形式为:

$$\ln N(F) = \ln A - D \ln F \quad (3)$$

式(2)和(3)中, $N(F)$ 表示大于门槛经济规模的城市数量; F 为城市经济规模; A 、 D 为系数。

经变换可得Zipf公式:

$$F(K) = F_1 K^{-q} \quad (4)$$

式(4)中, K 为城镇序号($K=1, 2, \dots, N$, N 为系统中城镇总数); $F(K)$ 是序号为 K 的城镇的经济规模; F_1 为经济总量首位城市(primate city)的经济规模(为系数); q 为Zipf指数。比较式(3)、式(4)可知 $q=1/D$ 。

当 $D=1$ 时, $q=1$,最大城市与最小城市的经济规模之比恰为区域城市体系的城镇数目,这是自然状态下的最优分布。当 $D>1$ 即 $q<1$ 时,城市体系的经济规模分布比较均匀,城市经济规模分布比较集中,此时中间位序的城市较多。当 $D<1$ 即 $q>1$ 时,城市体系的经济规模分布差异较大,城市经济规模分布比较分散,此时首位城市的垄断性较强。

当 $D \rightarrow \infty$ 即 $q \rightarrow 0$ 时,区域内所有城市一样大。当 $D \rightarrow 0$ 即 $q \rightarrow \infty$ 时,区域内只有一个城市,系统要素规模无分别。这两种极端情况,实际中并不存在。

在分形维数的计算和判别分析过程中,影响分形维数准确性的因素有两个,一个为相关系数的大小,另一个为无标度区所占研究整体的比重,当相关系数越接近1,同时无标度区在整个研究对象中所占比重越高说明分形特征越显著。

2 城市体系经济规模等级演变特征的分形分析

本文以长江三角洲地区县级以上行政单位为研究对象,以 $R^2>0.95$ 为判断标准,确定无标度区。由于行政区划在研究时间段内发生调整,我们将历年数据按照2009年行政区划标准进行归并,各地级以上城市行政范围为市区,上海市全境作为一个整体。分别测算4个年份各社会经济基本指标总量的Hausdorff维数(D) (表1)及地均值的Hausdorff维数(D) (表2),试图从多个角度讨论长三角地区的经济社会发展的空间演变特征。

表1 长三角经济社会指标总量分形维数演变

Table 1 The evolution of fractal dimension of the total amount of the economic and social indicators in Changjiang River Delta

年份	1995年	2000年	2005年	2009年
总人口	2.2366	2.0982	1.9088	1.8685
GDP	1.1052	1.0777	0.9655	1.1040
第一产业	2.3207	2.2614	2.1584	2.4079
第二产业	1.0183	1.0054	0.9238	1.0399
第三产业	0.9131	0.9348	0.8893	0.9557
消费品零售总额	1.0403	-	0.9773	1.0424
财政收入	0.9129	0.8272	0.7577	0.8902
财政支出	1.1018	1.0166	0.9795	1.1370
社会固定资产投资	0.9478	0.8265	0.8812	1.0681
实际利用外资	0.4891	0.5659	0.6954	0.7482
进口总额	-	-	0.4113	0.4009
出口总额	-	-	0.4955	0.6194

注:数据来源:《上海市统计年鉴》,《浙江省统计年鉴》,《江苏省统计年鉴》。

表2 长三角地均经济社会指标分形维数演变

Table 2 The evolution of fractal dimension of the regional average economic and social indicators in Changjiang River Delta

年份	1995年	2000年	2005年	2009年
GDP	0.8351	0.8925	0.8218	0.9444
第一产业	1.5972	2.6525	2.4734	3.0609
第二产业	0.6769	0.6454	0.5996	0.8046
第三产业	0.7143	0.7899	0.7023	0.8727
消费品零售总额	0.6714	-	0.7753	0.9163
财政收入	0.7595	0.7060	0.5745	0.8503
财政支出	0.9609	1.0240	0.8691	1.0778
社会固定资产投资	0.5632	0.7628	0.6474	1.0205
实际利用外资	0.3900	0.4679	0.4030	0.5139
进口总额	-	-	0.3239	0.3638
出口总额	-	-	0.3189	0.4358

注:数据来源:《上海市统计年鉴》,《浙江省统计年鉴》,《江苏省统计年鉴》。

2.1 经济总量演变的特征分析

在所有指标中,第一产业和总人口的 Hausdorff 维数持续保持高位,说明该地区人口和基本生产条件分布比较均匀,这一点也比较客观的体现出了长三角地区的区域本底特征的持续性。此外,第一产业的分形维数呈波动前进,而总人口的分形维数却逐年降低,说明第一产业均匀性变化趋势不明显,而城市体系中城市之间的总人口差异不断增大,大城市的人口增长速度快于中小城市。

随着区域经济结构的不断转型升级,第一产业比重持续下降,到2009年仅占到GDP的4.70%,第二、第三产业比重分别达50.49%和44.81%,因此就区域经济总量的空间特征而言,二三产业的表现尤为重要。而第二、三产业的 Hausdorff 维数虽然都比较接近1,但总体上一直呈现第二产业略大于1,第三产业略小于1的分布特征,说明控制性核心城市第三产业的垄断性始终最强。此外,在第一、二产业的分形维数均呈现先降后升和第三产业的波动上升的演变趋势影响下,该地区GDP总量分形维数呈现先抑后扬的发展态势,说明长江三角洲地区城市体系经济总量规模等级呈现由差异扩大逐步向均匀性增强转变,当前相对比较均匀。

在经济发展的促进因素方面,社会固定资产投资和消费品零售总额的维数均呈现与经济总量分形维数类似的演变轨迹,但是其演变拐点发生在2000年,也就是说,从2000年以来,这两个指标的分形维数均呈现持续增大的特征。在对外经济联系方面,各指标分形维数均较小,说明其大城市一直保持强烈的垄断地位,但大城市的垄断地位持续减弱的趋势非常明显。

在地方财政收支方面,财政收入分布差异较大,维数均小于1,而财政支出的分布却倾向均匀。此外,这两者的演变趋势均与GDP总量规模等级演变特征一致。

2.2 经济密度演变的特征分析

为了更好的反映研究区域的经济特征,剔除行政面积不同而带来总量之间比较的不准确性,本文在分析经济总量分形特征的基础上,研究区域基本经济指标地均值的分形特征。

从表2得知,所有指标中,地均第一产业的 Hausdorff 维数持续保持最高,2009年高达3.061,进一步证明了基本生产条件分布的均匀性。

与第一产业相比,地均第二产业和地均第三产业的 Hausdorff 维数呈现另一种态势。2009年分别为0.805和0.873,空间分布的分散性特征更加明显,中心城市地区的垄断性强度也更显著。这种分散性特征在地均GDP上也得到体现,其分形维数 $D=0.944<1$ 。纵观各年份数据,地均第二产业呈现先降低再升高的演变态势,而地均第三产业与地均GDP的呈现波动增长特征。因此,地均第二产业呈现由差异性扩大逐步向均匀性增强转变,地均GDP与地均第三产业的差异性在波动中缩小趋势明显。

在经济推动因素方面,地均社会固定资产投资和地均消费品零售总额的维数虽然逐年提高态势显著。到2009年,社会固定投资密度还勉强略大于1,呈弱均匀特征,而地均消费品零售总额的维数值仍在弱分散行列。地均进出口总额和实际利用外资的分析维数相对总量维数同样下跌,在逐年增长的态势下仍然非常小,中心城市的对外经济联系首位垄断性特征非常明显。所以可进一步确认当前长三角经济推动因素依然高度分散,但是分散程度会逐年减弱。

地均地方财政收支方面,地均财政收入与地均财政支出的分布趋势特征未发生明显变化,仅表现为分形维数略有下降。

综上,就全局分析而言,长三角地区经济总量和经济密度空间分布格局演变具备相似特征,分形维数增大趋势明显,城市体系经济规模等级均匀性逐步增强。就历年数据横向对比,经济总量分布较偏向均匀,而经济密度却偏向分散,该地区经济规模等级仍然处在相对分散的阶段。不同经济指标的分散程度也体现出了各自的特色。就经济总量来看,结合二三产业分形维数状况易知长三角地区经济空间分布特征较分散。经济拉动因素中除了社会固定资产投资已经迈入弱均衡特征,其他因素均表现出明显的分散特征。因此,虽然当前长三角经济投入呈现略偏均匀的空间格局,中心城市在从对外经济联系强度到消费能力方面的区位垄断作用非常明显,说明在区域内城市体系中,中心城市发展优势强于中小城镇。因此,城市体系经济规模等级分散特征呈逐步弱化特征,而要进入相对均匀阶段尚需时日。

2.3 第一标度区经济总量演变的特征分析

本研究中,各指标的双对数散点图变化特征

均与图1(a)相似,在初期线性特征非常明显,而到一定程度就会朝下弯曲,在整体分形特征分析时一般采取综合总体特征,在最大限度保留的前提下,剔除两端异质点已达到相关性系数要求,因此所得结论与该城市体系局部特征有所区别。为了更清晰地分析长三角地区当前各种经济要素的局部空间分布特征,本文在对经济规模总量整体分析的基础上进行分层分析,根据散点图的拐点特征,大体划分出3个无标度区。按照经济部门数据的对数值从大到小排序,从最大的部门开始以相关系数最接近1为衡量标准寻找第一无标度区,然后在剩余的散点中同样按照上述标准寻找第二无标度区,最后寻找第三无标度区。以GDP总量双对数图为例(图1),图1(a)为GDP总量双对数散点图,而图1(b)为第一无标度区散点图。

按照第一无标度区的划定准则,入围该无标度区的行政单元为长三角地区的经济核心区域。探讨第一无标度区的分形维数演变特征有助于更好的理解长三角地区经济规模空间特征。笔者首

先以相关系数最大化为标准对4个年份的数据进行第一无标度区划分。为了年份之间的可比性,在各年份的第一无标度区长度中选择最长的一个作为第一无标度区的选取范围标准。然后计算各年份规定标准下的第一无标度区的Hausdorff维数(D)(表3),在此数据基础上研究长三角地区第一无标度区经济规模等级分形维数演变特征。

与经济总量分形维数相比,第一无标度区的分形维数均有所提升,说明第一无标度区的区域在经济总量上均匀程度相对较高。在经济增加值方面,不论从GDP还是一、二、三产业,历年的分形维数都几乎大于1。三次产业的维数一直保持第一产业最高,第三产业最低的格局,而且第一无标度区也依次加宽。说明核心城市对第三产业的垄断程度最高,其次是第二产业,第一产业布局非常均匀,这种趋势还将持续。就各个产业而言,分形维数在波动中均呈上升趋势,说明该地区经济核心区经济规模等级均匀性会进一步增强。因为核心城市的二三产业比重,尤其是第三产业比重不

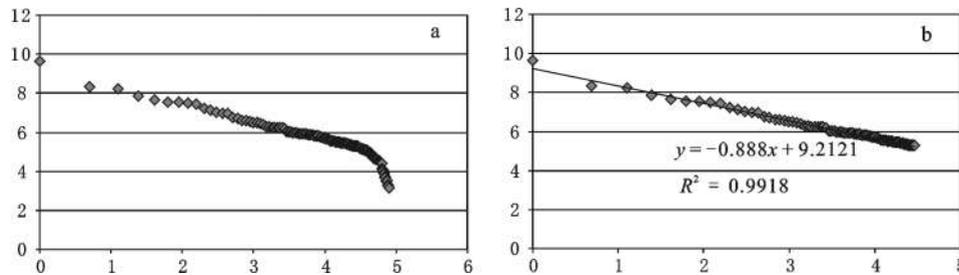


图1 长三角GDP(2009)第一无标度区 Zipf 维数(q)

Fig.1 The Zipf dimension of GDP in Changjiang River Delta from the first fractal scaleless band in 2009

表3 长三角经济社会指标总量分形维数演变(第一无标度区)

Table 3 The evolution of fractal dimension of the total amount of the economic and social indicators in Changjiang River Delta (the first fractal scaleless band)

年份	1995年	2000年	2005年	2009年	无标度区长度
GDP	1.2102	1.1988	1.0918	1.1216	94/134
第一产业	2.5920	2.4814	2.4950	2.6603	71/134
第二产业	1.1197	1.1232	1.0483	1.1353	90/134
第三产业	1.0108	1.0367	0.9995	1.0326	100/134
消费品零售总额	1.1174	—	1.0770	1.0707	102/134
财政收入	0.9543	0.8918	0.8254	0.9029	110/134
财政支出	1.1269	1.0367	1.0005	1.0826	120/134
社会固定资产投资	0.9287	0.9031	0.9543	1.0993	110/134
实际利用外资	0.6316	0.6610	0.8781	0.9013	65/134
进口总额	—	—	0.5429	0.5348	80/134
出口总额	—	—	0.6775	0.7837	60/134

注: 数据来源:《上海市统计年鉴》,《浙江省统计年鉴》,《江苏省统计年鉴》。

断上升,从而GDP总量维数呈下降趋势,核心城市总体经济实力的垄断性在总体相对均匀的环境下依然在不断增强。

在经济推动因素方面,固定资产投资总额维数总体呈增长态势,到2009年已经增至1.099,日趋均匀的演变趋势非常明显。说明中小城市历年的固定资产投资份额增长较快。社会零售总额的分形维数则在大于1的前提下持续下降,说明这些地区社会消费能力较均匀,同时核心城市的消费带动优势日渐凸显。实际利用外资的分形维数虽然仍比较分散,但这种趋势正在逐步缓解,说明核心区的二三线城市争取外来投资的力量在不断增强,外来投资分布日趋均匀化,与投资布局相关的出口总额分布格局呈现类似特征。

地均地方财政收支方面,地均财政收入与地均财政支出的分布趋势特征未发生明显变化,仅表现为分形维数略有上升。

3 结论与讨论

本文利用分形理论在区域经济空间特征研究方面的新视角,分析了长江三角洲地区经济规模等级特征演变趋势,主要结论如下:

1) 长三角地区各经济社会部门的空间格局演变均匀性趋势明显,中心城市垄断性逐步减弱。各经济部门总量数据及地均数据分形维数均表现出总体提高的趋势,而且部门总量与地均数据分形维数演变轨迹具有较强的一致性。可归纳为先减后增型、波动增长型和持续增长型。先减后增的演变模式在经济总量方面维数表现比较明显,而波动增长特征在经济部门地均值方面体现更多,持续增长主要表现在对外经济联系方面。在各个经济部门的合力作用之下,地区GDP的空间格局趋于均匀的特征比较明显。

2) 长三角地区当前各经济社会部门的空间格局特征差异较大,中心城市垄断性较强。虽然经济总量及经济密度分布特征趋向均匀,但当前局部差异水平仍然相对较大。第一产业分布较均匀,而占经济比重绝大部分的二三产业在分形维数上体现出明显的分散特征。经济拉动因素中除了社会固定资产投资略显均衡特征,其他因素均表现出明显的分散特征,中心在从对外经济联系强度到消费能力方面的区位垄断作用非常明显。

3) 长三角地区经济规模等级格局梯度特征

明显,经济规模等级的均匀性随着距离区域核心城市距离的扩大而逐步降低。以经济规模排名靠前的核心区域城市构成的第一无标度区在分形维数上均高于全局对应维数。表明经济发展带实力日趋增强,地区由核心城市控制格局逐步演变为城市带控制格局。

4) 城市体系中核心城市在第三产业和对外经济联系方面一直表现出的强劲垄断势头还将持续,中小城市在这方面没有竞争优势,然而在第二产业的处境就略有好转。因此该区域城市体系的经济体系将在总量均匀性逐步改善的同时,产业空间布局层次化逐步分明,中心城市的第三产业比重会不断增强,区域控制性也不断增强,与以第二产业为核心的中小城市与之形成有机整体,区域经济竞争力整体得到提升。

参考文献:

- [1] Perroux F. Economic Space, Theory and applications [J]. Quarterly Journal of Economics, 1950, **64**(1):89-104.
- [2] 李国平,李国平.经济地理学[M].北京:高等教育出版社,1999,173~179.
- [3] 薛普文.区域经济增长与区域结构的演变[J].地理科学,1988, **8**(4): 279~284.
- [4] 梁进社.论节点走廊模式对我国城镇体系规划的适用性[J].城市规划, 2005, **29**(4): 30~34.
- [5] 顾朝林,于涛方,李王鸣等.中国城市化格局·过程·机理[M].北京:科学出版社,2008:46~65.
- [6] 王磊,段学军.长江三角洲地区城市空间扩展研究[J].地理科学, 2010, **30**(5): 702~709.
- [7] 张继良,张奇.基于空间经济学的长三角区域经济差距研究[J].统计研究,2009, **26**(12): 41~48.
- [8] 刘继生,陈彦光.城镇体系等级结构的分形维数及其测算方法[J].地理研究,1998, **17**(1): 82~89.
- [9] 刘继生,陈彦光.城市地理分形研究的回顾与前瞻[J].地理科学,2000, **20**(2):166~171.
- [10] 陈彦光.城镇等级体系的Beckmann模型与三参数Zipf定律的数理关系——Beckmann城镇等级—规模模型的分形与分维[J].华中师范大学学报(自然科学版),2000, **5**(2):229~233.
- [11] 陈彦光.城市位序—规模法则的理论难题:数理本质与解决方案[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2001, **29**(02):98~102.
- [12] 陈彦光,刘继生.城市系统的异速生长关系与位序—规模法则——对Steindl模型的修正与发展[J].地理科学,2001, **21**(4): 412~416.
- [13] 陈彦光,刘继生.城市等级体系分形模型中的最大熵原理[J].自然科学进展,2001, **11**(11):1170~1174.
- [14] 陈彦光,周一星.城市等级体系的多重Zipf维数及其地理空间意义[J].北京大学学报(自然科学版),2002, **38**(6):823~830.
- [15] 陈彦光.分形城市系统:标度、对称、空间复杂性[M].北京:科学

出版社,2008:249~280.

[16] Urzua C M. A simple and efficient test for Zipf's law[J]. *Economics Letters*, 2000, **66**:257-260.

[17] Carroll G R. National city-size distribution[J]. *Progress in Human Geography*, 1982, **6**(1): 1-43.

The Evolution of The Level of Economic Scale of Urban System Based on Fractal Analysis

ZHOU Bin-xue¹, DAI Te-qi¹, LIANG Jin-she¹, ZHANG Jin-zong²

(1. *School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 2. *College of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059, China*)

Abstract: According to the fractal theory of economic scale in regional urban system, we select four-year economic data of the administrative units that above the county level in the Changjiang River Delta between 1995 and 2009, and calculate the fractal dimensions of the economic scales. Under the evolving characteristics of the fractal dimensions of the Changjiang River Delta, we explore the evolving law of economic scale levels in the urban system of the Changjiang River Delta. The results show: 1) Although the differences of levels of economic and social development between cities in the Changjiang River Delta are quite big currently and the central city has more monopoly, the trend of homogenization is obvious. Overall, the fractal dimensions of the economic gross data and economic density data have shown a rising trend among all the economic sectors. Furthermore, the evolution pattern of fractal dimensions for both data demonstrated a strong consistency. The trends of variations can be summarized into three types: decreased at first and then increased, fluctuating increased and sustainable increased. The type of decreasing at first and then increasing is evidently demonstrated in the evolution of the fractal dimensions of the economic gross data, while the fluctuating increasing type is evidently demonstrated in the evolution of the fractal dimensions of economic density data. The sustainable increasing type is evidently demonstrated in the evolution of the fractal dimensions of the foreign trade data. Under the cooperation of the various economic departments, the trend of homogenization for spatial pattern of the regional GDP is obviously revealed. 2) The levels of economic scale have a significant gradient feature in space, and the uniformity of the level of economic scale is reducing with increasing distance from the core cities of the region. The cities in the core region, which have higher level of economic scale, constitute the first non-scaling interval. The fractal dimensions of the first non-scaling interval are higher than the corresponding dimensions of all the cities in the same region. This result indicates that, along with the enhancement of the economic develop zone, the pattern of regional control evolves gradually from core cities leading to economic development zone leading. 3) The hierarchy of spatial layout of the regional industrials is gradually clear. The proportions of the foreign trade and the tertiary industry of central cities are improving constantly, and the ability of the regional control of central cities are improving, while the secondary industry has been put in leading position in medium and small cities. The central, medium and small cities all contribute to the formation of an organic whole, which result in improving of overall competitiveness of regional economy.

Key words: fractal; urban system; economic scale; the Changjiang River Delta; evolution