

文章编号: 1000-5862(2012)04-0436-05

鄱阳湖生态经济区城镇空间结构分形研究

钟业喜, 刘 影

(江西师范大学地理与环境学院, 江西 南昌 330022)

摘要: 为了刻画鄱阳湖生态经济区城镇空间结构的特征, 运用分形方法, 从城镇空间分布的向心性、均衡性和城市要素的相关性 3 个方面, 测算了描述空间结构分形特征的集聚维数、网格维数和关联维数, 根据 3 个维数的地理意义分析了鄱阳湖生态经济区城镇空间结构的分形特征, 并提出了强化中心、轴线发展、圈层优化的发展战略。

关键词: 鄱阳湖生态经济区; 空间结构; 分形特征

中图分类号: K 928.5

文献标志码: A

0 引言

分形是“fractal”的译名, 用以描述不规则和破碎的几何特征, 分数维是分形几何对象复杂程度的度量^[1]。分形理论有助于揭示复杂现象背后的内在特征, 成为当代理论地理学的研究前沿^[2]。区域城镇的空间分布具有无标度性, 显示出统计分形特征^[3]。目前用来描述城镇体系空间结构特征的分形维数主要有 3 种, 其一是集聚维数, 借助回转半径测算, 故可称之为半径维数; 其二是网格系数, 利用区域的网格化方法测算; 其三是空间关联维数, 利用城镇之间的距离测算^[4]。将分形理论应用于城镇体系研究是分形理论在区域经济应用中的一个比较成熟的方面, 尚正永^[5]、黄建毅^[6]、邢海虹^[7]、吕祯婷^[8]等分别利用分形理论研究了长三角、辽中、陕西和安徽城市群和城市体系的分形特征。分形维数已成为刻画城镇体系空间结构的有效参数^[9]。

鄱阳湖生态经济区是江西省委、省政府于 2008 年 1 月提出的战略构想, 目的是以科学发展观为统领, 努力把鄱阳湖保护开发推向新的阶段, 使之成为生态优美、经济快速发展、产业层次较高、城乡协调发展的功能区。2009 年 12 月 12 日, 鄱阳湖生态经济区规划获国务院批准, 上升为国家级发展战略。鄱阳湖生态经济区范围包括 38 个县(市、区), 为了数据获取方便, 本文根据统计口径合并为南昌市

区、九江市、景德镇市区、鹰潭市区、抚州市区、新余市区、南昌县、新建县、进贤县、德安县、星子县、永修县、湖口县、都昌县、武宁县、鄱阳县、余干县、瑞昌市、九江县、彭泽县、万年县、安义县、丰城市、樟树市、高安市、东乡县、乐平市、浮梁县、贵溪市、余江县、新干县共 31 个县(市)。区域面积 51 227 km², 占全省面积的 30.69%, 2008 年实现地区生产总值 3 948 亿元, 占全省 60.93%, 年末总人口 2 006.6 万人, 占全省 45.60%^[10]。

鄱阳湖生态经济区是以鄱阳湖为中心, 以鄱阳湖自然地理区为基础, 由鄱阳湖平原水陆相生态系统和鄱阳湖网络型经济地域共同组合成的自然和经济社会相互作用、有机联系的生态经济系统, 由内向外依次为湖盆、平原、岗地、丘陵^[11], 显示出独特的自然地理特征。因此, 本文借助分形方法, 通过计算集聚维数、网格维数和关联维数, 从城镇空间分布的向心性、均衡性和城镇要素的空间相关性 3 个方面, 分析鄱阳湖生态经济区空间结构的分形特征, 揭示其空间特征和内在机理, 既是对分形理论应用的拓展, 也将为鄱阳湖生态经济区发展战略的科学实施提供决策依据, 具有重要的理论价值和实践意义。

1 数据和方法

1.1 数据来源和选取

数据主要来源于 1:50 万基础地理数据, 江西

收稿日期: 2012-03-12

基金项目: 国家自然科学基金(41161021)和江西省社会经济重大招标(08ZD101)资助项目。

作者简介: 钟业喜(1973-), 男, 江西南康人, 教授, 博士, 主要从事经济地理与空间规划研究。

省 2008 年交通路网数据,并以 31 个研究单元的行政所在地作为空间上的点参与测算。

1.2 研究方法

1.2.1 向心性的分形模型 假定城镇按某种自相似规则围绕中心城市呈凝聚态分布,且城镇体系的分形体向各个方向均匀变化,则可借助几何测度关系确定半径 r 的圆周内城市数目 $N(r)$ 与半径的关系,即有 $N(r) \propto r^D$,类似于 Hausdorff 维数公式,式中 D 为分维。考虑到上式中 r 取值影响分维的数值,可将其转化为其平均半径,定义平均半径为

$$R_s \equiv \left\langle \left(\frac{1}{S} \sum_{i=1}^S r_i^2 \right)^{1/2} \right\rangle,$$

则分维计算公式为

$$R_s \propto S^{1/D},$$

或者为

$$S \propto R_s^D,$$

其中 R_s 为平均距离, r_i 为第 i 个城镇到中心城市的距离, S 为城镇个数, $\langle \rangle$ 表示求平均值, D 为集聚维数。

一般取欧氏维数为 2,如果 $D < 2$,城镇的空间分布从中心向四周密度递减,城镇空间分布呈集聚态分布,且 D 值越小,其城镇空间分布的集聚程度越大;如果 $D = 2$,城镇的要素分布在半径方向上是均匀变化的,城镇空间分布呈均匀分布;如果 $D > 2$,则城镇要素的空间分布从中心向四周呈密度递增,城镇空间分布呈漏斗离散态分布,这是一种非正常的情况,且 D 值越大其城市空间分布的离散程度越大^[12]。

1.2.2 均衡性的分形模型 网格维数可以描述空间结构的均衡性水平。对区域进行网格化处理,考察被城市占据的网格数 $N(r)$,显然 $N(r)$ 随网格尺寸 r 而变化。若城镇分布具有无标度性,则应有

$$N(\lambda r) \propto \lambda^{-\alpha} N(r),$$

从而

$$N(r) \propto r^{-\alpha}.$$

类比于 Hausdorff 维数公式可知, $\alpha = D_0$ 为分维(称容量维),这里设定城市体系是均匀的分形体,没有考虑各个网格中的城镇个数的差别。观察行号为 i 、列号为 j 的网格,以其中城镇数目为 N_{ij} ,全区域的城镇总数为 N ,可以近似地定义概率为 $P_{ij} = N_{ij} / N$,于是有信息量

$$I(r) = - \sum_i \sum_j P_{ij} \ln P_{ij},$$

其中 $K=1/r$ 为区域各边的分段数目,如果城市体系是分形的,则有

$$I(r) = I_0 - D_1 \ln r,$$

其中 I_0 为常数, D_1 为分维(称信息维)。据此可以引导出广义维,从而得到多分维谱 D_q ,上述维数均借助网格化测算,故统称为网格维数。

研究表明,网格维数值变化介于 0~2,它反映区域城镇分布的均衡性。当 $D=0$ 时,表明所有的城镇集中于一,区域中只有一个城市,这种情况在现实中一般不会出现。当 $D=2$ 时,表明区域城镇均匀分布,标准的中心地模型属于这种情况。 D 越大表明城镇体系各要素的空间分布越均衡,反之则越集中。当 $D \rightarrow 1$ 时,表明城镇有线性集中的趋势^[13]。

1.2.3 相关性的分形模型 城镇的空间分布具有明显的无标度特征,在一定范围内具有随机分形结构。城镇的空间相关性分形研究可以采用关联维数来标度^[14]。其公式为

$$C(r) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N H(r - d_{ij}), \quad i \neq j,$$

$$H(r - d_{ij}) = \begin{cases} 1, & d_{ij} \leq r, \\ 0, & d_{ij} > r, \end{cases}$$

其中 r 为给定的距离标度, d_{ij} 为城市体系内第 i 个与第 j 个城镇之间的直线距离, H 为 Heaviside 越阶函数。根据城市体系空间分布标度不变性的分形特征有 $C(r) \propto r^D$,其中 D 为关联维数,其地理意义反映了城市之间空间相互作用的规律性。关联维数 D 的取值范围一般介于 0~2,其值越小,说明该区域城镇空间分布的集中度越高,空间联系越紧密;反之,其值越大,则说明该区域城镇空间分布越分散。

2 鄱阳湖生态经济区城镇体系空间结构的分形特征

2.1 向心性的分形特征

鄱阳湖生态经济区包括省会南昌市、5 个地级市、6 个县级市和 19 个县的城关镇。2008 年,南昌市区实现 GDP 1 660 亿元,占全经济区的 42%,全市人口 462 万人,占全经济区的 23%,因此,南昌市是整个经济区的中心。根据向心性分形模型,分别量取各城镇到南昌市的距离,计算出平均半径(见表1),表1中带*号的数据为无标度区范围。以 S 和 R_s 数据作双对数散点图,对无标度区范围进行回归,得到

$\ln R_s=0.6817\ln R+2.258$, 集聚维数 $D=1/0.6817=1.4669$, 测定系数 $R^2=0.9940$ (见图 1). 集聚维数 D 值小于 2, 可以说明鄱阳湖生态经济区城镇体系的空间分布具

有一定的集聚性. 由于 D 值偏小, 说明城镇空间集聚分布的特点比较明显, 表现为从中心城市向四周城镇的密度减小.

表 1 城市数目与平均半径

| 城市 | R | S | R_s | 城市 | R | S | R_s |
|------|----|----|--------|-------|-----|----|--------|
| 南昌市区 | 0 | 1 | 0 | 余江 | 101 | 17 | 66.24* |
| 新建 | 11 | 2 | 7.78 | 武宁 | 105 | 18 | 68.97* |
| 南昌 | 12 | 3 | 9.40* | 九江 | 106 | 19 | 71.40* |
| 安义 | 41 | 4 | 22.06* | 新干 | 111 | 20 | 73.88* |
| 永修 | 46 | 5 | 28.50* | 万年 | 114 | 21 | 76.27* |
| 进贤 | 47 | 6 | 32.33* | 瑞昌 | 116 | 22 | 78.52* |
| 丰城 | 52 | 7 | 35.81* | 九江市区 | 117 | 23 | 80.57* |
| 高安 | 59 | 8 | 39.46* | 鹰潭市区 | 119 | 24 | 82.53* |
| 都昌 | 74 | 9 | 44.64* | 乐平 | 124 | 25 | 84.58* |
| 余干 | 75 | 10 | 48.54* | 湖口 | 125 | 26 | 86.49* |
| 樟树 | 75 | 11 | 51.51* | 贵溪 | 134 | 27 | 88.70* |
| 德安 | 76 | 12 | 53.97* | 新余市区 | 134 | 28 | 90.71* |
| 东乡 | 83 | 13 | 56.74* | 景德镇市区 | 145 | 29 | 93.11* |
| 鄱阳 | 85 | 14 | 59.20* | 彭泽 | 149 | 30 | 95.50* |
| 抚州市区 | 86 | 15 | 61.36* | 浮梁 | 152 | 31 | 97.83* |
| 星子 | 89 | 16 | 63.44* | | | | |

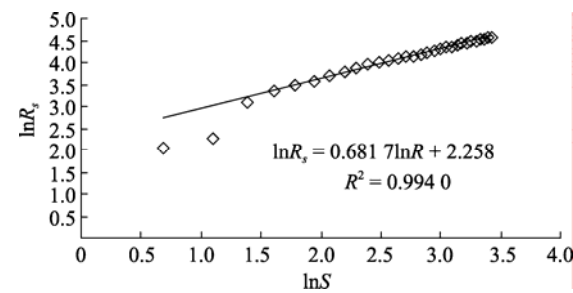


图 1 空间集聚分维

2.2 均衡性的分形特征

利用鄱阳湖生态经济区 1:50 万基础地理数据, 通过四至点确定均衡性分形的窗口范围, 即 $27^{\circ}30'N\sim 30^{\circ}5'N$, $114^{\circ}29'E\sim 117^{\circ}42'E$. 区内共有 31 个城镇, 即 $N=31$. 视矩形区的边长为 1 个单位, 分别将各边 K 等分, 则研究区被分成 K^2 个小区, 且有 $r=1/K$, r 为小区尺寸. 首先统计被分形点占据的网格数 $N(r)$, 其次统计每个网格中的城镇数 $N_{ij}(r)$, 结果见表 2. 根据表 2 数据算出概率 $P_{ij}(r)$ 和相应的信息量 $I(r)$. 作双对数图 $\ln N(r)\sim \ln r$ 及 $I(r)\sim \ln r$, 因存在无标度区, 仅对点列 $(\ln r, \ln N(r))$ 和 $(\ln r, I(r))$ 的直线部分分别进行回归(见图 2), 可得容量维 $D_0=0.9728$, 测定系数 $R^2=0.9103$, 信息维 $D_1=0.9941$, 测定系数 $R^2=0.9364$. 相关系数在 0.9 以上, 拟合情况较好, 网格维数均小于 1, 说明城镇空间分布总体并不均

衡. 因为容量维和信息维均趋近于 1, 说明鄱阳湖生态经济区城镇空间呈线性集聚分布.

2.3 相关性的分形特征

根据分形模型, 为减少地图投影对空间距离可能产生的影响, 在 ArcGIS 的支持下, 对鄱阳湖生态经济区 1:50 万基础地理数据进行 Gauss Kruger 的 117E 转换, 并求得两两城镇之间的直线距离, 构建距离矩阵, 并以步长 $\Delta r=12$ 来取距离标度 r , 则距离在 r 内的城镇之间的距离点数 $C(r)$ 随着 r 的变化而变化, 这样就可以得到一系列点对 $(r, C(r))$ (见表 3), 表 3 中带*号的数据为无标度区范围.

表 2 城镇与网格数量关系

| K | $N(R)$ | $N_{ij}(R)^*$ |
|----|--------|-------------------------------|
| 1 | 1 | 31(1) |
| 2 | 4 | 8(3),7(1) |
| 3 | 9 | 8(1),5(1),4(1),3(3),2(2),1(1) |
| 4 | 12 | 5(1),4(2),3(3),2(3),1(3) |
| 5 | 18 | 3(4),2(5),1(9) |
| 6 | 20 | 3(2),2(7),1(11) |
| 7 | 23 | 2(8),1(15) |
| 8 | 24 | 3(2),2(3),1(19) |
| 9 | 25 | 2(6),1(19) |
| 10 | 27 | 2(2),3(1),1(24) |
| 11 | 27 | 2(4),1(23) |
| 12 | 29 | 2(2),1(27) |

*栏内数据为“城镇点数(网格数)”.

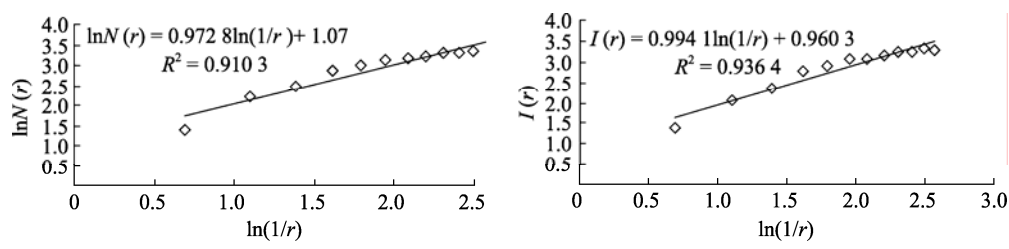


图 2 空间均衡分布的容量维与信息维

表 3 标度 r 及其对应的关联函数 $C(r)$

| 序号 | r | $C(r)$ | 序号 | r | $C(r)$ |
|----|-----|--------|----|-----|--------|
| 1 | 12 | 37 | 13 | 156 | 723* |
| 2 | 24 | 51* | 14 | 168 | 769* |
| 3 | 36 | 83* | 15 | 180 | 813* |
| 4 | 48 | 133* | 16 | 192 | 859* |
| 5 | 60 | 191* | 17 | 204 | 899* |
| 6 | 72 | 231* | 18 | 216 | 921* |
| 7 | 84 | 295* | 19 | 228 | 935* |
| 8 | 96 | 373* | 20 | 240 | 945* |
| 9 | 108 | 435* | 21 | 252 | 951 |
| 10 | 120 | 493* | 22 | 264 | 955 |
| 11 | 132 | 585* | 23 | 276 | 955 |
| 12 | 144 | 653* | 24 | 288 | 961 |

以 $\ln r$ 为横坐标、 $\ln C(r)$ 为纵坐标作散点图, 并对无标度区数值进行回归(见图 3), 可以得到鄱阳湖生态经济区城镇的关联系数 $D=1.350\ 1$, 相关系数 $R^2=0.992\ 8$ 。 D 值大于 1, 数值偏大, 说明城镇之间具有一定的空间相关性, 但城镇之间的联系不够紧密。

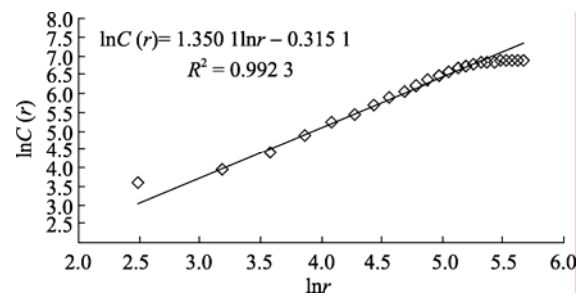


图 3 城镇空间相关性分维图

3 结论和建议

3.1 主要结论

鄱阳湖生态经济区是一个复杂的巨系统, 具有水体—平原—低丘岗地构成的环状地貌特征, 构成由鄱阳湖平原水陆相生态系统和鄱阳湖网络型经济地域共同组合成的自然和经济社会相互作用、有机联系的生态经济系统。通过分形方法研究发现, 鄱

阳湖生态经济区城镇空间结构表现出明显的分形特征, 具有显著的自相似结构。集聚维数 $D=1.466\ 9$, D 值偏小, 说明鄱阳湖生态经济区城镇体系的空间集聚分布的特点比较明显。容量维 $D_0=0.972\ 8$, 信息维 $D_1=0.994\ 1$, 网格维数均接近于 1, 说明城镇空间分布总体并不均衡, 鄱阳湖生态经济区城镇空间呈线性集聚分布。关联系数 $D=1.350\ 1$, D 值大于 1 且数值偏大, 说明城镇之间的联系不够紧密。

3.2 对策建议

鄱阳湖生态经济区城镇空间结构分形结果表明, 鄱阳湖生态经济区以鄱阳湖为中心, 由内向外依次为湖盆、平原、岗地、丘陵的环状格局体现出了与其它区域明显不同的分形特征, 即以南昌为核心的点状集聚、以昌九和浙赣为轴的线状集聚和围绕水体的环状分布。鄱阳湖生态经济区独特的城镇空间结构为区域主体功能区划分、区域发展战略制定提供了针对性的对策建议。

3.2.1 强化中心 向心分形结果显示, 鄱阳湖生态经济区城镇分布有围绕南昌呈集聚分布的特点, 但南昌作为鄱阳湖生态经济区的中心城市, 也是江西省的省会城市, 市区 2008 年 1 660 亿的 GDP 和 223 万的人口说明城市规模偏小, 辐射带动能力偏弱。这充分说明做大做强南昌, 提高其辐射带动能力, 对于整个经济区的发展重要而紧迫。围绕鄱阳湖生态经济区规划, 南昌应着力打造光电产业基地、新能源产业基地、生物产业基地、铜冶炼及精深加工产业基地和航空产业基地; 重点发展节能环保、生态旅游、特色文化、商贸物流、金融保险等服务业, 不断提高服务业的比重, 充分发挥服务业配套、支撑和引领作用; 完善南昌综合交通运输、信息网络等体系建设, 形成以南昌为中心, 连接环湖城市, 覆盖全区的交通和信息网络, 带动全区社会、经济的全面发展。

3.2.2 轴线发展 网络分形结果显示, 鄱阳湖生态

经济区城镇空间呈线性集聚分布的特点,即城镇沿昌九线和浙赣线密集分布。昌九轴线为纵轴,包括九江、南昌、抚州3个地级以上城市,浙赣轴线为横轴,包括新余、南昌、鹰潭3个地级以上城市。2条轴线交汇于南昌,把全经济区除景德镇和乐平以外的10个城市包括在内。目前,昌九城际高铁已全线贯通,杭长客运专线江西段已开工建设。加上原有的昌九线、浙赣线昌九高速、沪昆高速,2条轴线的交通优势非常明显。因此,鄱阳湖生态经济区城镇空间发展,以南昌为中心作为据点,以昌九、浙赣线为轴线,采用点—轴式发展模式,将有助于城际之间通达性水平的提高,促进城镇之间经济联系,通过缩短城镇间时间距离,放大城镇之间空间联系强度,从而促进区域经济的协调发展。

3.2.3 圈层优化 关联维数结果表明,鄱阳湖生态经济区城镇之间的联系不够紧密。鄱阳湖水体的存在,影响了区域城镇空间的分布格局,经济区水体—平原—低丘岗地所形成的环状格局,形成了区内城镇以南昌、九江、景德镇、鹰潭为核心,以主要交通干线为纽带,围绕水体呈环状分布于平原的空间格局。因此,鄱阳湖生态经济区可在轴线发展的基础上,加快推进皖赣线电气化改造,建设九景铁路,构建经济区环湖“金腰带”,优化圈层结构,促进区域发展。

4 参考文献

- [1] 王东升,曹磊.混沌、分形及其应用[M].北京:中国科学技术出版社,1995:93-94.
- [2] 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.
- [3] 陈彦光,刘继生.城镇体系空间结构的分形维数及其测算方法[J].地理研究,1999,18(2):171-172.
- [4] 陈彦光,刘继生.城市规模分布的分形与分维[J].人文地理,1999,14(2):43-48.
- [5] 尚正永,张小林.长江三角洲城市体系空间结构及其分形特征[J].经济地理,2009,29(6):913-917,928.
- [6] 黄建毅,张平宇.辽中城市群范围界定与规模结构分形研究[J].地理科学,2009,29(2):181-187.
- [7] 邢海虹,刘科伟.基于分形理论对陕西城市体系等级规模分布的研究[J].人文地理,2007(4):38-40,15.
- [8] 吕祯婷,焦华富.基于分形理论的安徽省城市体系规模分布研究[J].世界地理研究,2008,17(3):107-112.
- [9] 陈涛.城镇体系随机聚集的分形研究[J].科技通报,1995,11(2):98-101.
- [10] 国家发展和改革委员会.鄱阳湖生态经济区规划[R].2009,12:1-2.
- [11] 吕桦,钟业喜.鄱阳湖生态经济区地域范围研究[J].江西师范大学学报:自然科学版,2009,33(2):249-252.
- [12] 尚正永,白永平.丘陵山区城镇体系的分形特征[J].山地学报,2007,25(2):142-147.
- [13] 陈修颖,于涛方.长江三角洲经济空间结构最新发展及空间集聚合理度判断[J].经济地理,2007,27(3):447-451.
- [14] 刘继生,陈彦光.交通网络空间结构的分形维数及其测算方法[J].地理学报,1999,54(5):471-478.

The Study on Fractal Characteristic of Urban Spatial Structure in the Poyang Lake Ecological Economic Zone

ZHONG Ye-xi, LIU Ying

(School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

Abstract: This paper commences with the application of fractal theory and tries to find the rule of spatial structure in Poyang Lake Ecological Economic Zone. Based on the fractal theory, the paper calculates aggregation dimension, grid dimension and spatial correlation dimension of the spatial structure, and finds out that the spatial structure has the fractal properties, so the paper thinks that fractal theory can fit to calculate and analyze the spatial structure of Poyang Lake Ecological Economic Zone. According to the results of calculation and analysis, the paper draws the conclusions that spatial structure of urban system in Poyang Lake Ecological Economic Zone presents distinct convergences character. According to the results of calculation, development strategy of Poyang Lake Ecological Economic Zone are put forward, such as to strengthen the central city, to develop along the axis, and to optimize the ring structure.

Key words: Poyang Lake Ecological Economic Zone; spatial structure; fractal characteristic

(责任编辑:刘显亮)