

长江流域城市人口分布及空间相关性研究

邓祖涛¹, 陆玉麒²

(1. 湖北经济学院 旅游学院, 湖北 武汉 430205; 2. 南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210097)

摘要: 本文选取长江流域 104 个城市人口样本作为研究对象, 采用人口分布的结构指数和空间自相关分析方法, 以及借用 GIS 技术来研究长江流域城市人口分布的空间动态特征和城市人口之间的功能联系。结果表明, 长江流域城市人口空间结构呈均衡发展态势; 人口密度分布呈现趋同趋势; 城市人口与邻近城市人口之间的空间正相关要多于空间负相关; 长江流域城市人口之间的空间关联性被分为八种类型。

关键词: 长江流域; 人口分布; 空间相关性

中图分类号: C922 文献标识码: A 文章编号: 1000-4149(2007)04-0007-06

A Study on Urban Population Distribution and Spatial Auto-correlation in Yangtze Basin

DENG Zi-tao, LU Yu-qi

(Department of Tourism, Hubei University of Economics, Wuhan, Hubei Province, China, 430205;
School of Geographical Science, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu Province, China, 210097)

Abstract: With data collected in 104 cities along Yangtze River Basin, by using population structure indexes, spatial auto-correlation analysis and GIS technology, this paper looks at the special features of urban population distribution in Yangtze River Basin and the relationship among urban population in different cities. The results show that (1) urban population spatial structure in Yangtze River Basin presents the equilibrium development situation; (2) the population density distribution presents converging trend; (3) There are more spatial positive correlation than negative correlation between them, and urban population spatial correlation in Yangtze River Basin is divided in 8 types.

Keywords: Yangtze River Basin; population distribution; spatial auto-correlation

一、引言

城市人口在一定的地域环境下, 并不是随机分布的, 而是呈现一定的空间分布形态。衡量人口分布的传统方法有很多, 如人口重心、人口密度等, 但这些方法均不能有效地揭示城市人口分布的空间态势和城市人口之间的空间关联性及其关联程度。为此, 笔者采用人口分布的结构指数和空间自相关分析方法, 以及 GIS 技术来研究, 其目的是便于及时地捕捉流域城市人口分布的动态

收稿日期: 2006-05-12

基金项目: 本文系国家自然科学基金项目《长江流域空间结构演化规律研究》(批准号: 40371044) 的阶段性成果。

作者简介: 邓祖涛(1972-), 男, 湖北沙市人, 湖北经济学院旅游学院讲师, 博士, 主要从事城市和区域规划研究、旅游经济研究。

特征和城市人口之间的功能联系,为长江流域城市人口结构优化举措的制定和城市人口分布可持续发展的实现提供一定的指导作用和科学依据。

二、研究范围和数据来源

长江是中国第一大水系,流经十多个省市自治区,流域面积达 180 多万平方千米。为了研究需要,笔者仅选取了四川、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、浙江、上海等七省二市作为研究范围。研究对象主要是指地级以上的城市。为兼顾研究区域的连续性,还包括了四川的凉山州、湖北的恩施自治州、神农架林区、天门、潜江、仙桃以及湖南的湘西自治州,共计 104 个研究样本。数据来源于中国城市统计年鉴(1996 年、2001 年和 2004 年)。

三、研究方法

(一) 人口分布的结构指数

为考察长江流域城市人口空间结构在区域上是相对集中还是相对均衡,可以采用不均衡指数(U)和集中指数(C),其计算公式^[1]为:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\sqrt{2}}{2} (x_i - y_i) \right]^2}{n}} \quad (1)$$

公式(1)中: n 为城市个数, x_i 为*i*城市人口占总人口的比重; y_i 为*i*城市土地面积占总土地面积的比重; U 的数值越小,表明城市人口的空间结构越均衡。

$$C = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (2)$$

公式(2)中 n 、 x_i 、 y_i 与公式(1)所表示的含义相同; C 的数值越小,表明城市人口的空间结构越均衡。

(二) 人口分布的空间自相关

空间自相关是一种空间统计的方法,用以显示某种地表现象是否存在某种特殊的空间形态^[2]。近年来,许多社会和行为科学的研究开始借助于空间统计分析方法^[3-5],来探测社会现象的空间模式和非常态分布^[6]。由于侧重点不同,空间自相关可以从全局自相关和局部自相关两个角度进行考察^[7-9]。

1. 全局空间自相关

全局空间自相关系数是用来验证整个研究区域的空间模式和度量属性值在整个区域空间的分布态势,表示全局空间自相关的指标和方法很多。主要包括连接统计, Moran's I, Geary's C 和 Getis's G,其中常用的是 Moran's I。

Moran's I 是用于衡量空间要素的相互关系。与一般统计学中相关系数类似,不同的系数值表示的含义不同。系数值大于零,表明各单元间存在空间正相关,单元内的观察值有趋同趋势,反之则为负相关,单元内的观察值有不同的趋势,等于零则表明不存在空间相关性,属于独立随机分布。其计算公式:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij}} \quad (3)$$

公式(3)中: S^2 为城市人口密度方差值,即, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 。 x_i 和 x_j 分

别为 i 城市和 j 城市的人口密度, W_{ij} 为空间权重矩阵的元素。空间权重的确定一般采用邻接标准和距离标准。在这里采用邻接标准来计算流域城市的空间权重。具体规则为: 如果 i 城市与 j 城市相邻, W_{ij} 取 1, 反之, W_{ij} 取 0。

2. 局部空间自相关

前述的全局指标仅仅使用一个单一的值来反映一定范围内的自相关, 很难发现存在于不同位置区域的空间关联模式, 而且当全局统计不能提供全局空间关联的证据时, 更加需要采用局部指标来发现可能存在的局部显著性空间关联。格蒂斯 (Getis A) 和阿鲁德 (Ord J K) 从理论上对不同的局部指标进行了解释, 并举例说明了它们在确定局部空间关联模式方面的有效性^[10-11]。一般而言, 局部空间自相关分析有两种方法, 一是 Moran 散点图, 另一是局部 Moran's I 统计量。前者通过散点图的形式, 定性地区分出各单元的相互关系。而后者除了具有 Moran 散点图的功能之外, 还可以定量地得知各单元间关联的具体程度, 并且通过 MAPINFO 的空间展示功能, 显示它们在研究区域上的具体地理分布。

(1) 散点图 (Scatter plots)

Moran 散点图是用来研究局域空间的异质性, 即研究局域空间某种地理现象的空间关联性。其横坐标为各单元标准化处理后的人口密度, 纵坐标为其空间连接矩阵所决定的相邻单元的人口密度的平均值。

Moran 散点图有四个象限组成。落入第一象限 (H-H) 和第三象限 (L-L) 的观察值分别表示某城市与其相邻城市的人口密度皆较高 (低), 因而与相邻地区的人口密度分布表现为空间正相关。位于第二象限 (L-H) 和第四象限 (H-L) 的观察值分别表示该研究区的人口密度较低 (高), 其周边地区的人口密度却较高 (低), 因而与相邻地区的人口密度分布表现为空间负相关。

(2) 局域空间自相关指标

局域空间关联性指标 Local Moran's I 是用来揭示空间地域单元与其邻近的空间单元属性特征值之间的相似性或相关性, 可用于识别“热点区域”以及数据的异质检验^①。其计算公式:

$$Z(I) = Z_i \sum W_{ij} Z_j \quad (4)$$

公式 (4) 中 Z_i 和 Z_j 为观测值的标准差标准化形式, 即 $Z_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$, $Z_j = \frac{(x_j - \bar{x})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}}$, 其中, n 为流域城市数, $\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n)$, x_i 和 x_j 分别为 i 城市和 j 城市的人口密度; W_{ij} 是按照邻接标准得出的 i 城市和 j 城市的空间权重矩阵。

四、结果与讨论

(一) 流域城市人口结构总体特征

对照表 1 的分析结果可以发现, 长江流域城市人口空间结构总体特征, 从时序角度讲, 城市人口空间结构相对于土地面积的不均衡指数和集中指数是在不断下降的, 人口稠密区和人口稀疏区的密度差逐渐减小。表明长江流域城市人口空间结构呈均衡发展态势。

(二) 流域人口的全局自相关特征

利用全局自相关公式计算出长江流域城市人口密度分布的全局自相关系数 (表 2)。结果显

^① Roger Bivand. A Review of Spatial Statistical Techniques for Location Studies. <http://www.nhh.no/geog/gil/gib1998/gib98-3/lund.html>. 1998.

示 1995~ 2003 年 Moran I 系数都为正值, 说明长江流域城市人口密度之间可能存在正的相关关系, 但还需要进一步检验。

表 1 长江流域城市人口空间结构指数

指数	1995 年	2000 年	2003 年
集中指数	0.3062	0.3043	0.3038
不均衡指数	0.009002	0.008979	0.008967

对不同时期的全局相关系数分别进行近似正态分布的相关性检验。零假设为长江流域 104 个城市单元的属性值之间不存在空间自相关。取显著性水平 $\alpha = 0.05$, 在此水平下检验的临界值为 $Z_{0.05} = 1.96$, 由表 2 计算出来的统计量 $Z > 1.96$, 故拒绝假设。即检验结果表明, 长江流域城市人口密度分布呈现趋同趋势。具体而言, 流域人口高密度区域与人口高密度区域相邻接, 低密度区域和低密度区域相邻接。不过, 这种趋势可细分为两个阶段: 1995~ 2000 年为趋同趋势加强阶段; 2000~ 2003 年为趋同趋势减弱阶段。

表 2 长江流域城市人口密度 Moran I 系数及其 Z 值

年	I	Z
1995	0.3975	3.764
2000	0.4071	3.853
2003	0.3007	2.870

(三) 流域人口的局部自相关特征

1. 散点图研究情况

利用 excel 软件绘制长江流域城市人口密度空间分异状态的散点图 (图 1)。从图 1 中可以看出, 第一象限和第三象限分布的城市较多, 占研究对象的 77.9%, 而分布第二象限和第四象限的城市较少, 仅占 22.1%。这表明长江流域城市人口与周边城市人口之间的空间正相关要多于空间负相关。进一步发现, 位于同一象限不同位置的城市与其周边城市人口的空间关联性是不同的, 即关联度是不同的。一般而言, 位于同一象限中越远的点 (城市), 与周边地区的城市的关联性越强, 反之, 越靠近原点的点 (城市), 则与周边城市的关联性越弱。但要真正地弄清楚人口分布现象的内在联系的动因和形成机理, 需要结合局部空间自相关指标对长江流域城市人口的空间相关性作进一步分析和分类, 以便真正地弄清楚人口分布现象的内在联系的动因和形成机理。

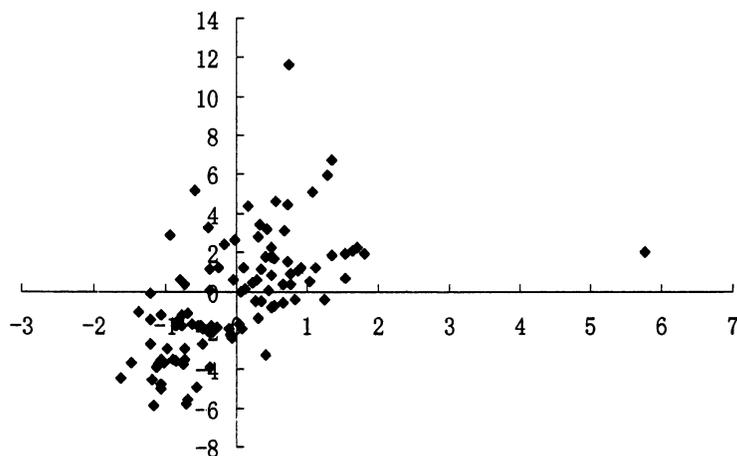


图 1 长江流域城市局部自相关 Moran 散点图

2. 局部自相关指标研究情况

以城市人口密度为观察值，利用局部自相关公式计算出长江流域城市人口局部自相关系数(表3)。根据局部自相关系数，结合流域城市的实际情况，笔者把长江流域城市人口的空间关联性分为八种类型，并分别进行解释。为了更加直观地观察这八种类型在长江流域城市间的空间分布状况，借用MAPINFO 绘制成专题地图(图2)。

表3 长江流域城市人口分布的 local Moran 系数

城市	$z(I_i)$	城市	$Z(I_i)$								
成都	-0.5354	凉山州	5.4575	神农架	7.3231	九江	3.0867	阜阳	2.0467	淮安	0.1250
自贡	-0.3648	重庆	1.4571	长沙	-0.1536	新余	0.9079	宿州	0.8824	宿迁	0.7507
攀枝花	1.7959	武汉	1.0732	株洲	0.9644	鹰潭	1.0725	巢湖	-0.0360	杭州	0.6560
泸州	-0.4235	黄石	0.1062	湘潭	-0.1357	赣州	2.8975	六安	-1.3175	宁波	0.4048
德阳	0.9116	十堰	3.2630	衡阳	0.1724	吉安	2.7920	亳州	2.5710	温州	-0.4332
绵阳	-0.4585	宜昌	5.2704	邵阳	0.9227	宜春	2.5547	池州	3.7360	嘉兴	7.7149
广元	1.2538	襄樊	3.7851	岳阳	1.3017	抚州	3.7277	宣城	-2.6643	湖州	-0.3808
遂宁	0.7054	鄂州	1.1205	常德	2.7296	上饶	4.0476	南京	2.5078	绍兴	0.0120
内江	0.5073	荆门	1.5449	张家界	4.4395	合肥	0.4048	徐州	1.3996	金华	0.4784
乐山	1.3735	孝感	0.1855	益阳	0.8232	芜湖	-0.3915	连云港	0.9122	衢州	2.7496
南充	-0.4313	荆州	0.2088	郴州	3.0972	蚌埠	1.1316	南通	3.8744	舟山	0.2347
眉山	-0.0273	黄冈	-0.3074	永州	1.1724	淮南	2.5270	苏州	8.6099	台州	-0.1735
宜宾	0.6211	咸宁	-0.2453	怀化	3.9474	马鞍山	0.9420	无锡	3.4299	丽水	0.1692
广安	0.2636	随州	0.9670	娄底	-0.0659	淮北	1.1117	常州	5.4834	上海	11.6903
达州	-0.0076	恩施	6.7907	湘西	4.1803	铜陵	-0.3921	盐城	0.6987	-	-
雅安	1.3984	潜江	-0.0003	南昌	-1.4011	安庆	0.6768	扬州	2.1708	-	-
巴中	0.7850	天门	0.0062	景德镇	2.1297	黄山	5.3596	泰州	9.1859	-	-
资阳	1.4275	仙桃	1.1470	萍乡	0.1768	滁州	-3.0546	镇江	3.3055	-	-

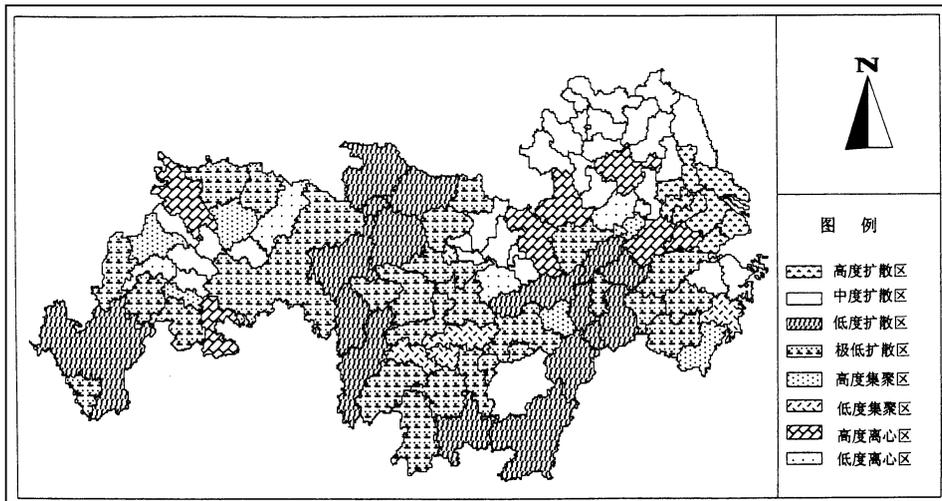


图2 长江流域城市人口局域自相关分布图

(1) 高度扩散型。指局域相关系数 $I > 2.9$ ，且人口密度大于平均值的城市。在一些城市，由于经济发达、服务设施完善以及交通便利等因素的影响，使得该城市人口密度很高。在扩散效应的影响下，邻近城市的人口密度也很高。很显然，该城市人口与其周边城市人口的空间关联性很强。如上海、苏州、无锡等城市就属于此类。

(2) 中度扩散型。指局域相关系数 $0 < I < 2.9$ ，且人口密度大于平均值的城市。该城市与其

周围城市也存在较强的相互作用, 不过与高度扩散型相比还显较弱。如南京、武汉、扬州等城市。

(3) 低度扩散型。指局域相关系数 $I > 2.9$, 且人口密度小于平均值的城市。该城市与周边城市也有较为显著的关联效应, 不过是处于低水平的扩散阶段。与高度扩散型相比, 该城市对周边城市的辐射力和影响力要小得多, 主要原因在于它们的集聚水平都较低。如宜昌、襄樊等城市。

(4) 极低扩散型。指局域相关系数 $0 < I < 2.9$, 且人口密度小于平均值的城市。该城市与周边城市也有一定意义上的相关性, 但关联性不大, 呈弱相关。如杭州、萍乡、新余、安庆等城市。特别说明的是, 杭州作为浙江的省会城市却属于此类, 主要原因在于自身的人口密度小于平均值, 加之周边城市经济也很发达, 致使它对周边城市的人口扩散力显得极为微弱。

(5) 高度集聚型。指局域相关系数 $I < -0.3$, 且人口密度大于平均值的城市。该城市经济相对发达, 人口密度较高, 而与其对应的周边城市人口密度却处于较低甚至极低状态。又因为该城市还处于人口数量发展阶段, 它凭借自身的优势吸引周边城市的人口, 导致周边城市人口密度更低, 以致它与周边城市人口密度差距进一步扩大。如成都、南昌等城市就属此类。

(6) 低度集聚型。指局域相关系数 $-0.3 < I < 0$, 且人口密度大于平均值的城市。与高度集聚性相比, 该城市的集聚力不甚显著。但由于自身人口密度较高, 经济发展相对较快, 所以也使得周边城市一定数量人口流向该城市。如湘潭、台州等城市地区。

(7) 高度离心型。指局域相关系数 $I < -0.3$, 且人口密度小于平均值的城市。由于该城市经济相对周边城市而言, 较为落后, 致使人口从该城市流向周边城市。如果该城市不采取相应措施来改变相对落后的经济状况的话, 其结果将是该城市与周边城市的人口密度分布差距越来越大。如滁州、湖州、泸州等城市。

需要补充说明的是, 离心与扩散虽然都是指某要素从该城市流向周边城市, 但它们的含义是不同的。简而言之, 扩散是指自身已经有了较为厚实的基础, 已经进入经济发展的高级阶段。在这种条件的驱使下, 人口要素从该城市流向周边城市。而离心是指自身条件较差或极差, 受外界条件的影响而出现要素自该城市向周边城市移动的现象。

(8) 低度离心型。指局域相关系数 $-0.3 < I < 0$, 且人口密度小于平均值的城市。与高度离心型相比, 离心力显得小得多。原因在于虽然该城市人口密度较低, 经济也较为落后, 但其周边城市也并不比它强多少, 所以人口流量大大减弱。如巢湖、达州等城市。

参考文献:

- [1] 秦耀辰. 区域系统模型原理与应用. 北京: 科学出版社, 2004. 210.
- [2] 梁艳平等. 城市人口分布的空间相关性分析. 工程勘察, 2003, (4): 48- 50.
- [3] Anselin L. Spatial econometrics. Methods and models. Boston: Kluwer Academic. 1988
- [4] Anselin L. Spatial econometrics. In Companion to econometrics, edited by B. Baltagi. Oxford: Basil Blackwell. 2000.
- [5] Cressie N. A. Statistics for spatial data. New York: John Wiley & Sons. 1993.
- [6] Goodchild et al. Spatially integrated Social Science. International Regional Science Review, 2000, 23 (2): 139- 159.
- [7] Upton G J G, Fingleton B. Spatial data analysis by example Vol. 1. New York & Chichester: John Wiley & Sons, 1985. 96- 97.
- [8] Anselin L. Local indicators of Spatial association \- \- LISA. Geographical Analysis, 1995, 27 (2): 93- 115.
- [9] Rey S J, Monturic B D. US regional convergence: A spatial econometric perspective. Regional Studies, 1999, 33 (2): 143- 156.
- [10] Getsi, A, and Ord, J. K. . The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. Geographical Analysis, 1992. 24: 189- 206.
- [11] Getsi, A and Ord, J. K. . Local Spatial Statistics: An Overview, In P. Longley and M. Batty (eds) Spatial Analysis: Modeling In a GIS Environment. 1996. 261- 277.

[责任编辑 崔凤垣]