

上海市人口分形的时空演化与 区域差异研究^{*}

刘妙龙 陈 鹏 冯永玖

【摘 要】 文章以人口分形理论为基础,在介绍分形与测度、人口重分形基本理论的基础上,测算了上海市和典型区县以乡、镇、街道微地域单元为基础的人口分布分形的盒子维数和相关维数,讨论了上海市和典型区县的人口分形特征,研究了人口分布时空演化特征与规律的分形机制,分析了人口演化的经济、社会驱动力,旨在为制定上海市新时期的人口有关政策提供一些依据。

【关键词】 分形理论 人口分形 时空演化 区域差异 上海市

【作 者】 刘妙龙 同济大学测量与国土信息工程系,教授;陈 鹏 同济大学测量与国土信息工程系,博士研究生;冯永玖 同济大学测量与国土信息工程系,硕士研究生。

一、分形、重分形与人口分形

1967年,曼德布罗特(Mandelbrot)在美国《科学》杂志上发表了题为《英国的海岸线有多长?》的著名论文,提出了分形的概念;1975年其专著《分形:形态、机遇和维数》的出版,标志着分形几何学的诞生。分形几何学是继突变论、协同学、耗散结构和混沌理论之后研究非规则几何体、探索复杂对象的又一新理论与方法。分形有多种类型,分数维(分维)是表征分形几何学的最基本特征量,因测算方法不同而有多种形式,如豪斯道夫维数、容量维数、关联维数、相似维数、盒子维数、信息维数、广义维数等。利用整数维数描述的欧几里德几何学是分数维表示的分形几何学的特例。分形的不规则性并非无序,而是存在有层次结构,在一系列尺度上几何形态自身重复,这种不规则形态在各层次尺度上相似,分形的这一特征称为自相似性或标度不变性(肯尼斯·法尔科内,1991)。

重分形是由简单分形构成的复合分形,自然界和人类社会中大多数分形现象都呈现重分形特性,如能量耗散的空间分布、人口的地域分布、城市形态的演化发展等。这些现象的共同特点就是分布不均匀,密度变化不一,单一维数无法描述其全部特征,必须用重分形测度或维数的连续谱表示。社会经济现象中最为明显的人口分布重分形可用应用最为广泛的广义熵来测度(王益谦、王放,1997)。

设区域的总人口数为 N ,第 i 个子区域单元的人口为 n_i ,人口比重 $p_i = n_i/N$ 是区域单元 i 的一种测度,如区域单元的尺度大小(分辨率)为 δ ,可定义广义熵 $I_q(\delta)$ 为:

$$I_q(\delta) = \frac{1}{(1-q)} \log \sum_{i=1}^{N(\delta)} p_i^q \quad (1)$$

* 国家自然科学基金资助项目(49971031)。

式中的 $N(\delta)$ 是组成 N 的子区域单元数, 参数 q 是用于测度人口分布单元的矩的阶数。

基于广义熵, 可以定义广义维 D_q 为:

$$D_q = -\lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{I_q(\delta)}{\log(\delta)} \quad (2)$$

显然, 单元尺度 δ 不可能趋于零, 研究证明, D_q 是广义熵 $I_q(\delta)$ 与 $\log(\delta)$ 线性拟合直线的斜率。

$q=0$ 时, D_q 表示第 0 阶分维数, 即豪斯道夫维数或盒子维数, I_0 右端项中的求和项给出的是单元 $N(\delta)$ 的总数; 当 $q \rightarrow 0$ 时, 由泰勒级数展开有 $I = -\sum p_i \log(p_i)$, 此时广义熵即为信息熵(香农熵)。 $q=2$, D_2 称为相关维数; $q>2$ 时, 通常称作广义相关维。 q 可以取实数而不限于自然数, 广义维当 $q \rightarrow +\infty$ 和 $q \rightarrow -\infty$ 时分别表征人口密度最大的区域和人口密度最小的区域的分形特征。

作为表征自然界客体形态与结构特征的分形几何学, 早在 20 世纪 80 年代, 在社会科学中就有一些学者发现了分形几何学和人口分布、城市形态生成演化等的关系。Batty 和 Longley (1986) 利用分形理论成功模拟了城市形态的成长过程; Francois (1995) 等人利用分形方法分析了法国城市系统, 验证了城市系统的分形特征, 建立了城市中心区位论的分形模型; Appleby (1996) 利用分形几何、多重分形的方法和理论, 研究人口的空间分布结构, 测算了英国、美国、澳大利亚等多个国家的人口分布的相关维数(q 阶维数), 模拟了人口相互作用、人口与万维网和交通分布等的关系。国内学者王放、李后强 (1995) 把耗散结构理论、自组织理论、混沌理论、分形理论等引入人口科学研究, 对人口多重分形理论与测度进行研究; 陈彦光、单伟东 (1999) 探讨了城市人口密度衰减的分形模型及其异化形式; 叶明 (2002) 对城市人口空间分析与其 GIS 应用模型进行了研究。

所有这些研究有力地推动了人口分形学的发展, 但值得注意的是, 所有这些研究都以宏观的城市或城市系统为背景, 少有以小尺度区域(如乡、镇、街道等)为地域单元研究人口分形特征的, 本文进行基于小尺度的上海市及典型区县的分形特征研究, 旨在为人口分形学的学科体系做一有益的探索与拓展。

二、人口分形测算基础

(一) 分形的标度不变性检验

只有在标度区间或标度不变性范围内, 分形才存在。为进行人口分布分形的标度不变性检验, 可将所研究的区域或城市划分为大小相同的正方形网格单元, 每个单元对应有一个其人口占城市总人口的比重 P_i , 它们构成一个数组 $\{P_i\}$, 代入广义熵方程, 可求出在一定的区域单元尺度、单元网格位置和一定的 q 值下的广义熵值。如果 q 不变、单元尺度不变, 通过改变设定的单元网格的坐标原点位置, 可得到以该一确定的 q 值和单元尺度为基础的一系列广义熵值, 包括一个最大的熵值和一个最小的熵值。其后, 绘出在一定的 q 值下广义熵随单元网格边长变化的双对数曲线, 如果曲线具有清晰的线性区间, 则表明在相应的尺度区间上, 人口分布满足标度不变性要求。

对上海市及几个典型区县 2000 年的人口资料(上海市人民政府发展研究中心, 2002), 利用上面介绍的方法进行标度不变性检验, 以浦东新区为例, 结果如图 1 所示。广义熵值与离开设定的网格坐标原点的距离的双对数坐标图呈现明显的线性相关关系, 浦东新区的人口分布在所选定的范围内具有标度不变性。因此, 可以应用人口分形(多重分形)理论对浦东新区的人口分布进行研究。各典型区县有相似的检验结果。

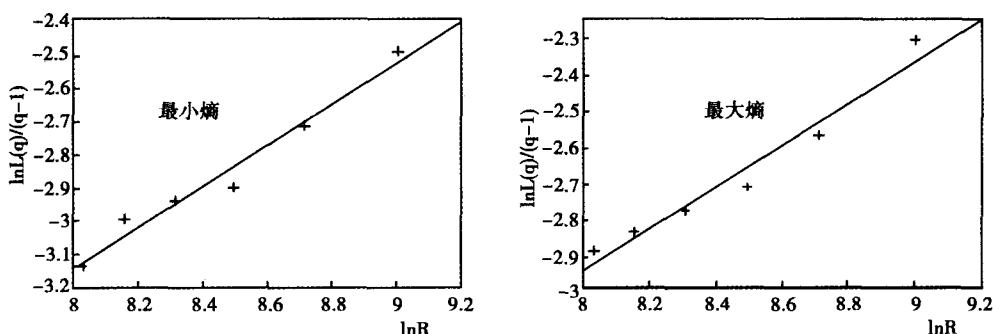


图1 浦东新区人口分布的无标度区间双对数坐标图

(二) 不同分形测算中心导致的误差

在计算单元网格人口占总人口的比重时,由于现有人口统计资料获取方法的局限,往往获取的是每一个乡、镇、街道的人口数,在地图上可以用一点位置来标注该人口数,该点位置可以是区域的行政中心、几何中心或人口重心;人口重心应是最为适合的点,但其求解较为困难,因其计算必须依赖于难以获取的更小区域的人口数量,实际应用中一般用区域的几何中心来代替。用几何中心代替人口重心描述人口分布,必会带来一定的误差。

当 $q=0$ 时的人口分布分维数,几何中心代替人口重心所引起的误差影响可以忽略不计,这是因为该分维数表征的是人口在一定区域内的分布状态(或城市化水平),人口分布越分散就意味着农村地域的人口比重越大,而分布越集中则表明人口越是集聚于一些城市化的地区,这时所回答的是每个区域是否都有人口居住。在通常所选取的镇、乡、街道单元内,都会有人口居住,只有在更小的单元才会出现无人居住的情况,此时测算的人口分形值,中心替代引起的误差影响可以忽略不计。

当 $q=2$ 时的人口分布分维数,中心替代产生的误差影响是存在的,此时测算的分维数表征的是人口分布的区域内差异;当选取面积较大的区域,并且将人口集中在其人口重心、区域行政中心或区域几何中心,人为地将人口集中起来,增大了人口的区域内差异性。当 $q=2$ 时,人口分布分维数越小表示人口分布差异越大;人口分布的空间差异与时间演化研究,是通过分维数的比较实施的,只要是在同一个口径下测算的分维数用于分析人口分布的时间演化或空间差异,中心替代所引起的误差影响可以忽略不计,因为比较的对象同时存在有相同的误差。

(三) 人口分维数测算方法与步骤

首先,将上海市与各典型区县的行政区划图扫描得到栅格图像,进行数字化处理,得到行政区划矢量图(邬伦等,2002),建立人口数量与行政区划面积数据库。考虑到本文以乡、镇、街道为单位研究人口分形,不计其更低级别的行政区划如小区、社区等;行政区划图中存在的道路、水系等其他非相关要素也不在考虑之列,所得到的是一简单的乡、镇、街道矢量图。

其次,将数字化完成的矢量图转换为 AutoMap 的 Dwg 格式,在 AutoMap 下以该行政区划的任一点为中心作正方形网格包容整个行政区域;鉴于各区县的人口分形标度不变性已经确定,所以任一点为中心作网格包容全区在理论上都是正确的,一般都以区域的行政中心或几何中心为中心原点。本文选取各区的几何中心作为测算人口分形的原点,以不同的半径(长度) R 将全区分成大小相同的网格单元,计算相应于 R 的 $L(r) = \sum P_i^q$ 值, P_i 是第 i 个网格单元的人口比重。

最后,将量算得到的点列 $(\ln L(q)/(1-q), \ln R)$ 标绘在双对数坐标系上,如果点列成双对数线性分布,则该区域人口分布呈现分形特征,该拟合直线的斜率即为人口分布的广义 q 阶分维数。

(四) 分维数的意义

当 $q=0$ 时, 广义 0 阶维数即为盒子维数 D_0 , 表示某区域人口分布的集聚程度, D_0 越大人口分布越呈现向农村散布状态, D_0 越小说明人口越向城镇集中, 城市化水平越高; 当 $D_0=2$ 时表明人口均匀地分布在该区域内, 没有任何集聚。国外的有关研究发现 (Batty 和 Xie, 1998), 发达国家或地区的 D_0 约为 1.5~1.6, 而发展中国家 (地区) 的人口分布分维数 D_0 约为 1.8 左右, 人口农村分布的状态明显高于发达地区。为了有效表达人口的分布与地区差异, 除 D_0 外, 还需结合高价维 q 。 D_q 的数值表明了区域人口分布的集聚程度, 当 $q>0$ 时, 如果 D_q 越接近 D_0 , 区域内的人口分布就越均匀; 两者之间差别越大, 人口分布越不均匀,

三、上海市及典型区县的人口分形

(一) 上海市的人口分形

测算上海市人口分形, 区域中心选取上海市城市坐标系原点 (国际饭店), 相应各区县中心选为几何中心, 测算的 $q=2$ 时的上海市人口分布的分形双对数坐标图如图 2, 历年的人口分形分维数如表 1 所示。

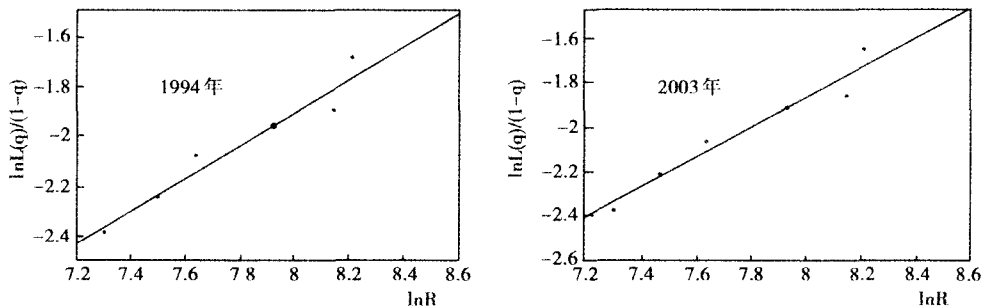


图 2 $q=2$ 时的上海市人口分布的分形双对数坐标图

表 1 上海市人口分布的分维数

年 份	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
相关维数 D_2	0.6399	0.6572	0.6586	0.6604	0.6646	0.6709	0.6750	0.6796	0.6865	0.6920
相关系数 R^2	0.9421	0.9427	0.9432	0.9439	0.9445	0.9458	0.9460	0.9464	0.9477	0.9485

$q=0$ 时, 上海市 2000 年人口分布测算的盒子维数 D_0 为 1.7000, 相关系数 R^2 为 0.9532。 D_0 虽与法国 (1.61)、美国 (1.63) 和英国 (1.61) 等的城市有一定距离, 但上海全市已属发达地区, 只是由于上海市约 6000 平方公里的城市面积, 包含有面积较大的郊区农村, 而离散点集式分布在城市外缘区的农村居民点人口, 影响了城市分形特征。表 1 中上海市非常低的相关维数 D_2 , 与 $D_2=0.67$ (2000 年) 的澳大利亚相当。澳大利亚人口高度集聚在沿海区域, 广阔的内地却无人居住, 人口集聚程度超常; 对应于上海, 大部分人口集中在面积很小的区域内, 2000 年占全市面积 4.57% 的中心区 (289.88 平方公里), 集中了全市 47.5% 的人口 (628.24 万), 导致了相关维数 D_2 的低值形态。近年来, 伴随着城市人口郊区化的趋势, 中心城区的人口在城市建设与改造过程中大量外迁到近郊区和远郊区, 表现在人口相关维数呈上升态势 (见表 1), 其与盒子维数之间的差值正在逐步减小, 人口集聚程度、空间差异程度在降低, 上海市的人口分形形态日趋加强, 人口分布正在逐步合理化。

(二) 典型区县的人口分形

本研究依据行政区划界线, 将上海市域划分为中心区 (核心区与亚核心区)、近郊区、远郊区

3个地域层次。中心区的核心区专指地理位置为上海城市中心,人口密度和经济强度远高于其他区县,城市化水平最高且为解放前的老建成区的黄浦、卢湾和静安区;亚核心区是指与核心区在地理位置上紧相邻接的徐汇、长宁、普陀、闸北、虹口和杨浦区,这九区都是上海市的老市区;近郊区是指在地理位置上与中心区相邻的浦东新区、闵行、宝山、嘉定4个市区;而远郊区则指在地理位置上与中心区完全分开不相邻的剩余6个区县:金山、松江、青浦、南汇、奉贤、崇明。选取核心区的静安区,亚核心区的徐汇区,近郊区的浦东新区、闵行区、嘉定区,远郊区的金山区作为人口分形时空与区域差异研究的典型区域。研究中的人口数据,均以户籍人口数据为准(任远、王桂新,2003;张善余,2002);为保证研究结果的一致性与可比性,测算中均以各区、县、街道、乡、镇的几何中心为测算基准。各区县测算的分维数、 $q=2$ 时的人口分布分形双对数坐标图见表2与图3。

表2 上海市典型区县的人口分形分维数

		静安区	徐汇区	浦东新区	闵行区	嘉定区	金山区
乡镇街道单元数(个)		5	13	24	12	11	15
$q=0$							
2000	D_0	1.6180	1.6389	1.6500	1.6980	1.7580	1.7901
	R^2	0.9979	0.9976	0.9680	0.9985	0.9963	0.9853
$q=2$							
1994	D_2	—	—	1.5300	1.5552	1.4996	—
	R^2	—	—	0.9662	0.9553	0.9758	—
1995	D_2	—	—	1.4300	1.4531	—	—
	R^2	—	—	0.9656	0.9450	—	—
1996	D_2	—	—	1.2100	1.4051	1.4986	1.5189
	R^2	—	—	0.9643	0.9686	0.9808	0.9589
1997	D_2	1.5190	—	1.3500	1.3714	1.4447	—
	R^2	0.9592	—	0.9635	0.9718	0.9804	—
1998	D_2	1.5154	1.1175	1.1200	1.3554	1.4000	1.5170
	R^2	0.9499	0.9632	0.9622	0.9720	0.9822	0.9592
1999	D_2	1.5054	1.1900	1.2200	1.3201	1.3996	1.5105
	R^2	0.9471	0.9610	0.9618	0.9738	0.9830	0.9590
2000	D_2	1.5147	1.1869	1.1600	1.2911	1.3889	1.4952
	R^2	0.9391	0.9590	0.9611	0.9782	0.9841	0.9598
2001	D_2	1.5135	1.2141	1.1100	—	1.3868	1.4877
	R^2	0.9353	0.9582	0.9604	—	0.9859	0.9589
2002	D_2	1.5853	—	—	—	1.3751	1.4693
	R^2	0.9397	—	—	—	0.9862	0.9619

典型区县的人口分形,具有以下特征:

1. 静安区

静安区是高度城市化的一个老城区,城市化水平已达100%,1.6180的盒子维数是六区县中的最低值,体现了最高城市化水平的全部特征。高于其他区县的相关维数 D_2 ,并非反映人口密度高低所蕴含的人口集聚程度,而是人口在分形测算单元一街道中的集聚程度与单元之间的人口差异。2000年人口最少的静安寺街道(5.12万人),人口密度也最小,约为3.26万人/平方公里,而人口数量最多的江宁路街道并非人口密度最大,实际人口密度最大的石门二路街道为6.70万人/平方公里,区内没有出现其他区县那种人口数量相差10余万人,人口密度从几千人到几万人的极端差异情况,静安区人口在街道这一层面上其内部分布相对均匀,相关维数 D_2 与

盒子维数 D_0 的较小差值真实地反映了这一特征。相关维数 D_2 的上升态势,表明了区内街道间人口分布的密度差异在减小,这种减小是人口向区外疏解过程中不同街道疏解人口数量不等的反映。1997 年人口密度最小与最大的静安寺街道和石门二路街道,人口密度每平方公里相差 3.75 万人,2002 年人口密度最大、最小仍然是这两个街道,但人口密度相差不足 3.0 万人,显然静安区人口街道间人口密度的差距在缩小,这在 D_2 的上升态势中得到了很好的反映。

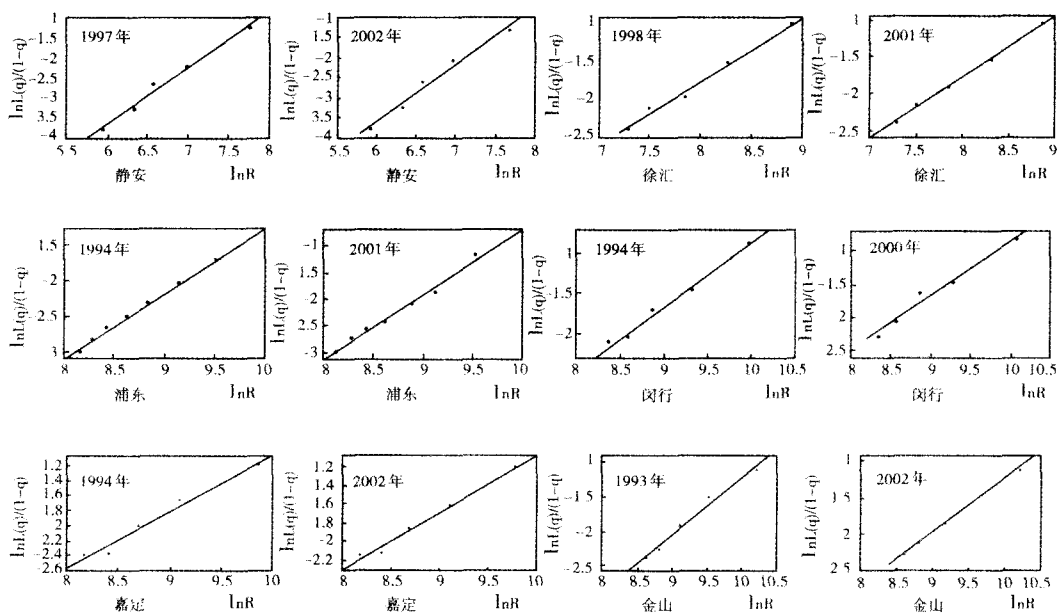


图 3 $q=2$ 时各区县人口分布的分形双对数坐标图

2. 徐汇区

用于测算人口分形的人口资料序列较短,人口分布双对数坐标图的点列拟合较为理想,测算的 2000 年徐汇区人口分布盒子维数 D_0 为 1.638,其相关系数高达 0.9976,该区已是一个高度城市化的区域,呈现非常明显的人口分形性态。该区人口分布的相关维数 D_2 呈上升态势,区内街道(镇)间的人口分布差异不断减小,1998 年最大人口密度的枫林路街道为 4.02 万人/平方公里,人口密度最小的华泾镇仅为 0.19 万人/平方公里,及至 2001 年,仍然是这两个街道,枫林路街道最大人口密度 3.85 万人/平方公里,华泾镇最小人口密度为 0.28 万人/平方公里,期间两街道人口密度反向变化,速率有异,差距正逐步缩小;全区人口的相关维数呈下降态势,人口分布的分形性态有所退化。

3. 浦东新区

人口分布分形的盒子维数 D_0 为 1.6500,分形形态较为完备,该区在建制上由沿江的城市化区域,原川沙县与上海县的三林镇组成,人口分布的差异明显,相关维数 D_2 近十余年间的迅速下降,表明区内人口密度差异不断扩大,成为所研究的 6 个典型区县中人口分布密度差异最大的地区,浦东开发开放十余年来没有改变,反而扩大了区内的人口分布差异。

4. 闵行区

人口分布分形的盒子维数 D_0 为 1.6980,该区已是城市化水平较高的发达区域,0.9985 的相关系数表明其人口分布分形性态良好;人口分形相关系数 R^2 的上升态势,反映其人口分布的分形性态更趋完备,而相关维数 D_2 的下降态势反映了区内街道(乡、镇)间的人口分布差异正在扩大;1994 年人口密度最大的江川路街道 0.38 万人/平方公里,人口密度最小的虹桥镇仅为

0.10万人/平方公里,及至2000年人口密度最大街道易位为陇柏街道0.93万人/平方公里,人口密度最小的华漕镇仅为0.11万人/平方公里,密度差距从0.28万人/平方公里发展到0.82万人/平方公里,发展的差异极为明显。

5. 嘉定区

人口分布分形的盒子维数 D_0 为1.7580,该区仍为发展中地区,城市化水平不高,人口分布较为均匀;0.9963的相关系数 R^2 表明 D_0 的拟合较好,人口分形的性态较为理想;同时 D_2 的相关系数 R^2 的上升态势,表明了该性态正在不断完善,而相关维数 D_2 本身的下降态势反映了区内街道(乡、镇)之间人口分布的差异正在增加。1994年该区人口密度最大的嘉定镇0.26万人/平方公里,而密度最小的朱家桥镇0.07万人/平方公里;2002年,仍是这两个镇,人口密度最大与最小分别为0.39万人/平方公里和0.06万人/平方公里,两者之间的差距从0.17万人增加到了0.34万人,扩大了1倍。

6. 金山区

人口分布分形的盒子维数 D_0 为1.7901,作为一个发展相对滞后的地区,亟待进一步开发,数年来,该区人口的相关维数 D_2 一直在下降,区内的人口密度差异增加。1993年最大人口密度的金山卫镇0.22万人/平方公里,人口密度最小的朱行镇0.06万人/平方公里,至2002年仍是最大人口密度的金山卫镇已达0.26万人/平方公里,增加了近400人,而最小人口密度的朱行镇仍为0.06万人/平方公里,10年间每平方公里只增加了不足2人。推动农村农民向一些条件优越的城镇迁移与就业转变将是金山区城市化发展的当务之急。

四、人口分布时空演化的分形机制与驱动力

(一) 分形机制剖析

1. 人口分形迭现了上海市城市化水平的空间演变规律

城市化水平由城市中心区向边远地区逐渐递减的空间演变规律是一个众所周知的事实,分形分维数作为人口分布特征的一种新的测度指标,应能迭现城市化水平的这种空间演变规律,上海市由市中心城区向外,以街道(乡、镇)为测算单元测算的区、县的人口分形盒子维数 D_0 ,由中心城区的静安区的1.6180、徐汇区的1.6389、浦东新区的1.6500、闵行区的1.6980、嘉定区的1.7580,直至远郊区的金山区的1.7901。这一变化趋势与以城市化率(非农人口占总人口的比重)测度的城市化水平的演化成完全相关关系:城市化率越高,其人口分形盒子维数越低;农村地区以农业人口为主体,城市化率低下,盒子维数越高(见表3)。静安与徐汇区约1.6的盒子分维数与英、美、法的城市人口分维数完全相当,可以认为1.60~1.65的人口盒子分维数,可能是测度完全城市化区域人口分布分形的一个最佳测度区间,这一结果与城市交通网络分维测算所得出的1.6~1.7盒子分维数可能是测度交通网络完善程度的最佳测度区间的结果相吻合(刘妙龙等,2004)。由此可否得出这样一个结论:对于某种社会经济现象或行为,只要有某种空间的构架存在,如果这种空间的架构存在有分形的现象,那么其1.60~1.65~1.70的分维值,有可能是测度这种空间架构完善程度的合理指标。

2. 人口分形相关维数 D_2 和其 R^2 的时间演化轨迹迭现了区域人口密度的动态演变与空间差异

区、县人口重分形的相关维数 D_2 与拟合优度指标 R^2 测度了人口在作为测度单元的街道、乡、镇地域内的集聚程度,而城市全域的 D_2 和 R^2 测度的是人口在城市所辖区、

表3 2000年上海市典型区县城市化率与盒子分维数

	静安区	徐汇区	浦东新区	闵行区	嘉定区	金山区
城市化率(%)	100	98.35	82.00	69.72	36.17	35.62
盒子维数 D_0	1.6180	1.6389	1.6500	1.6980	1.7580	1.7901

县内分布的集聚程度,其时间演化轨迹(见表 4)迭现了人口分布密度的演变形态与空间差异特征。对上海市而言,十余年间,人口分形相关维数 D_2 呈现增加态势,拟合优度略有提高,对应于全市人口分布的集聚程度有所缓和,市中心城区在旧城改造等重大工程驱动下,人口的迁移、城市规划指导下和一系列城镇的建设与引资及工程企业建设等措施下的人口再分布取得了明显的成效。对于已经完全城市化的中心城区的静安与徐汇二区, D_2 的上升态势同样意味着区内各街道之间人口密度的均衡化,得益于城市建设所带来的居民的大量动迁,其拟合优度的变化与作为测算单元的小样本量不无关系。作为城市新城区或近郊区的浦东、嘉定与闵行三区及远郊的金山区, D_2 无不例外呈现递减的趋势,迭现了这些区县在城市化过程中人口向一些重要城镇集聚,域内人口分布空间差异增大的演化特征。 D_2 变化量绝对值越大(如浦东新区),则域内街道与乡、镇之间人口的集聚与空间差异越明显,城市化进程的速率较之 D_2 变化量小的区域更快。

表 4 上海市及典型区县相关维数 D_2 与 R^2 时变形态特征

		上海市	静安区	徐汇区	浦东新区	闵行区	嘉定区	金山区
D_2	时变形态	↗	↗	↗	↘	↘	↘	↘
	变化量	+0.0521	+0.0663	+0.0966	-0.4200	0.2641	0.0745	-0.0226
R^2	时变形态	↗	↘	↗	↗	↗	↗	↗
	变化量	→	-0.0215	→	→	+0.0229	+0.0104	→

注:“→”变化量绝对值不大于 0.0100。

3. 人口分形相关维数 D_2 与盒子维数 D_0 的不一致性迭现了不同地域人口分布差异的强度

上海市典型区县测算的 2000 年人口分形的相关维数与盒子维数之间的不一致性($D_2 - D_0$)测度值见表 5,不一致性测度值按从小到大的排列次序为:静安、金山、嘉定、闵行、徐汇、浦东新区。最低的静安区位于城市核心区,其 5 个街道测算单元间人口密度差异相对较小。第二位的金山区,作为上海市远郊(南临浙江)区县,尚有大量农村地域,虽有上海石化等大型企业,但人口有限,整个区内的人口密度差异不大。第三、第四位的嘉定、闵行二区,区内的人口密度差异处于相同的水平上,嘉定区既有政府所在的历史名镇嘉定、千年名镇南翔,有紧邻市区的江桥和国际汽车城的安亭,同时又有远离上海、与江苏接壤且人口密度甚低的唐行、华亭等乡镇,人口密度的差异明显;而闵行区既有繁华、人口密集的七宝、莘庄镇和陇柏、古美、江川等街道,又有几乎全为农村的马桥、陈行、杜行等乡镇,人口密度的分布差异与嘉定区相仿。人口分布密度差异最大的当属徐汇与浦东新区,徐汇区本是一个人口高密度区域,其街道(镇)的人口密度大都超过 10 000 人/平方公里,更有徐家汇、湖南路、天平路等 7 个人口密度大于 20 000 人/平方公里的街道,同时又有龙华、华漕等包容有农村地域的乡镇,导致区内人口密度的差异显著;差异最大的浦东新区,在建制上就有原为城区的沿江区域与原有的浦东川沙县及上海县的三林镇组成,在人口的分布上呈现明显的沿江高密度区(城区)、非沿江低密度地区(川沙与三林)、沿江带中的东部低密度地带和西部高密度地带的“两区一带”特征,成为全市人口分布密度差异最大的地区。

表 5 2000 年上海市典型区县人口分布 $D_2 - D_0$ 的差值

	静安区	徐汇区	浦东新区	闵行区	嘉定区	金山区
盒子维数 D_0	1.5147	1.1869	1.1600	1.2911	1.3889	1.4952
相关维数 D_2	1.6180	1.6389	1.6500	1.6980	1.7580	1.7901
差值: $D_2 - D_0$	0.1033	0.4520	0.4900	0.4069	0.3691	0.2949

测算的相关维数与盒子维数之间的不一致性完整地迭现了这种人口分布密度差异的区域特征,从不同的视角揭示了人口分形的实质和人口分形时空

演变的规律。

(二) 人口分布时空演化驱动力

1. 城市建设和改造的影响

城市建设在地域上并非均衡展布,城市发展过程中的旧城改造也总是依据规划与条件有选择地实施。城市建设与旧城改造直接导致了中心城区人口容纳量下降,形成新的人口分布格局,分形形态发生了变化。

2. 城市交通设施配置格局的影响

交通设施建设与配置的不均衡性对人口空间分布格局的演化具有重要影响。20世纪90年代以来,上海市重点建设的城市外围的高等级道路网络及轨道交通设施,推动了城市外围地区的开发和城市人口的向外疏导,加快了城市人口分布新格局的形成。随着地铁的建设、开通,其沿线地区人口的集聚程度不断提高,形成了一批新的人口集聚中心。拥有轨道交通枢纽的莘庄镇人口年均增长率达10.46%,成为上海市西南发展最为迅速的投资热土;沪宁高速公路沿线的江桥镇,1994~2002年间人口年均增长率达到9.94%,迅速推进了该镇及邻近区域的城市化进程。从分形的角度,由于人口的再分布,交通区位条件不同的区域之间,人口空间分布所迭现的分形分维差异($D_2 - D_0$)增大。

3. 经济产业带群的布局与建设影响

经济产业带群分布的不均衡性有可能导致人口分布差异的增大,经济产业带群布局所在地必然能吸引更多人口进入。在嘉定工业园区产业直接推动下,嘉定镇1994~2002年间的人口年增长率达5.13%,同样,借助于金山嘴工业区建设的金山卫镇1998~2002年间的人口年均增长达到2.87%,随着上海国际汽车城的建设发展,必将给20世纪90年代末人口年均增长率仅为0.82%的安亭新城带来新的繁荣与人口高速增长,经济产业带的建设将导致人口再分布所迭现的分形分维差异($D_2 - D_0$)增大。

4. 重大建设项目布局与建设的影响

重大建设项目是指一些能对区域乃至全市政治、社会、经济产生决定性影响的工程经济项目,像已经实施完成或正在实施中的浦东新区陆家嘴金融贸易区建设,国际汽车城、海港新城和未来的世博会建设都具有强大的人口导入能力,他们已经或将打破现有的人口分布格局,导致新的人口再分布与集聚格局,从而必将影响人口分布所迭现的分形分维差异形态。

5. 产业结构的影响

上海全市及6个典型区县的产业结构(以产业增加值测算)见表6。第一产业比重与离开市中心区的距离成正比,越靠近中心城区,第一产业的增加值比重越小;第二产业增加值比重则是核心区以外、远郊区以内的区域比重最大,而远郊区比重大于核心区;第三产业比重则基本上与第一产业相反,从中心区向外逐渐减小。人均增加值由核心区向外随距离增大而减小,与第三产业的减小方向一致。城市化水平变化方向与人均增加值变化方向一致,即与盒子维数 D_0 的变化方向相反,盒子维数越小,则人均增加值越大。总的说来,离市中心越远,人口分布的盒子维数 D_0 越大,离市中心越近,非农就业比重也越高,盒子维数与

表6 上海市及典型区县的产业构成

区域	增加值构成(%)			人均增加值 (万元)
	第一产业	第二产业	第三产业	
上海市	1.73	47.58	50.69	3.74
静安区	0.0	23.0	77.0	13.20
徐汇区	0.0	21.3	78.7	0.67
浦东新区	0.5	52.2	47.3	6.49
闵行区	1.8	56.3	41.9	3.21
嘉定区	1.7	66.5	31.8	4.28
金山区	9.2	49.1	41.7	1.34

资料来源:上海年鉴编委会:《上海年鉴(2001)》,中国统计出版社,2001年。

就业比重成正比例关系,与第三产业的布局比重成反比关系,盒子维数越大,第三产业增加值越小,而目前上海市第二产业增加值分布与人口分布差异相吻合,即 $D_2 - D_0$ 越大的区域工业增加值也越大。

五、结 论

研究表明,作为社会科学研究对象的人口分布现象,呈现了自然科学所特有的分形特征,无论是宏观尺度上的上海大都市,还是以乡、镇、街道微区域单元为基础的中观尺度的上海市的一些典型区县,人口分布都呈现了特征明显的分形性态,人口分形是一个不容置疑的事实。

人口分形在时间域与空间域都是一个动态的概念,它在空间域上所呈现的空间差异实际上是城市化水平的差异反映,而在时间域上的演化则是人口分布集聚程度与水平的测度。这种人口分形的时间演化与空间差异,在分形的盒子维数与相关维数测度指标上有高置信度的表现。

结合国外的研究成果,上海市及典型区县人口分形的测算与研究结果表明,对于城市化水平发展较为完备成熟的地区,人口分形 1.6~1.7 的分维数测度区间具有普适意义;结合城市、区域交通网络分形研究中关于完备交通网络分形分维数 1.6~1.7 最佳测度区间的结论,可以推断,对于某种社会经济现象或行为,只要有某种空间的构架存在,且构架存在有分形的现象,那么其 1.60~1.65~1.70 的分维值,有可能是测度这种空间构架完善程度的合理指标。

人口分形作为一种复杂的重分形,其描述不是某种单一的分维测度指标所能胜任的,本文中利用 $q=0$ 的盒子维数和 $q=2$ 时的相关维数,以及盒子维数与相关维数之间的不一致程度等多种测度指标来研究上海市及典型区县的人口分形特征与时间演化、空间差异,取得了较为满意的结果,但要描述人口分形的全部特征,解释人口分形的形成机理,尚需利用高阶($q>2$)的广义相关维测度指标或维数连续谱才能实施,这将是重要的后续研究任务。

参考文献:

1. 肯尼斯·法尔科内(1991):《分形几何——数学基础及其应用》,曾文曲等译,东北大学出版社。
2. 王益谦、王放(1997):《城市人口分布的多重分形特征刻画》,《大自然探索》,第4期。
3. 王放、李后强(1995):《非线性人口学导论》,四川大学出版社。
4. 陈彦光、单伟东(1999):《区域城市人口分布的分形测度》,《区域研究与开发》,第3期。
5. 叶明(2002):《城市人口空间分析及其GIS应用模型》,《区域研究与开发》,第6期。
6. 上海市人民政府发展研究中心(2002):《上海市重大决策咨询课题人口系列专题成果汇编》(2001~2002)。
7. 邬伦等(2002):《地理信息系统——原理、方法和应用》,科学出版社。
8. 任远、王桂新(2003):《常住人口迁移与上海城市发展研究》,《中国人口科学》,第5期。
9. 张善余(2002):《上海大都市圈的构建及其人口特征分析》,《华东师范大学学报》,第9期。
10. 刘妙龙等(2004):《上海大都市交通网络分形的时空演变特征研究》,《地理科学》,第2期。
11. Appleby S. (1996), Multifractal Characterization of the Distribution Pattern of the Human Population, *Geographical Analysis*, 28(2).
12. Batty M. and Longley P. A. (1986), The Fractal Simulation of Urban Structure, *Environment and Planning A*, Vol. 18, pp. 1143-1179.
13. Batty M., Y. Xie(1998), Preliminary Evidence for a Theory of Fractal City, *Environment and Planning A*, 2.
14. Francois N., Frankhauser P. and Pumain D. (1995), Villes, Densites et Fractalite, *Les Annales de la Recherche Urbaine*, 67(1).

(责任编辑:朱萍)

Time-Space Evolution and Regional Difference of Population Fractal in Shanghai

Liu Miaolong Chen Peng Feng Yongjiu • 51 •

Applying fractal theory, this paper measures and calculates the fractal dimensions (box fractal dimension and correlation fractal dimension) of population distribution in Shanghai and some of its districts and counties at the levels of township, town and residential district. The fractal characteristics and the temporal and spatial dynamic evolution of population distribution are discussed in detail, and the economic and social driving forces for population evolution is analyzed. Some policy suggestions are made in establishing Shanghai's new population policies.

Depreciation-based Measurement of Human Capital: Cases of Three Provinces in Yangtse Delta Region

Sui Jingwei • 61 •

This paper improves the cost-accounting-based model of human capital measurement through introducing the variant of human capital depreciation, and computes the annual values of human capital of Shanghai, Jiangsu and Zhejiang during the 1990-2002 period. The results suggest that per capita human capital in these three regions are higher than the country average, and Shanghai enjoys the highest per capita human capital, with Zhejiang and Jiangsu taking the second and third place respectively. By testing the results, the author's estimates are more reasonable and accurate and can better interpret the corresponding economic phenomena than those estimated by conventional method.

Analysis of Environmentally Affordable Population for Sustainable Development in the Three Gorges Area

Wang Bing Huang Dai • 68 •

Under the concept of sustainable development, the P-E-R environmental capability of population model can be a theoretical guidance to directly measure the environmentally affordable population in the Three Gorges area. Following the P-E-R model, Three Gorges environmental capability should be analyzed by considering both environmental resources and economic development. Based on the P-E-R model, the Three Gorges Dam has been constructed at price of environmental capability of population. However, in the long term this project will have a positive implication in this regard.

The Marginalized Self-recognition of Inter-provincial Migrants in the Three Gorges Area and Its Determinants

Tang Liping • 75 •

Based on a sampling survey, the inter-provincial migrants in the Three Gorges area who currently live in Jiangsu province are found to be self-recognized as marginalized group. Multiple factors, such as social communications, social adaptability, confidence in the future, experience of work outside, satisfaction of household income, and ages, are determinants in forming this self-recognition.

A Review of Intra-Household Resource Allocation Analyses in a Gender Perspective in Mainstream Economics

Gao Mengtao • 81 •

From the perspectives of theoretical framework, empirical research and policy implications, this paper summarizes the latest developments of intra-household resource allocation analysed by mainstream western economists after Gary Becker.

Population Security and Comprehensive Reform of Population and Family Planning Policies

Mu Guangzong • 90 •

This report sums up the experience, lessons and prospects of the comprehensive reform of population and Family Planning Program in Yichang region. The 3+S Promotion Program, which is the guideline and implementation framework for the comprehensive reform in Yichang, works well in practice. The experience reveals that the comprehensive reform consists of two steps. The first is how to carry out the Family Planning Program effectively, and the second is how to promote the healthy population dynamics. The first handles issues of childbearing, birth control and dysgenesis while the second handles structural, functional and development-related issues of population. Undoubtedly, Family Planning Program reform should contribute to, not damage, the healthy development of the population and human development.