

文章编号: 1000-0690(2002)06-0649-06

城市用地与人口的异速增长和相关经验研究

梁进社, 王 旻

(北京师范大学资源与环境科学系, 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 由于城市土地利用变化涉及的因素多, 使获取动态研究所需的资料十分困难, 所以, 用少数几个主要因素定量地表达其变化就显得十分重要。从前人的成果, 即以人口表示的城市位序-规模法则和以建成区面积表示的位序-规模法则出发, 演绎出城市的用地规模和人口数量呈异速增长。这意味着, 如果把整个城市看成是一个生命有机体, 那么作为反映城市特征的城市用地规模和城市人口这两个重要变量, 就是城市这个有机体的两个器官, 他们的增长率是成比例的。还通过这个关系建立了城市建成区面积与市域人口和经济发展水平的数学模式。对我国部分城市的经验研究在一定程度上分别证明了这两个经验关系。

关键词: 建成区面积; 人口; 人均 GDP; 异速增长; 经验研究

中图分类号: F293.2 **文献标识码:** A

土地利用动力学已经是土地利用和覆被变化(LUCC)研究的重要方向之一。简单地说, 现有的土地利用动态研究大致分成两支: 一支强调土地利用变化的因素模型研究^[1,2]; 一支将土地利用的空间动态过程纳入城市用地扩展的细胞自动相互作用(cellular automation)模式中^[3-5], 并且充分利用遥感和地理信息系统技术^[6,7]。本文的研究属于前者。初看起来, 前者比后者要简单些。然而影响土地利用变化的因素很多, 使得进行实证研究时获取相关的历史资料十分困难。因此, 用几个主要因素定量地表达土地利用变化规律就显得格外重要, 这正是本文所追求的目标。

1989年, Y. Lee 首先将美国划分为9个区域, 然后将全美的所有城市按规模划分成7个等级, 在城市体系的框架内对这两种划分进行人口和用地面积的异速增长实证研究, 得出了肯定性结论^[8]。与 Y. Lee 的研究的重要不同之处是, 本文是针对单个城市的历史发展进程而言的城市用地与人口的异速增长关系研究。在本文的第二部分, 我们从城市人口位序-规模和城市用地位序-规模关系出发, 推导出单个城市用地和其人口的异速增长模型。第三部分是对这个模型的验证。由于

数据来源方面的困难, 采用了建成区面积和市区非农人口来进行回归检验; 然后在第三部分又以这个关系为基础, 建立了建成区面积与城市市域人口、人均国内生产总值的数学模型; 对我国部分城市的经验研究在一定程度上分别验证了这两个模式。

1 异速增长的理论推导

我们知道, 城市的位序-规模(rank-size)法则^[9,10]如下:

$$q_r = q_1 / r^b \quad (1)$$

其中, q_r 是一个国家或地区内按人口规模大小的排序, 第 r 位城市的人口数量, q_1 是最大的城市之人口数, r 为城市规模位序号, b 是参数。经验^[11,12]和理论研究^[13,14]表明, 经济和社会越发达的国家或地区, 其城市的规模分布越接近于位序-规模法则。然而, 我国的城市规模分布也符合这个模式^[10, 15-18]。

陈丽珍将我国省会城市按建成区面积从大到小排序, 然后进行回归分析, 发现以建成区面积计量的城市规模-位序对应关系也与式(1)相一致^[19], 即

$$s_r = s_1 / r^a \quad (2)$$

收稿日期: 2001-11-06; 修订日期: 2002-03-15

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(39899374)资助。

作者简介: 梁进社(1957-), 男, 陕西兴平人, 教授, 主要从事经济地理学、自然资源与环境经济学的教学和研究。E-mail: liangjs@bnu.edu.cn

这里 s_r 是按用地面积大小排序,第 r 位城市的占地面积, s_1 是最大的城市之占地面积, r 为城市用地规模位序号, a 是参数。

我们假定:城市按照人口规模的排序与按照用地规模的排序是完全一致的,即式(1)中的 r 和式(2)中的 r 所对应的是同一个城市;同时,如果使用与建成区相对应的人口数据,同样认为中国的城市人口规模体系符合位序—规模法则。

为了处理上的方便起见,我们可以将式(1)和式(2)中的 r 看作连续变量。这时

$$dq/dt = -bq_1 r^{-(b+1)} dr/dt = -qbr^{-1} dr/dt \quad (3)$$

$$ds/dt = -as_1 r^{-(a+1)} dr/dt = -sar^{-1} dr/dt \quad (4)$$

从式(3)和式(4)可以得出

$$ds/s = cdq/q \quad (5)$$

其中, $c = a/b$ 。上式表明,城市的用地增长率与其人口增长率相比,总是一个不变的常数。这个结论与生物学的异速增长(allometric growth)定律^[8, 13]在形式上是完全一致的,故而我们称其为城市用地与人口的异速增长。

应该指出的是,式(5)的推导是以城市人口规模与用地规模之分布规律为基础的。它是否适合

于单一的城市,这要看验证的结果。如果是(这正是本文所期待的),我们就可以用式(5)同时描述单一的城市人口与用地规模之成长和一个城市系统中的城市人口与用地规模之分布。此外,从式(5)的推导,我们也表明了城市用地和人口的异速增长关系与城市用地和人口的位序规模法则是一脉相承的。

求解式(5)

$$s = c_0 q^c \quad (6)$$

式中, c_0 为常数。

2 经验研究

2.1 以市区非农业人口代替建成区人口时的实证研究

由于没有建成区人口数,我们以市区非农业人口代替之,这等价于假设他们之间成比例。式(6)可以写成:

$$\ln s = c \ln q + d \quad (7)$$

上式中, s 代表建成区面积, q 是市区的非农业人口, c 和 d 是待求的参数。

我们对我国 40 个大城市做了回归分析,其中 34 个城市有较高的相关系数(见表 1)。

表 1 34 个相关系数较高的城市建城区面积与市区非农人口一元回归结果

Table 1 Parameters and coefficients of regression equations between urban built-up area and non-agricultural population (higher coefficients)

城市	R	c	d	城市	R	c	d
吉林	0.83454	0.34502	3.02361	石家庄	0.96760	1.33751	-1.83795
南宁	0.87028	0.48508	2.20857	郑州	0.81855	1.37230	-14.64189
武汉	0.70375	0.50293	-2.28427	合肥	0.91414	1.44541	-1.91001
济南	0.96834	0.51676	-2.67617	呼和浩特	0.88639	1.56041	-2.30229
西安	0.94945	0.57385	-3.36635	南京	0.94446	1.60661	-18.46012
银川	0.98239	0.69356	1.16919	成都	0.84496	1.62975	-18.86494
深圳	0.90244	0.69382	-4.76376	福州	0.94764	1.73265	-3.76200
西宁	0.83816	0.71250	1.09453	长沙	0.88365	1.75906	-19.99251
青岛	0.96919	0.84360	-7.42692	乌鲁木齐	0.95432	2.00653	-23.67434
长春	0.91123	0.90684	-8.25819	宁波	0.70176	2.17612	-4.84612
唐山	0.86283	0.92053	0.42485	天津	0.94619	2.31006	-29.61652
珠海	0.92999	0.96416	-8.00926	鞍山	0.99009	2.33250	-6.67123
包头	0.84115	1.03314	0.17310	杭州	0.96450	2.37259	-28.71120
厦门	0.97656	1.16702	-11.22802	大连	0.91393	2.86442	-36.13875
贵阳	0.69145	1.20775	-1.20585	重庆	0.98629	3.02569	-39.72237
北京	0.92348	1.22071	-12.96105	上海	0.98402	3.38156	-47.98134
昆明	0.93271	1.25364	-12.90916	沈阳	0.84305	4.60937	-64.89660

注 1) 以上计算过程的原始数据来自于 1985 年到 1997 年历年的《中国城市统计年鉴》;2) 表中 R 是回归方程的相关系数。

这里使用的原始数据是 1984 年到 1997 年的数据。其中杭州市的 1984 年数据异常,这里是剔

除后计算的结果。表 2 列出的是回归效果不太好的城市,经过对原始数据的分析,我们发现这些城

市的建成区数据都非常特殊。包括有十几年没有任何变化的齐齐哈尔、南昌、太原等,波动非常大的广州、兰州、哈尔滨等,致使回归分析很难说明问题。太原市的建成区面积的数据太特殊,没有计算出回归方程。笔者认为部分原因是统计口径在历年存在不可比现象以及统计疏漏造成的。

表 2 数据异常的城市的回归结果

Table 2 Parameters and coefficients of regression equations between urban built-up area and non-agricultural population (lower coefficients)

城市	R	c	d
齐齐哈尔	0.55464	-0.74079	8.09553
兰州	0.05549	-0.08823	5.49793
广州	0.32242	0.50861	-2.17134
南昌	0.55340	0.50961	1.83568
哈尔滨	0.53772	1.43186	-15.94105
太原		(数据异常)	

2.2 间接反映城市用地规模和人口数量关系的方程

除了以市区非农业人口代替建成区人口的实证研究外,我们提供第二个途径。

式(6)可以写成

$$\lg s = c \lg q + h \quad (8)$$

表 3 城市化水平和人均 GDP 的一元回归结果

Table 3 Parameters and coefficients of regression equations between urbanization level and per capita GDP

	R	e	f		R	e	f
北京	0.98267	0.06071	0.13094	重庆	0.98135	0.01665	0.12167
天津	0.90805	0.05274	0.14404	济南	0.70663	0.06223	-0.09188
上海	0.98457	0.08881	-0.09344	厦门	0.95191	0.03757	0.09182
成都	0.95309	0.05006	-0.08268	珠海	0.98407	0.13104	-0.71324
南昌	0.96394	0.03495	0.11664	深圳	0.97718	0.10873	-0.46011
西安	0.98588	0.03298	0.13714	青岛	0.91934	0.05876	-0.17017
唐山	0.99005	0.03572	-0.03479	杭州	0.80705	0.01660	0.16381
长沙	0.97107	0.03897	-0.03374				

注:珠海、深圳、青岛、杭州等城市的 GDP 采用当年价计算,其余为可比价。

借用式(9),我们可以预测式(8)中的 q ,即

$$q = px = p(elgy + f) \quad (10)$$

这里, p 是一个地区的人口总数, x 理解为建成区人口数占地区总人口的比重。把式(10)代入式(8),我们有: $\lg s = c \lg [p(elgy + f)] + h$

为了数学上处理方便起见,忽略 f (等价于假定与 $elgy$ 相比, f 更小),则上式变为

$$\lg s = c(\lg p + \lg lgy) + k \quad (11)$$

这里, $k = c \lg e + h$, 是常量。式(11)表示了城市建成区面积与市域人口、城市经济发展水平的关系。为清晰起见,把式(11)概括为如下模型形式:

h 是常数。1982 年,周一星采用 137 个国家的城市化水平与人均国民生产总值进行相关分析,得出了城市化水平与人均国民生产总值的对数成正比的关系式^[20],即

$$x = elgy + f \quad (9)$$

x 代表城市人口占总人口的比重, y 是人均国民生产总值, e 和 f 为常数。他还用经济处在不同发展水平的南斯拉夫、前苏联、日本和美国 50 年代以来的数据构成一个具有发展过程的城市化水平、人均国民生产总值对应序列,进行相关分析,得出了相同的结论。理论分析表明,如果假设城市、乡村人均国民生产总值的增长所引起的全国人均国民生产总值的增长总是占据了一个不变的份额,同时城市人均国民生产总值与乡村人均国民生产总值之差与全国人均国民生产总值成正比,就可以演绎出这个统计关系^[21-23]来。

我们以 x 标示城市(含所辖市县)非农业人口占总人口的比重,代表城市化水平, y 为全市的人均 GDP 值, e 和 f 是待求系数,以 $x = elny + f$ 为模型进行回归分析,其结果(见表 3)展示了式(9)这个形式的有效性。

$$Z = cU + k \quad (12)$$

其中 Z 等于 $\lg s$, s 为城市的建成区面积, U 等于 $(\lg p + \lg lgy)$, p 为全市总人口, y 为全市人均 GDP, c 和 k 是要产生的系数。我们将根据 Z_i 和 U_i 的时间序列数据作一元线性回归分析。

选取北京、天津、上海、西安、济南、乌鲁木齐、长沙、唐山、成都、南昌、深圳、沈阳、青岛、珠海、杭州、重庆、厦门等 17 个城市做实证研究。所有 17 个城市的人口数据均为包含所辖县市的全市年末总人口,国内生产总值也是包括了所辖县市的地区总值。表 4 的 10 个城市采用的是国内生产总值可

比价格(其中北京是1980年可比价,其它9城市为1984年可比价),时间段为1984年到1997年(不含1992年)。由于数据来源的原因,表5的6城市用当年价GDP计算。

表4中11个城市的回归方程的相关系数有7个都大于0.9,2个大于0.8,效果不错。成都接近于0.8,只有南昌市稍差,为0.62139。表5中的6个城市其回归方程的相关系数都大于0.9,效果十分好。然而 Z 随 U 增长的比例系数在城市之间有明显的不同,其中,上海市的最大,为4.152661,而天津、长沙、乌鲁木齐、成都等城市的在1~2之间,其余的都小于1。为什么会有这样的差别呢?我们说,表4和表5中的回归方程系数反映的是城市建成区面积的增长率相对于市域人口和城市人均GDP的增长率的一个比例,城市之间这几个增长率的差别正是这些系数发生变异的原因,就拿北京、上海、天津三城市来讲:北京市1984年的市域人口为945.18万人,人均GDP是2105.7元(1980年可比价),建成区面积为366 m^2 ,到1997年,这三项指标分别为1216.7万人、5503.1元和488 km^2 。这期间它们的年平均增长率分别为1.96%,7.67%,2.24%,而天津市对应指标的年增长率分别为0.92%,8.32%,3.53%,上海的分别为0.62%,9.45%,6.53%。相对于市域人口的增长率、人均GDP的增长率而言,天津的建成区面积的增长率要大于北京,而上海的建成区面积的增长率则比这两市更显著,所以天津的回归系数大于北京的,而上海的又远大于北京、天津的回归系数。表

6列出了表4中10个城市的这三个指标的实际增长率,可以看到:济南的市域人口年平均增长率是比较快的,达到了3.673%,其人均GDP的年平均增长率也不低,为10.02%,而它的建成区面积的年平均增长率为2.08%,相对于前面的两个增长率,这是很低的。所以,表4中济南得到的回归方程的系数也很小,只有0.34759。当然,在上海 Z 随 U 增长的比例系数最大,可能与1984年以前上海的住房短缺情况更为严重和1990年代浦东开发等导致的城市用地迅速扩展密切相关。令人鼓舞的是,虽然这种情况有行政干预的成分,可是上面的回归结果表明,我们的模式可以概括它。

以上研究结果表明 Z 和 U 的相关性十分高,它说明忽略 f 是可取的。

我国历年的城市统计年鉴中对各个城市GDP的统计并不全,要从单个城市的统计年鉴中找到相关的历史数据也十分难,样本数少,进行回归分析时效果一般都不太好。比如采用西宁市9个年份按当年价格计算的GDP,得到的回归方程的相关系数为0.71。如此得到的结果既不反映实际情况,也难以说明问题。这些客观现实在很大程度上影响了我们扩大实证研究的范围。

3 结论和讨论

通过以上理论和经验研究,我们可以得出如下结论:

第一,我们能从以人口表示的城市位序-规模法则和以建成区面积表示的位序-规模法则出发,

表4 用可比价GDP计算得到的回归方程

Table 4 Regression equations by constant price GDP

城市	一元回归方程		R	城市	一元回归方程		R
北京	$Z = 0.966149$	$U - 4.68494$	0.93070	长沙	$Z = 1.992869$	$U - 12.50974$	0.87544
天津	$Z = 1.409912$	$U - 8.02562$	0.93233	唐山	$Z = 0.610944$	$U - 2.42607$	0.83433
上海	$Z = 4.152661$	$U - 29.4401$	0.98863	成都	$Z = 1.425902$	$U - 8.64949$	0.78523
西安	$Z = 0.458416$	$U - 1.18859$	0.93214	南昌	$Z = 0.493706$	$U - 1.65868$	0.62139
济南	$Z = 0.347590$	$U - 0.47979$	0.95363	厦门	$Z = 1.130649$	$U - 1.27047$	0.96251
乌鲁木齐	$Z = 1.343652$	$U - 1.75805$	0.95577				

表5 用当年价GDP计算得到的回归方程

Table 5 Regression equations by current price GDP

城市	一元回归方程		R	城市	一元回归方程		R
深圳	$Z = 0.99114$	$U - 4.62207$	0.90576	珠海	$Z = 1.80535$	$U - 9.81576$	0.92971
沈阳	$Z = 1.84269$	$U - 1.49824$	0.92132	杭州	$Z = 1.52836$	$U - 9.30322$	0.98459
青岛	$Z = 0.91760$	$U - 11.80348$	0.96829	重庆	$Z = 2.41825$	$U - 16.60257$	0.91937

注:R为相关系数。

表 6 10 个城市的建成区面积、市域人口、人均 GDP 和年平均增长率

Table 6 Built-up area, municipal population, per capita GDP and their annual average growth rates of 10 cities in China

城市	建成区面积(km ²)			市域人口(单位:万人)			人均 GDP(元)		
	1984 年	1997 年	u(%)	1984 年	1997 年	u(%)	1984 年	1997 年	u(%)
北京	366	488	2.238	945.18	1 216.70	1.961	2 105.72	5 503.15	7.67
天津	242	380	3.532	798.89	899.80	0.919	1 845.94	5 219.39	8.32
上海	181	412	6.532	1 204.78	1 305.46	0.619	3 242.50	10 483.45	9.45
西安	133	162	1.529	544.56	662.06	1.514	810.56	2 979.32	10.53
济南	88	115	2.080	343.60	549.20	3.673	1 396.82	4 834.41	10.02
乌鲁木齐	49	83	4.137	114.73	151.94	2.184	1 613.86	4 214.66	7.66
长沙	57	110	5.187	496.95	571.91	1.087	1 278.78	4 617.50	10.38
唐山	92	119	1.999	603.33	688.34	1.019	793.76	3 882.84	12.99
成都	87	144	3.952	825.03	984.97	1.372	781.89	2 897.21	10.60
南昌	65	85	2.085	331.64	407.89	1.605	777.73	3 034.31	11.04

注:u 为各项年平均增长率。

演绎出城市用地规模和人口数量的异速增长关系,这也说明他们三者从理论上来讲是一脉相承的。

第二,建成区面积和市区非农人口的回归分析以及建成区面积和市域人口、市域人均 GDP 的经验研究使我们有一定的信心相信,城市用地与其人口存在着异速增长关系。这两个经验模型可以用来预测城市的建成区面积,对城市规划有一定的参考价值。

在前面的理论推导中,我们假设城市按照人口规模的排序与按照用地规模的排序是完全一致的,事实上有时非也,比如北京的非农人口低于上海,但建成区面积却高于上海。这样一来前面的假设似乎不成立。但是,为了求得一般的规律,我们可以先这样假设,然后从经验上看实际偏差有多大,这种偏差能否被接受。这等价于将各城市的市区非农人口之对数值和建成区面积之对数值表示在二维坐标系中,然后进行假设检验,判断他们的对应关系是否为一条直线。如果是,则接受前面的假设,否则,则拒绝。我们前面的回归分析表明,这个假设是可以接受的。

随着我国城市人口管理的改革,城市流动人口增加。为了提高式(7)的回归和预报精度,市区非农人口应尽可能地包括其流动人口。

致谢:本文的数据收集得到了王静爱 and 方伟华的全力支持。

参考文献:

- [1] The National Institute for Environmental Studies (NIES), Japan. Land use for global environmental conservation project [R]. LU/GEC, 1995-98.
- [2] 李平,李秀彬,刘学军.我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析[J].地理研究,2001,20(2):129~138.
- [3] G Roy Geoffrey, Folke Snickars. Citylife: a study of cellular automata in urban dynamics [A]. In Manfred Fischer, Henk J. Scholten and David Unwin, Editors. Spatial analytical perspective on GIS [M]. London: Taylor & Francis, 1996: 213-228.
- [4] Fulong Wu. A linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growing region [J]. Computer, Environment and Urban System, Volume 20, 6: 367-387.
- [5] 帅江平.供求平衡状态下的城市自组织过程[J].地理学报,1996,51(4):374~383.
- [6] 赵元洪,田良虎.利用多平台数据复合研究城市扩展的动态监测[J].环境遥感,1992,7(3):196~201.
- [7] 邹尚辉.武汉市湖泊环境的遥感研究[J].地理科学,1991,11(3):261~268.
- [8] Y Lee. An allometric analysis of the US urban system: 1960-80 [J]. Environment and Planning A, 1989, 21:463-476.
- [9] G K Zipf. Human behavior and the principle of least effort [M]. Cambridge, Mass, 1949.
- [10] 杨吾扬,梁进社.高等经济地理学[M].北京:北京大学出版社,1997.
- [11] B J L Berry. City size distribution and economic development [J]. Economic Development and Cultural Change, 1960, 9: 573-588.
- [12] P Haggett, A D Andrew, A Frey. Locational models [M]. New York: John Wiley & Sons, 1977:102-124.
- [13] M J Beckmann. City hierarchies and distribution of city size [J]. Economic Development and Cultural Change, 1958, 6: 243-248.
- [14] 梁进社.逆序的 Beckmann 城镇等级-规模模式及其对位序-规模法则的解释力[J].北京师范大学学报(自然科学版),1999,35(1):132~135.
- [15] 周一星.城市地理学[M].北京:商务印书馆,1997.
- [16] 许学强.我国城镇体系的演变和预测[J].中山大学学报(哲学和社会科学版),1982,3:40~49.

- [17] 严重敏, 宇越敏. 我国城镇人口发展变化特点初探[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1980.
- [18] 顾朝林. 中国城镇体系——历史·现状·展望[M]. 北京: 商务印书馆, 1992.
- [19] 陈丽珍. 中国大城市地域扩展研究[D]. 北京: 北京师范大学, 1998.
- [20] 周一星. 城市化与国民生产总值关系的规律性探讨[J]. 人口与经济, 1982, (1): 28~33.
- [21] 梁进社. 城市化与国民经济发展之关系的理论分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 351~354.
- [22] 柴彦威, 周一星. 大连市居住郊区化的现状、机制及趋势[J]. 地理科学, 2000, 20(2): 127~132.
- [23] 苏维河. 贵阳城市土地利用变化及其环境效应[J]. 地理科学, 2000, 20(5): 462~467.

The Allometric Growth of Urban Land Use and Population and Its Experiential Research

LIANG Jin-She, WANG Min

(Department of Geography, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster,
Beijing Normal University, Ministry of Education, Beijing 100875)

Abstract: Urban land use dynamics has been an important issue for LUCC. But as many factors are involved, and for the lack of corresponding time-series data, dynamic study of urban land use is a hard nut to crack. This article aims at obtaining a function that can describe the dynamic process of the change of urban land magnitude. We start at the rank-size rule by urban population and the rank-size rule by urban built-up area, and derive a mathematical relationship that the land use size of a city and its population observe the law of allometric growth, which is derived from biological studies. In other words, when we consider a city as an organism, at least it has two organs, the size of the built-up area and the population of such an area, where the growth rate of the former is in proportion to the growth rate of the latter.

Because of the lack of time-series data of urban built-up area-population, we substitute urban non-agricultural residents for built-up area population and do regression analysis for the allometric growth relationship. Forty cities in China are presented for the case study, and the results verify the theoretical relationship.

Then we deduce a function consisted of the size of built-up area, the total population and the GDP (gross domestic product) per capita of the city. It is as follows:

$$\lg s = c(\lg p + \lg lgy) + k$$

where s represents urban built-up area, p is the total population of a city, y is the GDP per capita of the city, and c and k are parameters. We have presented many large cities including Beijing, Shanghai, and Tianjin etc. as experiential studies, and gained such a function by regression analysis of a time-series data of those cities. Results show that the function is correctly derived.

Our results can be used to predict the size change of built-up area of a city in China that is being in the rapid urbanization.

Key words: urban built-up area; population; per capita GDP; allometric growth; case study