

大都市空间扩展的周期性特征 ——以美国华盛顿—巴尔的摩地区为例

宗跃光

(南京大学城市与资源学系, 南京 210093)

摘要: 针对大都市区城市化快速发展中, 景观替代具有区域相关性和时序变化的基本特点, 以美国华盛顿—巴尔的摩地区 200 年都市化发展史为例, 以逻辑斯蒂增长模型为基础, 引进 2 种景观类型的空间增长模型。研究表明, 华盛顿—巴尔的摩都市区的增长具有明显的 30~40 年周期性, 分为 3 个大周期和 6 个半周期。在有限空间容量下, 本区采用大面积发展城市森林的手段, 缓解城市空间扩展与环境恶化的矛盾。运用竞争系数 0.1 和 0.2 条件下的增长模型对这一过程进行模拟。

关键词: 大都市区; 城市化; 逻辑斯蒂增长模型; 美国

1 引言

世界城市化的一个重要特点是大都市区的增长, 1970~1990 年的 20 年中, 美国 4 个主要大都市区的人口都呈现不断增长的趋势, 其中新兴大都市区洛杉矶和西雅图分别增长 45% 和 38%, 传统大都市区纽约和芝加哥等分别增长 4% 和 8%。据美国马萨诸塞州立大学 2001 年研究表明 (<http://www.umbc.edu/bwrdc>), 美国 2000 年全国总人口达到 2.81 亿, 大都市区的人口 2.25 亿, 占总人口比例的 80%, 总面积比例的 19%, 预计 2050 年, 全国人口将达到 3.9 亿, 大都市区人口为 3.12 亿, 面积比例增长到 35%, 即全国人口的 80% 以上, 国土面积的 1/3 以上将属于大都市区。美国大都市区的人口将在今后半个世纪继续保持持续增长的势头。发达国家如此, 发展中国家也正在步入这一时期。东南亚国家 2/3 的人口已经集中在曼谷、吉隆坡、新加坡、爪哇和马尼拉 5 个超大都市区。国家计委经济研究课题组 (1996) 及有关专家研究认为, 中国除了传统的 3 大都市区 (长江三角洲、珠江三角洲和京津唐地区) 以外, 加上湖北、四川、山东和福建等省有可能形成中国的 9 大都市圈以及沿海沿江 “T” 型 5 大经济圈^[1]。

在进一步工作中, 美国马萨诸塞州立大学通过与美国林业局、测绘局和人口统计局的合作, 根据 <http://biology.usgs.gov/luhna/chap5.html> 中 1792~1992 年间 200 年的资料, 比较全面地研究了华盛顿—巴尔的摩大都市区孪生城市^[2]的融合过程, 并以此为基础进一步指导本区的全面生态规划与建设。研究表明, 本区双核廊道结构^[3]的快速增长是最明显的事实, 尽管有关决策部门已经加大生态景观的保护力度, 但是研究区城市化带来的自然生态系统的分割、森林植被景观大面积破碎化以及河流水体的污染等等都是不容忽视的问题, 他们把研究结果公布在网站 <http://www.umbc.edu/bwrdc> 上, 以便与有关各方通力合作, 推动大都市区的精明增长 (Smart Growth) 计划。

收稿日期: 2004-06-01; 修订日期: 2004-12-18

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40435013); 国家自然科学基金项目 (40171029; 40471058); 南京大学科研基金资助 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40435013; No.40171029; No.40471058; Research Fund from Nanjing University]

作者简介: 宗跃光 (1952-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事城市地理、城市景观生态规划及房地产估价与市场分析。
E-mail: zongyg@126.com

2 城市空间有机增长过程

城市空间增长过程不是单纯物理过程，而是一种非线性的有机增长过程。有机增长的思想可以追溯到马尔萨斯 (1798) 的“人口论”^[4]和达尔文 (1858) 的“自然选择论”^[5]，而量化描述有机增长的一个重要数学模型是 Logistic 模型，是由比利时数学家 Pierre Verhuslt 于 1838 年提出的，他认为在有限资源条件下，种群增长的速率是有极限的，其增长速率与种群密度成反比^[6]。1925~1926 年 Lotka 和 Volterra 分别采用 Logistic 模型描述 2 个种群 i, j 之间对空间和资源的竞争过程，后人称为 Lotka-Volterra 竞争模型^[7, 8]。1973 年 R.May 以 Logistic 模型为基础，构建生态位竞争模型，称为 May 模型^[9]。Dendrinos 于 1984 年首先把 May 的生态学模型应用于城市宏观动力学，分析 1890~1980 年美国城市化区的动力学过程，并且发现城市空间规模达到稳定态过程存在着多次扰动^[10]；Dendrinos 和 Sonis (1988) 构造区域人口动力学模型来研究区域人口的扩散过程，通过城市生长点的发展过程，揭示双周期循环 (two-period cycle) 和局部扰动过程；Nijkamp 和 Reggiani (1992) 采用 Lorenz 非线性模型、logistic 模型和 R.May 的生态位模型，描述城市在特定时期的生命周期、时滞现象、空间相互作用以及空间选择；Dendrinos (1989, 1990) 改造 Volterra-Lotka 的空间种群竞争模型为空间相互作用模型，研究区域交通体系的相互作用过程，揭示空间扩散的平衡条件是吸引因子和双周期循环都达到平衡态^[10-13]，此外空间系统的非线性微分方程、多主体模型、复杂适应系统理论等，也成为城市与区域研究的热点和前沿^[14]。在区域自然格局研究方面，Forman 教授首先于 1997 年对自然景观格局的不可替代型、边缘格局型以及战略点进行分析，提出随机模式下的自然景观“Z”形衰减规律，开始认识到通过景观过程把自然和人工空间过程整合到一起^[15]。在城市景观与自然景观相互作用过程中，黄金川和方创琳 (2003) 推导出城市化与生态环境交互耦合的数理解函数和几何曲线，具有十分重要的现实意义^[16]。上述工作为我们进一步引入空间增长模型打下良好的技术基础。

3 案例研究

3.1 研究背景

美国华盛顿—巴尔的摩地区的城市化过程具有 200 多年的发展史，20 世纪末期两个大都市明显粘合到一起，形成典型联合大都市区。从三个时期的城市化空间扩展影像中可以看出 (图 1)，1792 年到 1892 年的 100 年中，本区城市化的空间扩展是十分有限的，大规模的城市空间扩展主要发生在 20 世纪。从本区农业化和城市化的发展过程中可以看到 (表 1)，本区传统农业景观被城郊化景观大规模取代过程始于 20 世纪 60 年代以后。根据前人的研究工作，本区的城市化过程具有以下特点：① 原始自然景观首先被农业景观所取代；② 人口增长是大都市空间快速扩张的原动力 (图 2)；③ 伴随人口增长城市景观迅速取代农业景观；④ 城市景观的过渡膨胀引起一系列区域环境问题。

3.2 研究方法与模型

3.2.1 基础资料的收集与数据处理 通过上述网站、统计资料和作者 1998 年和 2003 年

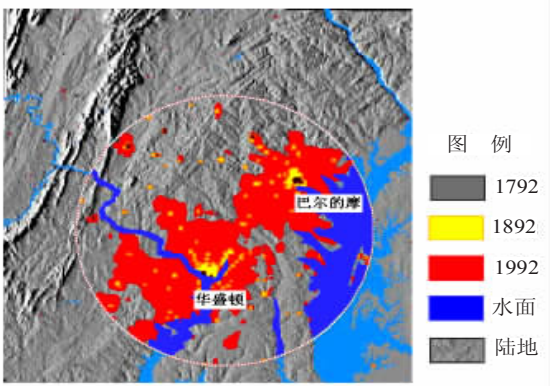


图 1 1792~1992 年美国华盛顿—巴尔的摩地区的城市化过程

Fig. 1 The regional growth of urbanization in the Baltimore-Washington region (1792~1992)

表 1 研究地区农业和城市化发展的历史过程 *

Tab. 1 Historical development of agriculture and urbanization in the study area

年代	历史事件
1492	哥伦布将烟草从南美引入到欧洲
1570	维吉尼亚地区开始种植烟草
1609	水路成为运送农产品的主要交通通道
1610	与英国的烟草产品贸易额超过 6 万英镑
1617	烟草生产开始使用耕牛得以迅速发展,
1630-1670	欧洲移民成为本区人口的主要部分
1635	烟草成为马里兰州的主要农作物
1649	维吉尼亚省有 150 个农业种植区
1680	人口出生率大于死亡率使人口自然增长加快
1750	维吉尼亚州和马里兰州的人口超过 25 万人
1765	农业生产中开始使用化肥, 耕地扩大, 森林面积减少, 水土流失加大
1785	过渡开垦造成大面积的废弃耕地和荒地
1793	巴尔的摩成为面粉加工中心, 养殖业迅速发展
1800	维吉尼亚城的人口达到 5737, 是仅次于巴尔的摩第二大城市
	农业生产开始由烟草转向小麦, 大型农庄分解为更加高效生产的小农场
1820-1830	工业化促进面粉以及棉花加工业的发展, 并且促进地方铁路的发展
1822	73%的家庭具有耕地, 棉花加工业进一步发展
1825	B&O 铁路延伸到 Savage
1828-1852	巴尔的摩与俄亥俄州的铁路开始运送谷物等农产品
1832	巴尔的摩周边 20 英里范围内建立了 60 座面粉加工厂, 成为美国第二面粉加工和贸易中心
1850	巴尔的摩港的货船达到 1440 艘以上; Chesapeake-Ohio 运河经历 20 年的修建开通了, 但是很快被发达的铁路网所取代
1850-1900	铁路网四通八达, 农业生产引起的环境退化以及森林砍伐日益严重
1900-1950	原始自然景观遭到破坏, 次生林成为主要森林景观, 农业景观、加工业和轻工业景观成为主要的区域景观
1929	巴尔的摩市场的烟草交易额达到 38, 394 桶
1930-1954	本区的烟草生产增加 60%
1954	马里兰州农作物耕地达到 370, 000 英亩, 其中 45, 000 用于种植烟草
1960-1990	Howard 和 Montgomery 县的农业景观开始被城郊化景观所取代
1985	城市人口快速增长, 引发大都市区空间的快速扩展。由于农业生产中大面积使用化肥, Chesapeake 海湾开始富营养化
1990	城市人口继续增长, 但是增长速度有所缓和, 大都市区域的生态环境问题开始引起普遍的关注

*资料来源: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, URL: <http://edc2.usgs.gov/urban/cbay/ag/aghist.asp>

的两次实地考察, 获得必要的定性和定量数据。从中选择 1792~1992 年间每隔 10 年的影像资

表 2 部分时期城市化和非城市化区的面积比例

Tab. 2 Partial phases in the percentages of urbanized and un-urbanized areas

年代	1792	1822	1852	1872	1892	1922	1942	1962	1972	1982	1992
城市化区 (%)	0.56	0.87	1.35	3.06	7.24	7.55	14.42	24.91	35.66	44.92	73.45
非城市化区 (%)	99.44	99.13	98.65	96.94	92.76	92.45	85.58	75.09	64.34	55.08	26.55

料, 利用地理信息系统 MapInfo6.0 软件进行数字化, 共得到 21 期数字化地图。以美国华盛顿—巴尔的摩之间 95 号高速公路为中点, 半径 75 km 内的 1760 km² 的范围进行计算 (图 1 的圆形范围), 采用 MapInfo6.0 的面积求和功能得到每一时期城市化和非城市化的面积比例 (表 2), 从中可以看出城市化区增加和非城市化区减少的总趋势。

本区城市化的空间过程是一种典型的“点—线—网—面”的增长过程, 1792~1892 年城市增长主要特征是点状增长为主, 1792 年由于水路交通的发展, 在目前巴尔的摩和华盛顿旧城区, 以及 Cockeysville、Frederic 等地区形成几个城市增长点; 1892 年以后由于铁路和公路网络的发展, 城市化的空间增长呈现点与线状同步增长的趋势, 点状城市沿着轴线呈现串珠状发展的特点, 例如在华盛顿地区, 以旧城区为中心, 形成向 Annapolis、Rockville、Laurel、Manssas 等方向的 5 条发展轴线, 巴尔的摩地区形成旧城区与

Cockeysville 的发展轴线等等；1992 年形成典型的网状增长结构，95 号高速公路与 1 号、295 号以及 29 号公路将两大区的市中心紧密在一起，同时分别与 695 和 495 号公路在巴尔的摩和华盛顿地区形成各自的环线，形成哑铃型的空间网络体系 (图 3)。这种网络体系导致城市化区呈现哑铃状的双核廊道面状增长过程。

3.2.2 模型的选择 为了进一步分析城市化地区和非城市化地区相互作用变化的总趋势，本文采用 Logistic 模型进行模拟分析：

$$r = r_0 \left(1 - \frac{N}{K} \right) \tag{1}$$

式中： r 为增长率， r_0 为初始增长率， N 为种群密度， K 为最大环境容量下的种群密度。显然，当种群密度 N 较小时会保持较高的增长率 r ，当种群密度接近 K 值时，种群的实际增长率会趋近于 0。对于每一时间间隔的种群密度，可用下式表示：

$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i = r_{i0} N_i \left(\frac{K_i - N_i}{K_i} \right) \tag{2}$$

式中： r_i 为 i 种的内禀增长率； K_i 为环境容量； N_i 为种群密度。如果在一个区域内生存着 2 个种群，他们必然对有限的资源进行竞争，即 Lotka-Volterra 竞争模型式：

$$\frac{dN_i}{dt} = r_i N_i \left[\frac{K_i - N_i - \sum_{j=1}^n d_{ij} N_j}{K_i} \right] \tag{3}$$

式中： r_i 为 i 种的内禀增长率； K_i 为环境容量； N_i 为 i 种群密度； d_{ij} 为竞争系数。式 (3) 与式 (2) 的最大区别是增加了一个竞争项，从而使 i 种群的最大增长容量受到直接限制。

3.2.3 模拟分析与预测 美国华盛顿—巴尔的摩地区的城市化增长过程可以看作城市化区和非城市化区对有限空间资源的竞争过程。本文首先采用模型 (2) 对城市化地区发展过程的 21 个时间序列样本资料进行模拟，得到城市化区面积环比变化曲线和面积变化比率曲线，可以看到城市化区增长过程的周期性和波动性。为了更加细致的研究这种周期性规律，通过对数变换得到城市化区面积比例及其系数变化对数曲线 (图 4)，从中发现以下规律：① 本区 200 年的城市化过程具有明显的 30~40 年周期现象，介于 10 年左右的经济周期—“朱格拉周期”和长达 50 年左右的长波—“康德拉季耶夫周期”之间；② 图 4 的对数曲线表现为 3 个大周期和 6 个半周期：1792~1852 低速发展周期，包括 1792~1822 年的城市发展减速期和 1832~1852 年的升降波动发展期；1852~1932 的城市高—低速发展周期，包括 1862~1892 年的高速脉动发展期和 1902~1922 年的低速发展期；1932~1992 年的高速波动发展周期，包括 1932~1962 年的高速发展期和 1972~1992 年的脉动发展期；③ 城市化区的面积增长速度和增长速率具有相互作用的同步增长过程，但是超高速增长发生在 1982~1992 年之间，城市化面积增长率在这 10 年中达到 28.52%，使本区城市化累计总面积达到 73.45%。这种异速增长过程预示本区的城市化进入一个新的发展周期。在这一阶

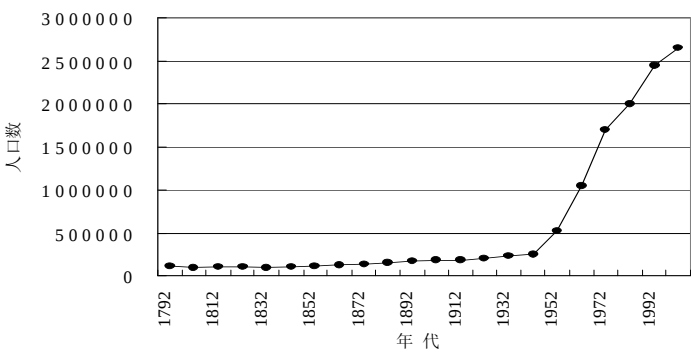


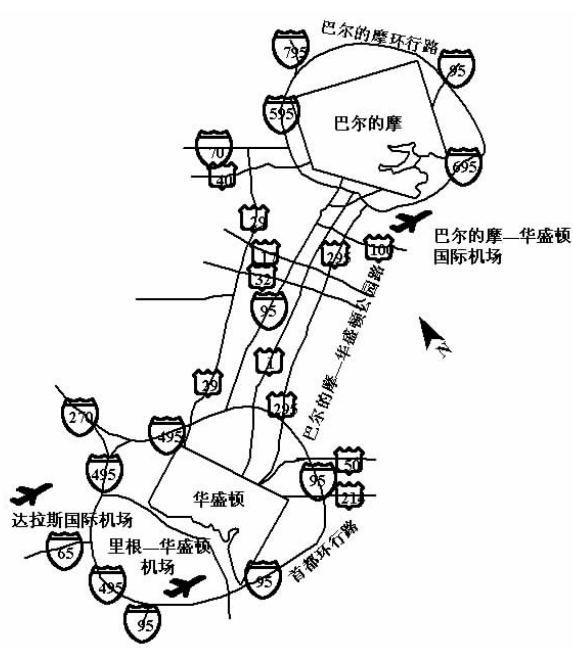
图 2 1792~1992 年 Patuxent River Watershed 地区人口增长过程
Fig. 2 Population growth of the study area in the Patuxent River Watershed between 1792 and 1992

(资料来源如下：①1790~1960 <http://icg.fas.harvard.edu/~census>;
②1979~1990 www.census.gov/population/cencounts/md190090.txt;
③1991~1994 www.census.gov/population/estimates/county/coast94.txt;
④1997 estimates www.census.gov/population/estimates/county/co-97-4/97C4_00.txt)

段，由于空间资源的限制加剧，城市化面积增长速度呈现上升趋势，但是城市化面积增长速率明显下降；④ 如果对应于人口增长数量的变化 (图 2)，可以看到 1972 年本区出现最大的人口净增长，以后则逐步下降并导致城市化区面积增长速率的下降。

为了深入分析这种周期性增长过程的发展趋势，本文进一步采用模型 II 进行模拟，得到本区无竞争条件限制的城市化区增长趋势，形成一条典型的 Logistic 增长过程曲线，同时非城市化区表现为典型的 Logistic 衰减过程曲线 (图 5)。无竞争增长的最后结果是城市化区的增长 2012 年达到极限，只有依靠开辟新的空间资源来满足进一步增长的需要。

通过作者的实际调查，研究区的生态环境并没有出现某些发展中国家的大都市区存在的严重环境问题，主要原因是 20 世纪 90 年代以来本区实施的大都市区精明增长规划，沿着主要的河流、水域、山脉和交通廊道等，保护和建设大面积的城市森林与湿地，有些地区的城市森林覆盖率达到 50% 甚至 75% 以上，同时尽可能地保护传统农业区，防止城市化区百分之百的人工建筑化。本文采用模型 (3) 对这一过程进行模拟，图 5 表示加入固定竞争系数 0.1 和 0.2 之后的模拟曲线 (竞争系数的选择见附录)，表明本区在增加非城市化区的竞争项后，即保持大面积的城市森林和农田，同样可以实现合理的 Logistic 增长过程。



间，这种异速增长过程预示本区的城市化进入一个新的发展周期。进一步的模拟表明 2002 年以后，由于研究区的空间资源基本耗竭，城市化区的增长进入衰退阶段，无竞争增长的最后结果是城市化区的增长达到极限，只有依靠开辟新的空间资源来满足进一步的生长。在有限环境容量下，无竞争限制条件下的城市化

区空间扩展将会产生极大的增长阻力，美国华盛顿—巴尔的摩地区采用大面积发展城市森林的手段有效缓解城市空间扩展与环境恶化的矛盾，值得我国在未来大都市区可持续发展规划中加以借鉴。本文采用竞争系数 0.1 和 0.2 条件下的空间增长模型对这一过程进行模拟，结果表明在大都市区保持大面积的城市森林和农田，同样可以实现合理的 Logistic 增长过程。需要指出，由于资料和篇幅的限制，本研究没有对动力机制和竞争系数深入研究，这一系数也有可能是随时间和条件变动的函数项，有待在今后的工作中继续探讨。

致谢：感谢美国马萨诸塞州立大学及其网站 <http://www.umbc.edu/bwrdc> 提供的资料。

参考文献 (References)

[1] Lu Dadao. An analysis of spatial structure and optimal regional development. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(2): 127-135. [陆大道. 论区域的最佳结构与最佳发展. *地理学报*, 2001, 56(2): 127-135.]

[2] Allen P M. *Cities and Regions as Self-organizing Systems Models of Complexity*. Gordon and Breach Science Publishers, 1997.

[3] Lu Yuqi, Yu Yongjun. The mathematical derivation of the model of regional dual-nuclei structure. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(3): 406-414. [陆玉麒, 俞勇军. 区域双核结构模式的数学推导. *地理学报*, 2003, 58(3): 406-414.]

[4] Malthus T R. *An essay on the principle of population as it affects the future improvement of society with remarks on the speculations of Mr Soodwin, M Condorcet and other writers*. London: Johnson, 1798.

[5] Darwin C, A R Wallace. On the tendency of species to form varieties and on the perpetuation of varieties and species by means of natural selection. *Journal of the Linnacan Society Zoology*, 1858, 3: 45.

[6] Verhulst P F. Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondence Mathématique et Physique*, 1838, 10: 113-121.

[7] Volterra V. *Lecons sur la theorie mathématique de la lutte pour la vie*. Paris: Gauthier-Villars, 1931.

[8] Lotka, A. The growth of mixed populations: two species competing for a common food supply. In: F Escud, J Ziegler (eds.), *The Golden Age of Theoretical Ecology*. Berlin: Springer-Verlag, 1932.

[9] May R M. *Stability and Complexity in Model Ecosystems*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1973.

[10] Dendrinis D S, 1984. Turbulence and fundamental urban/regional dynamics. Paper Presented at the American Association of Geographers, Washington, D.C.

[11] Nijkamp P, Reggiani A. Dynamic spatial interaction models: new directions. *Environment and Planning*, 1988, 20(A): 1449-1460.

[12] Dendrinis D S. Volterra-Lotka ecological dynamics, gravitational interaction and turbulent transportation: an integration. *Sistemi Urbani*, 1989, 11: 203-216.

[13] Nijkamp P, Reggiani A. Non-linear evolution of dynamic spatial systems: the relevance of chaos and ecologically-based

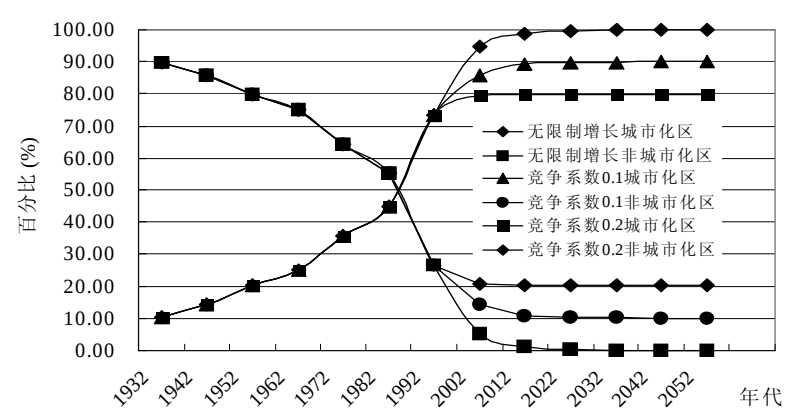


图 5 1932—2052 年华盛顿—巴尔的摩地区加入竞争系数后的城市化区模拟
Fig. 5 Simulation curves of urbanized areas in the logistic model by adding competitive indices

models. *Regional Science and Urban Economics*, 1995, 25: 183-210.

- [14] Xue Ling, Yang Kaizhong. Complex theory and study on regional simulation of spatial evolution. *Geographical Research*, 2002, 21(1): 79-88. [薛领, 杨开忠. 复杂性科学理论与区域空间演化模拟研究. *地理研究*, 2002, 21(1): 79-88.]
- [15] Forman R T T, Collinge S K. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. *Landscape and Urban Planning*, 1997, 37: 129-135.
- [16] Huang Jinchuan, Fang Chuanglin. Analysis on urbanization and ecological environment coupling with their mechanism and rules. *Geographical Research*, 2003, 22(2): 211-221. [黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. *地理研究*, 2003, 22(2): 211-221.]

Periodicity Scenarios in Metropolitan Region: A Case of the Baltimore–Washington Region in the USA

ZONG Yueguang

(*Department of Urban and Resources Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China*)

Abstract: Urbanization is now recognized as a ubiquitous phenomenon of global importance. Traditional studies of urban and regional spatial sprawls usually pay much more attention to the sprawl processes of urban land use and seldom take account of natural landscape fragments and deforestation in general. This study tries to synthesize these two spatial processes by employing logistic competitive model in a case study. The sprawl process in the metropolitan area of the Baltimore-Washington is a typical organic growing process among corridors. By the 1790s, the major growths of urban area were around several growth poles. By the 1890s, the urban growths had begun along several corridors between Washington and Baltimore. By the 1990s, the urban growth was along both the growth poles and corridors so called network growth. It totally connected major corridors between Washington and Baltimore in 1992. This process can be described as "point-line-net-surface growth". What is interesting about this analysis is that the metropolitan growth seems to have a 30-40 year cycle by using logistic modeling simulation and circling the spatial area in particular. The period cycles included the low-speed developing cycle between 1792 and 1852, from the high-speed to low-speed developing cycle between 1852 and 1932, and the high-speed with turbulences developing cycle between 1932 and 1992. However, the expansion of urban growth has suffered from increased environmental pressure because of limited environmental capacities. They expand over agriculture, wetlands, wildlands, and forests, thereby changing the physical shape of the landscape as well as the functioning state of the landscape ecosystem. To solve these problems, "Smart Growth" initiatives have been promoted since the 1990s by increasing urban forest areas and constructing rural ecosystems in the Baltimore-Washington metropolitan region. We use the logistic model by adding competitive indices to simulate this process. Therefore, from the historical experiences of the metropolitan growth, the "Smart Growth" of metropolises must be favorable for the sustainable development of China metropolitan planning.

Key words: metropolitan area; urbanization; competitive model; USA