

# 中国大都市多中心空间演化过程的非均衡动态模拟

薛 领<sup>1</sup>, 翁 谨<sup>2</sup>

(1. 北京大学政府管理学院, 北京 100871; 2. 复旦大学旅游系, 上海 200433)

**摘要:** 构建了一个基于垄断竞争、规模经济、空间成本、消费者多样化偏好以及商品和服务差异化的大都市多中心空间结构模型, 并整合基于 agent 的建模, 借助非均衡(out-of-equilibrium)动态模拟, 探讨了人口规模和消费需求、区域间和区域内商业产品及服务的替代弹性、固定成本投入、区位和交通条件等因素的“持续”变化对的大都市空间结构演化的影响过程。模拟表明: 以商业为代表的经济活动往往集聚在具有区位优势、规模经济和消费能力的大都市传统中心, 而交通条件的持续改善、新兴郊区次中心与传统城市中心之间以及城区内部商业产品和服务的不断差异化对大都市的多中心空间结构有重要影响, 但影响的程度不同。更重要的是, 大都市的人口规模和消费能力对新兴郊区次中心的形成作用显著。

**关键词:** 大都市; 多中心空间结构; 新经济地理学; 基于 agent 的建模; 非均衡动态模拟

## 1 引言

近年来,随着快速城市化,中国大城市空间结构发生了很大变化,北京、上海以及广州等城市为了舒缓中心城区的发展压力,实现人口与产业的协同转移,纷纷出台了新的城市发展规划。一方面,随着城市增长,人口和就业不断向郊区转移。另一方面,随着郊区工业园区和开发区建设,大城市郊区往往形成多个经济集聚中心,即郊区出现新的集聚中心,又称郊区次中心(suburban subcenters),城市空间结构开始表现出多中心结构特征<sup>[1]</sup>。因此,经济活动(就业、商业活动等)的分散化,以及郊区就业次中心的出现,往往被认为是大都市多中心空间结构的重要特征。城市经济理论显示,在考虑经济活动内生性集聚的情况下,城市空间组织可以呈现单中心、多中心或一般分散化(即无中心)的多重均衡结构<sup>[2]</sup>。

城市空间结构的实证研究一直是地理学和城市规划研究的重点。人们最早应用人口普查数据测度单中心城市人口密度,并从人口分布的视角分析中国大城市郊区化的演进<sup>[3-6]</sup>。21世纪以来,一些学者更加注重城市郊区化过程中的空间重构,并试图通过多中心人口密度函数探究城市的空间结构特征<sup>[7,8]</sup>。一直以来,由于就业数据的匮乏,中国对城市就业空间分布的特征和演化的研究相对较少<sup>[9]</sup>。近年来,随着国家的重视,有关产业、企业与就业的普查数据变得相对丰富,因此通过识别城市就业空间分布来研究多中心城市空间结构成为了国内城市空间结构研究的一个重要方向<sup>[10-12]</sup>。应该说,实证研究也给出了现代大都市中就业次中心普遍存在的证据,并广泛探讨了现代大都市多中心空间结构特征、未来发展趋势,以及对城市发展的影响和政策含义等<sup>[13-16]</sup>。然而,目前的研究往往注重多中心空间结构特征的

收稿日期: 2012-06-23; 修订日期: 2012-09-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071077, 41171099)

作者简介: 薛领(1969-), 男, 辽宁兴城人, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要从事区域经济学、地理计算等研究。

E-mail: paulsnow@pku.edu.cn

测度和描述,缺少对郊区次中心形成机制和影响因素的理论探讨,尽管研究者开始逐渐运用空间经济学的理论和方法来探究城市商业区位及其变迁问题,但往往囿于定性的讨论,缺乏严谨性,更谈不上对动态过程的考究<sup>[17,18]</sup>。

虽然现代大都市普遍的分散化发展已得到认同,但城市的郊区化,尤其是经济活动的分散化,如何改变城市的空间结构仍处于争论之中<sup>[13]</sup>。本文在笔者前期研究成果的基础上<sup>[19,20]</sup>,探索新经济地理学的分析框架与基于 agent 建模(agent-based modeling)集成的非均衡(out-of-equilibrium)动态研究方法,设置不同情境,借助计算实验,通过观察大量具有微观自主性的企业、消费者的区位选择和相互作用来动态探求消费需求、交通成本、大都市城区间和城区内商品和服务的替代弹性、固定成本投入的持续变化对大都市多中心空间结构的影响过程和演化规律。

## 2 基于 agent 的模型与动态模拟平台构建

### 2.1 大都市多中心空间模型构建

本文将中国大都市分为传统城市中心与新兴郊区次中心,力图探讨新、老中心经济活动的动态相互作用及其微观机理。众所周知,商业与居住是城市的两个重要的功能,是形成城市空间结构的重要基础。本文主要讨论所谓广义的商业活动,包括城市居民购物、消费、餐饮和娱乐等多种功能,并非指日常用品消费类的社区、街区级商业。这类商业投资和经营活动的空间集聚能够体现大都市的多中心空间结构的变化过程。显然,以广义商业为代表的城市经济活动具有垄断竞争的市场特征,商业企业具有规模报酬递增的特性,都市居民具有多样化的消费偏好,因此对于商业经济活动及都市空间结构的机理探讨,20世纪90年代以后崛起的新经济地理学(NEG)无疑是最有利的分析工具<sup>[21-23]</sup>。大都市多中心商业空间结构示意参见图1,基于NEG的大都市多中心商业空间结构模型和推导过程参见笔者的前期研究<sup>[19,20]</sup>。

### 2.2 NEG 模型与 ABM 的整合

20个世纪末,基于 agent 的建模在社会科学研究中逐渐受到重视<sup>[24-26]</sup>。近年来,国外出现了ACE对传统理论进行验证的趋势<sup>[27,28]</sup>。实践说明,结合经济学展开理论探索能够在很大程度上避免规则制定的随意性。更重要的是,ACE最具有魅力的地方就是动态的非均衡研究,以期突破经济学静态、均衡的理论范式,探求动态演化、多重均衡以及预期等传统研究方法无法企及的经济现象和规律<sup>[29,30]</sup>。基于 agent 建模关注的是大量微观个体间的交互行为,是一种“自下而上”的建模策略。因此,可以根据中国大都市的传统老城市中心与新兴郊区



图1 大都市多中心空间结构模型示意图

Fig. 1 Spatial structure of multi-center during the formation of a metropolis

是一种“自下而上”的建模策略。因此,可以根据中国大都市的传统老城市中心与新兴郊区

次中心的不同情景设定一组参数集,比如人口分布以及消费水平、区域间替代弹性、区域内产品间替代弹性、城区间购物交通成本等等,借助计算实验,并根据这些参数的持续变化在人工可控制的条件下研究不同人口与产业政策对商业空间结构的动态影响。由于这些参数一直在持续变化,因此整个系统总是处于一个非均衡的环境中。不仅能够获悉不同条件下的系统状态,而且还能够揭示系统演化的一系列动态过程。

本文利用 Swarm 软件类库进行二次开发<sup>[31]</sup>。在 UrbanSwarm 中,居民 agent 分为两类,一类居住在传统老城市中心,另一类居住在新兴郊区次中心。这里根据我国的实际情况人为设定两者的规模和消费水平。表 1 是大都市两个地区居民 agent 的属性列表。表 1 至表 3 的备注部分说明了属性名称与上述数学模型变量的对应关系。在 UrbanSwarm 中, UrbanModel 是其中最重要的类之一,具有一些重要的属性和方法(表 2)。在模拟系统中,商家 agent 分为两类,一类位于传统老城市中心,另一类位于新兴郊区次中心,表 3 是两个区域商家 agent 的属性列表。新、老城区商家 agent 的商业行为相同(表 4)。

需要说明的是,由于商家 agent 可自由进入与退出大都市区的不同市场。如果有利可图,利润为正,系统就产生新的商家 agent 进入到传统老城市中心或者新兴郊区次中心,

表 1 居民 agent 的属性列表和主要行为函数

Tab. 1 Attribute list of resident agent and main behavior functions

属性名称	属性说明	备注	行为名称	行为说明
sigma	两个城区之间的替代弹性	$\sigma_{ab}$	-getDemandR1	传统老城市中心某商品的消费需求
sigmaR1	传统老城市中心商品替代弹性	$\sigma_a$	-getDemandR2	新城区某商品的消费需求
sigmaR2	新兴郊区次中心商品替代弹性	$\sigma_b$	-buyGoodsR1	购买传统老城市中心商家商品
tCostR	两个城区间购物交通成本	$t_{ab}$	-buyGoodsR2	购买新兴郊区次中心商家商品
tCostR1	传统老城市中心内部交通成本	$t_a$	-getIndexR1	获取传统老城市中心价格指数 $I_a$ 信息
tCostR2	新兴郊区次中心内部交通成本	$t_b$	-getIndexR2	获取新兴郊区次中心价格指数 $I_b$ 信息

表 2 UrbanModel 的属性列表和主要行为函数

Tab. 2 Attribute list of UrbanModel and main behavior functions

属性名称	属性说明	备注	行为名称	行为说明
numPopR1	传统老城市中心人口数量	$P_a$	-sectorEnterQuitR1	商家进出或退出传统老城市中心
numPopR2	新兴郊区次中心人口数量	$P_b$	-sectorEnterQuitR2	商家进出或退出新兴郊区次中心
numSectorR1	传统老城市中心商家数量	$n_a$	-getIndexR1	获取传统老城市中心价格指数 $I_a$ 信息
numSectorR2	新兴郊区次中心商家数量	$n_b$	-getIndexR2	获取新兴郊区次中心价格指数 $I_b$ 信息
budgetR1	传统老城市中心居民消费水平	$Y_a$	-getScaleRatioR1	获取传统老城市中心商家市场份额信息
budgetR2	新兴郊区次中心居民消费水平	$Y_b$	-getScaleRatioR2	获取新兴郊区次中心商家市场份额信息

表 3 商家 agent 的属性列表

Tab. 3 Attribute list of merchant agent

传统老城市中心的商家			新兴郊区次中心的商家		
属性名称	属性说明	备注	属性名称	属性说明	备注
fCost1	固定成本	$\alpha_a$	fCost2	固定成本	$\alpha_b$
mCost1	边际成本	$\beta_a$	mCost2	边际成本	$\beta_b$
sigmaR1	老城区商品替代弹性	$\sigma_a$	sigmaR2	新城区商品替代弹性	$\sigma_b$
priceR1	老城区商品价格	$p_{ai}$	priceR2	新城区商品价格	$p_{bi}$

否则就会有商家 agent 退出该市场。

2.3 初始参数设定

从当前中国大都市多中心的发展实际看,传统老城市中心集中了更多的城市居民,而新兴郊区次中心人口数量相对较少。与传统老城市中心相比,新兴郊区次中心的固定成本要高得多,比如在开发、投资和建设新的商业区域,改善道路交通状况以及相应的商业基础设施等方面要进行更大的投入,甚至要承担更大的营运用和营销费用。与此对应,传统老城市中心可充分享受到成熟市场的溢出效应,营销投入更低,固定成本投入更低。表5是根据我国的实际情况对大都市新老城区商业发展的情景设定。本文设定的参数和变量数值仅是对大都市商业与人口发展现实的一种结构和比例关系的体现,模拟结果的绝对大小并无太多实际意义。

设新老城区之间购物的交通成本  $t_{ab}$  为 2.5。由于新兴郊区次中心较老城市中心在发展程度、地区品牌、人文景观、建筑风格以及生态环境等方面有诸多不同,因此设区域间替代弹性  $\sigma_{ab}$  为 3.5。另外,这里设老城市中心的居民收入  $Y_a$  高于新兴郊区次中心域居民收入  $Y_b$ 。通过讨论商业的固定成本投入、交通成本、可以观察到不同情景下大都市多中心空间结构演化的动态过程。

3 不同情景的非均衡动态模拟

3.1 人口增长对多中心空间结构的影响

当前中国正处于城镇化的加速期,无论是传统老城市中心还是新兴郊区次中心的人口规模都在持续增加。北京、上海、广州等大都市区正在积极出台措施、采取对策,疏解城市中心的压力,引导和鼓励人口与产业发生协同转移。如果两区域人口规模同步增长,商业需求也同步增长,那么大都市的商业发展模拟结果如图2所示。图2表明,人口持续增长是大都市多中心空间结构变化的显著影响因素,无论是传统老城市中心还是新兴郊区次中心的商家数量都有大幅度的增长。更重要的是,新兴郊区次中心的销售规模(商家数量 $\times$ 单个商家的商品销售量)和市场份额变化较大。这说明,随着人口规模的增长,经济活动仍倾向于在特定区位上再度集中,形成新的城市集聚中心,从而使城市空间结构由单中心向多中心结构转变。尤其是高端服务职能的分散化,可能会在郊区形成和传统老城市中心一样具有高等级和复合城市职能,从而挑战传统城市中央商务区的地位,进而从根本

表 4 商家 agent 的主要行为函数

Tab. 4 Behavior function list of merchant agent

行为名称	行为说明
-setMyPrice	确定商品销售价格
-getDemandToMe	获取某居民 agent 对本商家商品的消费需求
-sellGoods	销售商品给居民 agent
-getMyProfit	获取销售利润
-getScale	获取市场规模信息

表 5 现实情形下大都市新、老两地区的参数和变量设定

Tab. 5 Settings of parameters and variables of the new and old regions in actual scenarios

传统老城市中心		新兴郊区次中心	
参数或变量名称	参数设置	参数或变量名称	参数设置
人口数量 $P_a$	200	人口数量 $P_b$	120
消费预算 $Y_a$	20	消费预算 $Y_b$	10
初始商家数量 $n_a$	50	初始商家数量 $n_b$	10
商家固定成本 $\alpha_a$	5.0	商家固定成本 $\alpha_b$	20.0
商家边际成本 $\beta_a$	1.1	商家边际成本 $\beta_b$	1.1
老城区内商品替代弹性 $\sigma_a$	4.5	新城区内商品替代弹性 $\sigma_b$	4.5
老城区内部购物交通 $t_a$	1.1	新城区内部购物交通 $t_b$	1.1



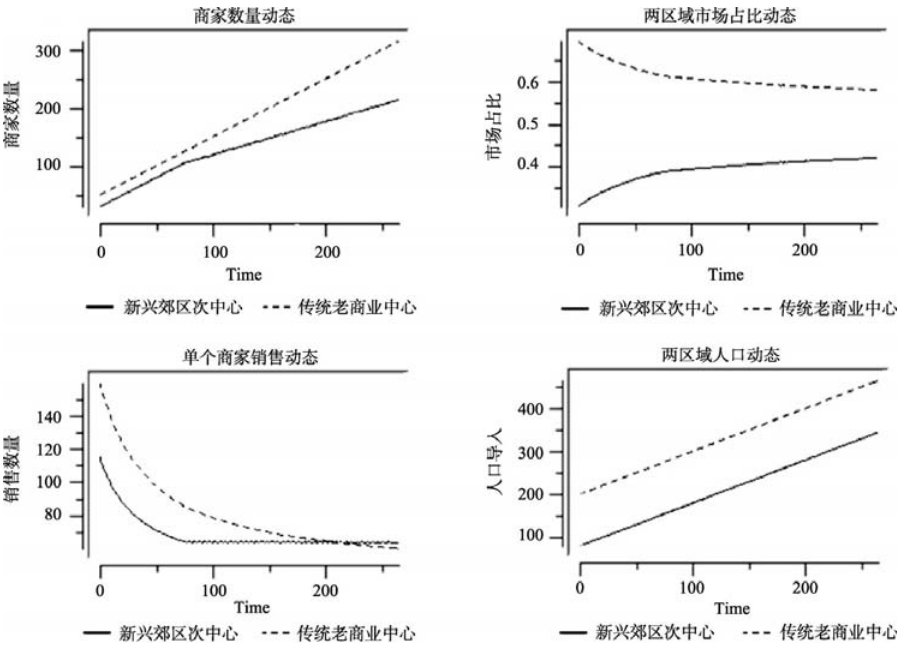


图2 人口同步增长对大都市多中心空间结构的动态影响

Fig. 2 Dynamic impact on the evolution of spatial structure of a metropolis in the scenario of synchronous growth of population between new and old zones

上改变城市空间结构特征。

3.2 居民消费水平持续提高对多中心空间结构的影响

近年来，城镇居民的收入水平在不断提高。从我国的实际情况看，郊区次中心的收入水平往往低于大都市的中心城区。如果在大都市新城计划的推进中，人口与产业不仅发生协同转移，而且新兴郊区次中心不断迁入更多的高收入者，该地区的消费能力持续提升，两区域的消费水平逐渐趋同，那么大都市的商业模拟结果如图3所示。图3表明，在其他条件不变的情形下，传统老城市中心和新兴郊区次中心消费水平的提高和趋同，扩大了两个地区的商家数量和销售规模。不过，新兴郊区次中心的市场占有率并没有显著变化。由此看来，尽管新兴郊区次中心的消费能力在不断提升，但由于两个区域在固定成本、人口规模等方面的显著差异，大都市商业的核心—边缘结构一时还难以改变，形成动态均衡的局面。这说明，营造一批别墅，仅有少量的高收入者迁入新区域，对郊区商业中心的形成作用不大。

3.3 固定成本持续降低对多中心空间结构的影响

商业基础设施的投入、商家的营销等均具有显著的规模经济特征，只有一定的消费规模才能支撑得起较大的固定成本投入。因此，商业的固定成本不仅涉及基础设施，而且还包括地区营销的成本是决定规模经济的重要基础。如果新兴郊区次中心与老商业中心在固定成本上的差距持续缩小，那么大都市商业空间结构演变的模拟结果如图4所示。图4表明，商业往往集聚在固定成本投入相对较少的城区。同时，新、老两城区人口规模、消费水平不同，导致销售规模呈现显著差异。随着新区开发的固定成本逐渐减少，进入该区域的商家的数量在不断增加，并且新兴郊区次中心与老商业中心的单个商家销售额也逐渐趋于相同。随之商业固定成本的进一步下降，新兴郊区次中心的市场份额有了一定提高。因

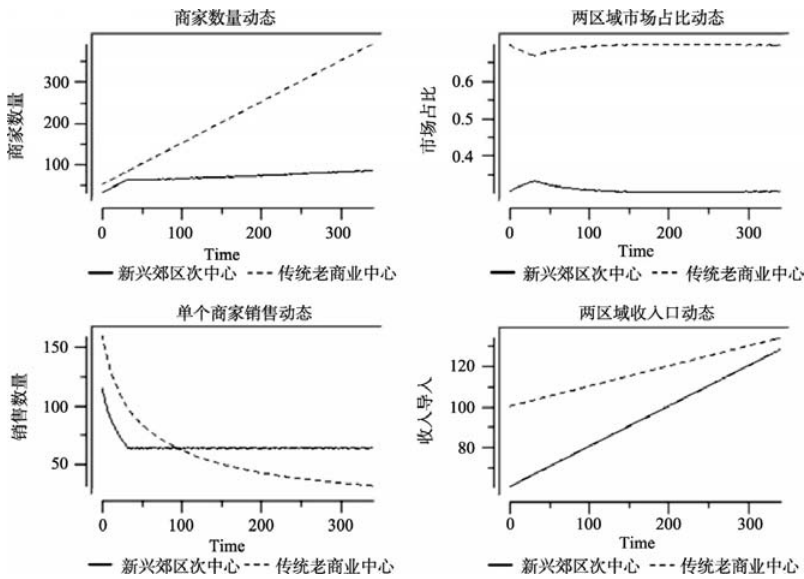


图3 消费水平持续提高对大都市多中心空间结构的动态影响

Fig. 3 Dynamic impact on the evolution of spatial structure of a metropolis in the scenario of continuous increase of income between new and old zones

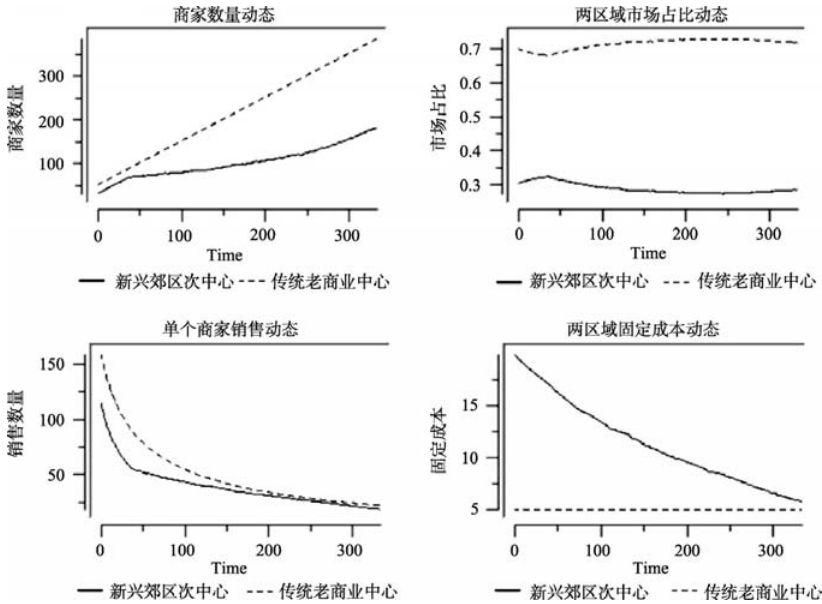


图4 商业固定成本持续降低对大都市多中心空间结构的动态影响

Fig. 4 Dynamic impact on the evolution of spatial structure of a metropolis in the scenario of continuous decline of fixed cost in new zone

此,商业基础设施的改善、商业营销能力的加强等等可以吸引更多的消费需求,从而形成一个正反馈效应,大都市的商业投资和经营活动则表现出向郊区次中心集聚的倾向。

3.4 区域间交通成本不断降低对多中心空间结构的影响

随着大都市的持续发展,传统老城市中心与新兴郊区次中心的交通通达性、便捷性将不断提高。以北京为例,随着海淀山后线、16号线、S1线、西郊线等8条地铁新线近期的

同时启动，在建地铁达到15条。公共交通将扩大边缘地区覆盖，加强与轨道交通的衔接配合，说明新兴郊区次中心与老商业中心之间交通的通达性和便利性将不断提高，交通成本将不断下降，那么大都市商业空间结构演变模拟结果如图5所示。

显然，由于传统老城市中心具有较大的人口规模、更高的消费水平和更低的商业固定成本，新老城区之间交通条件的不断改善将有利于老城市中心的销售规模扩张，市场份额的扩大，加速形成大都市商业的核心-边缘结构。由此可见，商业往往集聚在具有区位优势的地区。不断降低的交通和通讯成本改变了都市空间临近的重要性，因此大都市的分散化并不一定形成新的集聚中心，而有可能在城市区域内分散布局，形成所谓“一般分散化”(generalized dispersion)的城市空间结构，即一种不形成任何可识别的集聚中心的分散化发展的城市形态。

3.5 区域间持续差异化对多中心空间结构的影响

随着城市的建设和发展以及地方政府的努力，传统老城市中心与新兴郊区次中心的差异化程度在提高，比如新兴郊区次中心出现新的业态，主题商业、奥特莱斯(OUTLETS)、超大规模购物中心(SHOPPING MALL)、购物公园、专业市场等等，而且人文与自然环境、城区景观、商业文化等也在不断变化。如果新兴郊区次中心与老商业中心的差异化程度不断提高，两区域间的替代弹性 $\sigma_{ab}$ 持续下降，那么大都市商业空间结构演变的模拟结果如图6所示。

如果区域间的差异化程度增强，意味着区域间的替代弹性下降。两城区之间差异性的显著不同对于新兴郊区次中心的发展更为有利。如果新老城区之间差异化程度不大，则传统城市老中心因其即有的优势，比如较低的固定成本、区位等，能够继续强化其已有的核心—边缘结构中的核心地位。因此，对于新兴郊区次中心来说，实施差异化导向的商业策略和措施，持续推进地方和产业营销，积极推动业态创新、市场创新、服务创新，积极发

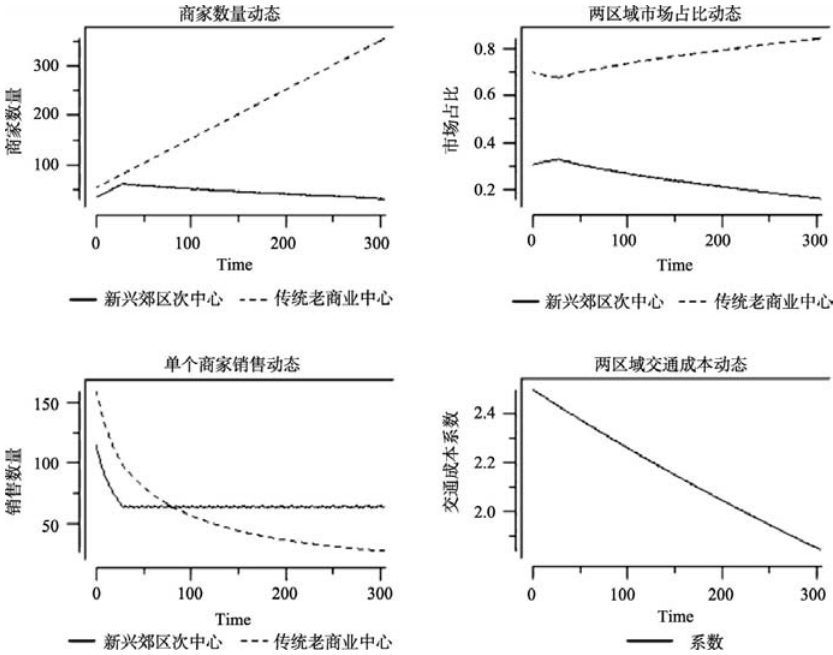


图5 区域间交通成本持续下降对大都市多中心空间结构的动态影响

Fig. 5 Dynamic impact on the evolution of spatial structure of a metropolis in the scenario of continuous decline of transport cost between new and old zones

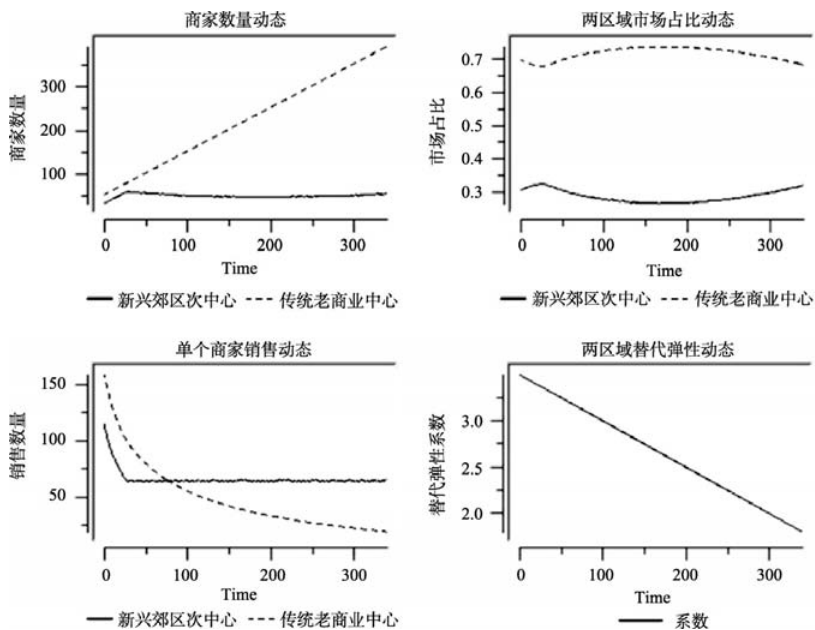


图6 区域间差异性的持续变化对大都市多中心空间结构的动态影响模拟

Fig. 6 Dynamic impact on the evolution of spatial structure of a metropolis in the scenario of continuous decline of substitution elasticity between new and old zones

展别具特色的商业文化和产品,是赢得商业竞争优势,打破地区核心—边缘结构的关键。

## 4 结论与讨论

伴随城市增长,人口、就业和商业的分散化是现代大都市发展的普遍特征。本文研究表明,人口空间分布和消费水平、商业的固定成本、新老城区之间的差异化程度、交通成本是形成大都市多中心空间结构的关键,其中需求规模的作用尤为显著,是形成新的城市集聚中心的重要力量。

由于篇幅所限,本文研究仅考虑商业投资和经营活动区位选择,居民的空间分布及动态变化外生给定,并没有考虑郊区次中心的商业集聚与大都市区人口分布和居住选择的影响和互动。从商业中心来看,可以分为传统的商业中心,位于建成区的次级商业中心、城市边缘或近郊的商业中心、城市远郊的商业中心等。这种不同类型的商业中心的形成与发展是下一步研究的重点。另外,新、老中心内部交通通达性及商品的替代弹性的动态变化对大都市多中心形成过程的影响也值得进一步探讨。最后,非均衡动态模拟结果的实证研究也将同时展开。

## 参考文献 (References)

- [1] Anas A R, Arnott R, Small K A. Urban spatial structure. *Journal of Economic Literature*, 1998, 36: 1426-1464.
- [2] Fujita M, Ogawa H. Multiple equilibria and structural transition of nonmonocentric urban configurations. *Regional Science and Urban Economics*, 1982, 12: 161-196.
- [3] Wang F, Zhou Y. Modeling urban population densities in Beijing 1982-90: Suburbanization and its causes. *Urban Studies*, 1999, 36(2): 271-288.



- [4] 冯健, 周一星. 近20年来北京都市区人口增长与分布. 地理学报, 2003, 58(6): 903-916.
- [5] 周春山, 罗彦, 陈素素. 近20年来广州市人口增长与分布的时空演化分析. 地理科学, 2004, 24(6): 641-647.
- [6] 高向东, 吴文钰. 20世纪90年代上海市人口分布变动及模拟. 地理学报, 2005, 60(4): 637-644.
- [7] 吴文钰, 马西亚. 多中心城市人口模型及模拟: 以上海为例. 现代城市研究, 2006, (12): 39-44.
- [8] Feng J, Wang F, Zhou Y. The spatial restructuring of population in metropolitan Beijing: Toward polycentricity in the post-reform era. *Urban Geography*, 2009, 30(7): 779-802.
- [9] 王桂新, 魏星. 上海从业劳动力空间分布变动分析. 地理学报, 2007, 62(2): 64-71.
- [10] 蒋丽, 吴缚龙. 广州市就业次中心和多中心城市研究. 城市规划学刊, 2009, (3): 75-81.
- [11] 王玮. 基于GIS支持的北京市就业空间结构研究. 北京: 中国地质大学硕士学位论文, 2009.
- [12] 谷一桢, 郑思齐, 曹洋. 北京市就业中心的识别: 实证方法及应用. 城市发展研究, 2009, 16(9): 118-124.
- [13] Lee B. "Edge" or "edgeless cities"? Urban spatial structure in US metropolitan areas, 1980 to 2000. *Journal of Regional Science*, 2007, 47(3): 479-515.
- [14] Shearmur R, Coffey W, Dube C et al. Intrametropolitan employment structure: Polycentricity, scatteration, dispersal and chaos in Toronto, Montreal and Vancouver, 1996-2001. *Urban Studies*, 2007, 44(9): 1713-1738.
- [15] Lang R E, Lefurgy J. Edgeless cities: Examining the noncentered metropolis. *Housing Policy Debate*, 2003, 14(3): 427-460.
- [16] 柴彦威, 翁桂兰, 沈洁, 等. 基于居民购物消费行为的上海城市商业空间结构. 地理研究, 2008, 27(4): 897-903.
- [17] 魏剑峰. 商业集群的聚集效应——基于消息学视角的分析. 当代经济科学, 2006, (6): 93-96.
- [18] 唐红涛. 城市商圈空间聚集的经济学分析. 兰州商学院学报, 2008, 24(4): 36-41.
- [19] 薛领, 翁瑾. 基于垄断竞争的大都市商业空间结构动态模拟. 地理学报, 2010, 65(8): 938-948.
- [20] 薛领, 翁瑾, 杨开忠, 等. 基于自主体(agent)的单中心城市化动态模拟. 地理研究, 2009, 28(4): 947-956.
- [21] Dixit A K, Stiglitz J E. Monopolistic competition and optimum product diversity. *American Economic Review*, 1977, 67(3): 297-308.
- [22] Krugman P. Scale economies, product differentiation, and the pattern of trade. *American Economic Review*, 1980, 70(5): 950-959.
- [23] Fujita M, Krugman P, Venables A J. *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*. Cambridge MA and London: MIT Press, 1999.
- [24] Tesfatsion L. Agent-based computational economics: Modeling economies as complex adaptive systems. *Information Sciences*, 2003, 149: 263-269.
- [25] 薛领, 杨开忠, 沈体雁. 基于主体的建模——地理计算的新发展. 地球科学进展, 2004, 19(2): 351-359.
- [26] Shimokawa T, Suzuki K, Misawa T. An agent-based approach to financial stylized facts. *Physica A*, 2007, 379: 207-225.
- [27] Krause T, Beck E V, Cherkaoui R et al. A comparison of Nash equilibria analysis and agent-base modeling for power markets. *Electrical Power and Energy Systems*, 2006, 28: 599-607.
- [28] Silveria J J, Espindola A L, Tenna T J P. Agent-based model to rural-urban migration analysis. *Physica A*, 2006, 364: 445-456.
- [29] Baumol W J. Out of equilibrium. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2000, 11: 227-233.
- [30] Tesfatsion L, Judd K. *Handbook of Computational Economics. II. Agent-based Computational Economics*. North-Holland, Amsterdam, 2006.
- [31] Minar N, Burkhart R, Langton C et al. *A Toolkit for Building Multi-agent Simulations*. SFI Working Paper, 1996.

## Non-equilibrium dynamic simulation of spatial evolution of the polycentric structure in metropolitan areas of China

XUE Ling<sup>1</sup>, WENG Jin<sup>2</sup>

(1. School of Government, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Tourism Department, Fudan University, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** Since the 1990s, cities in China have experienced a period of rapid growth in economy. In face of the increasing complexity of the urban sprawl, many big cities are planning to build new towns to avoid over-intensive population and infrastructure construction and to ease the pressure on urban centers. Some findings show that the rapid increase of the share of service industries in the local economy can raise the probability of the emergence of subcenters. This paper builds a mathematic model of spatial structure of metropolitan commerce based on the theory of New Economic Geography in old and new center scenarios. By using agent-based modeling and out-of-equilibrium simulation, the spatial structure of subcenters can be observed dynamically in different scenarios. Dynamic simulations show that: (1) Population growth in metropolitan area is conducive to subcenters which implies the commercial centers emerged in the suburban areas were mostly subjected to population pilot policy. (2) The continuous growth of demand scale and capacity depend on the formation of the polycentric structure in metropolitan areas. The capacity of consumptions has great impact on agglomeration of subcenters. (3) The greater the gap of commercial fixed input between the new and old centers is, the more imbalanced urban space distribution would be presented. It is more likely to form the core-periphery structure. If the fixed cost is reduced continuously in suburban areas, it is beneficial for the formation of subcenters and the core-periphery structure of metropolitan areas could be changed gradually. (4) Transportation is a double-edged sword. Commerce and business tend to gather in the place with location advantages, and continuous improvements in traffic condition between old and new centers in metropolitan areas will accelerate the spatial concentration in the old center. The probability of the emergence of subcenters decreases with the increase of the distance to the city center, which implies the subcenters emerged in the metropolitan areas were mostly close to the central area of the city and the decentralization of population in the metropolitan areas was still limited in spatial scale. (5) Due to love-of-varieties, the specialization and diversity make great contribution to the formation of subcenters in metropolitan areas by continuous innovation and difference-making competition strategy.

**Key words:** metropolis; polycentric structure; NEG; agent-based modeling; out-of-equilibrium simulation