

文章编号: 1009-6000(2016)11-0028-11

中图分类号: TU984 文献标识码: B

doi: 10.3969/j.issn.1009-6000.2016.11.004

**作者简介:** 马妍, 日本金泽大学博士, 副教授, 主要从事城市地理学、城市微观模拟、规划决策支持研究;

沈振江, 日本广岛大学博士, 日本金泽大学教授, 博士生导师, 长期致力于空间信息技术在城乡规划领域的应用研究;

王珺玥, 福州大学建筑学院, 硕士, 城乡规划方向。

## 多智能体模拟在规划师知识构建及空间规划决策支持中的应用 ——以日本地方城市老年人日护理中心空间战略规划为例

Application of Agent-based Simulation in the Process of Knowledge Formation of Planners and Spatial Planning Support and Decision: A Case Study of Spatial Strategic Planning of Daycare Center for the Elderly in Japanese Local Cities

马妍 沈振江 王珺玥

MA Yan SHEN Zhenjiang WANG Junyue

### 摘要:

面向城市问题的复杂性和动态性, 大量模拟仿真、定量分析等手段被广泛应用于城乡规划方案的预测与评价中, 而其相应的预测评价结果也往往被认为有助于规划方案的调整与决策。在此过程中, 仿真模型的构建逐渐从宏观向微观方向发展, 对研究对象的分析也逐渐体现出从群体性描述向个体行为特征、机理的刻画转变。但是这其中却鲜有学者探讨基于微观个体行为的仿真模拟究竟在规划方案的生成与决策过程中发挥怎样的作用, 对规划师的知识构建是否能够有效地达到规划决策支持的目的。本研究从这一科学问题出发, 基于一个面向养老日护理中心空间分布模拟的多智能体模型 (Agent-Based Model, ABM) 的构建与应用, 探讨多智能体模拟仿真在空间规划实践中的应用可能及其构建机制。研究表明, 多智能体模拟用于规划实践首先必须具有可信的、完整的数据支持; 要达到辅助规划师建立对规划问题的科学认识, 模型构建则应该在规划工作的最初开始介入, 并让规划师参与其中; 同时, 多智能体模型的构建必须基于面向规划问题的现实决策过程。总体而言, 多智能体模型可用于规划决策支持, 但是模拟结果却不能代替规划方案。

### 关键词:

多智能体模型; 规划支持系统; 日护理中心; 生命周期

**Abstract:** A Large amount of simulation and quantitative analysis have been applied in the prediction and estimation of urban planning in response to the complexity and dynamism of urban problems, and

the results of prediction and estimation are usually considered helpful for the adjustment and decision of planning. During this process, transformation in the design of simulation model is emerging, which are from macro to micro and from description of group to analysis of character and mechanism of individual behaviors. However, researches are rare on how the simulation based on individual behavior works during the process of generation and decision of planning proposal and whether it can effectively support the planning decision in the knowledge formation of planners. To explore above scientific question, this research is trying to study the application and design mechanism of agent-based simulation in spatial planning based on an agent-based model, which deal with the spatial distribution simulation of daycare center for the elderly. The research results indicate that reliable and complete data is of first importance to applying agent-based simulation in planning practice, and the model should be designed at the beginning of planning which should involve planners' work to assist planners to understand planning problems scientifically. Meanwhile, agent-based model must be aimed at the realistic decision process of planning problems. As a conclusion, it is possible to apply agent-based model to support the planning decision, but the planning proposal cannot be replaced by simulation results.

**Key words:** agent-based model; planning support system; daycare center; lifecycle

## 0 前言

近年来,在GIS的发展基础上,城市定量分析与模拟被广泛应用与城市管理,与空间规划决策支持工作中。这其中,如元胞自动机(Cellular Automata,CA),多智能体模拟(Multi-Agent Simulation, MAS)等新的预测分析方法不断涌现(Batty et al., 1997,1999; Wu, 1998; Li and Yeh, 2000;Barredo et al., 2003; Fang et al., 2005; Shen, 2009)。在这些方法之上,一个统一的、完整的信息系统应用框架——规划支持系统(PSS)的概念被提了出来(Klosterman, 1997; Richard et al., 2001; Shen, 2012)。虽然有许多学者对PSS做过描述,但是到目前为止,学术界仍没有一个对此概念公认的定义(Vonk et al., 2007)。

由于多智能体模拟在反映复杂系统中个人决策上被证明是非常有效的工具,而被广泛应用于城市规划的政策分析和决策支持中(Batty and Torrens, 2005; Filatova et al., 2008; Vanhaverbeke et al., 2011; Huang et al., 2011; MA et al., 2013)。然而,很少有研究探讨多智能体模拟究竟在空间规划相关政策的制定过程中发挥怎样的作用,规划师怎样理解和应用模拟结果。因此,本研究将依托日本金泽市的老年人日护理中心空间战略规划实践案例,通过构建和应用一个日护

理中心选址模型(DC Location模型)来探讨该模型在规划实践工作中的作用机制和应用可能,这也将成为本研究的一个创新点。该模型建立在人口演变、家庭生命周期变化、日护理中心空间选址的耦合作用机制基础上,旨在体现由政府智能体(government agent)、居民智能体(household agent)、日护理中心智能体(daycare center agent)、规划师智能体(planner agent)所构成的复杂系统中,不同智能体之间相互作用和不断的动态演变对未来研究区域日护理中心空间需求和选址的影响。作为本研究的一个创新点,我们通过DC location模型的构建和应用,向当地规划委员会阐述了多智能体模拟仿真在为规划师提供日护理中心发展信息中发挥的作用。对于规划师和政府决策者而言,理解规划问题所涉及的每一个相关关系主体(即模型中的多智能体)之间的相互作用是很重要的。我们认为,ABM模型将有助于规划者和管理者了解他们与老年人口以及设施业主之间的关系。因此,我们试图研究规划师和政府决策者是否能有效运用ABM模型来创建规划战略知识。

本文的组织如下:方法论部分介绍了研究的方法,模型设计和数据准备部分详细介绍了日护理中心空间选址模型(DC Location模型)。模型应用和规划知识构建部分,描述了该模型的初始条件,并应

用该模型对 2030 年案例区日护理中心空间分布进行了预测，基于预测结果探讨了规划委员会成员对模型应用的讨论。最后，在结论和展望部分，对研究结果进行了最后的总结。

### 1 方法论

#### 1.1 老年人日护理中心建设信息共享委员会的构建

本研究选择日本金泽市作为案例区域，面向老年人日护理中心空间战略规划开展相应的理论探讨。在 2010 年到 2012 年间，日本石川县政府开展了面向老年人的居住规划项目。金泽大学作为当地的国立大学，其城市规划系负责该项目的前期理论研究。为此金泽大学城市规划系组织成立了一个规划委员会，它的主要任务包括预测规划期限内的人口变化、日护理中心的空间分布等。该规划委员会由 4 名当地政府官员和 6 名金泽大学的规划专家及学生组成。该委员会的研究成果将成为当地政府制定规划方案的前提。我们的研究小组在规划委员会上建议构建一个基于 MAS 的日护理中心空间选址模型，用于预测和可视化 2030 年该地区日护理中心的潜在空间需求和分布。该提议是建立在专家理论研究经验和对政府统计文本等资料的判断基础上的，经规划委员会讨论，决定采用我们的提议并将这种模型构建与预测的研究

方法作为对传统战略规划制定的补充。

在规划委员会中，所有的成员进一步被划分为不同的工作小组，具体包括模拟小组、老年人研究组、日护理中心研究组和政府官员及规划师小组，不同的工作小组在规划进程中的作用不同。模拟小组负责进行模拟模型的构建，收集必要的研究信息以及编制必要的数据集，学生成员也将参加规划委员会的例行会议并协助模拟小组开展研究工作。老年人研究小组负责进行实地调研，收集社区老年人的日常生活信息及其收入、住房、健康状况、健康保险和交通工具使用等细节信息。日护理中心研究组负责通过现场调研和业主访谈来调查现有的公共服务机构，包括日护理中心的位置分布和经营状况。这 3 个工作小组的工作成果之后会通过 DC Location 模型相互关联，而政府与规划师小组则负责为这 3 个工作小组的工作提供官方数据和相关资料文本。图 1 中最下方，表达了金泽市的实际数据是怎样在规划委员会和模拟模型构建过程中发挥作用，并帮助规划师将他们对规划问题的认知与模拟模型联系起来。在第二层，老年人小组的四名成员负责提供与老年人设施使用行为相关的数据和文件，这一信息与日护理中心小组的工作紧密联系，从而支持模拟小组的模型开发。

上述内容仅仅是制定日护理中心战略规划方案的第一步。在城市仿真和政策模拟的研究中，往往要设定不同的政策情景 (He et al. 2013; Hosseinali et al. 2013; Le et al. 2010)，而不同的政策情景则主要通过抽象成不同的参数条件输入到模型中，研究人员可以检查参数的灵敏度来了解不同情景可能带来的规划效果和影响。由于本研究的主要目的是探讨 ABM 模型在规划实践中应用的可能，分析规划师及政府决策者是否可能利用模拟结果发展自己对规划问题的认知，并最终形成规划战略。因此，本研究主要通过规划委员会成员之间的合作，模拟规划目标年限日护理中心的可能空间需求和分布，并没有设定更多的政策情景。

规划委员会通过每周例会的形式，促进委员会成员分享研究成果和交流研究进展，在这个过程中一定程度上有助于委员会成员建立和扩展对规划问题的认知。在传统的规划实践中，对日护理中心的规划方案讨论仅建立在面向社区居民和老年人的现场调查基础上，本研究中此过程也会开展，相应的成果会被用来确定模拟模型的一些输入参数。但是本研究中规划委员会与传统规划委员会工作内容的本质区别在于，本研究建立在动态的预测分析基础上，结合实际调研成果确定模型参数，重点预测规划目标年限可能的设施空间需求

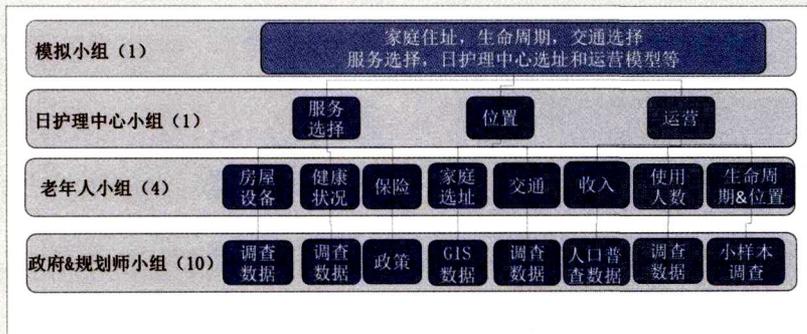


图1 老年人日护理中心规划委员会组织架构图

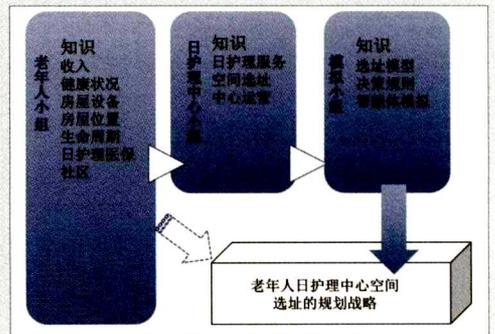


图2 规划委员会日护理中心空间战略规划与知识共享机制

和分布，并给规划师和政府工作人员提供了新的知识，这对不使用模型模拟的传统委员会来说是不可能的。如图2所示，不同的委员会研究小组之间体现为一种互相支持的工作模式，如老年人研究组为日护理中心研究组的工作提供关于日护理中心服务种类、设施未知、经营模式等信息；模拟小组则通过其他小组分享的信息设计DC Location模型。在这样一种协同参与式规划委员会架构下，我们相信，有关DC Location模型中人口演变、智能体相互作用机制等，都会在委员会工作过程中为规划师和政府官员了解模型发挥作用。在规划委员会上，不同小组之间还会开展讨论，这对规划师和政府官员参与讨论模拟模型构建和模拟结果，从而进一步完善自身对规划问题的认知和理解有所帮助。

### 1.2 利用ABM构建规划知识和制定战略规划

在规划实践中构建一个如上节所述的知识共享的协同参与式规划架构是一回事，切实的辅助规划师和政府决策者拓展对规划问题的认知又是另一回事。由于规划委员会成员之间不同的教育背景，经验和责

任，自然导致对相关规划问题的理解不同。加之一直以来，研究工作者的模型设计和应用往往以“黑箱”的模式展现在规划师和政府决策者面前，这使得规划师能否真的理解模型的含义或者相信和理解模拟的输出结果成为一个值得探讨的问题。因此，本研究认为，并非将规划政策可能的实施效果通过模拟预测在规划师和决策者面前进行可视化就等同于规划决策支持。最关键的问题是通过仿真模型的应用是否有效地辅助规划师和决策者拓展了针对规划问题的知识，建立了新的认知，并最终达到辅助规划战略形成的目的。本研究的关键点即在于改变以往模型和模拟在规划工作中表现出的“黑箱”状态，为达到这一目标，模型的构建与应用必须体现和符合实际的规划决策过程。因此，在模型的设计中体现实际的规划决策过程便成为关键。本研究的规划决策过程如图3所示，它涵盖了规划委员会全体成员的工作，并主要分为两部分，一部分是委员会成员之间的协同参与式决策过程，另一部分则是模型的模拟和可视化。

如图3所示，规划委员会首先要通过

与所有利益相关者协商后确定日护理中心战略规划的目标。该目标将被作为模拟模型参数设定参考。同时，规划委员会提供的相关数据和讨论决定的模型参数将被作为模拟的输入条件，通过后台模拟运算，预测结果最终在前台展示，即模拟输出。该输出结果主要包括研究区域人口演变情况、日护理中心的空间需求、空间分布，以及老年人对设施的使用情况等。在这一过程中，ABM扮演了一个开放的“箱子”，规划委员会的成员将他们对规划问题的既有知识、数据、信息和关注问题投入到该箱子中，通过与模拟团队的信息共享与合作(图2)，最终参与到模型的设计中。通过了解模型输入与输出之间的关系，规划师和决策者有机会建立新的知识，同时基于从ABM设计和应用中获取的知识，帮助其更好地完成规划战略(如图3中虚线所示)。

## 2 模型设计和数据集准备

### 2.1 智能体设计

正如前文中所述，模拟小组认为日护理中心选址模型应当是一个面向空间的多

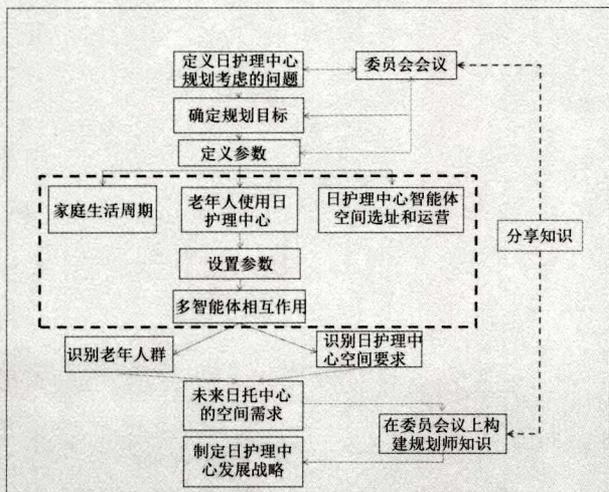


图3 老年人日护理中心空间战略规划决策流程

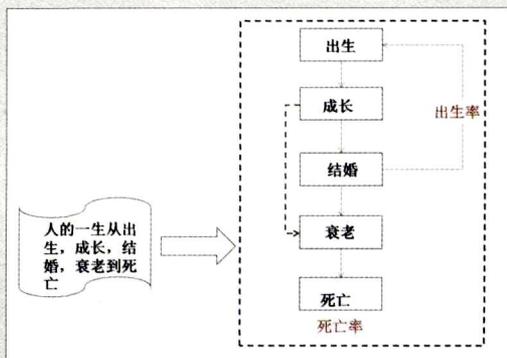


图4 家庭智能体生命周期

智能体模型，而日护理中心选址的模拟还应该体现智能体行为以及人口演变的动态过程。模型中的多智能体是日护理中心空间选址的活动主体而城市空间（即土地单元）则是这些智能体生存和进行不同活动的空间载体。本研究主要探讨四类智能体的空间活动及相互作用机制，即家庭（household）、日护理中心（DC Center）、规划者（planner）、政府决策者（governor）。每一类智能体都有不同的属性和行为特征，并在日护理中心空间选址的过程中产生相互作用（Agent Interaction）。其中，智能体活动的空间则依据日本区域规划划分为不同的圈层，即市中心（City Center Area, CCA）、城市化促进区域（Urbanization Promotion Area, UPAs）、城市化控制区域（Urbanization Control Area, UCAs）。

(1) 家庭智能体。

由于日护理中心的规划应该体现前瞻性，因此规划师应该了解空间上和时间内的人口老龄化进程，了解老年人伴随时间动态过程可能表现出的空间分布，以便合理布局日护理中心。家庭在本研究中被视为是 DC Location 模型中一个完整的模拟单元，它使该类型智能体的决策成为

一个整体。这个智能体被假设由一个或多人组成。家庭智能体具有年龄，婚姻状况，成员人数，储蓄，收入和健康状况等属性。在本研究的模拟中家庭智能体遵循生命周期的变化，即如图 4 所示的演变过程。我们把一个家庭的生命周期分为 5 个阶段，在第一阶段（婴儿阶段），一个人出生了。夫妇共同抚养这个孩子，这个孩子成长成为一个独立的家庭智能体。经过几年的独立，单身阶段，这个智能体结婚并进入第三阶段（婚姻阶段）。尽管有些人可能没有进入第三阶段，但如图 4 中的虚线所示，每个人都会进入到第四阶段（衰老阶段）。在这个阶段，老年家庭智能体的日护理服务需求就变得明显了。最后，在第五阶段（去世），年老的人们去世并且消失在模拟模型中。

(2) 规划师智能体。

DC Location 模型中的规划师智能体是根据规划师和政府官员的实际权责，依据规划决策流程加以抽象的结果，负责在模拟过程中根据老年人口、土地利用分区来控制未来日护理中心的总体需求和空间分布。

(3) 日护理中心智能体。

根据日护理中心小组的研究成果，日护理中心智能体设计具有诸如空间位置，服务类型，容纳老年人的能力，支出和收入等属性。日护理中心智能体对中心的空间位置选择、日常经营活动负责。模拟日护理中心的位置及其运行情况，是规划委员会进行日护理中心空间战略规划的一个重要依据。

(4) 政府智能体。

政府智能体不同于规划师智能体。在日本，老年人可以使用国民医疗保险来享受养老服务。然而，这并不表示老年人可以任意地使用养老服务，事实上每个老年人可以享受何种服务是由政府根据老年人的健康状况决定的。在模型中，“政府智能体”是指实施这些评估和为老年人颁发护理等级证书的主体。

2.2 智能体之间的相互作用

规划委员会讨论得到的有用信息将决定不同智能体的决策规则和相互作用。例如，对于日护理中心智能体，他们遵循规划师制定的空间规划进行中心空间位置选址。根据老年人小组对日本养老服务的行政管理政策梳理，使用日护理中心的老年人需要从当地政府申请一个护理等级证书。

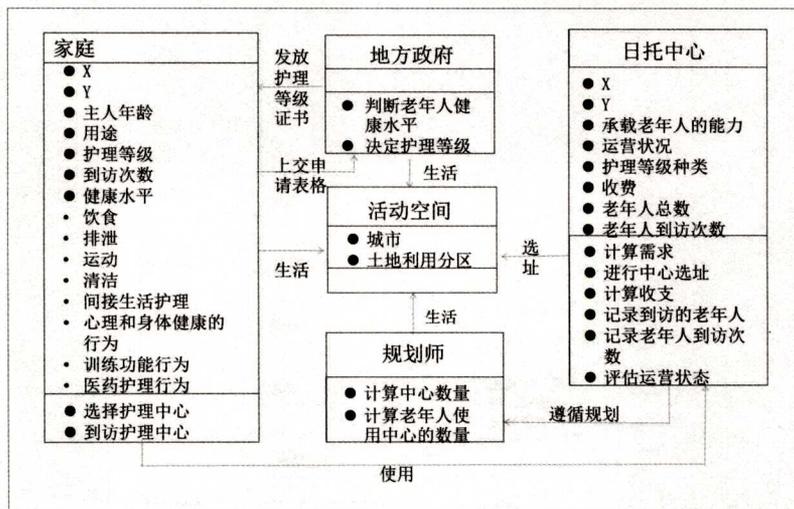


图5 DC Location模型中智能体之间相互作用

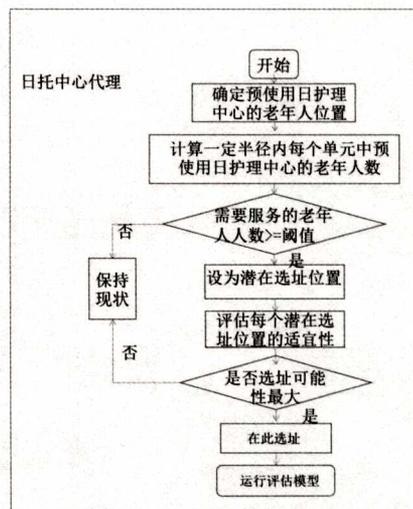


图6 日护理中心智能体空间选址决策树

申请之后,政府智能体根据8个方面的因素来评价老人的身体健康状态,诸如饮食、运动、如厕情况等,然后向老年人智能体发放这些证书。在获得护理等级证书之后,老年人根据自身偏好选择日护理中心获取需要的服务。最后,日护理中心智能体会保留老年人的出勤记录,计算收支,在年终评估中心继续运营的可能性。具体细节如图5所示。

### 2.2.1 日护理中心位置的选择

根据日本老年人日护理中心开设的相关法律规定,日护理中心智能体主要依据图6所示的决策树选择空间位置。一个日护理中心智能体首先评估每个空间单元中潜在的老年人服务需求,然后计算日护理中心在不同城市区域的需求潜力。这种需求评估主要依据在一定服务半径内,想要访问日护理中心的老年人的数量。之后日护理中心智能体对每个区域需求量设定阈值,通过比较不同区域的空间需求是否大于该阈值来确定候选空间位置。在每一个区域建立一个日护理中心需要最少15名老年人。具体每个空间单元的老年人日护理需求通过下述公式进行计算:

$$D_j = \sum_{i=1}^n a_i \times y_i \quad (1)$$

其中:  $y_i = 0$ , 如果  $d_{ij} > S_{max}$ ;  
 $y_i = 1$ , 如果  $d_{ij} < S_{max}$

$D_j$  表示空间单元  $j$  的老年人日护理中心需求,  $a_i$  表示可能访问空间单元  $i$  的老年人的数量,  $d_{ij}$  则表示空间单元  $i$  和  $j$  之间的距离,  $S_{max}$  则是日护理中心的最大服务半径。

在根据空间潜在需求确定了候选位置后,日护理中心智能体还将进一步评估候选空间单元的区位条件,如空间单元所属的土地利用分区、与医院的距离等。通过对上述区位条件的评估,计算每一个空间单元被选择建立日护理中心的可能性。在本文中,下述逻辑斯特回归方程被用来计算候选空间单元的选址适宜性:

$$S_0 = S_0 + \beta_1 \times f\_zone1 + \beta_2 \times f\_zone2 + \beta_3 \times f\_zone3 + \beta_4 \times f\_zone4 + \beta_5 \times f\_zone5 + \beta_6 \times f\_zone6 + \beta_7 \times f\_zone7 + \beta_8 \times f\_zone8 + \beta_9 \times f\_center + \beta_{10} \times f\_hospital \quad (2)$$

$$P_g^t = \frac{1}{1 + e^{[-S_0 - P_{gmax} + t]}} \quad (3)$$

$$P_f = e^{\alpha \times [-1 + (P_g^t / P_{gmax})]} \quad (4)$$

其中,  $S_{ij}^t$  表示空间单元  $(i, j)$  在时间  $t$  时被选为日护理中心的适宜性,  $S_0$

是在  $[-3, 3]$  之间的一个常数,  $P_g^t$  是在时间  $t$  的初始概率,  $P_{gmax}^t$  是在每一个模拟循环中  $P_g$  的最大值,  $\beta_1, \beta_2, \dots$  是逻辑斯蒂回归方程中的系数,  $f\_zone1, f\_zone2, \dots$  则是指空间单元  $(i, j)$  的空间属性,  $a$  是在  $(1, -10)$  区间的一个扩散系数,  $P_{av}$  是空间单元  $(i, j)$  和它周围四邻域空间单元的概率的平均值,  $P_f$  是最终的概率。最后,日护理中心智能体选择最大概率的空间单元作为日护理中心的选址位置。

### 2.2.2 老年人护理证书

当政府智能体向老年人发放日护理证书的时候,两者之间的相互作用便发生了。政府智能体根据老年人的健康水平评估他们需要的护理水平。模拟小组根据老年人小组的研究成果,设计了如图8所示的模拟流程,模拟政府向老年人发放护理证书的过程。首先,预使用日护理服务的老年人要向政府智能体递交他们的健康水平证明文件,之后政府智能体为每一名老年人智能体计算健康分数,通过将老年人选择的分数加和得到总分,并最终确定护理等级(表1)。

### 2.2.3 老年人智能体对日护理中心的使用选择

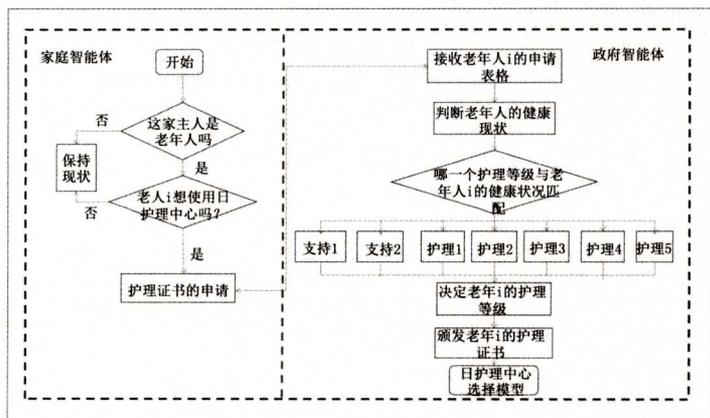


图7 家庭智能体与政府智能体相互作用示意图

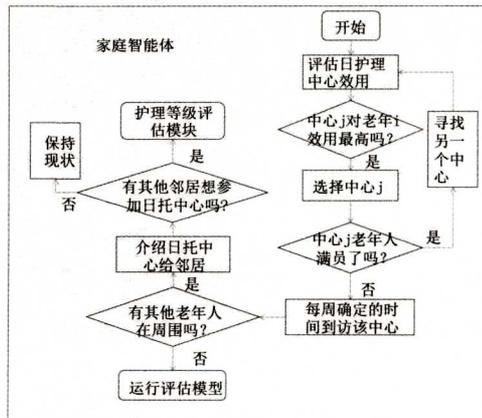


图8 老年人选择日护理中心

表1 日本政府日护理中心护理级别分类(认定调查员手册, 2006)

支持1 (S1)	支持2 (S2)	护理1 (C1)	护理2 (C2)	护理3 (C3)	护理4 (C4)	护理5 (C5)
T=1+...+8						
25≤T<32		32≤T<40		40≤T<50		50≤T<70
70≤T<90			90≤T<110		T≥110	

老年人智能体按照图8所示的决策树来选择自己预使用的日护理中心。本研究假设老年人在选择日护理中心时评价的主要因素为空间可达性,即从家到日护理中心的距离。然而,如果他们选择的中心已经满了,他们会另做选择,即第二位最接近自己家的中心,依次类推。另外,使用过一些日护理中心的老年人智能体可能会将这个中心介绍给他们的邻居并且询问是否愿意一起使用。在DC Location模型中,居住在100m半径范围内(也是该模型中两个相邻的空间单元(栅格)的距离)并使用过日护理中心服务的老年人智能体被视为邻居。

#### 2.2.4 日护理中心智能体的运营

在DC Location模型中,日护理中心并不会永久运行。相反,日护理中心智能体将在每年末根据财务状况决定是否继续运行。为实现这一目标,日护理中心智能体会记录使用不同服务种类的老年人数量,并在年末根据这一纪录和相应的服务类型收费标准计算收入,具体计算公式如公式(5)所示。如果收入小于支出,则该中心将在模型中消失,否则继续运行。

$$R = \sum_{i=1}^7 N_i \times P_i \times F_i \times ra \times 52 \quad (5)$$

其中,R代表日护理中心一年的经营收入, $N_i$ 是使用日护理中心获取护理等级*i*的老年人人数, $P_i$ 是该护理等级的收费标准, $F_i$ 是老年人到访某护理中心获取服务等级*i*的周频度(次数),52代表一年中有52周, $ra$ 是3个规模等级日护理中心的价格比率( $ra=1, ra=1.1, ra=1.5$ ); $i=[1; 7]$ 对应下面7个不同护理级别:支持1(S1),支持者(S2),护理1(C1),护理2(C2),护理3(C3),护理4(C4),

护理5(C5)。

上述模型设计建立在规划委员会小组成员参与协作的基础上,使得基于多智能体模拟的DC Location模型不再以“黑箱”的模式出现在规划师和政府决策者面前。

### 3 模型应用与规划知识构建

在上一章中,我们已经讨论了如何在规划委员会中通过小组协作和规划参与设计模拟模型。在本章,将以金泽市的实际案例为基础,探讨规划委员会如何使用模拟工具来提高对日护理中心空间战略规划所涉及的各方主体之间关系与行为的认知,并对规划问题和需求建立新的知识。本研究中的DC Location模型是在1999年由Uri Wilensky创作的Netlogo平台开发的,模型系统界面如图10所示。

#### 3.1 模拟设定

##### 3.1.1 委员会的假设

由于规划委员会和当地政府数据库所能提供的数据有限,因此模拟中就一些条件进行假设是必要的。在规划委员会成员的共识下,根据金泽市的实际情况做出下述假设:

1) 地方政府官员提供的金泽市统计资料表明,从2002年到2011年进出金泽市的人口数量基本保持不变。因此,我们假设到规划项目的规划目标年限2030年,人口迁移数为零。规划委员会成员接受这一假设,并表示理解规划期限内当地人口变化的不确定性,同意在这种简化条件下进行模拟预测。

2) 日护理中心的空间选址受当地土地利用功能分区的约束。

3) 模拟中的一个循环代表现实中的一

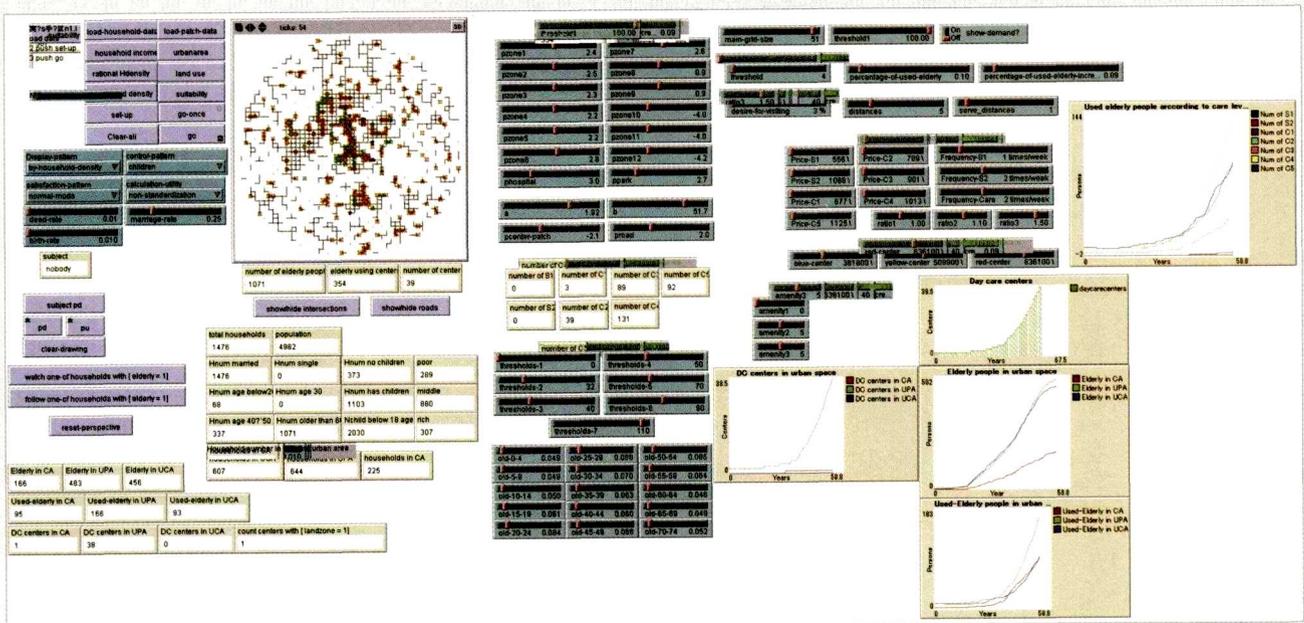


图9 DC Location模型在NetLogo平台的界面

年。由于规划委员会认为日护理中心空间战略规划每年都会做调整，因此没有必要让模型的每次循环预测太遥远的未来，即一次循环代表现实中的一年。

4) 模拟小组根据日护理中心小组的研究成果作出相应的假设：首先，老年人希望使用日护理中心时从选择离自己家最近的中心开始，前提条件是该中心没有满员。其次，日护理中心所能同时容纳老年人到访的能力不同，分别为大、中、小三个等级，容量依次为15、20、25人。高容量的日护理中心相应的收费也会高。最后，日护理中心智能体在评估候选空间位置时，主要评估2.5km半径范围内的老年人需求数量，即50个模拟模型中的空间单元。

### 3.1.2 模型参数设定

本研究中智能体活动的空间设计主要依据日本的土地利用分区和城市规划法，这些政策法规自2000年来并没有发生大的变化和调整。因此，本研究中唯一随着时间变化的数据是人口和日护理中心数据。为了适应这一点，本研究中以日本金泽市

2000年的人口空间分布作为模拟的人口初始数据(图10)。另外，当时已有的6个日护理中心也一并作为日护理中心的初始输入数据。

老年人研究小组收集了金泽市老年人的统计数据，并对社区老年人的活动和居住生活状况做了抽样调查。由于全样本调查有很大实施难度，因此在抽样调查中老年人研究小组采取了随机抽样，共调查6,825个居住在城市的家庭样本。这一样本量是根据2000年金泽市实际的家庭户数而来，共计占金泽市177,686户家庭的3.8%(图10)。另外，在人口年龄结构演变的模拟过程中，关于生命周期的参数主要参考2002年到2011年的情况设定为出生率0.9%，死亡率0.8%，结婚率0.59%。同时，在对初始数据进行设定时，老年人的数量和到访使用日护理中心的老年人数量也同样参照其在2000年真实人口数据中的占比，即分别为0.16和0.107。因此，在模拟初始数据中共计有1098个老年人智能体，其中117个老年人智能体到访过日护理中心。

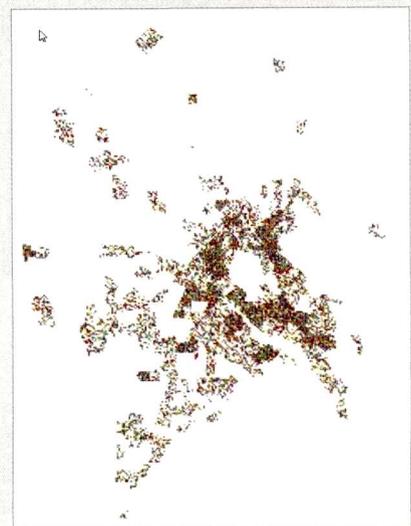


图10 基于2000年数据的NetLogo平台人口分布图

表2 基于多智能体模拟的日护理中心选址模型初始参数设定表

	参数名称	初始值
全局变量	出生率	0.90%
	死亡率	0.80%
	结婚率	0.59%
城市空间属性	土地利用分区	12个土地利用分区
	家庭密度	土地利用分区基础上, 基于容积率的家庭户数
	规划区域	CCA (4%), UPA(32%), UCA(64%)
家庭智能体属性	收入	低 (20%), 中等 (60%), 高 (20%)
	位置	坐标 (x,y)
	家庭数量	6825名家庭智能体, 占2000年金泽市所有家庭户数3.8%
	家庭户主年龄	根据图4的家庭周期阶段显示
	老年人家庭	基于2000年数据, 1098名老年人智能体, 占总户数16%
	参加日护理中心的老年家庭比率	10.7%, 基于2000年金泽市数据
日护理中心属性	老年人容量	分别为15, 20, 25
	空间位置	CCA, UPA, 坐标x,y
	现有日护理中心	2000年有6个

具体的模型参数设计如表 2 所示。

由于在对模拟应用作出假设和收集数据的过程中, 与规划委员会中各研究小组和地方政府决策者较容易达成一致, 因此这部分工作也相对适宜应用在规划实践中。

### 3.2 模拟结果

#### 3.2.1 对2030年日护理中心空间分布的预测

为保证模型中的日护理中心选址、运营和管理符合案例区的实际情况, 模型的应用和验证是必要的。但是由于本文的主要目的并不在于探讨模型本身, 而是讨论多智能体模拟仿真在空间战略规划中应用的可能, 因此本文不讨论过多关于模型可重复性和有效性的问题, 相关模型验证已在另一篇论文中进行了论述 (MA 等, 2016)。

在本节中, 我们根据验证后的模型, 对案例区 2030 年日护理中心空间选址结果以及老年人对中心的使用情况进行了预测。这一模型预测试验被重复进行了 30 次, 与之对应的 30 次模拟预测结果如图 11 到图 15 所示。根据该模拟预测结果, 2030 年案例区内将大致有 60 个日护理中心分布, 同时将有 1252 名老年人智能体会访问这些中心。2030 年日护理中心的数量和使用中心的老年人数量分别比 2010 年增长了 4.3 倍和 4.2 倍。

然而如图 14 所示, 到访老年人智能体对日护理中心 S1, S2 和 C1 等级的服务使用几乎等于零。对规划委员会来说, 这个结果似乎是不合理的。我们解释了造成这个结果的原因主要是因为规划委员会缺少老年人健康状态的数据。因此, 模拟过程中每一个老年人智能体的健康状况是随机打分获取的。但这并不影响模型本身的科学性, 因为只要规划委员会能够提供一个可靠地数据集便可以解决这一问题。这一点使得规划委员会成员比较迷惑, 他们始终坚持, 如果要在规划战略制定过程中

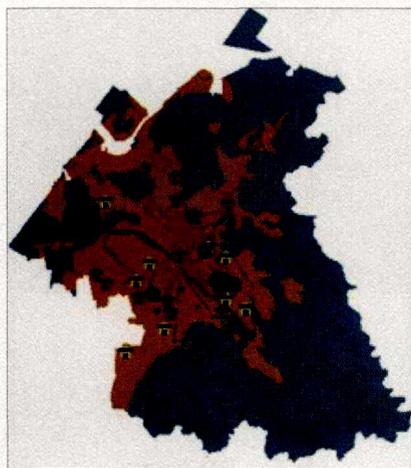


图11a 2020年日护理中心空间分布

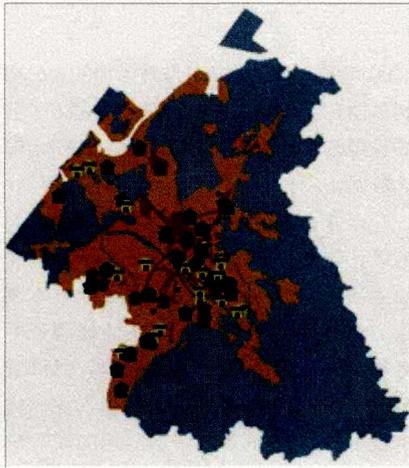


图11b 2030年日护理中心空间分布

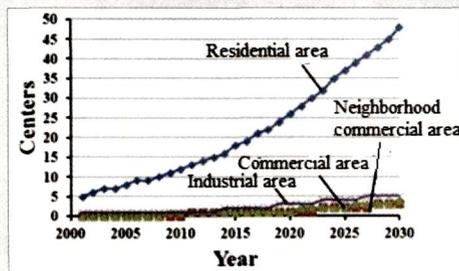


图12 2030年不同土地利用分区内的日护理中心数

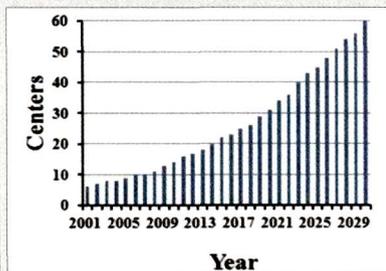


图13 2030年日护理中心数量

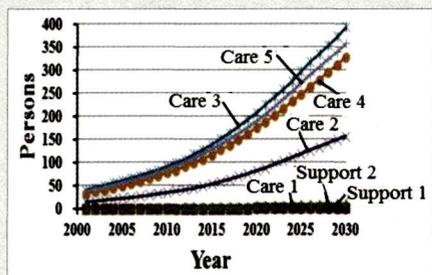


图14 2030年老年人使用日护理中心不同服务的人数

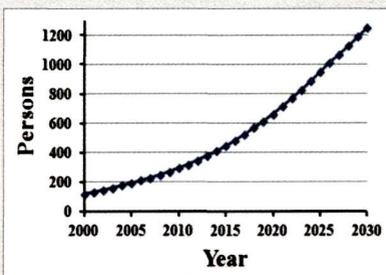


图15 2030年老年人使用日护理中心的人数

应用 ABM，一个比较完整和可信的数据集是非常必要的，否则 ABM 在规划实践中应用就可能存在被规划师和政府官员质疑的可能。

### 3.2.2 日护理中心的规划战略

关于新增日护理中心的数量和规模，从 2030 年日护理中心空间分布的预测结果可以很明显得出，到 2030 年案例区的老年人数量将有一个明显的增长，因此日护理中心的服务也需要相应的增加。对这一战略趋势的预测规划委员会成员之间达成了共识。预测结果同时显示，到 2030 年，需要在规划区建设与 2010 年相比将近 4 倍的日护理中心数量。规划委员会接受了这一模拟预测结果，但是却对 2030 年护理中心不同服务等级的老年人需求量表示怀疑。正如前面所述，对服务等级预测结果的质疑主要源于模拟过程中缺失老年人真实的健康数据，尽管我们解释在整个模拟过程中，不断调整相关的健康状态参数来拟合实际情况，但是委员会仍对此表示质疑。

关于新增设施的空间分布，根据模拟结果显示主要集中在城市中心区域，规划委员会接受对这一空间分布趋势的预测。然而，规划委员会内部有一共识，即模拟结果显示的日护理中心空间分布并不能真正代表它们在 2030 年的空间位置，模拟结果只是表达了根据 2010 年以来的趋势，老年人对日护理中心的空间需求可能产生

的 2030 年日护理中心空间分布。该模拟结果可以用来作为日护理中心空间规划的参考，但是他们并不能用来代替日护理中心的实际选址。日护理中心的实际空间选址还将受到市场需求和竞争等因素影响。

总的来说，本研究中的 DC Location 模型通过对 30 年间规划区域的人口规模和年龄结构演变的模拟，对规划委员会提供了面向规划目标年限研究区域老年人对日护理中心的潜在需求。此外，通过该模型的设计和应用，模拟小组协助规划委员会认识了人口规模和年龄结构演变与日护理中心空间分布之间复杂的、动态的相互作用机制，以及影响未来日护理中心空间选址的相关因素，如空间规划管控和政府决策等。尽管模型的预测结果不能直接应用于日护理中心规划，但是却给规划师和政府决策者在规划战略制定过程中提供了更综合的信息，构建了新的知识。

## 4 总结和展望

本研究中以规划委员会工作形式，将大学学者、规划师、政府决策者集合在一起，对日本金泽市日护理中心空间战略规划的制定进行前期研究。这过程中由大学学者组成的模拟小组提出的通过模拟预测支持规划战略制定的思路得到规划委员会接受，同时规划委员会成员协同参与设计的多智能体模拟模型被证明能够用于预测未来金泽市的日护理中心空间分布，以

及使用这些中心的老年人人数。与传统的统计分析相比，模拟模型的使用给规划师提供了关于规划问题更生动直观的参考。

然而在模型的应用过程中规划委员会虽有共识但也有了一定的质疑。首先，模型的整体逻辑与客观现实相符，即面向规划目标年 2030 年规划区内的老年日护理中心需要增加较 2010 年近四倍左右，这一点总量和规模的预测对规划师有显而易见的借鉴意义。规划委员会因此接受了模拟小组构建的多智能体模型，即 DC Location 模型对 2010 年至 2030 年金泽市日护理中心数量趋势的变化预测。但是，关于 DC Location 模型对日护理中心不同护理等级的老年人需求的预测结果却受到了质疑，其主要原因是在模拟中缺乏实际的老年人健康状态数据。尽管应对这一问题在模型验证过程中进行了相关参数的拟合和调整，规划师和政府决策者对此问题的质疑并未能完全消除。其次，尽管规划委员会能接受模拟结果中关于日护理中心的整体空间分布趋势预测，但是却认为这一分布趋势仅仅基于当前的老年人日护理服务的空间需求，在面向未来的空间战略规划中虽有一定参考意义但是并不能以此来决定规划。尽管本研究中多智能体模拟对案例区日护理中心 2030 年的空间分布预测并不能直接转变为规划实践中的设施位置选址结果，但是模型的构建和应用却从影响日护理中心空间选址的复杂要素间相互作用机制的角度，为规划委员会提供了动态的、可视的资料。总体而言，规划委员会产生的主要质疑源于在模拟中使用的不确定性数据，即非真实的老年人健康状态数据，而非面向规划问题的复杂要素作用机制。

在对模拟数据存在质疑的情况下，规划委员会依然对规划问题的趋势性预测达成了共识，并在之后的空间战略规划报告中引用了本研究中 DC Location 模型应用的结果。这主要是由于在规划研究的过程

中,规划委员会中所有成员便通过研究成果、知识共享的协同参与机制参与到 DC Location 模型的设计中。同时,模拟小组的每次规划委员会报告也促进了规划师、政府决策者对规划问题的影响要素、要素间作用机制以及模型的结构的学习,支持了其对于规划战略问题的认知。这些要素包括如案例区域人口老龄化进程、设施业主的经营管理过程、日护理中心区位条件等。

因此,本研究认为在规划实践中应用 ABM 以达到规划决策支持的目的,至少需要满足如下条件:模型需要能够反映实际的人类决策过程;模型的设计应该基于相关规程和法律,这代表了在模拟中不同的智能体之间的一种相互作用;此外,为了使多智能体模拟的结果能够被规划师信任,可靠和完整的模拟数据是非常必要的。

#### 参考文献:

[1]Barredo J I, Kasanko M, McCormick N, Lavalle C. Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata[J]. *Landscape Urban Planning*,2003(64):145-160.  
[2]Batty M, Couclelis H, Eichen M. Urban systems as cellular automata[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*,1997,24(2):159-164.  
[3]Batty M, Xie Y, Sun Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata[J]. *Computers, Environment and Urban System*, 1999,23(3):205-233.  
[4]Batty M, Torrens P. Modelling and prediction in a complex world[J]. *Futures*, 2005,37(7):745-766.  
[5]Fang S, Gertner G, Sun Z, Anderson A. The impact of interactions in spatial simulation of the dynamics of urban sprawl[J]. *Landscape Urban Planning*,2005, 73(4):294-306.  
[6]Filatova T, et al. Agent-based urban

land markets: agent's pricing behavior, land prices and urban land use change[J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*,2008,12(13):75-83.

[7]Huang A, Levinson D. Why retailers cluster: an agent model of location choice on supply chains[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2011(38): 82-94.

[8]Shams-ur Rahman, David K Smith. Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations[J]. *European Journal of Operational Research*, 2000(123):437-452.

[9]He J H, Liu Y L, Yu Y, Tang W W, Xiang W N, Liu D F. A counterfactual scenario simulation approach for assessing the impact of farmland preservation policies on urban sprawl and food security in a major grain-producing area of China, *Applied Geography*,2013(37):127-138.

[10]Hosseinali F, Alesheikh A A, Nourian F. Agent-based modeling of urban land-use development, case study: simulating future scenarios of Qazvin city[J]. *Cities*,2013(31):105-113.

[11]Klosterman R E. Planning support systems: A new perspective on computer-aided planning[J]. *Journal of Planning Education and Research*,1997(1):45-54.

[12]Li X, Yeh A G O. Modeling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS[J]. *International Journal of Geographical Information Science*,2000,14(2):131-152.

[13]Lieslot Vanhaverbeke, Cathy Macharis. An agent-based model of consumer mobility in a retail environment[J]. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2011(20):186-196.

[14]Le Q B, Park S J, Vlek Paul L G. Land use dynamic simulator (LUDAS): A multi-

agent system model for simulating spatio-temporal dynamics of coupled human-landscape system 2. scenario-based application for impact assessment of land-use policies[J]. *Ecological Informatics*,2010 (5):203-221.

[15]Ma Y, Shen Z, Kawakami M. Agent-based simulation of residential promoting policy effects on downtown revitalization[J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*,2013,16(2):2-12.

[16]Ma Y, Shen Z, Thanh N. Agent-based simulation to inform planning strategies for welfare facilities for the elderly: day care center development in a Japanese city[J]. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*,2016,19(4):142-160.

[17]Richard K B, Klostennan R E. *Planning Support Systems: integrating Geographic systems, models and visualization tools*[M]. USA: ESRI press,2001.

[18]Shen Z J. *Geospatial techniques in urban planning*[M]. Verlag Berlin and Heidelberg: Springer,2012.

[19]Shen Z J, Kawakami M, Kawamura I. Geosimulation model using geographic automata for simulating land-use patterns in urban partitions[J]. *Environment and Planning B: Planning and Design*,2009,36(5): 802-823.

[20]Vonk G, Geertman S, Schot P. A SWOT analysis of planning support systems[J]. *Environment and Planning A*,2007,39(7):1699-1714.

[21]Wu F. Simland: a prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-derived transition rules[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1998,12(1):63-82.