

# 商业空间消费者行为模型研究综述

朱 玮,王 德

(同济大学城市规划系,上海 200092)

**摘 要:**本文综述商业空间中消费者行为者研究中的应用的主要模型方法。从模型发展历史将其分为集合模型和个体模型阶段;从空间尺度视角分别在宏观、中观、微观层面总结模型的应用。集合模型首先介绍以空间相互作用理论为基础的重力模型,其中包括基本的模型形式、制约的模型形式,以及竞争目的地模型。集合模型的第二部分介绍描述消费行为动态的马尔科夫链模型,着重于从恒定转移概率到变化转移概率的发展和应用。个体模型首先介绍以随机效用理论为基础的离散选择模型,将被广泛应用的多项分对数模型和嵌套分对数模型作为重点。最后介绍作为模拟手段的多代理人技术。综述包括模型的基本原理、相关文献,以及各自特点。总体上认为,模型的选用需要与研究的特性相符合。集合模型的优点是能够把握整体的趋势,缺点是不能满足对异质性高的行为作深入探索;个体模型的优势在于对行为多样性的灵活把握能力,但要通过自下而上的方式逼真地模拟集合现象仍需要深入研究个体间的互动规律。

**关 键 词:**商业空间;消费者行为;模型;综述

## 1 引言

商业空间是城市生活的重要组成部分。随着我国城市化的持续推进和城市生活水平的提高,城市居民对商业空间需求的量和质都将相应提升。这一趋势将对城市商业空间的规划提出更高的要求。因此建设能够满足消费者需求的、合理的商业空间必须首先在以人为本的宗旨下,研究和掌握消费者的需求和行为规律,进而应用这些规律指导商业空间的规划建设。这就需要相应的研究方法。本文的主要目的是回顾和综述商业空间消费者行为研究的模型方法。

模型方法指通过建立量化数学模型的研究方法。相对于定性研究方法,它的主要优势是能够系统严密地表达商业空间与消费者行为的关系,并给出具体的预测。对于规划设计人员、政策制定者、商家,模型方法是非常有效的理论探索和实践工具。国内定量的消费者行为研究主要应用基本统计方法。而最近10年来,应用模型方法的研究数量逐渐增加,与有着40多年历史的同类西方研究的差距正在缩小。说明我国消费者行为研究的需求背景和方法基础均在发展完善。

消费者行为的模型研究兴起于20世纪70年代,因为当时正值很多西方国家出现内城萧条问题。研究关注于如何吸引人们到城市中心活动,进而恢复内城商业的活力,发现商业开发与商业空间布局、大型商业设施、交通基础设施等要素的密切关系,并提出相应政策建议<sup>[1-3]</sup>。这是模型方法兴起的需求背景。另一个重要原因是当时交通研究模型取得长足发展,商业研究者发现类似的模型原理适用于研究消费者行为。因此早期的消费者行为模型主要基于空间相互作用理论(spatial interaction theory),用来预测商业中心的消费者数量、消费者的购物出行路径选择。

20世纪70年代末,随机效用理论(random utility theory)与离散选择模型(discrete choice models)的发展令交通研究方法发生革新,这种变化不久也影响到消费者行为研究。相对于研究集合行为的空间相互作用模型,离散选择模型研究个体行为,因此研究者具备了更加深入地探究消费者个人与商业空间环境之间复杂关系的有力工具。伴随着获得个人行为数据的手段越来越可行,离散选择模型从80年代逐步取代空间相互作用模型,成为消费者行为研究的主流模型框架。

收稿日期:2010-06; 修订日期:2010-07.

基金项目:国家自然科学基金项目(40871080);高密度人居环境生态与节能(同济大学)教育部重点实验室支持项目。

作者简介:朱玮(1978-),男,讲师,主要研究方向为决策和行为建模,消费者空间行为,模型方法在城市规划、交通、零售业等领域的应用。E-mail: weizhu@tongji.edu.cn

最近10多年来,计算机技术和面向对象编程方法的发展则把多代理人模拟技术(multi-agent simulation)带到了研究者的个人电脑上。这种技术允许研究者用计算机软件模拟复杂的、多样化的个人行为以及环境;通过同时运行大量代理人来逼真地模拟真实环境中的消费者行为,从而达到自下而上反映真实世界的效果。

以下对这些主要消费者行为模型方法的介绍包括模型的基本原理、相关文献及各自特点的评述。介绍将根据模型的研究对象分为集合模型和个体模型。这也大致符合模型发展的历程。

## 2 集合模型

集合模型的研究对象通常是消费者行为的总量,比如商业中心的消费者人次、商店的顾客量、由消费者购物出行引发的道路交通流量等。

### 2.1 重力模型

重力模型(gravity models)是空间相互作用模型的主要代表。该模型的发展开始于交通研究,主要问题是想建立作为出发地的交通小区和作为目的地的交通小区间的交通流(如车流、人流)与目的地特征的关系。Wilson<sup>[4]</sup>对空间相互作用模型族作了总结。重力模型的最基本形式为:

$$T_{ij} = O_i A_j^\alpha D_{ij}^\beta \quad (1)$$

式中:  $i=1, \dots, I$  代表出发地,  $j=1, \dots, J$  代表目的地,  $T_{ij}$  代表从出发地到目的地的交通流,  $O_i$  代表从  $i$  地出发的总人数,  $A_j$  代表  $j$  地的吸引力(如零售业规模),  $D_{ij}$  代表从  $i$  地到  $j$  地间的距离或出行成本。 $\alpha$ 和 $\beta$ 是需要求解的参数, $\alpha$ 通常被估计为正值,说明目的地的吸引力对交通流的正向作用;而 $\beta$ 通常被估计为负值,说明空间成本对交通流产生是一种阻碍。

公式(1)存在开放性的问题。如果商店的营业面积无限增加,消费者的光顾量也会无限增加,这显然不合常理。因此后来发展出了发生制约和吸引制约的重力模型,用来保证预测的交通流,或是从出发地流出的量,或是到目的地流入的量,或者两者都不会超过观察到的出发地或目的地的总人数。由于消费者空间行为研究一般是为了预测人们对目的地的选择或者目的地的活动量,因此主要

应用吸收制约重力模型,该模型的一般形式为:

$$T_{ij} = Q_j C_j A_j^\alpha D_{ij}^\beta \quad C_j = 1 / \sum_{i=1}^I A_j^\alpha D_{ij}^\beta \quad (2)$$

式中:  $Q_j$ 代表到达目的地  $j$  的总交通流,  $C_j$ 为吸引制约参数,使预测满足  $\sum_{i=1}^I T_{ij} = Q_j$ 。

受交通研究的启发,重力模型首先应用在研究宏观层面的消费者行为,预测城市或区域中不同商业中心的消费者光顾量<sup>[5-7]</sup>。这些研究主要用商业中心的规模和到中心的距离或出行时间作为解释变量。渐渐地重力模型也被应用到中观层面的消费者研究。Scott<sup>[8]</sup>提出了一个研究商业空间中消费者数量的理论框架,其将商业空间视作由节点和街道构成的结构。Hagishima等<sup>[9]</sup>应用双制约重力模型研究商业街区的消费者人流。他们将商业街区划分为不同的街道段,并将街道段中的消费者人数作为因变量。除了用营业规模和空间距离作为解释变量,他们还加入了其他影响因素,如交通条件、街道铺地、街道安全等。

基本重力模型的第二个缺点是没有考虑目的地之间的竞争效果。以Fotheringham为主的研究者更关注商业中心或者商店间的相互关系对消费者行为的影响。他们提出了竞争目的地模型(competiting destination models)<sup>[10-12]</sup>,认为如果不考虑商业中心的相互关系的话,一般重力模型中的距离参数 $\beta$ 不能被准确估计。当在消费者看来,临近商业中心之间是一种竞争关系的话, $\beta$ 就会被低估;如果中心之间是一种集聚或互相促进的关系,则 $\beta$ 会被高估。他们于是在模型中加入了可达性变量,  $E_j = \sum_k A_k / D_{jk}$ ,  $k=1, \dots, J$ ,  $k \neq j$ , 来表示某商业中心  $j$  与其他商业中心  $k$  的关系。考虑了可达性的吸收

$$T_{ij} = Q_j C_j A_j^\alpha D_{ij}^\beta E_j^\gamma \quad C_j = 1 / \sum_{j=1}^J A_j^\alpha D_{ij}^\beta E_j^\gamma \quad (3)$$

当可达性参数 $\gamma$ 估计为正值时,表明存在集聚效应;如果值为负,说明存在竞争效应。竞争目的地模型的优点在于其考虑了人们的空间认知的复杂性,如同一家百货店位于众多百货店之中和位于众多小商店之中,给消费者带来的感受是不同的。

### 2.2 马尔科夫链模型

重力模型只能用来解释静态活动分布,而消费者活动是在时间和空间中变化的。消费者可能在一次出行中光顾几个商业中心,在一个商业中心里

光顾几家商店。在这期间,他们的偏好、行为也会随着时间的推移和活动的进程(比如劳累、购物计划的实现)所改变。传统上研究者用马尔科夫链模型(Markov Chain models)来解释这种链式动态行为。马尔科夫链模型的基本定义是:一个状态的发生概率地决定于前一状态。其数学表达为:

$$S_{t+1} = S_t P$$

$$S_t = [s_{t1}, s_{t2}, \dots, s_{tN}]$$

$$P = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1N} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{N1} & s_{N2} & \dots & s_{NN} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:  $S_t$  代表时刻  $t$  的状态,  $P$  代表发生的概率,也称转移概率,通常被假定为恒定。如果  $S_t$  为一向量,  $P$  就是一个转移矩阵。将这一过程不断重复,就构成了一个动态的过程。应用到消费者的活动链,模型通常就包括这样一个转移矩阵,描述消费者在当前的位置  $j$  (商业中心、商店)时,前往下一个目的地  $k$  的概率。转移矩阵可以通过观察获得。马尔科夫链模型的一个优势是通过操控转移矩阵就可以大致地把握动态行为。比如,要预测若干时间以后消费者人数分布在某商店的概率只须计算转移矩阵的若干次方。

但这种马尔科夫模型有3个主要的缺点。①假定后一状态只依赖于前一状态并不符合实际,因为消费者的购物行为或多或少受到他们的活动历史的影响;②转移矩阵恒定的假定也难以实现,因为人们的偏好和行为是随时间的变化、空间的不同、行为历史积累不断变化的;③模型提供了对状态与状态之间动态变化的描述,并没有从行为上来解释行为链发生的机制。

于是更复杂的马尔科夫链模型被开发出来以解决这些问题。O'Kelly<sup>[14]</sup>的消费者行为模型中以随时间变化的马尔科夫链为核心,无论是行为目的选择,还是目的地选择,都是随不同消费阶段变化的概率过程。然而他没有解释这两种选择行为,其中变化的转移矩阵得来源于样本频度统计。将他的工作推进的是Borgers和Timmermans<sup>[15]</sup>。他们将商业中心表达为由街道段组成的结构,类似Scott<sup>[8]</sup>的做法;用重力模型来解释消费者在某街道中从事某活动的转移概率矩阵,并用街道中的商店营业面积、服务内容、出发地到目的地间的距离作为自变量。而且这些概率矩阵是随时间变化的。具体做

法是将样本分成3个子样本,用模型解释每一个子样本的转移矩阵。第一个子样本包括消费者的第一步移动;第二个子样本包括他们的第二步移动;其余的移动都纳入第3个子样本。在这个重力—马尔科夫链混合模型的基础上,实施模拟验证并发现,给定起始阶段消费者在街道中的空间分布,模型预测的消费者数量与观察量非常接近。Kurose等<sup>[16]</sup>也采用了这种混合模型来解释转移矩阵。在另一研究中,Borgers等<sup>[17]</sup>没有使用转移矩阵连乘运算的方法,而代之以蒙特卡洛模拟(Monte Carlo simulation)作为验证的手段,结果同样令人满意。

### 3 个体模型

虽然集合模型对解释消费者分布或流动总量很有用,但它们本质上没有个人行为决策理论为依据。以集合现象为研究对象,个人的特征被掩盖,集合模型无法深究人们的自然社会经济属性对行为的影响。而这点对于消费者研究尤其重要,因为每个消费者都有自己的目的、偏好,且通常有很高的异质性。在实践中,商家越来越重视个性化服务,对更加细分化的消费者行为研究提出要求。从理论上讲,集合行为是个体行为的集合的结果,因此以个人行为为研究对象同样可以自下而上地推导出集合行为。这是当前个体行为模型应用和模拟的基本理念。

#### 3.1 离散选择模型

在经济学中,效用是度量人们于正在或者即将发生的消费过程中所获得或期望的满足感。离散选择模型的理论基础是随机效用理论(random utility theory),该理论假定人们的效用和偏好是随机的。从20世纪70年代末开始,以随机效用理论为基础的模型和方法发展迅速<sup>[18-20]</sup>,并在交通、消费者研究、住房、营销等众多领域获得广泛应用。

个人的行为决策是这样通过模型表达的。假设由  $I$  个备选项供选择,每个备选项由  $i=1, \dots, I$  表达。根据定义,效用由两部分组成,可观察的(确定的)部分  $v_i$  和不可观察的(随机的)部分  $\varepsilon_i$ ,并假定效用由这两部分加和而成,即  $u_i = v_i + \varepsilon_i$ 。假定人们按照效用形成偏好,即选择效用最大的备选项  $i$ ,使满足  $u_i > u_j, \forall j=1, \dots, I, i \neq j$ 。由于效用是随机的,研究者只能估计选择行为发生的概率,即



$p_i = P(u_i > u_j) = P(v_i + \varepsilon_i > v_j + \varepsilon_j)$ 。假定每个备选项效用的随机部分都是相同且独立的 Gumbel 分布, 经过推导获得的选择概率为:

$$p_i = \exp(v_i) / \sum_{r=1}^I \exp(v_r) \quad (5)$$

这也就是最基本和常用的多项分对数模型 (multinomial logit model, MNL)。如果用来解释行为的自变量有  $K$  个,  $k=1, \dots, K$ , 用  $x_{ik}$  表示,  $v_i$  经常被假定为这些自变量的线性加和, 即  $v_i = \sum_{k=1}^K \beta_k x_{ik}$ , 其中  $\beta_k$  为模型所要估计和检验的因变量参数。

在 MNL 中, 因为随机效用部分被假定为独立同分布, 备选项的效用也相互独立, 决定了无关选项独立的特性 (independence from irrelevant alternatives, IIA)。该特性表现为任意两个备选项的选择概率之比恒定, 与选择集中其他备选项无关。然而在现实中, 人们对备选项产生的效用不一定是独立的。竞争目的地模型的出发点就是一个例子, 一个商店的效用可能因为同类商店的集聚而增加; 也可能因为竞争而减弱。在这种情况下, 应用 MNL 作为行为解释就会产生误差。

为了解决这个问题, 学者们开发了嵌套分对数模型 (nested logit model, NL)<sup>[20-21]</sup>。模型将备选项集划分为  $M$  个互不重叠的子选项集, 每个用  $m=1, \dots, M$  表达; 每个备选项的随机效用部分被假定为一般极值分布 (generalized extreme value, GEV)。这个分布允许估计同一个子选项集内的备选项相对于外部的备选项是否存在相关性。选择概率为如下函数:

$$p_i = p_m p_{im} = \frac{\exp(v_m + v_m^*)}{\sum_{m'=1}^M \exp(v_{m'} + v_{m'}^*)} \times \frac{\exp(v_i/\lambda)}{\sum_{i \in m} \exp(v_i/\lambda)} \quad (6)$$

选择行为被解释为两个步骤: 首先选择一个子选项集  $m$ , 其选择概率  $p_m$  由公式 6 右边的第一部分表达, 其中  $v_m + v_m^*$  代表子选项集的可观察效用,  $v_m$  是与子选项集直接相关的因素形成的效用,  $v_m^*$  是由该子选项集中各备选项构成的效用, 又称内生变量, 是嵌套分对数模型核心部分, 为  $\lambda \ln(\sum_{i \in m} \exp(v_i/\lambda))$ 。

当  $\lambda < 1$ , 各备选项的效用会相互抵消一部分, 反映它们间的相关性。选择了子选项集后, 其中选择一个备选项  $i$ , 其概率  $p_{im}$  由公式 6 右边的第二部分表达, 形式与 MNL 相同, 因为在子选项集内部, 备选

项之间是相互独立的。

同重力模型的应用一样, 离散选择模型在商业空间消费者行为研究中的应用也始于宏观行为。例如, Recker 和 Kostyniuk<sup>[22]</sup>用 MNL 解释城市内的日常用品购物出行; Timmermans 和 Borgers<sup>[23]</sup>研究人们的购物中心选择行为。他们发现, MNL 模型总体上可以稳健地解释行为, 但也确实存在与 IIA 特性不一致的现象。

随着对理解多样化的空间环境、个人因素、市场细分等因素影响消费者偏好和行为的需求的增长, 个体选择模型提供了比集合模型更灵活的拓展空间来纳入这些因素。例如, Borgers 和 Timmermans<sup>[24-26]</sup>以及 Fotheringham<sup>[27]</sup>在效用函数中纳入空间结构因素, 来弥补 MNL 的 IIA 特性, 这也可以看作是基于一效用的竞争目的地模型; Fotheringham 和 Trew<sup>[28]</sup>探讨收入和种族对偏好的影响; Oppewal 和 Timmermans<sup>[29]</sup>加入了商店多样性、橱窗摆设、价格、质量和购物环境作为自变量; Van der Waerden 等<sup>[30]</sup>则考察了停车场的位置和服务水平对消费者选择商业中心行为的影响; 张文佳和柴彦威<sup>[31]</sup>用 NL 研究居住空间特征对家庭购物出行决策的影响。

以上研究都集中在单次的选择行为。对于行为链的研究, Kitamura<sup>[32]</sup>通过提出期望效用的概念作出了重要贡献。他认为, 一个目的地给消费者的效用不仅来自该地的特征和距离, 还来自于对这个地方开始继续活动的期望。基于这个概念, Arentze 等<sup>[33]</sup>建立了一个多目的购物出行模型。该模型假定人们有一张购买清单, 购买某物品的行为是在于同一商业中心购买与在光顾了这个中心后, 于另一中心购买间的选择。他们使用 MNL 和循环方程来预测购买不同商品的频率和商业中心的顾客量。Dellaert 等<sup>[34]</sup>对该方法进行一般化, 使之同时解释多目的和多次停留的链式行为。在他们的基础上, Arentze 等<sup>[35]</sup>使用 NL 研究商店集聚效应时发现, 不仅是那些所提供的服务与购物目的一致的商店的集中可以提升商业中心的效用, 其他商店的集聚也能提升效用。国内学者对链式出行模型也有总结<sup>[36-37]</sup>。

在中观商业空间层面, 消费者行为可以理解为一系列的决策和选择, 如选择商店、路径、行进方向。Borgers 和 Timmermans<sup>[15,17]</sup>提出了一个比较完整的框架。针对其中的路径选择行为, 他们用

MNL 来解释并用距离作为自变量。Saito 和 Ishibashi<sup>[38]</sup>用 MNL 结合马尔科夫链模型,预测商业街各地块间的消费者人流。他们首先获得恒定的地块间人流转移矩阵,然后在 MNL 框架下用地块中的营业面积和地块间的距离来解释转移矩阵。他们证明,在给定消费者开始活动时的空间分布下,通过无限地乘积这个恒定的转移矩阵,最终可以准确地收敛到所观察到的地块中的消费者数量。朱玮等在对上海南京东路消费者行为的模型分析中,对入口消费阶段<sup>[39]</sup>的消费者地块选择行为用 MNL 来解释;对回游消费阶段的行为用 NL 来解释<sup>[40]</sup>,理由是回游阶段包括回家的决策。这样就把消费者的决策分为两个层次,首先决定回家还是继续购物,如果购物就选择某一地块。以这两个模型为基础,朱玮和王德<sup>[41]</sup>模拟了消费者的特征路径。同样的方法被王德等<sup>[42]</sup>应用在上海世博会场地规划方案的调整上。

然而,地块不是消费者实际在商业空间中感受的基本空间单元,单个的商店才是。Zhu 等<sup>[43]</sup>以商店为备选项研究消费者的商店选择行为。基于 MNL,他们除了用传统的商店营业面积、类型、距离作为自变量外,主要关注了消费者效用随时间变化的特征。通过估计时间与其他解释量的交互变量的参数后发现时间对消费者效用有显著影响,说明消费者的偏好和行为不是从开始到结束保持恒定的。其他考察更复杂的行为影响因素的研究包括:Borgers 和 Timmermans<sup>[44]</sup>在 MNL 中纳入了消费者的活动历史,这样就一定程度上修正前后行为决策间相互独立的假定;Borgers 等<sup>[45]</sup>考察了目的型消费者和享乐型消费者的行为差异;Dijkstra 等<sup>[46]</sup>采用了购物紧迫程度和对商店的熟悉程度等个人的态度因素来解释是否光顾商店的决策。

离散选择模型在微观层面的消费者研究中也应用,但相对较少。一个比较典型的例子是 Antonini 等的研究<sup>[47]</sup>。他们将人们行走时的加速度视作对围绕身体的扇形空间的选择。每个扇形空间被赋予效用,由相对于目标的偏离程度、障碍、其他步行者的活动、速度等因素构成。他们通过监视摄像机获得人们行走的真实数据,并用交叉嵌套分对数模型和混合分对数模型拟合了数据。Borgers 等<sup>[48]</sup>将他们在中观层面研究中所采用的街道一节点空间表达方式用到微观层面。他们沿着街道设

定了更多的节点,有些沿着街道,有些则代表商店,相邻的节点由连线相互连接。他们假定,消费者的移动可以视作连续地在每个节点选择走一条效用最大的连线,这效用决定于连线的长度、连线所达处的吸引力、连线的方向相对于当前的行进方向、连线的方向相对于街道的部位(右侧或左侧)等。MNL 被用来拟合真实的行为数据,并被用来模拟连线中的人流量和观察量比较,显示较好的结果。

### 3.2 多代理人模拟

大约从 20 世纪 90 年代开始,随着计算机硬件运算能力的不断提高以及基于对象编程技术的发展,多代理人系统(multi-agent system, MAS)也逐渐成熟。发展至今,将基于个体行为的模型和 MAS 结合模拟、支持决策,已成为包括消费者行为在内众多领域研究的热点。多代理人系统并非特指某个系统,而是指一种模拟的框架,其核心是对个体(代理人)行为的模拟。通常系统都通过计算机编程实现。代理人可被认为是一个自动的、目标导向的软体,可以具备属性、实施行动。因此从定义上看,代理人不仅仅可以代表人,也可以代表任何符合这一定义的实体,如随时间或事件自发改变或被人的行为改变的空间环境。这种开放灵活的框架还允许定义复杂的代理人之间的交互作用。当计算机运算能力足够模拟众多的代理人同时行动时,就可以实现对现实世界运行的逼真模拟,有时会呈现仅从观察个体行为中看不到的集合现象,称为集成行为(emergent behavior)或者自组织行为(self-organization behavior)。但有必要区别 MAS 和模型。按照 O'Sullivan 和 Haklay<sup>[49]</sup>的观点,模型是用来解释现象的规则或机制;而 MAS 是一种解决问题的工程框架,可以用来检验模型。

MAS 之前对消费者行为的模拟大多基于蒙特卡洛方法,这种方法主要依赖对行为概率分布的抽样,因此并非真正意义上模拟决策。相对,通过 MAS,可以模拟人的计划、感受、认知、偏好、决策过程,提供了极大的灵活性和真实性。因此,激发了大量模拟消费者行为的 MAS。Dijkstra 等<sup>[50-51]</sup>开发了模拟商业环境中消费者行为的 AMANDA 系统。代理人在商业空间中的活动取决于一系列模型。首先,代理人可据有活动计划,用于模拟根据计划安排活动的消费者行为;代理人被赋予感知范围,模拟有空间限制的消费者对环境的感受;当某个商店被代理人感知时,系统根据偏好模型模拟消

费者光顾商店的决策。Kerridge等<sup>[52]</sup>开发的PED-FLOW系统关注于行人微观行为。代理人通过预先设定的决策表来实施行为,如在什么情况下应该避让障碍物,在什么情况下应该采取何等步行速度等,这些行为规则可以通过观察人们的实际行为获得,如测量步长<sup>[53]</sup>、速度<sup>[54]</sup>、速度与人流密度的关系<sup>[55]</sup>等。由Haklay等<sup>[56]</sup>开发的STREETS系统有更完整的模拟层面。他们首先在宏观层面用城市人口数据和地理信息推算在某商业中心内活动的消费者人数。然后在中商业街观层面,模拟具有给定计划的代理人的活动路径。在代理人沿着路径行进的过程中,他们能够在微观模型的控制下,选择空间目标或避让障碍物和其他代理人。Silverman等<sup>[57-58]</sup>开发了一个综合的行为模拟软件包,称为PMFserv,用来模拟高度真实的个人行为。该系统包括5个相互关联的模块:①模拟生理现象的生物模块;②模拟个人价值和情感的个性和文化模块;③模拟感觉和认知的感官和心理模块;④模拟人际关系的社会模块;⑤基于期望效用理论模拟个人决策的决策模块。这样MAS就可以直接嵌入这些行为模块。

在MAS的帮助下,规划者可以更有效地评价规划方案。Lee等<sup>[59]</sup>用PEDROUTE人流模拟软件,结合O-D人流矩阵和出行时间函数模拟了人们在地铁站内的活动,与观察的情况取得很高一致。Batty等<sup>[60]</sup>用一个MAS模拟诺丁山狂欢节中的人流,通过循环调整方案中的安全措施和人流模拟,来获得能够控制小型突发事件所引起的不安全情况的最佳方案。Johansson和Helbing<sup>[61]</sup>用MAS结合遗传算法的方法,搜索最佳设计方案使得人流能够高效顺畅地通过疏散通道。国内多代理人系统研究大致始于2000年,但在消费者行为领域的应用很少。2006年陈鹏对大学校园内学生流动和体育场观众疏散流动进行过模拟<sup>[62]</sup>。朱玮等<sup>[63]</sup>用MAS验证包括回家、方向选择、休息决策、商店选择4个决策在内的消费者模型,显示该模型系统能够较好把握消费者活动的时空变化。

## 4 总结

本文根据消费者行为研究的对象大致将主要的消费者行为模型分类为集合模型和个体模型。最早的重力模型关注于解释消费者活动的总量和

静态分布;马尔科夫链模型主要被用来建构消费者行为的动态过程。由于集合模型的一个主要缺陷是无法深入研究消费者个人多样化社会经济文化因素对行为的影响,离散选择模型借助能够解释个人行为决策的优势,成为消费者行为研究的主流方法,并应用在宏观区域或城市层面、中观街区和街道层面、微观个人行动空间层面。同时模型的理论和方法得到不断地完善和推进,对多样化行为的解释能力愈发增强,因此无论对消费者行为研究还是实践均具备很高的应用性。多代理人模拟技术结合个体模型则将模拟预测消费者行为的能力提升至新的水平。因为自下而上的、从个体到整体的还原与社会现象本身的生成机制相一致,它使得对复杂社会行为的仿真成为可能。

但需要指出的是,对于实践工作来说,模型本质上是一种建立在某些理论假定下工具,评价或选用一个模型应该主要看它与研究目的、对象、手段的契合程度和实际效果。集合模型通过自上而下的视角,能够比较高效地把握整体关系并预测,且集合数据一般相对容易获得。这对于行为异质化程度不高的研究来说通常是足够的。而在需要对个体行为作深入分析的情况下,个体模型就有更大的用武之地,但其对数据的精度和要求都比较高。随着技术的发展,运用全球定位系统(GPS)、无线电频率识别(RFID)、手机定位等媒介获得个人活动精确信息的研究已有展开<sup>[64]</sup>。即便如此,要真正地让自下而上的多代理人模拟返回集合层面的社会生活并非是简单的 $1+1=2$ ,人与人之间的互动博弈是必不可缺的,这既是当前研究的一个缺陷,又是一个挑战。

除了这些主要的模型方法之外,还有一些模型被开发多用来解释行人疏散情况下的微观移动,如流体力学模型(fluid mechanics models)<sup>[65]</sup>、社会力场模型(social force models)<sup>[66]</sup>、元胞自动机模型(cellular automata models)<sup>[67]</sup>。它们目前在消费者行为研究中的应用不多,但对规划微观商业空间以便消费者合理舒适地利用,也有一定价值。

## 参考文献

- [1] Johnston R J, Kissling C C. Establishment use patterns within central places. *Australian Geographical Studies*, 1971, 9(2): 116-132.
- [2] Pacione M. Redevelopment of a medium-sized central



- shopping area: A case study of Clydebank. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 1980, 71(3): 159-168.
- [3] Lorch, B J, Smith M J. Pedestrian movement and the downtown enclosed shopping centre. *Journal of the American Planning Association*, 1993, 59(1): 75-86.
  - [4] Wilson A G. A family of spatial interaction models, and associated developments. *Environment and Planning A*, 1971, 3(1): 1-32.
  - [5] Gibson M, Pullen M. Retail turnover in the East Midlands: A regional application of a gravity model. *Regional Studies*, 1972, 6(2): 183-196.
  - [6] Ghosh A. Parameter nonstationarity in retail choice models. *Journal of Business Research*, 1984, 12(4): 425-436.
  - [7] Guy C M. Recent advances in spatial interaction modeling: An application to the forecasting of shopping travel. *Environment and Planning A*, 1987, 19(2): 173-186.
  - [8] Scott A J. A theoretical model of pedestrian flow. *Socio-Economic Planning Sciences*, 1974, 8(6): 317-322.
  - [9] Hagishima S, Mitsuyoshi K, Kurose S. Estimation of pedestrian shopping trips in a neighborhood by using a spatial interaction model. *Environment and Planning A*, 1987, 19(9): 1139-1152.
  - [10] Fotheringham A S. A new set of spatial-interaction models: The theory of competing destinations. *Environment and Planning A*, 1983, 15(1): 15-36.
  - [11] Fotheringham A S. Some theoretical aspects of destination choice and their relevance to production-constrained gravity models. *Environment and Planning A*, 1983, 15(8): 1121-1132.
  - [12] Fotheringham A S. Modelling hierarchical destination choice. *Environment and Planning A*, 1986, 18(3): 401-418.
  - [13] Fotheringham A S, Trew R. Chain Image and Store-choice Modeling: The Effects of Income and Race. *Environment and Planning A*, 1993, 25(2): 179-196.
  - [14] O'Kelly M E. A model of the demand for retail facilities incorporation multistop, multipurpose trips. *Geographical Analysis*, 1981, 13(2): 134-148.
  - [15] Borgers A W J, Timmermans H J P. A model of pedestrian route choice and demand for retail facilities within inner-city shopping areas. *Geographical Analysis*, 1986, 18(2): 115-128.
  - [16] Kurose S, Hagishima S. A method for identifying accessibility properties of pedestrian shopping networks. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 1995, 2(2): 111-118.
  - [17] Borgers A W J, Timmermans H J P. City centre entry points, store location patterns and pedestrian route choice behaviour: A microlevel simulation model. *Socio-Economic Planning Sciences*, 1986, 20(1): 25-31.
  - [18] McFadden D. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior//Zarembka P. *Frontiers in Econometrics*. New York: Academic Press, 1974: 105-142.
  - [19] Ben-Akiva M, Lerman S. *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. Cambridge, US: The MIT Press, 1985.
  - [20] Train K E. *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003.
  - [21] McFadden D. Modeling the choice of residential location//Karlqvist A, Lundqvist L, Snickars F, et al. *Weibull Spatial Interaction Theory and Planning Models*. Amsterdam: North-Holland, 1978: 75-96.
  - [22] Recker W W, Kostyniuk L P. Factors influencing destination choice for the urban grocery shopping trip. *Transportation*, 1978, 7(1): 19-33.
  - [23] Timmermans H, Borgers A. Choice set constraints and spatial decision-making processes. *Sistemi Urbani*, 1985, 3: 211-220.
  - [24] Borgers A W J, Timmermans H J P. Choice model specification, substitution, and spatial structure effects: A simulation experiment. *Regional Science and Urban Economics*, 1987, 17(1): 29-47.
  - [25] Borgers A W J, Timmermans H J P. Spatial choice, substitutability and spatial structure effects: An extended multinomial logit model//Wieber J C. *Analyse de Systemes et Modeles Mathematiques*. Paris: Les Belles Lettres, 1987: 35-40.
  - [26] Borgers A W J, Timmermans H J P. A context-sensitive model of spatial choice behavior//Golledge R G, Timmermans H J P. *Behavioural Modelling in Geography and Planning*, London: Croom Helm, 1988: 159-178.
  - [27] Fotheringham A S. Consumer store choice and choice set definition. *Marketing Science*, 1988, 7(3): 299-310.
  - [28] Fotheringham A S, Trew R. Chain image and store-choice modeling: the effects of income and race. *Environment and Planning A*, 1993, 25(2): 179-196.
  - [29] Oppewal H, Timmermans H J P. Modelling the effects of shopping centre size and store variety on consumer choice behavior. *Environment and Planning A*, 1997, 29(6): 1073-1090.
  - [30] Van der Waerden P, Borgers A, Timmermans H. The impact of the parking situation in shopping centers on store choice behavior. *GeoJournal*, 1998, 45(4): 309-315.
  - [31] 张文佳, 柴彦威. 居住空间对家庭购物出行决策的影响. *地理科学进展*, 2009, 28(3): 362-369.
  - [32] Kitamura R. Incorporating trip chaining into analysis of destination choice. *Transportation Research B*, 1984, 18(1): 67-81.
  - [33] Arentze T, Borgers A, Timmermans H. A model of multi-purpose shopping trip behaviour. *Papers in Regional Science*, 1993, 72(3): 239-256.
  - [34] Dellaert B G C, Arentze T A, Bierlaire M, et al. Investi-

- gating consumers' tendency to combine multiple shopping purposes and destinations. *Journal of Marketing Research*, 1998, 35(2): 177-188.
- [35] Arentze T A, Timmermans H J P. A multipurpose shopping trip model to assess retail agglomeration effects. *Journal of Marketing Research*, 2005, 42(1): 109-115.
- [36] 雋志才, 李志瑶, 宗芳. 基于活动链的出行需求预测方法综述. *公路交通科技*, 2005, 22(6): 108-113.
- [37] 张文佳, 柴彦威. 时空制约下的城市居民活动: 移动系统: 活动分析法的理论和模型进展. *国际城市规划*, 2009, 24(4): 60-68.
- [38] Saito S, Ishibashi K. A Markov Chain model with covariates to forecast consumer's shopping trip chain within a central commercial district. Fourth World Congress of Regional Science Association International, Mallorca, Spain.
- [39] 朱玮, 王德, 齐藤参郎. 南京东路消费者的入口消费行为研究. *城市规划*, 2005, 29(5): 14-21.
- [40] 朱玮, 王德, 齐藤参郎. 南京东路消费者的回游消费行为研究. *城市规划*, 2006, 20(2): 9-17.
- [41] 朱玮, 王德. 南京东路消费者的空间选择行为与回游轨迹. *城市规划*, 2008, 32(3): 33-40.
- [42] 王德, 朱玮, 黄万枢, 等. 基于人流分析的上海世博会规划方案评价与调整. *城市规划*, 2009, 33(8): 26-32.
- [43] Zhu W, Timmermans H, Wang D. Temporal variation in consumer spatial behavior in shopping streets. *Journal of Urban Planning and Development*, 2006, 132(3): 166-171.
- [44] Borgers A W J, Timmermans H J P. Modeling pedestrian behavior in downtown shopping areas//*Proceedings of the 9th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, London, 2005: <http://128.40.111.250/cupum/searchpapers/detail.asp?PID=83>.
- [45] Borgers A W J, Kemperman A D A M, Timmermans H J P. Pedestrian behaviour in down-town shopping areas: Differentiating between hedonic and utilitarian shoppers// *Proceedings of the 12th RARSS Conference*, Orlando, 2005.
- [46] Dijkstra J, Timmermans H, de Vries B. Empirical estimation of agent shopping patterns for simulating pedestrian movement//*Proceedings of the 10th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, Igguasu Falls, Brazil, 2007.
- [47] Antonini G, Bierlaire M, Weber M. Discrete choice models of pedestrian walking behavior. *Transportation Research B*, 2006, 40(8): 667-687.
- [48] Borgers A W J, Smeets I M E, Kemperman A D A M, et al. Simulation of micro pedestrian behaviour in shopping streets//van Leeuwen J P H, Timmermans J P. *Progress in Design & Decision Support Systems*. Heeze, The Netherlands, 2006: 101-116.
- [49] O' Sullivan D, Haklay M. Agent-based models and individualism: Is the world agent-based? *Environment and Planning A*, 2000, 32(8): 1409-1425.
- [50] Dijkstra J, Jessurun J, Timmermans H J P. A multi-agent cellular automata model of pedestrian movement//Schreckenberg M, Sharma S D. *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Berlin: Springer-Verlag, 2001: 173-181.
- [51] Dijkstra J, Timmermans H. Towards a multi-agent model for visualizing simulated user behavior to support the assessment of design performance. *Automation in Construction*, 2002, 11(2): 135-145.
- [52] Kerridge J, Hine J, Wigan M. Agent-based modeling of pedestrian movements: The question that need to be asked and answered. *Environment and Planning B*, 2001, 28(3): 327-341.
- [53] Walmsley D J, Lewis G J. The pace of pedestrian flows in cities. *Environment and Behavior*, 1989, 21(2): 123-150.
- [54] Willis A, Gjersoe N, Havard C, et al. Human movement behaviour in urban spaces: Implications for the design and modeling of effective pedestrian environments. *Environment and Planning B*, 2004, 31(2): 805-828.
- [55] Lee J Y S, Lam W H K. Variation of walking speeds on a unidirectional walkway and on a bidirectional stairway. *Transportation Research Record*, 2006, 1982: 122-131.
- [56] Haklay M, O' Sullivan D, Thurstain-Goodwin M. 'So go downtown': Simulating pedestrian movement in town centers. *Environment and Planning B*, 2001, 28(3): 343-359.
- [57] Silverman B G, Johns M, Cornwell J, et al. Human behavior models for agents in simulators and games part I: Enabling science with PMFserv. *Presence*, 2006, 15(2): 139-162.
- [58] Silverman B G, Bharathy G, O'Brien K, et al. Human behavior models for agents in simulators and games part II: Gamebot engineering with PMFserv. *Presence*, 2006, 15(2): 163-185.
- [59] Lee J Y S, Lam W H K, Wong S C. Pedestrian simulation model for Hong Kong underground stations//*Proceedings of the IEEE 5th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, Oakland, US, 2001: 554-558.
- [60] Batty M, Desyllas J, Duxbury E. The discrete dynamics of small-scale spatial events: Agent-based models of mobility in carnivals and street parades. *International Journal of Geographical Information Science*, 2003, 17(7): 673-698.
- [61] Johansson A, Helbing D. Pedestrian flow optimization with a genetic algorithm based on boolean grids//Waldau N, Gattermann P, Knoflach H, et al. *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2005*. Berlin: Springer, 2007: 267-272.
- [62] 陈鹏. 基于多智能主体的人群流动形态动态模拟研究[D]. 同济大学, 2006.



- [63] 朱玮, 王德, Timmermans H. 多代理人系统在商业街消费者行为模拟中的应用: 以上海南京东路为例. 地理学报, 2009, 64(4): 445-455.
- [64] Borgers A W J, Kemperman A D A M, Timmermans H J P, et al. Alternative ways of measuring activities and movement patterns of transients in urban areas: International experiences//Proceedings ICTSC Conference, Annecy, France, 2008-5-25[2010-3-20]. <http://isctsc.let.fr/papiers/workshop%20final%20version/11%20B8%20Borgers%20et%20al.doc>.
- [65] Handerson L F. On the fluid mechanics of human crowd motion. *Transportation Research*, 1974, 8(6): 509-515.
- [66] Helbing D, Molnar P. Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, 1995, 51(5): 4282-4286.
- [67] Schadschneider A. Cellular automaton approach to pedestrian dynamics: Theory//Schreckenberg M, Sharma S. *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Berlin: Springer, 2001: 75-86.

## A Review on the Models in Research of Consumer Behavior in Commercial Space

ZHU Wei, WANG De

(Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** This paper reviews the main models used in the research of consumer behavior in commercial space. It takes a historical perspective, divides the development of the models into the stages of aggregate models and individual models, and classifies the model application into macro, meso, and micro scales. For the aggregate models, the paper firstly introduces gravity models based on spatial interaction theory, including the basic model form, constrained forms, and the competing destination model. The second part for the aggregate models section introduces Markov Chain models for describing dynamic consumer behavior, with the emphasis on the development and applications from static transition probabilities to varying transition probabilities. The individual model section introduces discrete choice models based on random utility theory, with the emphasis on the widely applied multinomial logit and nested logit models. This is followed by an introduction to multi-agent technology as a simulation tool. The review includes the fundamentals of underlying theories of the models, related literatures and model features. It is considered that the fitness between the model and the nature of the research is important for model selection. Aggregate models have the advantage of grasping the overall regularities, but are limited in exploring highly heterogeneous behavior. The advantage of individual models is the flexibility to represent heterogeneous behavior, while the idea of bottom-up simulation to form aggregate behavior requires deeper understandings of inter-individual interactions.

**Key words:** commercial space; consumer behavior; model; review

本文引用格式:

朱玮, 王德. 商业空间消费者行为模型研究综述. 地理科学进展, 2010, 29(12): 1470-1478.