

历史城区典型通勤者活动与出行的结构方程建模

叶 茂¹, 于 淼¹, 刘英舜¹, 过秀成²

(1. 南京理工大学 自动化学院, 江苏 南京 210094; 2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘 要:以历史城区为研究对象,结合扬州市通勤者出行调查数据,采用结构方程模型(SEM),对通勤者活动和出行相关特征进行建模分析。按照居住地和工作地所处区域的差异,将通勤者分为 3 类,以通勤者的个体特征和家庭特征作为外生变量,以活动强度和出行特征作为内生变量,分别对 3 类通勤者的结构方程模型进行了参数估计,并对估计结果进行了灵敏度分析。研究表明:通勤者职住分布特征的差异导致了活动特征的差异,进一步造成出行特征的差异;居住地和工作地所在区位的差异,对通勤者活动特征和出行特征具有较强的影响作用,而出行者个体和家庭属性的影响相对要小很多;历史城区由于功能的混合性和公共服务相对完善,其活动特征和出行特征相对其他区域复杂和多样,对区外居住者也有较大的吸引力。研究对完善历史城区交通政策制定具有很好的指导意义。

关键词:交通工程;城市交通;出行行为;结构方程模型;通勤者;历史城区;活动;灵敏度分析

中图分类号:U491

文献标志码:A

Structural equation modeling of the typical commuters' activity and travel in historic urban area

YE Mao¹, YU Miao¹, LIU Ying-shun¹, GUO Xiu-cheng²

(1. School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, Jiangsu, China;

2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, Jiangsu, China)

Abstract: Taking historic urban area as study object, this paper developed structural equation model (SEM) to analyze commuters' activity and trip characteristics in Yangzhou. In SEM, commuters' individual and family features are exogenous variables, and activity intensity and trip characteristics are endogenous variables. According to the differences between place of residence and work place, commuters were divided into three classes. The SEMs of the three kinds of commuters were estimated respectively, and the sensitivity analysis was carried out according to the estimates. The results show that commuters' choices on activities and trips are deeply influenced by the relative position relations between residence place and workplace. Commuters' individual and family features have little impacts on their choices on activities and trips. Activities and trips are more complex in historic urban area than other areas in the city, as historic urban area have mixed functions and better public service allocation. It is believed that the careful study on commuters' activities and trips do have guiding significance for transport policy making in historic urban area. 6 tabs, 4 figs, 19 refs.

Key words: traffic engineering; urban transportation; travel behavior; structural equation model; commuters; historic urban area; activity; sensitivity analysis

0 引言

历史城区一般指在城市中能够体现其历史发展过程或某一发展时期风貌、历史范围清楚、城区格局较为完整的区域,涵盖一般通称的古城区或旧城区。历史城区与城市其他区域(尤其是城市新区)在用地布局和空间尺度、公共服务和交通设施配置等方面存在较大差异,这些差异会对人们的出行行为产生一定的影响。随着交通需求总量的剧增与需求结构多样化趋势,历史城区交通问题变得更加突出,如何协调保护与交通发展的关系,实现可持续发展极为重要。由于历史文化环境保护与有限交通资源供给的制约,不可能进行大规模的基础设施建设,制定合理有效的出行需求管理政策缓解该地区交通拥堵成为重点关注的方向。与历史城区相关联的出行需求势必对它的交通供给提出多元化要求。为更好地规划建设历史城区的高品质交通体系,必须对该地区人员活动和出行特质进行分析。历史城区通勤者日常活动出行具有规律性的典型特征,而这些出行占到居民出行的一半以上。

国内外对通勤者活动模式、出行特征及其影响因素已有较多的研究,但是由于历史城区用地性质、人群构成及分布、路网密度等因素与整个城市有着较大差别,这些也是影响居民出行特征的重要因素,因此需要针对性地分析地区通勤者特征、活动参与和出行行为之间的关系。目前面向基于活动的出行需求分析方法主要是通过建立离散选择模型研究活动和出行的决策与相关影响因素的关系,分析和模拟活动参与和出行行为之间的作用机制^[1-7]。这些研究很好地解释了通勤者出行行为与个人和家庭之间相互影响的机理,但是很少有模型能够真正解释清楚出行者特征、活动参与和出行行为这三者之间的复杂关系。

结构方程模型(structural equation modeling, SEM)是 20 世纪 60 年代使用的统计分析手段,它是一种建立、估计和检验因果关系模型的方法,模型中既包含有可观测的显在变量,也可能包含无法直接观测的潜在变量^[8]。随着交通行为科学研究问题复杂性的增加,当研究所涉及的变量增多,需要描述多变量之间的复杂因果关系时,一般的离散选择模型不再适用,越来越多的学者将结构方程模型

(SEM)引入到交通行为研究领域^[9-17]。如 Golob 系统地对结构方程模型在交通行为分析领域的应用进行了综述^[12];Arun 等建立居民在家活动和外出活动与居民社会经济因素的结构方程模型^[13];李志斌等利用结构方程模型对自行车出行市场划分进行研究,描述分析了多因素下自行车出行方式选择及需求市场,较好地解释了很多潜在因素对居民出行过程中方式选择的影响^[14];周钱等应用结构方程模型建立交通需求分析模型,预测精度较以往方法有所提高^[15]。这些研究成果为继续深入研究出行行为与活动关系提供了更为丰富的理论基础。

本文以 2010 年扬州市通勤者出行调查数据为基础,按照居住地和工作地是否位于历史城区内部将通勤者划分为 3 类,分别构建结构方程模型刻画通勤者生存活动强度、维持活动强度与出行行为之间的作用机制,以期更科学地指导历史城区针对性交通政策的制定。

1 结构方程模型

结构方程模型是一种融合了因素分析和路径分析的多元统计技术,能够较好地定量分析多变量间的交互关系。它假定一组潜变量之间存在因果关系,潜变量可以分别用一组显变量表示,同时又是某几个潜变量的线性组合。通过验证显变量之间的协方差,判断潜变量间的相关性。结构方程模型的优点是不仅能够分析变量间的直接效应,还能够分析间接效用,可了解复杂模型中变量之间的相互作用。

1.1 模型选择

由于结构方程模型克服了一般的非集计模型在描述不可直接观测变量及不同变量之间的相互作用时遇到的问题,其在不同的统计分析领域都得到了广泛的应用。常规分析通勤者活动与出行行为特征的过程中,重点关注不同因素对居民活动与行为选择的影响,但是难以识别出不同因素间的内部关系及对居民出行的影响,造成居民对不同政策的响应不同,导致传统的交通需求预测与政策效果估计存在一定的误差。

实施交通需求管理是历史城区未来主要的交通发展策略,不同的策略组合将直接影响居民活动与出行行为,而交通需求管理政策是多项对策的合集,是一种组合条件下的交通需求管理。因此,需要深

入分析通勤者活动与出行的多因素变量间相互作用和组合关系,才能更好地反映历史城区居民出行行为特性,保证居民出行与交通政策之间的响应。这也是本研究分类分析历史城区不同通勤群体出行活动特征及影响因素的初衷。

结构方程模型可以拟合大量内生及外生变量间的复杂相关性,并将多个变量用几个潜变量表示,因此,本文采用结构方程模型从若干观测变量中提取少数潜变量来反映通勤者通勤方式选择的影响因素和作用效应。由于结构方程模型是验证性结构分析,需要明确模型的内部结构,即所选变量之间的作用关系及作用方向。具体模型构建在下文阐述。

1.2 数学表达

一个完整的结构方程模型通常由 2 个测量模型和 1 个结构模型构成。具体表达式为

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \zeta \tag{1}$$

$$y = \Lambda_y\eta + \varepsilon \tag{2}$$

$$x = \Lambda_x\xi + \delta \tag{3}$$

式中: η 为内生潜变量组成的向量; B 为内生潜变量系数矩阵; Γ 为外生潜变量系数矩阵; ξ 为外生潜变量组成的向量; ζ 为结构方程残差向量; y 为内生变量组成的向量; Λ_y 为内生变量 y 在内生潜变量 η 上的因子负荷矩阵; ε 为内生变量测量误差向量; x 为外生变量组成的向量; Λ_x 为外生变量 x 在外生潜变量 ξ 上的因子负荷矩阵; δ 为外生变量测量误差向量。

式(1)为结构模型,分析潜变量之间的关系;式(2)和式(3)为测量模型,表示潜变量与观测变量之间的关系;式(2)将内生潜变量 η 连接到内生标识,即观测到的 y 变量,式(3)将内生潜变量 ξ 连接到内生标识,及所观测到的 x 变量。模型的设定实际上就是设定上述 8 个矩阵中所包含的一套模型参数。这些模型参数既可以设定为固定参数,也可以设定为自由参数。

1.3 参数估计

一个完整的结构方程模型包括 8 个参数矩阵: $\Lambda_y, \Lambda_x, B, \Gamma, \Phi, \Psi, \Theta_\varepsilon$ 和 Θ_δ 。 Γ 为潜变量 ξ 的协方差矩阵, Ψ 为残差向量 ζ 的协方差矩阵, Θ_ε 和 Θ_δ 分别为 ε 和 δ 的协方差矩阵。如果建立的理论模型为真,则理论模型的总体协方差矩阵等于样本总体的协方差矩阵,从而观测变量的方差和协方差都是模型参数的函数。对模型的估计,常用的是极大似然估计,也是本文所采用的估计方法。

1.4 模型评价

模型评价涉及到模型对数据的拟合程度。模型最常用的拟合指标是拟合优度的卡方检验(χ^2)。卡方的大小与样本规模有关,故又相继发展起拟合优度指数(GFI)、修正的拟合优度指数(AGFI)、平方平均残差的平方根(RMR)、近似误差平方根(RMSEA)和信息标准指数等。模型评价可用验证的数据特征、样本规模及假设条件来选择相应的评价指标。

2 模型构建

2.1 模型数据

根据历史城区通勤者职住分布,将通勤者分为 3 类:

- (1)居住地和工作地均在历史城区内,为 I 类;
- (2)居住在历史城区内,工作地在区外,为 II 类;
- (3)居住在区外,工作地为区内,为 III 类。

图 1 给出了 3 类通勤者划分的示意图。

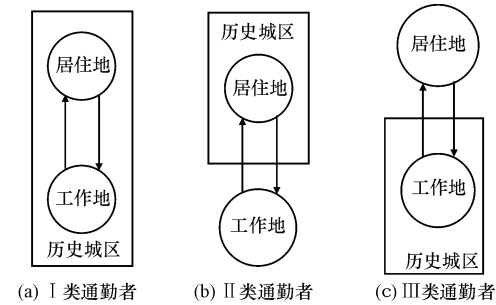


图 1 历史城区 3 类通勤者示意图

Fig. 1 Illustrations of three types of commuters in historic urban area

传统的居民出行行为调查主要在城市某个或几个社区进行随机抽样发放问卷获取数据,这样的调查方式一定程度上不能准确均衡地反映整个区域的出行特征。为确保调查样本的代表性和和数据获取的有效性,本次调查按照居民出行调查的方法,将历史城区进行交通小区划分,分不同的小区进行样本选取。调查依托 2010 年扬州市老城区交通改善项目,将扬州历史城区划分为 11 个交通小区(下页图 2),并在当地政府部门的协调下,开展问卷调查,调查中对问卷某些问题进行了修正,最终数据与其他以扬州市数据为基础的论文数据基本一致^[4]。

按照问卷设计方案,为确保 3 类通勤者都能被调查到,本次调查选择在工作日进行,其中白天调查历史城区的主要工作地,夜晚调查历史城区的主要

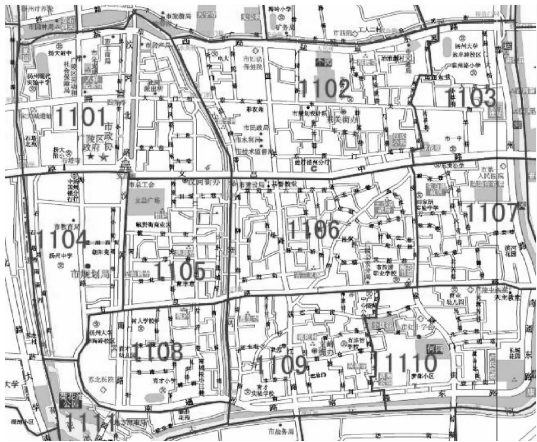


图2 扬州市历史城区交通小区划分

Fig.2 Transportation areas division of historic urban area in Yangzhou

居住地。问卷信息包括两部分:①个人和家庭特征,例如性别、年龄、家庭收入、家庭人口数等;②工作日的出行信息,包括出行的出行时间、持续时间、出行方式选择等。

调查共发放调查表 2 000 份,抽样率在 1% 左右。对回收的问卷进行了出行时间连续性、空间一致性及方式一致性的检验,剔除了无效问卷^[18]。最终得到有效问卷 1 239 份,其中Ⅰ类通勤者 705 份,Ⅱ类通勤者 245 份,Ⅲ类通勤者 289 份。

2.2 数据分析

历史城区 3 类通勤者在出行距离、出行时间、居住地和工作地用地特点等存在较大差异,而这些因素显著影响通勤者的出行行为^[4]。

研究居民活动模式时,通常把活动分为生存活动(工作或工作相关)、维持活动(生活购物、探亲访友和看病)、娱乐活动(文体娱乐)和其他活动。本文研究的活动主要有 3 种:生存活动、维持活动和其他活动。出行链是指 1 d 内出行者从自家出发最终回到自家的一系列出行所构成的封闭链,可形象描述为多次出行的链接,按照活动数目可以划分为简单链和复杂链。根据通勤者工作日本天的出行特点,用于本文分析的典型活动-出行链表示方法有 3 种。

- (1)HWH:简单通勤出行模式,无其他停留,即,家-工作地-家;
- (2)HWHWH:包含基于家的通勤出行往返停留,即,家-工作地-家-工作地-家;
- (3)HW+MH:家和工作地之间有维持出行。

表 1 中给出了 3 类通勤者的出行行为特征的统计描述结果。表中 *N* 为问卷份数。

表 1 出行特征变量的统计分析

Tab.1 Statistics of travel characteristics variables

出行行为特征		Ⅰ类通勤者 <i>N</i> = 705	Ⅱ类通勤者 <i>N</i> = 245	Ⅲ类通勤者 <i>N</i> = 289
日出行次数/次		2.88	2.4	2.42
链个数/个		1.41	1.17	1.22
活动模式	HWH/%	58.4	82.0	81.0
	HWHWH/%	29.2	8.6	12.1
	HW+MH/%	12.4	9.4	6.9
出行方式	慢行方式/%	69.1	56.7	53.3
	公共交通/%	4.0	8.2	9.3
	小汽车/%	26.9	35.1	37.4

根据表 1 可知:

- (1)Ⅱ类通勤者和Ⅲ类通勤者在出行行为方面差别不大,与Ⅰ类通勤者差别较大;
- (2)Ⅲ类通勤者的 HWHWH 高于Ⅱ类通勤者,而 HW+MH 低于Ⅱ类通勤者,因为Ⅲ类通勤者主要在历史城区完成通勤目的的出行,而其他类型的活动可能主要在区外完成;
- (3)Ⅲ类通勤者小汽车比例和公交车比例较高,慢行比例最低,主要因为平均出行距离较前 2 类出行者远;
- (4)Ⅰ类通勤者日出行次数和链的个数多于其他 2 类,这与活动模式的特征相对应,因为Ⅰ类通勤者活动出行链 HWHWH 和 HW+MH 的比例较高,导致以家为基点的链个数和出行次数较多。

2.3 变量选择

虽然出行环境、居住地或者目的地的用地特征,以及交通条件均能够影响通勤者的出行行为特征。但根据已有研究结论,来自出行者主观的影响因素,如个人特征和家庭特征等的作用也很显著^[12-13,15]。本文选取通勤者个人特征(性别和年龄),家庭特征(家庭人口数、是否有小孩、小汽车可用性和家庭收入)作为结构方程的外生变量。

根据调查数据统计,通勤者工作日娱乐出行比例极低,故模型变量不予考虑,最终选取生存活动(以工作目的为主)和维持活动(以家庭购物、外出就餐等目的为主)的各 3 个变量以及表征出行行为特点的出行方式、日出行次数、基于家庭的出行链个数和活动链模式作为结构方程的内生变量。

变量详细描述如下页表 2 所示。

2.4 模型结构

本文主要分析 3 类通勤者的出行行为特征和影响因素的差异性。借鉴已有研究^[4,12-13],下页图 3 给出结构方程模型的结构示意图。模型结构基于以

下假设:家庭特征、个人特征等外生变量对通勤者的活动和出行特征有显著影响,而通勤者的维持性活动往往受到生存活动的影响,生存活动和维持活动又共同影响通勤者工作日的出行特征。

表 2 结构方程模型变量描述

Tab. 2 Exogenous variables and endogenous variables explanation for SEM

变量分类	特征	变量名称	变量描述
外生变量	家庭特征	家庭人口/人	1:1~2;2:≥3
		小孩	0:没有;1:有
		小汽车	0:不可用;1:可用
		年收入/万	1:<3;2:3~6;3:>6
	个人特征	性别	0:女性;1:男性
内生变量	生存活动强度	年龄/岁	1:<30;2:30~50;3:>50
		活动次数 y_{11}	生存活动的出行次数
		出行时间 y_{12}	生存活动总的出行时间
	维持活动强度	持续时间 y_{13}	生存活动总的持续时间
		活动次数 y_{21}	维持活动的出行次数
		出行时间 y_{22}	维持活动的出行时间
		持续时间 y_{23}	维持活动总的持续时间
	出行特征	日出行次数 y_{31}	当天所有出行的次数
		活动链模式 y_{32}	HWH;HWHWH;HW+MH
		出行方式 y_{33}	慢行、公交、小汽车
		链个数 y_{34}	基于家的出行链个数

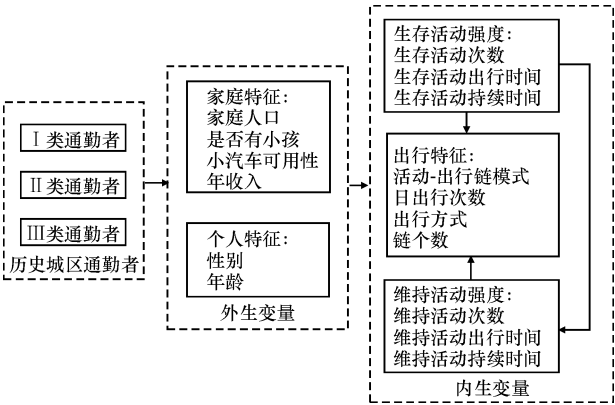


图 3 结构方程建模的模型结构

Fig. 3 Model structure of SEM

3 结果分析与讨论

模型通过结构方程模型软件 AMOS,采用最大似然估计(ML)分别求得 3 类通勤者的模型估计结果,并给出结构关系的路径图,分别如下页图 4 所示。

表 3 为 3 类通勤者的结构方程模型拟合优度检验系数。以 I 类通勤者为例,拟合优度指数 GFI 为 0.91(≥ 0.9),校正拟合优度指数 AGFI 为 0.91(≥ 0.9),近似误差平方根 RMSEA 为 0.05(≤ 0.05),

均方根残差 RMR 为 0.07(≤ 0.5)。其他 2 类通勤者相应的检验值均在可接受的范围内,表明 3 类通勤者的模型拟合程度较好。模型参数的估计值均在 95%置信水平。

表 3 模型拟合优度检验

Tab. 3 Model fitting degree testing results

评价名称	I 类通勤者	II 类通勤者	III 类通勤者
拟合优度指数 GFI	0.91	0.92	0.90
校正拟合优度指数 AGFI	0.91	0.87	0.94
近似误差平方根 RMSEA	0.05	0.05	0.06
均方根残差 RMR	0.07	0.09	0.08

3.1 外生变量的效应分析

结合图 3 给出 3 类通勤者外生变量对内生变量的直接效用、间接效应和总效应,如下页表 4 所示,间接效用表示个人特征或者家庭特征通过某个内生变量对另外一个内生变量产生一定的影响。

I 类通勤者估计结果如下页图 4(a)所示,个人特征对生存活动强度、维持活动强度和出行行为特征的总效应分别为 0.03、-0.79、0.08;;家庭特征对生存活动强度、维持活动强度和出行特征的总效应分别为 0.19、0.83、0.15。

II 类通勤者的个人特征和家庭特征对内生变量的影响如下页图 4(b)所示,个人特征对内生变量的总效应分别为 0.15、-0.74、0.19;家庭特征对内生变量的总效应为 0.16、0.47、0.08。

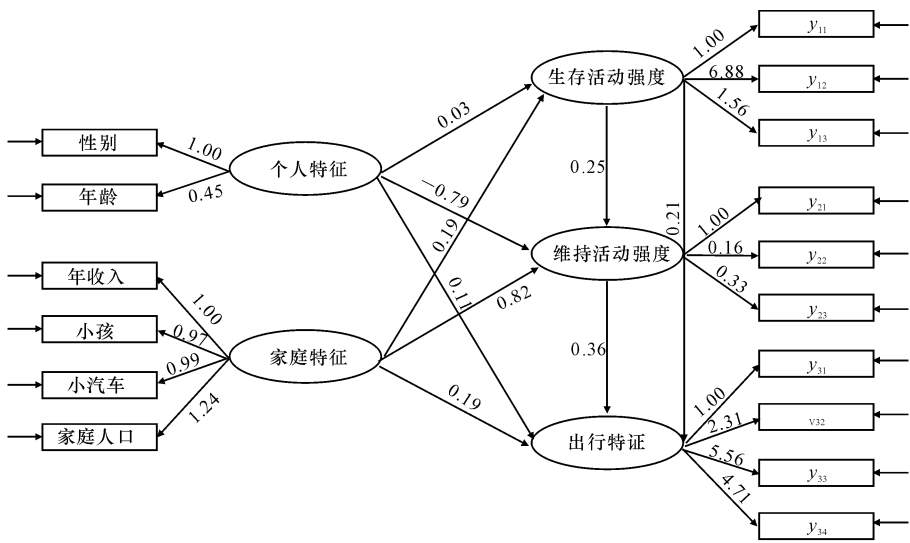
III 类通勤者估计结果如下页图 4(c)所示,个人特征对 3 个内生变量的总效应为 2.30、-1.24、1.64;家庭特征对 3 个内生变量的总效应为 2.48、1.11、1.15。

从 3 类通勤者的外生变量对于内生变量的效应上看,共性特征要远大于个性特征。3 类通勤者都表现出:①男性相比女性更倾向生存活动,男性的维持活动比例较少;②无论是生存活动还是维持活动,活动强度都与家庭收入、家庭人口、是否有小孩和小汽车等正相关。

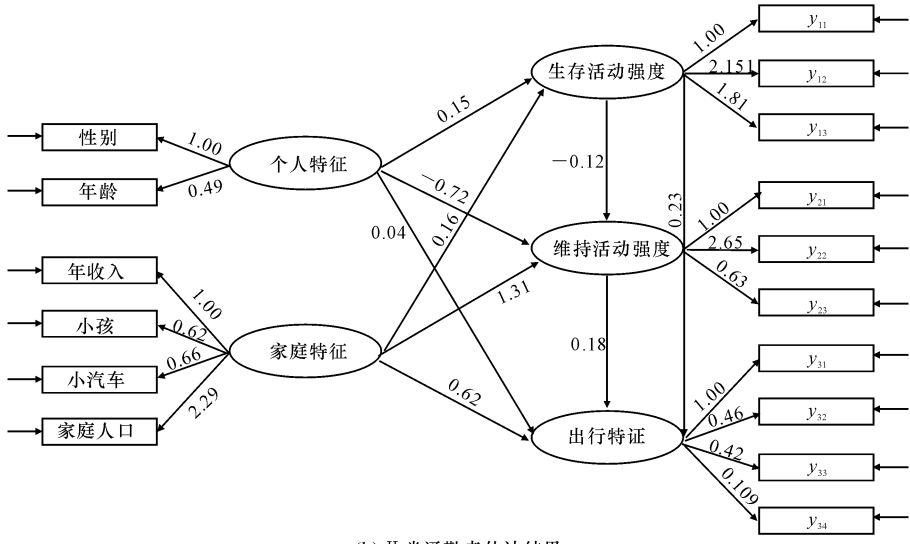
前者可以看出男性和女性在家庭分工中的差异性,男性更偏重于承担与工作相关的活动,或者说是与工作相关的活动更多,而女性则对家庭的照料更多。后者可能表明家庭规模大、结构复杂可能对于活动强度的要求更高,活动也更加丰富,同时拥有小汽车使得更多的活动变得具有可选择性。

3.2 内生变量的效应分析

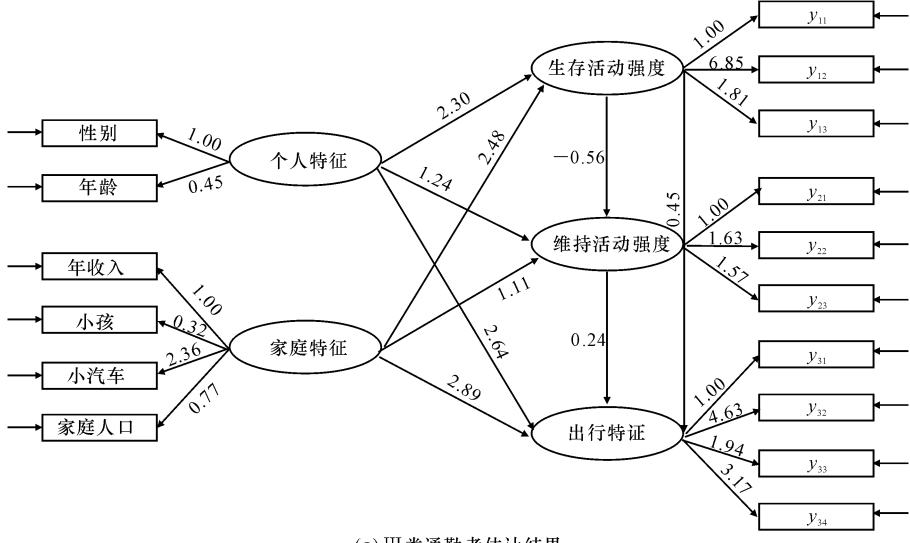
与外生变量对于内生变量的效应是共性更多的特征相反,内生变量之间的效应所体现出的差异和个性特征则更多。下页表 5 给出了 3 类通勤者内生变量的效应值。



(a) I 类通勤者估计结果



(b) II 类通勤者估计结果



(c) III 类通勤者估计结果

图 4 模型估计结果
Fig. 4 Estimation results of SEM model

注:数据为外生变量对内生变量的效应值。

表 4 外生变量对内生变量的直接效应、间接效应和总效应

Tab. 4 Direct, indirect and total effects between exogenous variables and endogenous variables

通勤者类型	变量	个人特征			家庭特征		
		直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
Ⅰ类通勤者	生存活动强度	0.03*		0.03*	0.19*		0.19*
	维持活动强度	−0.79*		−0.79*	0.82*	0.01	0.83
	出行特征	0.11**	−0.03*	0.08*	0.19*	−0.04	0.15
Ⅱ类通勤者	生存活动强度	0.15**		0.15**	0.16*		0.16*
	维持活动强度	−0.72*	−0.02	−0.74*	1.31*	0.16*	0.47*
	出行特征	0.04	0.15**	0.19*	0.62*	−0.54*	0.08*
Ⅲ类通勤者	生存活动强度	2.30**		2.30**	2.48*		2.48*
	维持活动强度	−1.24*		−1.24*	1.11*		1.11*
	出行特征	2.64*	−1.00*	1.64*	2.89**	−1.14	1.15*

注: **表示影响显著程度 $p<0.001$; *表示 $p\leqslant 0.05$ 。

表 5 内生变量间效应值

Tab. 5 Effect value of endogenous variable

通勤者类型	内生变量	生存活动强度	维持活动强度
Ⅰ类通勤者	生存活动强度		
	维持活动强度	0.25	
	出行特征	0.21	0.36
Ⅱ类通勤者	生存活动强度		
	维持活动强度	−0.12	
	出行特征	0.23	0.18
Ⅲ类通勤者	生存活动强度		
	维持活动强度	−0.56	
	出行特征	0.45	0.24

由表 5 可知,Ⅰ类通勤者生存活动对维持活动估计结果为 0.25,说明该类通勤者维持活动强度会随着生存活动强度的增加而增加,与相关的研究结果不同^[13,15]。这主要是因为,Ⅰ类通勤者为居住地和工作地均在历史城区内部,出行方式也以慢行方式为主,并且历史城区作为城中心,功能齐全,这类群体出行距离相对更短,完成各项活动所需时间较短,并且能够选择上下班过程中完成相关的维持活动,导致以维持为目的的出行次数、出行时间和持续时间增加。

Ⅱ类通勤者和Ⅲ类通勤者的生存活动强度对维持活动强度的结果分别为−0.12 和 −0.56,说明生存活动的增加造成相应的维持活动强度减少,当这 2 类通勤者花费较多的时间在生存活动上时,由于出行时耗更长、出行自由度低,很难像Ⅰ类通勤者那样在上下班途中完成家庭购物等维持性活动,导致维持活动的强度就相对变少,该研究结论与以城市通勤者为对象的结论较为符合^[5,13]。

通过对 3 类通勤者的活动链特征的再观察,发现 3 类通勤者内生变量生存活动强度和维持活动强

度对出行行为特征的效应均为正值。以Ⅱ类通勤者为例,生存活动强度和维持活动强度对出行特征的效应分别为 0.23 和 0.18。由于表示出行行为潜变量的观测变量主要是日出行次数和出行链个数,这 2 个观测变量均会随着生存活动强度和维持活动强度的增大而增大,相应的活动—出行链模式也因为涉及到维持活动而变为 HW+MH。

Ⅰ类通勤者生存活动强度对出行特征的效应值为 0.21,小于维持活动强度对出行特征的效应值 0.36,而其他 2 类通勤者的生存活动强度对出行特征的效应值(分别为 0.23 和 0.45)大于维持活动强度对出行特征的效应值(分别为 0.18 和 0.24)。这也表明了历史城区公共服务较为全面,Ⅰ类通勤者日常出行中维持活动伴随生存活动完成,相应的比例较高,导致出行特征较为复杂;而其他两类通勤者则主要以工作出行为主,维持出行比例较低。

4 灵敏度分析

居民出行行为分析的目的是为了了解出行活动与行为的特性变量的相互关系,为了更加准确地评价模型分析的结果和优势,需要对模型进行灵敏度分析。灵敏度分析包括全局灵敏度分析和局部灵敏度分析。全局灵敏度分析是检验多个参数变化对模型整体效果的影响,并分析参数之间互动作用对整体模型的影响。局部灵敏度分析主要研究单个参数变化对模型的影响。由于结构方程模型主要探讨参数变量之间相互作用的影响程度,涉及多参数变量的变化对模型结果的影响。本文以外生变量对内生变量影响的显著性来判定相互影响的灵敏度。由于外生变量中的个体特征及家庭特征都是多参数变量组成,内生变量也是如此,从输出结果看可视作全局灵敏度分析^[5,19]。

灵敏度常用弹性值来表示。由于结构方程模型参数变量并不是都是连续变量,故根据模型结果中的外生变量对内生变量影响显著程度的 p 值来反映灵敏度的大小。一般影响越显著,表明灵敏度越高,敏感性越强。外生变量对内生变量影响的显著性如表 6 所示。

表 6 外生变量变化对内生变量的显著性(p 值)

Tab. 6 Significance of the changes of exogenous variables to endogenous variables			
通勤者类型	变量	个体特征	家庭特征
I 类通勤者	生存活动强度	0.012	0.031
	维持活动强度	0.042	0.058
	出行特征	<0.001	0.052
II 类通勤者	生存活动强度	<0.001	0.027
	维持活动强度	0.040	0.033
	出行特征	0.031	0.019
III 类通勤者	生存活动强度	<0.001	0.049
	维持活动强度	0.045	0.038
	出行特征	0.044	0.043

根据表 6 可得如下结论。

(1) I 类通勤者的外生变量中个体特征对内生变量的出行特征的影响非常显著,灵敏度最高,敏感性最强,其次是维持活动强度,最后是生存活动强度;家庭特征对生存活动的影响显著,但是对维持活动和出行特征的影响并不显著;个体特征对生存活动强度、维持活动强度及出行特征的影响明显高于家庭特征。

(2) II 类通勤者的外生变量中个体特征对生存活动强度的影响最为显著,灵敏度最高,其次是出行特征和维持活动强度;家庭特征对生存活动强度、维持活动强度和出行特征的影响都比较显著,灵敏度也比较高;家庭特征与个体特征相比,个体特征对生存活动强度影响的灵敏度较家庭特征要高,但对维持活动和出行特征影响的灵敏度较家庭特征要低。

(3) III 类通勤者的外生变量中个体特征对生存活动强度的影响非常显著,灵敏度高,对维持活动强度和出行特征影响的灵敏度要弱于生存强度;家庭特征对生存活动强度和出行特征的灵敏度较高,但是对维持活动强度影响的灵敏度并不是很高,影响不够显著;而家庭特征较个体特征对维持活动强度和出行特征的影响要高。

(4) 根据 3 类通勤者外生变量对内生变量影响的灵敏度分析来看, I 类通勤者的内生变量受个体特征的影响较家庭特征要小,而 II 类通勤者和 III 类通勤者除生存活动强度外,结果恰恰相反。究其原因主要是跟不同通勤者的职住关系和配套设施相关。

通过灵敏度的分析可以更加直观地看出外生变量对内生变量的影响,更进一步验证了结构方程模型得出的不同参数变量间的相互作用关系是合理的。

5 结 语

(1) 将历史城区通勤者划分为 3 类,根据扬州市通勤者出行调查数据,建立结构方程模型,探讨 3 类通勤者的活动强度与出行行为特征的作用机制。研究表明,对于通勤者个体而言,居住地和工作地所处区位的差异,对于其活动特征和出行特征具有较强的影响作用,而出行者个体和家庭属性的影响相对来说要小很多。

(2) 一般而言,居住和工作都在历史城区的通勤者其活动强度和活动复杂度更高,伴随着生存活动,往往会有维持活动。由于历史城区用地布局的混合性特点和出行的短距离特点,使得这类通勤者有条件进行更多更丰富的活动。相反,尤其是居住在城市外围,工作在历史城区内的通勤者,活动相对单调,生存活动越多,导致维持活动越低,这也是由于其出行特征和所居住的区域可能配套较差有关。

(3) 通过细分历史城区通勤者,能够全面了解不同类型通勤者的出行行为,从而科学指导相应政策的制定。随着历史城区功能的优化与交通系统的改善,以及交通政策的完善,可能会带来居民活动与出行行为特征的新变化。将行为研究与交通政策制定协同考虑,动态分析政策引导下的历史城区出行活动特征对于实施跟踪与动态反馈交通政策制定具有重要的现实意义,是今后研究的重点。

参考文献:

References:

[1] Joao A S, Catheerine M, Konstadinos G G. Using structural equations modeling to unravel the influence of land use patterns on travel behavior of workers in Montreal[J]. Transportation Research Part A, 2012, 46(8): 1252-1264.

[2] Wang J Q, Niu H M. Graded-information feedback strategy in two-route systems under ATIS[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(2): 138-145.

[3] Manoj M, Ashish V. Activity based travel demand models as a tool for evaluating sustainable transportation policies[J]. Economics of Sustainable Transportation, 2013, 38(1), 45-66.

[4] 叶 茂, 于 森, 过秀成, 等. 历史城区居民出行活动模式选择影响因素分析[J]. 东南大学学报: 自然科

- 学版,2014,44(1):211-215.
- YE Mao, YU Miao, GUO Xiu-cheng, et al. Analysis of effects of contributing factors on choice of activity pattern in historic urban areas[J]. Journal of Southeast University: Natural Science Edition, 2014, 44(1):211-215. (in Chinese)
- [5] 徐婷,蓝臻,胡大伟,等.出行成本对居民出行方式的影响[J]. 交通运输工程学报,2013,13(1):91-97.
- XU Ting, LAN Zhen, HU Da-wei, et al. Influence of trip cost on trip mode for resident[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 13(1):91-97. (in Chinese)
- [6] 杨敏,王炜,陈学武,等.工作者通勤出行活动模式的选择行为[J]. 西南交通大学学报,2009,44(2):274-279.
- YANG Min, WANG Wei, CHEN Xue-wu, et al. Activity pattern choice of work commuting trip by workers[J]. Journal of Southeast Jiaotong University, 2009, 44(2):274-279. (in Chinese)
- [7] Wu Y, Lu J, Chen H, et al. Identification of contributing factors to pedestrian overpass selection[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1(6):415-423.
- [8] 吴明隆. 结构方程模型-AMOS 的操作与应用[M]. 重庆:重庆大学出版社,2010.
- WU Ming-long. Structural equation model: operation and application of AMOS[M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2010.
- [9] 曹小曙,林强.基于结构方程模型的广州城市社区居民出行行为[J]. 地理学报,2011,66(2):167-177.
- CAO Xiao-shu, LIN Qiang. A SEM-based study on urban community residents' travel behavior on guangzhou[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(2):167-177. (in Chinese)
- [10] 陈坚,宴启鹏,杨飞,等.出行方式选择行为的SEM-Logit 整合模型[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2013,41(2):51-57.
- CHEN Jian, YAN Qi-peng, YANG Fei, et al. SEM-logit integration model of travel mode choice behavior[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2013, 41(2):51-57. (in Chinese)
- [11] 张文佳,柴彦伟.基于家庭的城镇居民出行需求理论与验证模型[J]. 地理学报,2008,63(12):1246-1256.
- ZHANG Wen-jia, CHAI Yan-wei. Theories and confirmed model of urban resident's travel demand: considering Intra-household Interaction[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(12):1246-1256. (in Chinese)
- [12] Golob T F. Structural equation modeling for travel behavior research[J]. Transportation Research Part B, 2003, 37(1):1-25.
- [13] Arun R K, Ram M P. A structural equations analysis of commuters' activity and travel patterns[J]. Transportation, 2001, 28(1):33-54.
- [14] Li Z B, Wang W, Yang C, et al. Bicycle commuting market analysis using attitudinal market segmentation approach[J]. Transportation Research Part A, 2013, 47(1):56-68.
- [15] 周钱,李一,孟超.基于结构方程模型的交通需求分析[J]. 清华大学学报:自然科学版,2008,48(5):879-882.
- ZHOU Qian, LI Yi, MENG Chao. Analysis of travel demand based on a structural equation model[J]. Tsinghua University: Sci & Tech, 2008, 48(5):879-882. (in Chinese)
- [16] 赵昕,关宏志,龚丽媛.基于结构方程的家庭假日外出活动关联性分析[J]. 交通运输系统工程与信息,2011,11(4):85-90.
- ZHAO Xin, GUAN Hong-zhi, GONG Li-yuan. Modeling correlation of family holiday activity based on structural equation model[J]. Journal of Transportation System Engineering and Information Technology, 2011, 11(4):85-90. (in Chinese)
- [17] Enda M. Urban spatial location advantage: the dual of the transportation problem and its implications for land-use and transportation planning[J]. Transportation Research Part A, 2012, 46(1):91-101.
- [18] 杨励雅,邵春福,李霞.城市居民出行方式选择的结构方程分析[J]. 北京交通大学学报,2011,35(6):1-6.
- YANG Li-ya, SHAO Chun-fu, LI Xia. Structural equation model analysis of travel mode choice for urban residents[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2011, 35(6):1-6. (in Chinese)
- [19] 赵冬泉,董鲁燕,王浩正,等.降雨径流连续模拟参数全局灵敏性分析[J]. 环境科学学报,2011,31(4):717-723.
- ZHAO Dong-quan, DONG Lu-yan, WANG Hao-zheng, et al. Global sensitivity analysis of a rainfall-runoff model using continuous simulation[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(4):717-723. (in Chinese)