

基于多区域人群的上海公交走廊出行行为

狄 迪, 杨东援

(同济大学 交通运输工程学院, 上海 201804)

摘要: 基于上海市公共交通走廊内的乘客出行调查, 利用离散选择理论, 建立了现状调查/假设意愿调查(RP/SP)融合数据的 Nested Logit 模型. 通过模型参数标定、敏感性分析从定性、定量两个角度研究了在城市公交走廊内, 来自不同区域的出行者对于公共交通方式的出行行为及影响因素; 在此基础上, 分析了模型在不同空间范围内的转移适用性; 最后, 通过算例进行分析和验证. 通过研究可知, 在城市公交走廊内, 影响出行者选择行为的因素不尽相同, 其区域差异性不容忽视; 其次, 不同区域的出行者对于各公交方式的偏好存在较大差异; 再次, 不同区域的出行者在走廊内选择交通方式时, 对于同一影响因素的敏感性有所不同. 从数据获取、模型建立、标定分析及仿真验证四个步骤依次展开, 提出了针对不同区域出行者在城市公交走廊选择行为的基本方法和必要性, 对未来城市公共交通走廊的规划和改进提供新的思路 and 方向.

关键词: 多区域人群; 公交走廊; 出行行为; 现状调查/假设意愿调查(RP/SP)数据融合; Nested Logit 模型

中图分类号: U491

文献标志码: A

Travel Behavior Analysis of Different-regional Passengers for Public Transport Corridor in Shanghai

DI di, YANG Dongyuan

(School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Through the passenger behavior survey of public transport corridor in Shanghai, this paper proposes a revealed preference/stated preference (RP/SP) combined Nested Logit model. Based upon the discrete choice theory, the proposed model analyzes qualitatively and quantitatively the travel behavior of different-regional passengers and some factors which influence their behavior. And then the paper researches the spatial transferability of this model. Finally, the model aims to simulate the travel behavior of different-regional passengers upon different policy scenarios. The results shows that in urban public transportation corridor, the factors which

influence passenger travel behavior are different because they come from different regions. Secondly, for different-regional passengers, their preference of public mode may also be different. Thirdly, there are differences among the sensibilities of different-regional passengers to some factors which influence their travel behavior. Relying on data collection, modeling, parameter calibration and simulation, the paper provides a method of analyzing travel behavior for different-regional passengers, which may be a useful tool for function optimization and efficiency enhancement of urban public transport corridor.

Key words: different-regional passengers; public transport corridor; travel behavior; revealed preference/stated preference(RP/SP) combined; Nested Logit model

中国大型城市在过去 20 年保持极高的发展速度, 以上海为例, 其年均国民生产总值(GDP)增速均超过 8%, 这一趋势在未来相当长的时间内可能将保持下去. 这直接导致城市中人们的出行活动大幅增加, 但相应的交通设施及政策往往难以与之匹配, 这一问题在城市公共交通走廊往往更加凸显. 所谓公共交通走廊, 是连接城市重要节点及交通枢纽, 实现城市内部出行客流或进出城客流快速流转的通道. 不难看出, 当城市公交走廊难以实现客流高效、快速的流转, 可能导致城市某些功能失效, 严重抑制城市的发展.

合理的公交方式配置及有效的交通政策对达成公交走廊的功能优化极为必要, 实现这一目标的关键在于了解公交走廊内出行者的出行行为内在机理. 需要注意的是, 公交走廊往往横跨城市的不同区域, 这些区域的发展往往不平衡, 导致居民的出行存在差异, 因而有必要研究(居住于)不同区域出行者在公交走廊的出行行为. 其次, 公交走廊内包含多种公交方式, 研究出行者对公交方式的选择意义重大, 其结论有助于了解各公交方式的竞争关系及发展潜

力,为实现走廊内公交方式优化配置寻找依据.最后,决策者有时需要一套有效的方法,用以预测和判断在公交走廊内新增公交方式的可行性,以上海为例——可针对有轨电车这类新增交通方式进行相关预测,相关研究表明,现状调查(revealed preference, RP)与假设意愿调查(stated preference, SP)相结合的方法较为可靠.

关于选择行为的研究,通常采用离散选择模型作为分析方法.这一模型基于效用最大化理论,研究各种离散选择变量在微观层面对单一出行个体选择行为的影响^[1].二项 Logit 模型(简称 BL 模型)和多项 Logit 模型(MNL 模型)是离散选择模型的基本应用,其建立在出行方式的独立不相关假设(IIA)上.之后,出现了 Nested Logit 模型(NL 模型)并被广泛使用,其特点在于能在一定程度上克服 IIA 对于模型的影响,即通过建模,将 IIA 控制在同一巢内的出行方式,而不同巢内的出行方式则不受这一假设制约^[2-3].目前一些研究开始利用混合多项 Logit 模型(M-MNL 模型)分析人们的行为选择及时间价值,能够对不同类型出行者的选择偏好进行更为细化的分析^[4];但这一模型对于调查数据的质量要求更高,调查步骤和方法更加复杂^[5-6].在实证研究方面,Dissanayake 等利用 MNL 模型分析了曼谷居民收入与选择行为的相互关系^[7];Román 等基于 SP 数据,利用 NL 模型研究马德里—萨拉戈萨—巴塞罗那之间高速列车与其他方式的竞争^[8].

本文通过对上海市公共交通走廊内出行者的出行行为调查,收集了 RP、SP 两类数据.首先,清洗筛选有效数据,并基于出行者居住区域对数据进行分类统计;其次,针对 RP、SP 数据的非显现效用项存在差异这一特点,建立基于 RP/SP 融合数据的 NL 模型;最后,对不同区域出行者在公交走廊的出行行为进行对比分析,获取相关影响因素及结果.

1 研究区域及数据描述

上海市公共交通走廊的居民出行调查是本文重要组成部分,构成分析及研究的基础.以下对于调查区域及数据进行基本的介绍和描述.

1.1 研究区域概述

本文的研究区域为上海市轨道交通 2 号线及沿线辐射区域(轨道线两侧 500 m 范围内),共同构成了上海市公共交通走廊,问卷调查在此范围内开展.同时,上海市的内环高架路和外环高架路将整个市

域划分为内环内、内外环和外环外 3 个部分,分别代表了上海的市中心、中心城区和郊区,公交走廊内的出行者分别来自这三个区域,如图 1 所示.

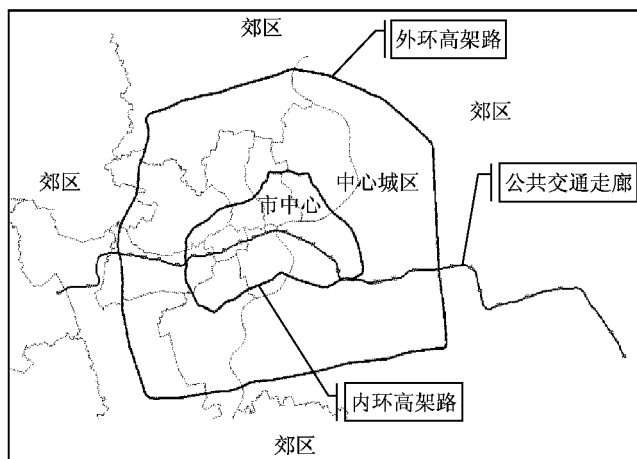


图 1 研究区域概览图

Fig.1 Research regions in this study

1.2 数据基本描述

本文通过问卷调查的形式随机收集数据,数据类型分为 RP 数据、SP 数据和个人/社会经济属性数据三类,即每一位被调查者需要完成三部分的调查内容;调查形式采取面对面的问询形式,并由调查员当面完成问卷的填写.

RP 调查数据为实际数据,主要包含被调查者曾经的实际选择行为,其调查情景是实际发生的.本文进行的 RP 调查主要收集被调查者的日常实际出行信息,主要包含:出行方式、行程时间、步行时间、出行费用、交通方式的舒适度和可靠性;出行方式为现实存在的交通方式,即轨道交通、公交巴士和出租车.

SP 调查数据是一种基于研究者假设情景的调查方法,主要以获取人们对假定条件下的多个方案所表现出来的主观偏好为目的,其调查的情景是假设的.本文的 SP 调查场景中的服务水平指标包含:方式选择、行程时间、步行时间、出行费用、交通方式的舒适度和可靠性;可供选择的交通方式包含:轨道交通、公交巴士、出租车和有轨电车,其中有轨电车为新交通方式,现实中不存在.

个人/社会经济属性数据主要包含:性别、年龄、职业、教育水平、个人收入、居住区位和性格特征等;与以上两部分数据共同构成一位出行者的完整信息.

调查共发放问卷 1 800 份,对回收问卷进行清洗和筛选后,获得有效问卷 1 491 份,总体合格率为

82.8%;其中有效问卷中居住于内环内、内外环、外环外的出行者分别为 378、498、615 份.通过对问卷中个人/社会经济属性数据的统计分析,如性别、年龄、教育水平和收入,其比例与上海人口统计年鉴基本一致,说明调查数据均匀可信,如表 1 所示.

表 1 有效样本中关于个人/社会经济属性数据的统计分析

Tab.1 Statistic analysis about socio-economic characteristics(SECs) of the samples

数据类型		数量	比例/%	样本
性别	男性	717	48.1	1 491
	女性	774	51.9	
年龄	20-25	321	21.5	1 491
	26-34	725	48.6	
	35-44	289	19.4	
	45-60	156	10.5	
教育水平	初中	67	4.5	1 491
	高中及职教	574	38.5	
	本科	766	51.4	
	硕士/博士	84	5.6	
个人年收入/元	≤25 000	125	8.4	1 491
	25 000-60 000	595	39.9	
	60 000-120 000	625	41.9	
	120 000-250 000	95	6.4	
	≥250 000	51	3.4	

2 模型建立

本文采用离散选择理论建立 NL 模型,通过对 RP、SP 数据的融合,研究在上海市公共交通走廊内,不同区域出行者的出行行为;在此基础上,分析了选择行为模型的空间转移适用性,以及不同因素对走廊内公交方式的影响程度.

2.1 基于 RP/SP 数据的效用函数

本文对于出行方式的效用函数主要由两个主要部分构成,首先为出行方式的服务指标,如行程时间、出行费用、舒适度等;其次为出行者的个人/社会指标,如年龄、收入、教育水平、性格偏好等.则 RP、SP 数据的效用函数为:

$$U_{RP,i} = V_{RP,i} + \epsilon_{RP,i} = \alpha_{RP,i} + \chi_{RP} \cdot S_{RP,i} + \gamma_{RP} \cdot D_{RP,i} + \epsilon_{RP,i}, \forall i \in M_{RP} \quad (1)$$

$$U_{SP,j} = V_{SP,j} + \epsilon_{SP,j} = \alpha_{SP,j} + \chi_{SP} \cdot S_{SP,j} + \gamma_{SP} \cdot D_{SP,j} + \epsilon_{SP,j}, \forall j \in M_{SP} \quad (2)$$

式中: M_{RP} 、 M_{SP} 分别为 RP、SP 数据中出行方式集合, M_{RP} 包含轨道交通、公共巴士和出租车, M_{SP} 包含轨道交通、公共巴士、出租车和有轨电车; $V_{RP,i}$ 、 $V_{SP,j}$ 为 RP、SP 函数的显现化效用项; $\alpha_{RP,i}/S_{RP,i}/D_{RP,i}$ 、 $\alpha_{SP,j}/S_{SP,j}/D_{SP,j}$ 分别为 RP、SP 效用函数中的相应出行方式的特定常数项、服务水平变量和特定虚拟变

量; χ_{RP} 、 γ_{RP} 、 χ_{SP} 、 γ_{SP} 为 RP、SP 效用函数中的各相应变量系数; $\epsilon_{RP,i}$ 、 $\epsilon_{SP,j}$ 为 RP、SP 函数的非显现化效用项,假设其服从同一参数独立的 Gumbel 分布,对应方差设为 σ_{RP}^2 、 σ_{SP}^2 .

2.2 基于 RP/SP 融合数据的 NL 模型

RP/SP 数据融合的基础是被调查者在两种数据中对效用函数中显现化效用的感知相同,反映在效用函数中就是选择同一出行方式的相同变量的系数相同,即 $\chi_{RP} = \chi_{SP} = \chi$ 、 $\gamma_{RP} = \gamma_{SP} = \gamma$. 同时, RP、SP 数据的非显现化效用项往往存在不同,因此两类数据融合的本质是校准非显现化效用项,使其方差 σ 相等,此处引入测度系数 μ 对 RP/SP 数据的效用函数进行修正. 则有:

$$\sigma_{RP}^2 = \mu \cdot \sigma_{SP}^2 \quad (3a)$$

$$U_{RP,j} = \mu \cdot U_{SP,j} \quad (3b)$$

式中, $U_{RP,j}$ 和 $U_{SP,j}$ 分别为第 j 类交通方式在 RP、SP 数据下的效用函数.

借助 NL(Nested Logit)模型的思路建立两种数据的融合,选择树如图 2 所示.

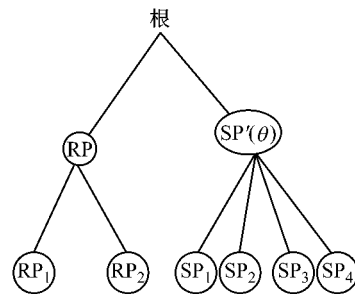


图 2 NL 数据融合模型选择树

Fig.2 Selection tree of NL model based on data combination

此外,基于离散选择模型分别得到基于 RP、SP 数据下出行者选择某一出行方式的选择概率:

$$P_{RP,ni} = \exp(V_{RP,ni}) / \sum_{i=1}^m \exp(V_{RP,ni}) \quad (4)$$

$$P_{SP,jn} = \exp(\mu \cdot V_{SP,jn}) / \sum_{j=1}^m \exp(\mu \cdot V_{SP,jn}) \quad (5)$$

利用 NL 模型构造 RP/SP 融合数据的对数似然函数,则有:

$$\ln L_{RP+SP}(\hat{\alpha}_{RP,i}, \hat{\alpha}_{SP,j}, \hat{\chi}, \hat{\gamma}, \delta, \mu) = \ln L_{RP}(\hat{\alpha}_{RP,i}, \hat{\chi}, \hat{\gamma}, \delta) + \ln L_{SP}(\hat{\alpha}_{SP,j}, \hat{\chi}, \hat{\gamma}, \delta, \mu) \quad (6)$$

且有:

$$\ln L_{RP}(\hat{\alpha}_{RP,i}, \hat{\chi}, \hat{\gamma}, \delta) = \sum_n \sum_{i \in M_{RP}} \delta_{RP,ni} \cdot \ln P_{RP,ni} \quad (7)$$

$$\ln L_{SP}(\hat{\alpha}_{SP,j}, \hat{\chi}, \hat{\gamma}, \delta, \mu) = \sum_n \sum_{j \in M_{SP}} \delta_{SP,jn} \cdot \ln P_{SP,jn} \quad (8)$$

在 RP、SP 数据中,当出行者 n 选择方式 i 或 j 时,有 $\delta_{RP,ni} = 1$ 或 $\delta_{SP,jn} = 1$,其余情况为 0.

以上模型通过测度系数建立了 RP、SP 数据中非显现实效用之间的联系,并利用 NL 模型实现了两种数据的融合.有一点值得注意,测度系数 μ 是度量 RP、SP 效用模型非显现实部分之间独立程度的指标,其取值范围为 $[0, 1]$,其值越大,独立程度越高,当 $\mu = 1$ 时 NL 模型退化为 MNL 模型,即建立 NL 模型无意义.

2.3 模型的空间转移适用性

基于某一区域的 RP/SP 数据建立的 NL 模型能够有效分析本区域内出行者在公交走廊内的出行行为,但能否将这一模型用以分析其他区域出行者的出行行为,其可行性需要验证.本文利用转移测试值(TTS,以 T_{TS} 表示)对模型的潜在空间转移适用性进行分析,则有:

$$T_{TS} = -2[L_{Base}(\hat{\beta}_{Transfer}) - L_{Base}(\hat{\beta}_{Base})] \quad (9)$$

式中: $L_{Base}(\hat{\beta}_{Transfer})$ 为转移模型的对数似然值(其变量数据来自原区域模型,而变量系数则取自转移后区域的模型); $L_{Base}(\hat{\beta}_{Base})$ 为原模型的对数似然值(其变量数据及系数均来自原区域模型).

通过转移测试值(TTS)与相应的 χ^2 值进行比较,当转移测试值(TTS)显著大于 χ^2 值时,可拒绝基本假设,转移模型与原模型具有等效性,即选择行为模型具有空间转移适用性^[9-10].如果行为模型具有空间转移性,则单一模型在不同区域具有普适性,建模成本将大大降低,具有较大的现实意义.

2.4 影响因素对交通方式的弹性模型

不同因素对交通方式的直接弹性系数决定了影响程度的大小;影响因素 k 对于出行者 q 在选择出行方式 i 时的直接弹性系数为

$$E_{P_{iq}, X_{ikq}} = \frac{\partial P_{iq}}{\partial X_{ikq}} \cdot \frac{X_{ikq}}{P_{iq}} = -\theta_{ik} (1 - P_{iq}) \cdot X_{ikq} \quad (10)$$

式中: θ_{ik} 为第 k 种影响因素的估计参数值; P_{iq} 为出行者 q 选择出行方式 i 的概率; X_{ikq} 为影响因素 k 对出行方式 i 的边际影响水平.

3 模型标定及分析

针对于公交走廊内来自于不同区域(内环内、内

外环、外环外)的三类出行者,分别建立基于 RP/SP 融合数据的 NL 模型(后文简称模型 1/2/3).模型 1/2/3 的测度系数为 0.84、0.71、0.53,均位于 $[0, 1]$ 且显著,即 NL 模型优于 MNL 模型.同时,模型 1/2/3 的优度比系数为 0.24、0.38、0.33,表明模型均具有较高的精度.

3.1 相关参数标定及解释

模型 1/2/3 均将有轨电车的常数项设为 0.轨道交通常数项在模型 1/2 中显著且符号为正,说明居住在内外环区域的出行者在公交走廊内出行时,对于轨道交通有明显的选择偏好,且后者对轨道交通的偏好程度更强.公交巴士常数项只在模型 3 中显著,且符号为负,说明在走廊内出行时,居住于外环外的出行者对选择公交巴士出行存在明显的排斥.出租车常数项在模型 1/2/3 中均显著且符号为正,说明各区域的出行者在走廊内均乐于选择出租车出行;但在数值上外环外(3.46)明显大于另两个区域(0.27、1.54),表明当沿公交走廊出行时,居住地越靠近外围区域的出行者,选择出租车的偏好越强烈.

模型 1/2/3 中,行程时间和出行费用这两个服务水平变量系数均显著且符号为负(与实际相符合);同时,外环外的出行费用系数绝对值和显著性都远高于其他两个区域,表明当沿公交走廊出行时,出行费用对居住在这一区域的出行者的出行行为影响较大.步行时间系数只在模型 2 显著且符号为负,说明居住于内外环区域的出行者对于步行距离(起点至车站/车站至终点)较为敏感,且其数值绝对值(-0.092)远大于同一区域的行程时间系数(-0.024),表明居住于内外环区域的人群认为相对于出行方式的车内运行时间,长时间的步行时间(从起点至车站或车站至终点)更加难以容忍.

通过模型参数标定可知(表 2),影响出行者选择行为的虚拟变量主要涉及舒适性、可靠性、性别、年龄、性格、收入、教育水平及私家车拥有情况.在模型 1/2/3 中(所有区域),出行者都强烈希望公交走廊内的轨道交通能够提高舒适性、公交巴士能够提高可靠性.在模型 2/3 中,即居住在城市中外围区域的出行者,当走廊内的出租车/有轨电车具有高可靠性时,对此二种方式表现出较强的选择倾向性.表 2 中,“—”表示参数的相关关系不显著,作用可忽略.

在模型 1 中(居住于内环内),性别和年龄对人们在公交走廊内的行为选择有显著影响;一般而言,男性更倾向于选择轨道交通,而女性则偏爱出租车.

表2 公交走廊内基于不同区域人群的行为模型的参数标定

Tab.2 Parameter estimation of different-regional passengers for the public transport corridor

变量	居住于内环内		居住于内外环		居住于外环外	
	系数值	t 检验值	系数值	t 检验值	系数值	t 检验值
特定常数项						
轨道交通	2.06	4.61	2.29	5.59	0.31	0.88
公交巴士	0.33	0.62	0.77	1.07	-1.49	-3.88
出租车	0.27	2.35	1.54	2.03	3.46	4.55
有轨电车	0	—	0	—	0	—
服务水平变量						
行程时间/min	-0.036	-3.46	-0.024	-2.25	-0.040	-4.57
步行时间/min	—	—	-0.092	-3.81	—	—
出行费用/元	-0.027	-2.65	-0.042	-2.86	-0.075	-4.67
特定虚拟变量						
舒适度:高(轨道交通)	0.73	3.11	0.65	2.71	0.73	3.69
可靠性:高(公交巴士)	1.06	4.11	1.65	6.07	1.23	5.96
可靠性:高(出租车)	—	—	1.21	3.76	0.70	2.42
可靠性:高(有轨电车)	—	—	1.60	2.48	3.27	4.91
性别:男性(轨道交通)	0.38	3.23	—	—	—	—
性别:女性(出租车)	0.85	3.19	—	—	—	—
年龄:20~25(轨交/出租车)	0.86/1.03	3.63/2.49	—	—	—	—
年龄:20~25(有轨电车)	1.09	2.16	—	—	—	—
年龄:26~34(轨交/有轨电车)	0.61/-0.71	3.19/-2.13	—	—	—	—
年龄:45~60(轨交/有轨电车)	-0.25/-0.32	-6.93/-4.67	—	—	—	—
性格:责任心强(有轨电车)	—	—	-0.85	-2.33	—	—
收入:≤25 000元(公交巴士)	—	—	1.16	2.87	—	—
收入:120 000~250 000元(公交巴士)	—	—	-1.28	-2.58	—	—
收入:≥250 000元(公交巴士)	—	—	-3.76	-6.79	—	—
教育水平:初中(有轨电车)	—	—	-3.66	-2.57	—	—
教育水平:高中(轨道交通)	—	—	1.36	3.83	—	—
教育水平:高中(公交巴士)	—	—	1.24	3.28	0.48	2.87
教育水平:本科(有轨电车)	—	—	—	—	0.65	1.99
教育水平:硕士/巴士(有轨电车)	—	—	2.39	4.91	0.39	3.74
私家车:拥有(出租车)	—	—	—	—	1.69	2.83
私家车:拥有(有轨电车)	—	—	—	—	0.60	2.57
测度系数						
μ	0.84	3.26	0.71	4.02	0.53	5.95
其他参数估计						
有效样本	378		498		615	
$L(\beta)$	-380.62		-407.66		-554.63	
$L(0)$	-524.02		-690.37		-852.57	
优度比系数	0.24		0.38		0.33	
时间价值/(元·h ⁻¹)	80		35		32	

年龄在20~25岁的出行者对轨道交通、出租车和有轨电车都有一定偏好,尤其对有轨电车兴趣浓厚;年龄在26~34岁的出行者偏好轨道交通,而对有轨电车较为抵触;年龄在45~60岁的则对轨道交通和有轨电车这两种方式均不感兴趣.在模型2中(居住在内外环),性格、收入和教育水平对人们在公交走廊内的选择行为有显著影响;责任心强的出行者对于有轨电车的系数为负且显著(-0.85),则其对于有轨电车这种新交通方式较为排斥.个人年收入≤25 000元的出行者对于公交巴士的系数为正且显著(1.16),更倾向于选择公交巴士出行;个人年收入在

120 000~250 000元、个人年收入≥250 000元对于公交巴士这两项系数均为负且显著,则对于公交巴士具有强烈的排斥感,且后者(-3.76)绝对值远大于前者(-1.28),可知收入水平越高,排斥程度越强.教育水平较低的人群倾向选择轨交和巴士,对于有轨电车较为排斥;而教育水平较高的人群正好与之相反,对新交通方式兴趣浓厚.在模型3中(居住在外环外),教育水平和私家车拥有情况对人们在公交走廊内的行为选择有显著影响;教育水平对出行方式的偏好趋势与模型2相似;拥有私家车的人群对于选择出租车和有轨电车具有更高的倾向性,尤

其偏好出租车。

最后,基于行程时间、出行费用系数分别计算居住于不同区域的出行者的出行时间价值,可以得到内环内、内外环及外环外的时间价值分别为 80、35 和 32 元·h⁻¹,与实际相符合,表明模型的变量系数标定准确可靠。

3.2 模型的空间转移适用性分析

本文通过建立三组转移模型与原模型进行比较分析(内外环模型在内环内区域、外环外模型在内环内区域、外环外模型在内外环区域),研究了公交走

廊内基于不同区域出行者的行为模型的空间转移适用性,用以验证其是否具有相互替代性。如表 3 所示,TTS 值均显著大于相应 χ^2 值,可以拒绝转移模型与原模型具有等价性的假设,即三个行为模型均不具有空间转移适用性。由此可知,对于公交走廊内来自不同区域的出行者,有必要基于各自统计数据分别建模,单一模型难以全面、准确地分析所有出行者的出行行为。表中,下标 i-o,inner,outer 分别表示内外环、内环内、外环外区域。

表 3 基于不同区域出行者的行为模型的空间转移适用性分析

Tab.3 Result of spatial transferability analysis for different-regional passengers

对比区域	对数似然函数值		转移测试值 T_{TS}	χ^2
	原模型	转移模型		
内外环—内环内	$L_{i-o}(\hat{\beta}_{i-o}) = -690.37$	$L_{i-o}(\hat{\beta}_{inner}) = -531.57$	317.60	100.42
外环外—内环内	$L_{outer}(\hat{\beta}_{outer}) = -852.57$	$L_{outer}(\hat{\beta}_{inner}) = -678.34$	348.46	116.32
外环外—内外环	$L_{outer}(\hat{\beta}_{outer}) = -852.57$	$L_{outer}(\hat{\beta}_{i-o}) = -704.29$	296.56	79.08

3.3 敏感性分析

在上海市公共交通走廊内,行程时间、出行费用两个因素对居住于不同区域的出行者的方式选择弹性存在差异;如表 4 所示。

表 4 公交走廊内各公交方式直接弹性效用:基于分区域人群

Tab.4 Direct elasticity values of different-regional passengers for public traffic modes

影响因素	交通方式	内环内区域	内外环区域	外环外区域
行程时间	轨道交通	-0.341	-0.158	-0.375
	公交巴士	-1.519	-0.536	-1.367
	出租车	-0.866	-0.241	-0.617
	有轨电车	-0.786	-0.311	-0.631
出行费用	轨道交通	-0.018	-0.049	-0.047
	公交巴士	-0.032	-0.061	-0.073
	出租车	-0.583	-0.911	-0.761
	有轨电车	-0.062	-0.125	-0.115

对居住于内环内区域的出行者,行程时间对公交巴士的选择弹性为相对弹性(大于 1),即行程时间的增加将导致大量出行者放弃公交巴士;同时,行程时间也对出租车和有轨电车有一定影响。同时,出行费用对所有方式的选择弹性均为相对非弹性(大于 0 小于 1),费用的变化对轨道交通、巴士和有轨电车的影响微乎其微;对于出租车的影响相对明显,可能是由于出租车费用显著高于其他出行方式所致。

对居住于内外环区域的出行者,行程时间对所有方式的选择弹性均为相对非弹性,且与居住于内环内出行者相比,影响程度显著下降,说明这一区域的出行者对于公交走廊内交通方式行程时间的增加具有更强的忍耐力。同时,出行费用对于所有出行方

式的选择弹性均为相对非弹性,但是其对于所有方式的影响程度都显著高于内环内区域,尤其是对出租车影响较大;可能是由于区域向外延伸导致出行费用大幅增长,使出行者对费用的增长更加敏感。

对居住于外环外区域的出行者,行程时间对公交巴士的选择弹性为相对弹性;同时,对所有方式的选择弹性值都达到最大,说明在这一区域的出行者十分介意走廊内交通方式的行程时间,可能是由于过远的出行距离导致出行时间大幅增长所致。其次,出行费用对于所有方式的选择弹性均为相对非弹性,其影响最明显的方式依然是出租车;但值得注意的是,除公交巴士外,出行费用对其他方式的影响程度都低于内外环区域;其原因可能是由于外围区域交通设施覆盖水平下降,使得这一区域的出行者在走廊内愿意承担更高的费用出行。

4 政策分析与需求响应

在城市公交走廊内,影响因素对不同区域出行者的出行行为作用程度存在差异;由此可知,不同的交通政策对于不同区域出行者所产生的影响可能不同。通过设计两套政策进行仿真分析,主要涉及的影响因素有:费用、可靠性、行程时间和步行时间,如表 5 所示。

政策 1 将出租车价格提高 20%,同时将公共巴士和有轨电车的站点步行时间各减少 10%(调整站点设置);政策 2 进一步提高出租车价格(30%)的同时,将公交巴士的可靠性提高 20%,行程时间降低

表5 交通政策设定

Tab.5 Transportation policy scenarios

影响因素	场景		
	现实条件	政策1	政策2
出租车价格	实际情况	+20%	+30%
有轨电车票价	SP调查表	SP调查表	-10%
公交巴士可靠性	实际情况	实际情况	+20%
公交巴士行程时间	实际情况	实际情况	-10%
公交巴士站点步行时间	实际情况	-10%	实际情况
有轨车站点步行时间	SP调查表	-10%	SP调查表

10%,并适度降低了有轨电车票价(10%)。通过仿真可以得到在不同政策条件下,不同区域出行者在公交走廊内的对各方式的需求变化情况,如图3—4所示。

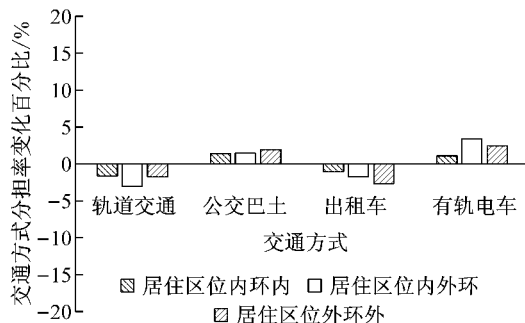


图3 政策1条件下的出行需求变化情况

Fig.3 Demand response in policy 1

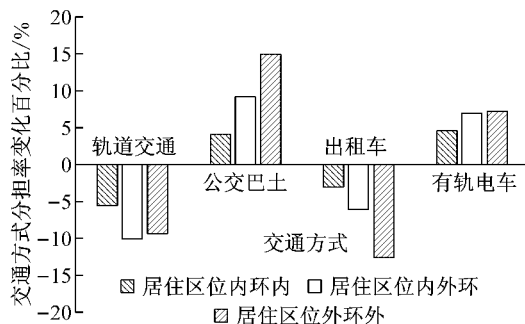


图4 政策2条件下的出行需求变化情况

Fig.4 Demand response in policy 2

政策1条件下,在城市公交走廊内,所有区域的出行者对轨道交通、出租车的需求均有所下降,同时公交巴士、有轨电车的需求有所上升,但其各自幅度变化很小(1%~3%),说明仅仅调整出租车的价格并不足以促使更多的出行者选择其他公交方式;同时,仅仅通过站点位置调整也无法将更多的客流从轨道交通吸引到公交巴士或有轨电车上。政策2条件下,各交通方式的需求变化趋势与政策1类似,但变化幅度有明显的增加(5%~15%),说明提高巴士的行车可靠性和行程车速将极大提升其客流吸引力;同时,降低有轨电车票价有助于提升其分担率,

使其更易于被接受。

由图3—4可以看到,在相同政策下,对于居住于内环内的出行者,轨道交通在走廊内分担比降幅最小,而对于居住于内外环的出行者,其降幅最大;同时,外环外的出行者对于轨道交通的选择介于前面二者之间,这可能是轨交的行程稳定性在远距离出行中更被出行者认同。出租车的分担比随着出行者居住地越靠近外围区域,其降幅越大;这可能由于随着出行距离的增加导致费用过高所致。公交巴士、有轨电车均随着出行者居住地的外移,分担率显著增加,但前提是其行程时间较为稳定性,同时行程车速能够适当提升。

5 结论

本文基于上海市公共交通走廊的居民出行调查获得的RP、SP数据,利用离散选择的相关理论,建立基于RP/SP融合数据的NL模型;对于已有的大部分基于单一RP或SP数据所建立的模型,本文所建模型不仅可以克服RP、SP数据本身存在的固有缺陷,而且能够较为准确地反映现状并对未来出现的新交通环境进行预测。之后,通过模型参数标定、敏感性分析从定性、定量两个角度研究了在城市公共交通走廊内,(居住于)不同区域的出行者对于公共交通方式的选择行为及影响因素;在此基础上,分析了行为模型在不同空间范围内的转移适用性;最后,通过算例进行分析和验证。

通过对模型参数的标定和分析可知,不同区域的出行者对公交走廊内各交通方式的偏好存在显著区别,因此可知,以居住区位作为人群分类依据极有必要,这在已有行为选择研究中尚未出现。相对而言,轨道交通优势明显;同时,行程时间、票价等服务水平指标对各方式都有显著影响;最后,出行者的性别、年龄、教育水平、性格、收入等个人/社会经济属性也对其交通行为选择产生重要影响。以上研究探寻了影响出行者行为选择的相关因素,为未来城市公共交通走廊的优化及配套交通政策的制定提供理论依据。

本文利用空间转移测试模型,验证了基于不同区域出行者的公交走廊行为模型的空间适用性。研究发现,对于公交走廊内来自不同区域的出行者,其各自的行为模型往往不具有相互替代性,需要基于统计数据分别建模;这一结论为未来城市公交走廊内的行为选择研究提供了新的方向,在这一领域的

已有研究中较少涉及。

在模型参数标定的基础上,研究了在上海市公共交通走廊内,行程时间、出行费用两个因素对居住于不同区域的出行者的方式选择弹性情况,从量化角度分析了这两个因素对于出行方式的影响程度;其结论为:首先,这些因素对不同区域出行者的选择行为的影响及程度存在显著不同;其次,对于走廊内的公交系统而言,行程时间、出行费用二者存在一个平衡点,使整个走廊内各方式的客流匹配最为合理;当未达到这一平衡点时,走廊内某些方式将存在客流过剩或不足,使得系统整体效率降低。最后,验证了在公交走廊内,不同交通政策对于不同区域出行者的选择行为的影响,并对未来引入新交通方式的前景进行预测。

论文从数据获取、模型建立、标定分析及仿真验证4个步骤逐次展开,基于分区域研究的基本思路,提出了针对不同区域出行者在城市公交走廊选择行为的基本方法和必要性,对未来城市公共交通走廊的规划和改进提供新的思路 and 方向,具有较强的现实意义和创新性。

参考文献:

- [1] Ben-Akiva M, Lerman S. Discrete choice analysis [M]. Massachusetts: MIT Press, 1985.
- [2] Bliemer M, Rose J, Hensher D A. Efficient stated choice experiments for estimating Nested Logit models [J]. Transportation Research part B, 2009, 43(1):19.
- [3] Dissanayake D. Urban transport policy analysis for developing countries[D]. Nagoya: Nagoya University, 2001.
- [4] Cirillo C, Axhausen K W. Evidence on the distribution of values of travel time savings from a six-week diary [J]. Transportation Research part A, 2006, 40(5): 444.
- [5] Hensher D A, Greene W H. The mixed logit model: the state of practice[J]. Transportation, 2003, 30(2): 133.
- [6] Hess S, Daly A, Rohr C, *et al.* On the development of time period and mode choice models for use in large scale modeling forecasting systems [J]. Transportation Research part A, 2007, 41(9): 802.
- [7] Dissanayake, Morikawa. Investigating household vehicle ownership, mode choice and trip sharing decisions using a combined revealed preference/stated preference Nested Logit model: case study in Bangkok Metropolitan Region[J]. Journal of Transport Geography, 2010, 18(3): 402.
- [8] Román C, Espino R, Martín J C. Analyzing competition between the high speed train and alternative modes—The case of the Madrid-Zaragoza-Barcelona Corridor [J]. Journal of Choice Modelling, 2010, 3(1): 84.
- [9] Koppelman F S, Wilmot C G. Transferability analysis of disaggregate choice models [J]. Transportation Research Record, 1982, 27(6): 18.
- [10] Santoso D S, Tsunokawa K. Spatial transferability and updating analysis of mode choice models in developing countries [J]. Transportation Planning and Technology, 2005, 28(5): 341.