

流动人口出行特征及出行方式选择模型 ——以北京市短期旅居流动人口为例

刘侃^{1,2}, 张蕊^{1,3}, 杨静^{1,2}, 李春艳⁴

(1.北京建筑大学土木与交通工程学院, 北京 100044; 2.北京建筑大学北京市城市交通基础设施建设工程技术研究中心, 北京 100044; 3.北京建筑大学首都世界城市顺畅交通协同创新中心, 北京 100044; 4.北京交通发展研究院, 北京 100073)

摘要: 数量庞大的流动人口在北京市交通出行者中扮演重要角色。其中, 短期旅居流动人口(在京时间小于1个月)由于居住时间短、活动集中、目的性强等特点, 出行行为更加复杂和不确定, 其出行规律及出行方式选择的研究对于解析和把握城市整体交通特征具有重要意义。通过分析北京市2014年第五次综合交通调查中的流动人口调查数据, 以在京时间一个月以内、居住在各星级酒店和小旅馆等地的短期旅居流动人口为研究对象, 研究其出行特征与出行方式选择的内在联系, 并通过多项Logistic模型构建相应的出行方式选择模型。结论显示居住地类别、公交IC卡持有情况、出行距离、出行费用、出行时耗等因素对流动人口的出行决策影响显著; 引导流动人口向绿色出行方式转移需要在流动人口的重要集散地合理配置公交设施、提供公交IC卡便捷的购卡和退卡服务、提高公共自行车使用的便利性。

关键词: 交通规划; 短期旅居流动人口; 出行特征; 出行方式; 多项Logistic模型; 北京市

Travel Characteristics and Mode Choice Model of Floating Population: Take Short-Term Floating Population in Beijing as an Example

Liu Kan^{1,2}, Zhang Rui^{1,3}, Yang Jing^{1,2}, Li Chunyan⁴

(1.School of Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 2.Beijing Urban Transportation Infrastructure Engineering and Architecture, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 3.Beijing Collaborative Innovation Center for Metropolitan Transportation, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China; 4.Beijing Transport Institute, Beijing 100073, China)

Abstract: A large amount of floating population have significantly impacted Beijing transportation system. Specifically, those short-term floating population (i.e., less than one month stay) are given a number of unique travel characteristics, such as a short-time living, concentrated activities, and goal-oriented trips, which raise complexities and uncertainties to local transportation system. Thus, study on the travel pattern and mode choices of those travelers would benefit in grasping the features of local transportation system. Based on the survey data of floating population in the fifth Beijing comprehensive traffic survey of 2014, this paper analyzes the characteristics of short-term travelers who stayed in Beijing hotels less than one month, and explores the internal connection between travel pattern and the travelers' mode choice. To this purpose, the paper adopts a multi-logistic model to develop the travel mode choice model for the short-term floating population in Beijing. The results show that factors, saying that living condition, usage of bus IC cards, travel distance, cost and time have significant impact on travel mode choice. In addition, increasing the number of green travel mode users of floating population should focus on improving public facilities and enhancing the convenience of using bus cards and bike sharing system.

Keywords: transportation planning; short-term floating population; transportation characteristics; travel modes; multinomial logistic model; Beijing

收稿日期: 2016-12-20

基金项目: 国家自然科学基金“基于有限元理论的枢纽内部密集行人运动行为及演变机理研究”(51308029)、住房和城乡建设部软科学研究项目“基于家庭决策的通学出行行为与交通需求预测研究”(K22016014)

作者简介: 刘侃(1991—), 男, 山东潍坊人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 交通运输规划与管理。E-mail: 61751833@qq.com

0 引言

20世纪80年代中期,流动人口研究开始得到关注^[1-6],研究成果主要集中在流动人口特征、流动人口增长因素、流动人口效应、流动人口政策与管理等方面。随着城市交通问题的发展,流动人口的出行研究也逐渐受到重视。2000年后,随着新一轮人口流动浪潮的到来,流动人口问题再次成为社会关注的热点,综合交通调查开始涵盖这部分人群。在出行调查数据的基础上,可通过出行次数、出行方式、出行目的、出行时耗、出行距离、出行费用等综合定量指标来描述流动人口的出行特征^[7-9],但其方式选择规律研究尚不够丰富,交通政策的提出缺少预测数据及相关模型的支持。国内外专家学者通过对居民自身因素、交通因素及环境因素等进行分析,建立居民出行方式选择模型的研究理论与方法^[10-18],对流动人口出行特征分析及方式选择模型建立具有很好的借鉴意义。

北京市作为集全国政治中心、文化中心、国际交往中心和科技创新中心为一体的国际化大都市,吸引了数量庞大的流动人口。据北京市统计局网站最新统计显示,2015年末全市人口2 170.5万人,其中流动人口822.6万人,占人口总数的37.9%^[19]。流动人口的出行行为影响不可忽视。短期旅居

流动人口(在京时间小于1个月,以下简称“短期流动人口”)总量高达162万人,来京目的大多为旅游、探亲、出差等,居住地多为旅馆、酒店等大众服务场所,出行特征与常住人口差异较大,其出行行为呈现更加复杂和不确定的特点。

本文以北京市2014年第五次综合交通调查数据为研究基础,选择年龄18岁以上,在京时间1个月以内,居住在宾馆、酒店旅居的流动人口为研究对象,数据样本共计8 036份,涉及523个旅馆、酒店,全面覆盖北京市城六区及三个近郊区。在分析短期流动人口出行特征的基础上,构建其出行方式选择的预测模型,并提出相关政策建议。北京市短期流动人口的出行特征及规律研究为制定有针对性的交通政策提供理论参考,同时有助于全面把握城市交通特征并提供更好的交通服务。

1 出行特征分析

1.1 出行次数

北京市第五次综合交通调查显示,六环内常住居民人均出行次数为2.75次·d⁻¹,短期流动人口平均出行次数为2.19次·d⁻¹^[20],稍低于常住居民。

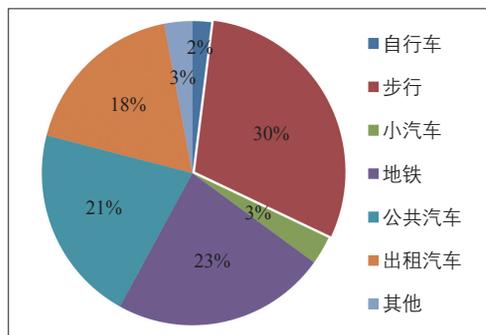
1.2 出行方式

短期流动人口在3 km以内的短距离出行以步行为主;3 km及以上的中远距离出行主要采用地铁、公共汽车、出租汽车等方式。

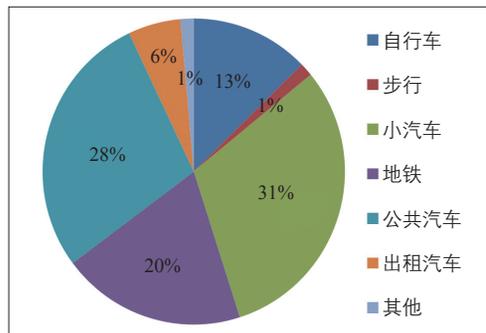
对比短期流动人口出行方式和常住居民出行方式^[20](见图1),发现二者差异较大:1)在短距离出行方面,短期流动人口更倾向于选择步行方式出行,而常住居民除了步行方式外,自行车出行比例也很高;2)中远距离出行方面,短期流动人口小汽车出行方式的比例很小;3)短期流动人口采用出租汽车出行的比例为18%,远多于常住居民对出租汽车(4%)的使用;4)短期流动人口对地铁、公共汽车、出租汽车等公共交通方式表现出极大的需求,占整体出行方式选择的62%,常住居民这三种出行方式的分担率仅为38%。

1.3 出行目的

常住居民出行目的以通勤出行为主,占出行总量的56.8%。短期流动人口出行目的主要以公务外出、探亲访友、看病就医、休



a 短期流动人口



b 常住居民

图1 出行方式分布

Fig.1 Distribution of travel modes

闲娱乐等方式为主，占出行总量的52.4%。

不同的出行目的会导致不同的出行方式选择。通勤务工、就医等目的的出行通常需要快速、准时到达目的地，人们重视出行的可靠性，对于时间和费用的要求较严格，属于刚性出行；而购物、文化娱乐、社交及探亲访友等出行对时间和费用的要求都较低，具有很强的随意性，属于弹性出行。出行目的和方式分布往往具有相关性，故了解短期流动人口出行目的分布可以用来推断其出行需求模式。表1为短期流动人口不同出行目的的出行方式分担率。

短期流动人口的刚性出行需求比弹性出行需求多。在刚性出行中，步行(23.9%)最高，地铁(15.7%)次之。步行、地铁分别为流动人口短距离和长距离出行选择的主要交通方式，说明短期流动人口在选择居住地理位置时，考虑了出行活动就近完成的特点，同时也体现出刚性出行情况下步行和地铁方式准时、可靠的特性。在弹性出行中，公共汽车出行比例(7.4%)较高，其次为出租汽车

表1 不同出行目的的出行方式分担率

Tab.1 Travel mode split by trip purposes %

交通方式	刚性出行	弹性出行
步行	23.9	6.2
自行车	1.1	0.5
小汽车	2.2	0.9
地铁	15.7	6.8
公共汽车	13.9	7.4
出租汽车	11.4	6.9
其他	2.0	1.1
合计	70.2	29.8

表2 各种出行方式平均出行距离、出行时耗

Tab.2 Average travel distance and travel time by travel modes

出行方式	平均出行距离/ (km·次 ⁻¹)	平均出行时耗/ (min·次 ⁻¹)
步行	2.9	19
自行车	1.2	17
小汽车	10.4	44
地铁	10.5	46
公共汽车	10.0	47
出租汽车	8.9	39
其他	9.5	41
加权平均值	8.8	41

(6.9%)和地铁(6.8%)，反映出短期流动人口弹性出行强调舒适性，而对时间和费用敏感性不确定的特点。

1.4 出行距离与出行时耗

短期流动人口平均出行距离8.8 km·次⁻¹，其中采用地铁方式的平均出行距离高于短期流动人口平均出行距离，为10.5 km·次⁻¹，低于六环内常住居民(12.2 km·次⁻¹)(见表2)。短期流动人口平均出行时耗为41 min·次⁻¹，低于六环内常住居民54 min·次⁻¹。^[21]

1.5 居住地类别

以往调查经验表明费用会影响出行方式选择，而用居住地类别反映短期流动人口对费用的敏感程度更为合适。故将短期流动人口在京居住地类别划分为三类：三星及以上宾馆，三星以下宾馆，无星级旅馆。不同居住地类别下短期流动人口的出行方式差异明显(见图2)。随着居住费用的下降，出租汽车出行比例呈下降趋势，地铁、公共汽车出行比例呈现上升趋势。

1.6 公交IC卡持有情况

持有北京市公交IC卡可享受公共汽车出行打折、地铁替代购票的优惠与便捷。本次调查显示，短期流动人口公交IC卡持有率为23.4%，远低于常住居民(88%)^[22]。

2 出行方式选择模型

非集计模型是分析出行方式选择的有效模型^[23]，具有以下显著特点：1)以明确的行为假说为基础，具有较强的逻辑性；2)较少

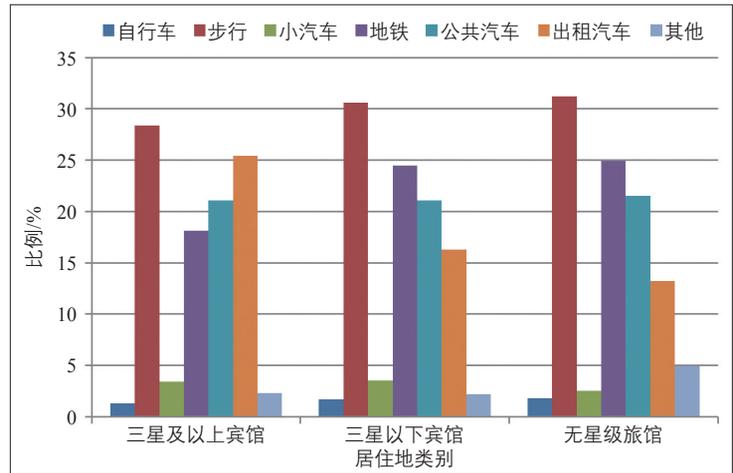


图2 不同居住地类别对应的出行方式

Fig.2 Travel mode by residential types

的样本即可标定模型参数；3)以与个人决策相关的因素作为自变量描述个人或家庭的出行决策过程；4)可以对多种交通规划、交通政策的效果进行评价。多项 Logistic 模型 (Multinomial Logistic Model, MNL) 是非集计模型中应用最广泛的模型之一^[24]。一方面因为多项 Logistic 模型技术门槛低、易于操作和实现；另一方面因为数学形式简单，物理意义明确，及由此带来的稳健、通用、出错率低、对样本要求低等优点。尽管多项 Logistic 模型存在固有理论缺陷(假设随机效用独立)，但其在出行方式选择构建上能够充分发掘和筛选合理的解释变量、要素水平。同时考虑短期流动人口的出行方式选择肢相对于常住居民较为简单的特点，故选用多项 Logistic 模型进行分析和构建预测模型。

2.1 模型构建

多项 Logistic 模型假设短期流动人口个体 n 的出行效用 U_{in} 为可观测的影响因素构成的效用函数固定项 V_{in} 和不可观测的影响因素构成的效用函数概率项 ϵ_{in} 之和， $U_{in} = V_{in} + \epsilon_{in}$ 。假定 ϵ_{in} 服从不同的概率分布，可得到不同的预测模型。多项 Logistic 模型计算公式为

$$P_{in} = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j \in A_n} e^{V_{jn}}} = \frac{1}{\sum_{j \in A_n} e^{V_{jn} - V_{in}}}, (i \in A_n), \quad (1)$$

式中： P_{in} 为个体 n 选择出行方式 $i(i=1, 2, 3, \dots)$ 的概率； V_{in} 为个体 n 选择出行方式 i 的效用函数固定项； A_n 为个体 n 选择出行方式的集合。

2.1.1 出行方式及特征变量选择

在短期流动人口各种出行方式中(见图1)，自行车出行比例极低(1.6%)，步行方式主要用于接驳出行或极短距离出行。在对城市交通影响较大的中远距离出行中，流动人口的主要交通方式包括地铁、公共汽车、出租汽车，对应的出行方式 i 取值分别为 1, 2, 3。

特征变量是出行方式选择的影响因素，一般划分为个人特征、出行特征两类。个人特征包含性别、年龄、居住条件、月收入、出行目的等。依照前文分析，额外加入“是否持有公交 IC 卡”一项，以反映公共交通方式的普及程度；去除月收入一项，因为月收入与居住地类型在本模型中作用大体相同，同时与出行时间成本显著相关。出行特征一般包括出行距离、出行费用、出行时耗三类影响因素，出行时耗可以转变为时间成本，本文依照个人月收入转化为单位时间价值。特征变量分类与赋值见表 3。

表3 出行方式特征变量

Tab.3 Characteristic variables of travel modes

类别	特征变量	变量符号	解释变量描述与赋值	
个人特征	性别	X_1	男为1, 女为2	
	年龄	X_2	18~24岁、25~34岁、35~44岁、45~54岁、55~59岁、60~64岁、65岁以上, 取值分别为1~7	
	出行目的	X_3	刚性出行为1, 弹性出行为2	
	居住地类别	X_4	三星及以上宾馆为1, 三星以下宾馆为2, 无星级旅馆为3	
	是否持有公交IC卡	X_5	有为1, 无为0	
出行特征	出行距离	X_6	0~<1 km、1~<3 km、3~<5 km、5~<10 km、10~<15 km、≥15 km, 取值分别为1~6	
	出行费用	X_7	0~1元, >1~2元, >2~5元, >5~10元, >10~20元, >20元, 取值分别为1~6	
			地铁	<6 km 3元, 6~<12 km 4元, 12~<22 km 5元, 22~<32 km 6元, ≥32 km 部分每增加20 km 增加1元
			公共汽车	10 km 以内2元, 10 km 以上部分每增加5 km 增加1元; 公交IC卡享受半价优惠
	出租汽车	3 km 以内13元, 此后每增加1 km 增加2.3元		
时间成本(出行时耗)	X_8	0~1元, >1~2元, >2~5元, >5~10元, >10~20元, >20元, 取值分别为1~6		
时间成本(出行时耗)	X_8	月收入≤3 000元	单位时间价值 ¹⁾ 0.2元·min ⁻¹	
		月收入>3 000~8 000元	单位时间价值0.4元·min ⁻¹	
		月收入>8 000~15 000元	单位时间价值0.8元·min ⁻¹	
		月收入>15 000元	单位时间价值1.0元·min ⁻¹	

1) 单位时间价值与个人月收入有关, 按照每个月工作22天, 一天工作8 h计算, 得到各收入阶层的单位时间价值。

2.1.2 参数标定及最终模型

对各个特征变量与出行方式的关系进行相关性分析, 年龄、性别、出行目的三个变量由于与出行方式的相关性较差因而去除,

$$\begin{cases} \ln \frac{P_2}{P_1} = 4.125 - 0.019X_{4(1)} - 0.015X_{4(2)} + 0.615X_{3(1)} + 0.192X_6 - 1.785X_7 + 0.041X_8 \\ \ln \frac{P_3}{P_1} = -12.283 + 0.739X_{4(1)} + 0.210X_{4(2)} - 0.100X_{3(1)} - 0.841X_6 + 3.210X_7 - 0.273X_8 \end{cases} \quad (2)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 1$$

式中: P_1 , P_2 , P_3 分别为流动人口选择地铁、公共汽车、出租汽车出行的概率。

2.2 模型检验

2.2.1 模型拟合程度

通过 SPSS 软件进行模型拟合信息统计。仅含截距项的对数似然值为 14 158.035, 而含有居住地类型、是否持有公交 IC 卡、出行距离、出行费用、时间成本的最终模型的卡方值为 9 045.902, 显著性 P 为 0.000, 小于 0.01, 说明最终模型优于仅有截距的模型, 最终模型成立。

2.2.2 拟合优度指标

拟合优度常在离散选择模型中出现用来度量模型对于数据的拟合程度。伪 R^2 (Pseudo R -Square) 是自变量的变异占因变量总变异的百分比。伪 R^2 取值为 0~1, 大于 0.2 且越接近 1 说明模型拟合程度越好。本模型中的三个伪 R^2 统计结果分别为: Cox 和 Snell=0.657, Nagelkerke=0.757, McFadden=0.528, 说明模型具有较高的拟合度。

2.2.3 模型命中率

把离散数据代入模型中, 将概率最大的出行方式定为预测结果, 得到模型总体的命中率为 89.1%(见表 5)。模型具有较高的命中率, 说明该预测模型能够较好地预测短期流动人口出行方式选择结果。

3 模型结果分析及建议

3.1 模型结果分析

通过建模发现, 短期流动人口出行方式选择主要受出行费用、居住地类别、公交 IC 卡拥有情况、出行距离、出行时耗等因素影响。模型系数反映出出行费用、居住地类别、公交 IC 卡拥有情况对出行方式选择的影响较为显著。

根据特征变量参数估计值, 居住地类别 1 选择出行方式 3 的回归系数是 0.739, 对应

得到特征变量参数估计值, 结果见表 4。

在特征变量参数估计值基础上得到短期流动人口的出行方式模型为:

的出行概率增加的倍数 $Or = \exp(0.739) = 2.093$, 这表示居住在三星及以上宾馆的流动人口选择出租汽车出行的概率是居住在小旅馆流动人口的 2.093 倍; 居住在三星以下宾馆的流动人口选择出租汽车出行的概率是居住在小旅馆流动人口的 1.236 倍。随着居住地水平的提升(反映收入水平的提升), 短期流动人口对出租汽车的选择概率逐步增加。同理可得, 居住在三星及以上宾馆和居住在三星以下宾馆的流动人口选择公共汽车出行的概率分别是居住在小旅馆流动人口的 0.981 倍和 0.985 倍。随着居住地水平的提升, 短期流动人口对公共汽车的选择概率逐

表 4 特征变量参数估计值

Tab.4 Estimation parameters of characteristic variables

交通方式	特征变量 X	常数项的估计值 ¹⁾	标准差	卡方检验	自由度	显著性	优势比 ²⁾
1	截距	4.125	0.186	491.021	1	0.000	
	居住地类别 $X_{4(1)}$	-0.019	0.068	0.080	1	0.047	0.981
	居住地类别 $X_{4(2)}$	-0.015	0.080	0.036	1	0.050	0.985
	居住地类别 $X_{4(3)}$	0			0		
	有公交 IC 卡 $X_{3(1)}$	0.615	0.081	57.250	1	0.000	1.849
	无公交 IC 卡 $X_{3(2)}$	0			0		
	出行距离 X_6	0.192	0.024	62.189	1	0.000	1.212
	出行费用 X_7	-1.785	0.048	1 387.078	1	0.000	0.168
	时间成本 X_8	0.041	0.035	1.395	1	0.038	1.042
	2	截距	-12.283	0.670	336.427	1	0.000
居住地类别 $X_{4(1)}$		0.739	0.178	17.230	1	0.000	2.093
居住地类别 $X_{4(2)}$		0.210	0.251	0.703	1	0.002	1.236
居住地类别 $X_{4(3)}$		0			0		
有公交 IC 卡 $X_{3(1)}$		-0.100	0.221	0.205	1	0.651	0.905
无公交 IC 卡 $X_{3(2)}$		0			0		
出行距离 X_6		-0.841	0.067	155.590	1	0.000	0.431
出行费用 X_7		3.210	0.132	587.803	1	0.000	24.779
时间成本 X_8		-0.273	0.094	8.443	1	0.004	0.761

1)没有引入自变量时常数项的估计值; 2)表示自变量每增加一个单位, 该出行方式概率增加的倍数。

步降低。

持有公交IC卡选择出行方式2的回归系数是0.615，对应的 $Or = \exp(0.615) = 1.849$ ，即持有公交IC卡流动人口采用公共汽车出行的概率是未持有公交IC卡流动人口的1.849倍。可见，推广公交IC卡可以有效引导短期流动人口采用公共交通出行。

3.2 管理建议

综合建模结果及短期出行特征，在实际交通管理中可以对流动人口出行采取相应的管理措施。

1) 短期流动人口对出租汽车出行有一定的依赖性；流动人口的在京居住条件反映了其收入或消费水平，影响选择出租汽车出行的概率，随着居住水平的提高出租汽车出行比例呈上升趋势，相应的公共汽车出行比例呈下降趋势。酒店应配置便捷预约服务，满足商务出行需要及差异化的需求服务，并应有针对性地在星级酒店附近提供便捷的公共交通系统，合理引导流动人口减少对出租汽车出行的依赖。

2) 公交IC卡对公共交通出行方式选择有较大影响，应提供便捷的办卡和退卡服务。改善机场、火车站、长途汽车站等公共交通集散地的购卡、退卡服务设施，缩短找寻路程和排队时间，提高服务效率；在宾馆、超市等场所提供购卡服务，方便流动人口使用公交IC卡；增加公交IC卡的票制种类，如3日票、7日票，以提高短期使用的价格优势。

3) 短期流动人口自行车交通方式较少，主要是没有交通工具或者交通工具较难获得，如公共自行车办理手续较为烦琐。为提高短期流动人口的绿色出行比例，应简化公共自行车的租赁程序，使自行车交通工具使用更加方便、快捷。随着共享单车得到大力发展，自行车出行比例将有所上升。

表5 出行方式命中率
Tab.5 Travel modes hit rate

项目	预测值			百分比校正/%
	1	2	3	
观察值	2 392	350	5	87.1
	401	3 705	162	86.8
	0	0	1 444	100.0
总百分比/%	33.0	47.9	19.0	89.1

4 结语

流动人口出行是北京市城市交通的重要组成部分，研究其出行规律及出行方式选择对把握北京市整体交通特性具有重要意义。而短期流动人口的出行行为特征复杂，与常住居民具有较大差异。本文总结了北京市短期旅居流动人口的出行特征，在此基础上分析影响出行方式选择的个人及出行特征因素，构建基于多项Logistic的出行方式选择模型，分析短期流动人口出行方式的主要影响因素，研究成果可以预测短期流动人口出行方式选择并为制定绿色交通相关政策提供理论参考。

参考文献:

References:

[1] 佚名. 北京百万流动人口探踪: 他们从哪里来, 来干什么? (调查报道之一)[J/OL]. 瞭望周刊, 1986(49) [2016- 11- 30]. <http://mall.cnki.net/magazine/Article/LWZZ198649005.htm>.

[2] 张庆五. 关于城市流动人口问题的思考[J]. 中国人口科学, 1989(3): 50-55.

[3] 彭启彪, 左晗. 人口流动对我国社会的影响[J]. 社会科学家, 1990(2): 49-52.

[4] 汤雪梅. 北京市人口迁移和人口流动[J]. 人口研究, 1993(4): 52-55+23.

[5] 党冀生, 邵秦, 等. 中国人口流动态势与管理[M]. 中国人口出版社, 1995.

[6] 李玲. 改革开放以来中国国内人口迁移及其研究[J]. 地理研究, 2001, 20(4): 453-462. Li Ling. Internal Population Migration in China Since the Economic Reforms: A Review [J]. Geographical Research, 2001, 20(4): 453-462.

[7] 姜学锋. 北京市流动人口出行方式构成对比[J]. 道路交通与安全, 2004(1): f3.

[8] 童玉芬. 奥运活动对北京市流动人口影响的定性定量分析[J]. 人口研究, 2008, 32(1): 76-82.

[9] 卢新新. 流动人口对北京市交通影响的实证研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2013.

[10] Sen S. A Joint Multiple Discrete Continuous Extreme Value (MDCEV) Model and Multinomial Logit Model (MNL) for Examining Vehicle Type/Vintage, Make/Model and Usage Decisions of the Household[D]. Austin: University of Texas at Austin, 2006.

(下转第110页)