

多模式综合交通客运方式选择行为决策机理

——以大学生群体为例

李晓伟^{1,2}, 王 炜², 杨 敏², 王 昊², 徐铖铖²

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 在深入分析现有旅客乘车选择影响因素的基础上, 充分考虑购票和接驳方式属性特征对旅客方式选择的影响, 从全过程的视角设计旅客购票、到站、出行、离站出行选择行为实验, 获取大学生高速巴士、普通火车、高铁、飞机多模式出行RP调查数据, 将飞机作为参考方式建立大学生交通方式选择MNL模型, 并进行了参数估计和显著影响因素的弹性分析。研究结果表明: (1) 除生活费、出行目的及出行距离外, 到站方式和时间也是影响旅客乘车选择的重要因素, 提高交通枢纽可达性是调整交通方式市场份额的重要策略; (2) 生活费低、出行距离和到站时间短、以探亲为目的的大学生更有可能选择大巴出行, 而生活费高、出行距离和到站时间相对较短, 以探亲为目的大学生选择高铁出行的可能性更大。

关键词: 综合交通; 方式选择; MNL; 弹性分析; 机理

中图分类号: U121

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2016)03-0357-05

Decision-making mechanism of integrated transportation multi-mode choice behavior for college students

LI Xiaowei^{1,2}, WANG Wei², YANG Min², WANG Hao², XU Chengcheng²

(1. School of Civil Engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

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

Abstract: The impact factors of the passenger travel choice were made by taking full consideration of the effect of ticket purchase and transfer mode on the passenger mode choice, a travel choice behavior experiment was designed from the perspective of whole trip chain including ticket stage, access stage, travel stage and leave stage. In our analysis, college student travel survey data for bus, tradition train, high-speed train and plane was used to establish the MNL model of passenger travel mode choice. The parameter estimation and elastic analysis of significant factors were made to draw a conclusion. The research showed that the access mode and time were the important factor to affect the passenger travel choice in addition to the monthly income, travel distance and purpose. Improving the accessibility of transportation hub is an important strategy to adjust transportation market share. Moreover, bus is more likely to be chosen by college students who have low monthly income, short travel distance and access time for the purpose to visit relatives. However, subway is more likely to be chosen by college students who have higher monthly income, relatively short travel distance and access time for the purpose of visiting relatives.

Key words: Integrated transportation; mode choice; MNL; elastic analysis; mechanism

区域综合交通体系是国家“一带一路”战略实施的重要载体, 国家在《综合交通网中长期发展规划》中明确提出建设“五纵五横”综合运输大通道和国际区域运输通道, 同时也指出中国交通运输结构不尽合理, 公路、铁路、水路、民航等运输方式结构性失调, 难以充分发挥综合交通运输体系的组合优势和整体效率。尤其是在我国高速公路已基本成型, 高速铁路、黄金水道大力建设及部分机场新建、扩容改建的背景下, 如何精准把握区域综合交通多方式选择机理, 是科学制定综合交通规划、实现区域综合交通多方式协调发展的前提, 也是当前我国交通领域亟需解决的关键问题之一。

国内外针对旅客出行选择行为的研究已有较多的成果, 如Yao^[1]选择服务频率、费用、在途时间、出行距离等服务属性对客运通道内民航、铁路、公交和私人小汽车等交通方式的客流分担率进行分析。Freitas^[2]基于巴西居民出行调查数据, 选择家庭收入、在途费用、出行时间和服务频率等服务属性, 研究民航、铁路和高速巴士3种运输方式选择行为。IngHsu^[3]等在具有航空运输、公路运输、高速铁路的交通网络内通过假定最小化广义时间(包括旅行时间和成本时间)研究运输方式选择机理。Mancuso^[4]基于离散选择模型分析米兰-罗马城际运输中现有和新进入者的竞争关系, 研究结果表

明高速铁路的建设会大幅度增加消费者剩余价值,但是同时会增加环境成本,需要在基础设施建设成本、环境与安全之间寻求平衡.

国内诸多学者也进行了大量卓有成效的研究.毛保华、何宇强^[5]等选择快速性、经济性、舒适性、方便性、安全性指标建立其广义费用函数,运用Logit模型研究了高速铁路的运营对综合运输通道内其他交通方式的影响.叶玉玲^[6]基于沪杭客运通道旅客的实际SP、RP调研数据,选择时间、费用、安全性、舒适性等作为效用函数的解释变量,旅客按照不同月收入分类并对其效用函数进行标定,构建了旅客出行选择行为的MNL模型.毛慧、卢欣^[7]则以计划行为理论为基础,建立了包括安全性、方便性、舒适性、准时性、票价合理性、旅客态度、主观规范、知觉行为控制的综合运输通道多种方式选择行为指标.

目前,已有文献从不同视角对综合交通枢纽接驳方式和购票方式属性对区域出行方式选择行为的影响作了分析^[8-13],Clever、Hansen^[14]研究表明中长运输的在途时间较为固定,运输方式竞争力主要依赖于到站和离站的时间.Cheng等^[15]从顾客感知的视角研究了购票服务属性对乘客出行选择的影响,研究表明改进购票通道服务可促使其他方式乘客向高铁服务转移.然而,现有研究鲜有基于全过程的视角从购票、到站、出行、离站的角度研究多模式综合交通客运方式选择行为决策机理.鉴于此,本文首先关注现有区域交通运输研究过程中被忽略的因素,针对大巴、普通火车、高铁、航空多种运输方式,以大学生群体为例,从全过程出行的视角研究旅客客运方式选择行为的决策机理.

1 实验设计

在本研究中,离散选择实验用于区域综合交通方式选择行为的研究,科学的问卷方案设计是本研究的基础.本研究问卷设计包括个体属性、出行属性和方式属性三方面的出行信息;其中,个体属性包括:性别、年级、生活费等变量;出行属性包括:出行目的、出行起点、出行终点等信息;方式属性包括:购票方式、出行方式、出行费用、到站方式、到站时间、离站方式、离站时间等变量.具体的实验设计属性和属性取值如下表1所示.

表1 实验设计属性和属性值
Tab.1 Experimental attributes and their values

类别	变量名称	符号	变量取值方法
个体属性	性别	X^1_{in}	1: 男; 2: 女
	年级	X^2_{in}	1: 一年级; 2: 二年级; 3: 三年级; 4: 四年级
	生活费	X^3_{in}	1: (0,500]; 2: (500,1000]; 3: (1000, 1500]; 4: (1500, 2000]; 单位: 元
出行属性	出行目的	X^4_{in}	1: 回家; 2: 旅游; 3: 探亲访友
	出行距离	X^5_{in}	通过计算起讫点之间采用该方式的最短距离获取; 单位: km
	购票方式	X^6_{in}	1: 网络购票; 2: 电话购票; 3: (代)售点购票; 4: 中介购票
方式属性	出行方式	X^7_{in}	1: 飞机; 2: 普通火车; 3: 高铁; 4: 高速巴士
	出行费用	X^8_{in}	大学生出行的实际费用; 单位: 元
	到站时间	X^9_{in}	1: (0,15]; 2: (15,30]; 3: (30,45]; 4: (45,60]; 5: (60, +∞); 单位: min
	到站方式	X^{10}_{in}	1: 出租车; 2: 私家车; 3: 公交车; 4: 地铁
	离站时间	X^{11}_{in}	1: (0,15]; 2: (15,30]; 3: (30,45]; 4: (45,60]; 5: (60, +∞); 单位: min
	离站方式	X^{12}_{in}	1: 出租车; 2: 私家车; 3: 公交车; 4: 地铁

本次乘客方式选择行为调查共计发放问卷900份,回收有效问卷876份.调查数据显示,样本中男女比例分别为48%和52%,50%的大学生生活费为1 000~1 500 元,生活费在1 500 元以上的学生选择高铁、飞机等快速交通方式出行的比例明显增多.大学生出行目的多以回家和旅游为主,占总出行的94%;出行花费主要集中在100~200 元;57%的大学生选择公交车到达车站,到站时间主要集中在15~45 min; 51%的大学生选择公交车离开车站,离开时间也主要集中在15~45 min;网络购票是大学生购票的主要方式;大学生选择巴士、普通铁路、高铁、飞机的平均运距分别为299、1 140、664、1 469 km.大学生出行方式选择与主要特征变量交叉表如表2所示.

表2 出行方式选择与主要特征变量交叉表
Tab.2 Crosstab between travel mode and main variables

交通方式		大巴	普铁	高铁	飞机	比例
方式选择比例		20.3%	51.7%	16.2%	11.7%	100%
性别	男	12%	51%	17%	20%	48%
	女	12%	53%	15%	20%	52%
年级	大一	7%	41%	11%	9%	9%
	大二	8%	42%	25%	8%	21%
	大三	13%	57%	15%	15%	60%
	大四	14%	50%	11%	25%	10%
生活费	0~500	14%	71%	14%	0%	2%
	500~1 000	13%	72%	4%	11%	16%
	1 000~1 500	17%	51%	16%	16%	50%
	1 500~2 000	2%	40%	23%	34%	32%
出行目的	回家	18%	56%	14%	12%	41%
	旅游	13%	72%	4%	11%	53%
	探亲访友	11%	61%	17%	11%	6%
出行费用	0~50	16%	22%	4%	10%	22%
	50~100	26%	45%	16%	13%	13%
	100~200	8%	62%	29%	2%	52%
	200~500	0%	76%	13%	11%	28%
	500以上	5%	18%	15%	62%	19%
购票方式	网络购票	3%	58%	18%	21%	82%
	电话购票	5%	45%	10%	40%	1%
	售点购票	63%	16%	8%	13%	14%
	中介购票	11%	56%	11%	22%	3%
到站时间	0~15	20%	50%	20%	10%	7%
	15~30	11%	66%	12%	10%	34%
	30~45	7%	45%	23%	25%	15%
	45~60	16%	53%	10%	20%	17%
	60以上	10%	37%	20%	33%	27%
离站时间	0~15	15%	62%	21%	3%	13%
	15~30	16%	51%	18%	14%	32%
	30~45	6%	53%	16%	25%	23%
	45~60	9%	44%	12%	35%	12%
	60以上	11%	49%	12%	28%	20%
到站方式	出租车	5%	47%	18%	29%	13%
	私家车	5%	33%	21%	40%	14%
	公交车	13%	63%	8%	16%	57%
	地铁	20%	30%	39%	11%	15%
离站方式	出租车	3%	44%	19%	34%	11%
	私家车	8%	37%	18%	37%	17%
	公交车	15%	59%	10%	16%	51%
	地铁	11%	50%	27%	11%	21%

2 模型构建

MNL模型 (Multinomial Logit Model) 是最为常用的非集计模型, 其数学形式简洁、计算简单, 且具有各选择肢的概率在(0, 1)之间, 选择概率总和为1的合理性^[16], 因此被广泛应用于交通等领域的模拟预测中。

2.1 构建思路

根据随机效用最大化理论, 旅客*n*选择*i*类交通方式的概率可表示为:

$$P_{in} = \text{Prob}(U_{in} > \max_{j \neq i, j \in A_n} U_{jn}) \quad (1)$$

式中: U_{in} 为旅客*n*选择*i*类交通方式的效用函数, 其表达式为:

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (2)$$

式中: V_{in} 为可观测到的特性变量计算的固定项; ε_{in} 为不能观测到的其他因素的影响及已有变量的偏差引起的随机项。

MNL模型是在假设式 (2) 中 ε_{in} 和 V_{in} 相互独立, 而且 ε_{in} 服从Gumbel分布的前提下推导出来的, 旅客*n*选择*i*类交通方式概率的表达式为:

$$P_{in} = \exp(V_{in}) / \sum_{j \in C_n} \exp(V_{jn}) \quad (3)$$

式中: P_{in} 为旅客*n*选择*i*类交通方式的概率; C_n 为个人*n*的可选择交通方式集合。

为便于计算, 一般假设 V_{in} 与特性向量 X_{in} 呈线性关系, 即:

$$V_{in} = \sum_{k=1} \beta_k \cdot x_{in}^k + \beta_0 \quad (4)$$

式中: β_0 为常量; β_k 为待定系数; x_{in}^k 为旅客*n*选择*i*类交通方式的第*k*个变量值。

2.2 模型拟合

应用SPSS软件相关性分析研究发现车票花费与出行距离具有很强的相关性, 且出行距离估计结果更为显著, 因此须剔除车票花费变量; 其次, 将飞机作为参考交通方式, 各分类变量的最后一个类型作为参考类型, 应用多项Logistic模型对样本数据进行统计分析, 在此基础上, 通过反复似然比检验及估计参数比较分析, 最终剔除性别、年级、离站时间、离站方式、购票方式5个不显著因素, 获取模型拟合信息和似然比检验结果, 如表3和4所示。统计研究表明所有参数估计结果均符合预期, 在可接受的置信区间水平上存在显著性, 模型具有

很强的可信度和显著性.

表3 模型拟合信息
Tab.3 Model fitting information

模型	模型拟合标准	似然比检验		
	-2倍对数似然值	卡方	df	显著水平
仅截距	699.712	—	—	—
最终	517.763	181.949	18	0.000

表4 似然比检验结果
Tab.4 Likelihood ratio test results

效应	模型拟合标准	似然比检验		
	简化后的模型的 -2倍对数似然值	卡方	df	显著 水平
截距	567.312	49.549	3	0.000
生活费	607.042	89.279	3	0.000
出行距离	536.837	19.074	3	0.000
出行目的	531.789	14.026	3	0.003
到站时间	534.162	16.399	3	0.001
到站方式	522.691	4.928	3	0.177

3 参数估计与弹性分析

3.1 估计结果

参数估计结果如表5所示,模型变量的选择根据显著性水平Sig. 确定,如果Sig.<0.05 说明该变量对旅客出行选择行为有影响,应纳入旅客选择行为模型中;反之,应予以剔除;另外,β为变量系

表5 参数估计结果(飞机作为参考方式)
Tab.5 Parameter estimation results (Aircraft is taken as reference mode)

变量	大巴			普铁			高铁		
	β	Wald	Sig.	β	Wald	Sig.	β	Wald	Sig.
截距	8.433	26.448	0.000	6.660	29.594	0.000	4.457	8.946	0.003
出行距离	-0.004	35.419	0.000	0.000	3.982	0.046	-0.002	23.337	0.000
生活费	-0.952	5.842	0.016	-0.913	10.890	0.001	-0.076	0.050	0.823
到站时间	-0.422	4.356	0.037	-0.496	12.979	0.000	-0.322	3.684	0.055
出行目的(旅游VS探亲)	-2.016	12.326	0.000	-1.316	10.860	0.001	-1.107	5.240	0.022
到站方式(私家车VS地铁)	-1.745	3.058	0.080	-0.942	3.150	0.076	-0.920	2.281	0.131
到站方式(公交车VS地铁)	-0.192	0.100	0.752	0.753	3.235	0.072	-1.013	4.014	0.045

3.2 弹性分析

通过对个体选择弹性的加权平均得到考虑服务属性的大巴、普通火车和高铁选择概率的弹性^[17],详见表6. 研究发现,对于大巴选择概率的弹性而言,出行距离的弹性是最高的,其次为生活费和到站时间,弹性值分别为-3.95, -2.60和-1.19,这意味着相对于飞机这一出行方式,出行距离、生活费和到站时间每增加1%,选择大巴出行的概率就分别降低3.95%、2.60%和1.19%. 对于普通火车而

数,Wald为统计量, Sig.表示统计量的显著性水平, Exp(B)表示子变量增长一单位所引起预测概率发生比的变化^[17].

根据参数估计结果可知,出行距离、生活费、到站时间、出行目的(旅游VS探亲)对于大学生选择大巴出行具有显著性影响. 出行距离越长,大学生选择大巴出行的可能性越小;生活费较高,大学生选择大巴出行的概率越小;到站时间越长,大学生选择大巴出行的概率越小,说明交通枢纽可达性对于交通方式的选择有较大影响;与探亲出行相比,旅游的大学生选择大巴出行的概率相对较低.

生活费、到站时间、出行目的(旅游VS探亲)是影响大学生选择普通火车出行的显著因素. 生活费越低,选择火车出行的概率越高;到站时间越小的大学生,选择普通火车出行的概率越高;与探亲的大学生相比,旅游的大学生选择普通火车概率相对较小.

出行距离、到站时间、出行目的(旅游VS探亲)、到站方式(公交车VS地铁)是大学生选择高铁出行的显著因素. 出行距离越长,大学生选择高铁出行的概率略有降低;到站时间越大,大学生选择高铁出行的概率相对越低;与探亲的大学生相比,旅游的大学生选择高铁的概率相对较小;另外,与地铁到站的大学生相比,公交车到站的大学生选择高铁出行的概率更小.

言,生活费的弹性最高,到站时间的弹性相对较低,这意味着月收入每增加1%,选择普通火车出行的概率就降低1.04%,到站时间每增加1%,选择普通火车出行的概率就降低0.60%. 对于高铁而言,出行距离的弹性最高,出行距离每增加1%,选择高铁出行的概率就降低1.73%;到站时间每增加1%,选择高铁出行的概率就降低0.78%. 通过上述分析可知,到站时间是区域客运交通方式竞争的重要解释因

素,因此场站的位置及可达性对于交通方式的潜在竞争力起到重要作用。

表6 大巴、普通火车和高铁选择概率的弹性
Tab.6 Elasticity of choice probability for bus, train and high speed railway

变量	直接弹性		
	大巴	普铁	高铁
出行距离	-3.95	0.00	-1.73
生活费	-2.60	-1.04	—
到站时间	-1.19	0.60	0.78
出行目的(旅游VS探亲)	-0.81	0.63	0.56
到站方式(私家车VS地铁)	-0.71	0.45	—
到站方式(公交车VS地铁)	—	-0.27	-0.52

4 结论

本文以大学生群体为研究对象,考虑购票属性及接驳服务属性对大学生方式选择行为的影响,从全过程视角研究了大学生群体综合交通客运方式选择行为决策机理,构建了大学生客运多方式选择的MNL模型,并对模型的参数标定、选择行为进行定量分析。研究结论如下:

(1) 大学生的年级、性别等个体属性特征对方式选择行为无明显影响,生活费有显著影响。以飞机作为参考方式进行研究,结果表明生活费对大学生选择大巴和普通火车的影响较大,根据弹性研究结果,大学生生活费每增加1%,大巴和普通火车的选择概率会降低2.60%和1.04%。

(2) 出行距离、出行目的(旅游VS探亲)对方式选择行为有显著影响。以飞机作为参考方式,出行距离越长,大学生选择大巴出行的概率越低,其次为高铁,根据弹性计算结果,出行距离每增加1%,大巴和高铁的选择概率会降低3.95%和1.73%;另外,到站时间、到站方式(私家车VS地铁)、到站方式(公交车VS地铁)也对部分方式选择行为有显著影响,以飞机作为参考方式,到站时间每增加1%,选择大巴、火车、高铁出行的概率分别降低1.19%、0.60%、0.78%。

参考文献 References

- [1] YAO E, MORIKAWA T. A study of on integrated intercity travel demand model[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2005, 39(4): 367-381.
- [2] FREITAS A L P. Assessing the quality of intercity road transportation of passengers: an exploratory study in Brazil[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2013, 49: 379-392.
- [3] HSU C I, CHEN Y C, LI H C. A model on market share distribution between air transportation, high-speed rail,

- and automobiles[J]. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005, 6(11): 2003-2018.
- [4] MANCUSO P. An analysis of the competition that im-pinges on the Milan-Rome intercity passenger transport link[J]. Transport Policy, 2014, 32: 42-52.
- [5] 何宇强, 毛保华, 陈团生, 等. 高速客运专线客流分担率模型及其应用研究[J]. 铁道学报, 2006, 28(3): 18-20. HE Yuqiang, MAO Baohua, CHENG Tuansheng, et al. The mode share model of the high-speed passenger rail-way line and its application[J]. Journal of the China Railway Society, 2006, 28(3): 18-20.
- [6] 叶玉玲, 王艺诗. 沪杭运输通道内旅客交通方式选择行为研究[J]. 铁道学报, 2010, 32(4): 13-17. YE Yuling, WANG Yishi. Research on travel mode choice behavior in Shanghai-Hangzhou transport corridor[J]. Journal of the China Railway Society, 2010, 32(4): 13-17.
- [7] 卢欣. 基于计划行为学的旅客中长距离出行方式选择行为研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2011. LU Xin. Research on the passenger travel choice of mod-erate/long-distance based on the planned behavior theory[D]. Chengdu: Southwest Jiao Tong University, 2011.
- [8] CHANG ICG. A network-based model for estimating the market share of a new high speed rail system[J]. Transportation Planning & Technology, 2004, 27(2): 67-90.
- [9] DOBRUSZKES F. High-speed rail and air transport competition in Western Europe: a supply-oriented perspective[J]. Transportation Policy, 2011, 18(6): 870-879.
- [10] RGW S, MULAMOOTTIL G. The access journey to the railway station and its role in passengers' satisfaction with rail travel[J]. Transportation Policy, 2007, 14(5): 357-365.
- [11] PELS E, NIJKAMP P, RIETVELD P. Airport and airline competition for passengers departing from a large metropolitan area[J]. Journal of Urban Economics, 2000, 48(1): 29-45.
- [12] PELS E, NIJKAMP P, RIETVELD P. Airport and airline choice in a multiple airport region: an empirical analysis for the San Francisco bay area[J]. Regional Studies. 2001, 35(1): 1-9.
- [13] WARDMAN M, TYLER J. Rail network accessibility and the demand for inter-urban rail travel[J]. Transport Reviews, 2010, 20(1): 3-24.
- [14] CLEVER R, HANSEN M M. Interaction of air and high-speed rail in Japan[J]. Transportation Research Record, 2008, 2043(1): 1-12.
- [15] CHENG Y H, HUANG T Y. High speed rail passenger segmentation and ticketing channel preference[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014, 66: 127-143.
- [16] NJAV E, RIETVELD P. Could you also have made this trip by another mode? An investigation of perceived travel possibilities of car and train travellers on the main travel corridors to the city of Amsterdam, The Netherlands[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2009, 43(4): 374-385.
- [17] WASHINGTON S P, KARLAFTIS M G, MANNERING F. Statistical and econometric methods for transportation data analysis[M]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.

(编辑 桂智刚)