

引用格式: 崔洪军, 张冀强, 朱敏清, 等. 考虑个体异质性的的大型活动参与意向选择行为[J]. 北京工业大学学报, 2024, 50(1): 105-112.

CUI H J, ZHANG J Q, ZHU M Q, et al. Consideration of individual heterogeneity inactivity participation intention choice behavior of planned special events[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2024, 50(1): 105-112. (in Chinese)

考虑个体异质性的的大型活动参与意向选择行为

崔洪军¹, 张冀强¹, 朱敏清², 孙婉茹¹

(1. 河北工业大学土木与交通学院, 天津 300131; 2. 河北工业大学建筑与艺术设计学院, 天津 300131)

摘要: 为研究个体异质性对于大型活动参与意向选择的影响, 构建了基于潜在类别选择模型的大型活动参与意向选择模型。使用 D-optimal 设计法生成了大型活动参与意向调查中的选择情景, 并假设以天津市奥体中心为大型活动举办地, 对天津市居民开展了大型活动参与意向调查。根据调查获取的数据, 使用 EM 算法对模型进行了参数估计。模型结果表明: 天气、活动时间、票价、活动类型、政策复杂度等是影响大型活动参与意向选择的主要因素。模型将潜在的大型活动参与者划分为天气敏感型群体、活动时间敏感型群体、票价敏感型群体 3 类, 分别占样本总体的 30%、15%、55%, 区分度为 0.81, 其中类别 1 对天气类型最为敏感, 对活动举办时间和票价不敏感; 类别 2 对活动举办时间最为敏感, 对天气的敏感程度较低; 类别 3 对票价最为敏感, 对活动时间和政策复杂度不敏感。

关键词: 异质性; 潜在类别选择模型; 大型活动; D-optimal 设计; EM 算法; 活动参与意向

中图分类号: U 491.1

文献标志码: A

文章编号: 0254-0037(2024)01-0105-08

doi: 10.11936/bjutxb2022050013

Consideration of Individual Heterogeneity Inactivity Participation Intention Choice Behavior of Planned Special Events

CUI Hongjun¹, ZHANG Jiqiang¹, ZHU Minqing², SUN Wanru¹

(1. School of Civil and Transportation Engineering, Hebei Technology of University, Tianjin 300131, China;

2. School of Architecture and Art Design, Hebei Technology of University, Tianjin 300131, China)

Abstract: To study the influence of individual heterogeneity on the choice of PSE activity participation intention, this paper constructed a PSE activity participation intention choice model based on the latent class choice model (LCCM). Using the D-optimal design method, the selection scenarios in the PSE activity participation intention survey were generated. Assuming that the Tianjin Olympic Sports Center is the venue for the PSE, a survey of Tianjin residents' activity participation intention for PSE was carried out. According to the data obtained from the survey, the parameters of the model were estimated by the EM algorithm. The model results show that weather, activity time, ticket price, activity type, and policy complexity are the main factors affecting the choice of PSE activity participation intention. The model divides potential PSE participants into three classes: weather-sensitive groups, activity time-sensitive groups, and ticket price sensitive groups, accounting for 30%, 15%, and 55% of the sample population, respectively, with a degree of discrimination of 0.81. Class 1 is the most sensitive to weather

收稿日期: 2022-05-24; 修回日期: 2022-06-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51678212); 河北省技术创新引导计划资助项目(19970808D)

作者简介: 崔洪军(1974—), 男, 教授, 主要从事交通运输规划管理与控制方面的研究, E-mail: cuihj1974@126.com

type, but not sensitive to activity time and ticket price; class 2 is the most sensitive to activity time and less sensitive to weather; and class 3 is the most sensitive to ticket prices and less sensitive to duration and policy complexity.

Key words: heterogeneity; latent class choice model (LCCM); planned special events; D-optimal design; EM algorithm; activity participation intention

根据美国联邦公路局的定义,大型活动(planned special events)是指有固定的举办时间、举办地点以及举办时长的,可能会对交通系统的正常运行带来严峻挑战的公共活动。一方面,大型活动的举办可以为当地旅游带来巨大的经济效益;另一方面,大型活动的举办会在短时间内汇集大量的交通流,从而对举办地的交通运输系统的正常运转造成一定的影响:以2021年在英国布伦特福德社区球场举办的一场英超足球比赛为例,在90 min的比赛时间内,容量1.7万人的球场上座率高达97%,给当地的交通系统带来了严峻挑战。因此,研究大型活动出行者的行为特征,有针对性地制定大型活动的交通管理措施,在大型活动期望效益最大化的同时减小其对于城市交通的影响,是当前亟待解决的课题。

目前,关于大型活动的研究主要是从宏观上研究大型活动交通组织管理策略及大型活动的交通需求,如通过调查数据^[1]或仿真模拟^[2]评估不同的交通管理措施、不同交通方式的特性对于大型活动观众选择交通方式的影响,根据历史交通流数据使用机器学习的方法进行大型活动交通需求预测^[3-4]。也有学者针对大型活动的交通影响进行了研究,如使用有监督的回归模型来预测大型活动的交通影响范围^[5]或基于网络变结构基础模型研究预防大型活动交通拥堵的方法^[6]。此外,还有部分学者对大型活动的人流疏散问题进行了研究,例如:任刚等^[7]对应急疏散情况下大型活动场馆内外人员疏散时间的计算过程和影响因素进行了研究;叶霞等^[8]通过基于概率函数的观众选择算法模拟了大型活动散场时观众的疏散状况。综上所述,由城市大型活动而引发的交通问题的研究在宏观的交通组织和管理措施、交通需求预测,中观的大型活动散场交通流的疏散规律、大型活动对路网交通流的影响等方面成果突出,但缺乏对微观机制的探索,虽有对于人流疏散的研究,但其对人流疏散的研究更多的是将散场人群视为一个同质性整体,未考虑个体之间的异质性。

异质性的概念来源于遗传学,在交通领域中,个

体异质性指由于偏好、风险承受能力、经济条件等形成的个体差异,这种差异导致个体在面对同一选择情景时体现出不同的偏好。常见的个体异质性模型包括潜在类别模型^[9-10]和随机参数模型^[11]。潜在类别模型根据一致性赤池信息准则(constant Akaike information criterion, CAIC)指标和贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC)指标确定样本的最佳分类,然后从不同类中派生出偏好异质性,每一类都有自己的参数;随机参数模型则是将未观察到的偏好异质性作为效用参数的连续函数。Sagebiel等^[12]对2种异质性模型进行了对比研究,发现潜在类别模型相较于随机参数模型具有一定的优势。

基于上述研究背景,本文基于潜在类别选择模型框架构建了大型活动参与意向选择模型,研究个体属性、出行便捷性、大型活动属性、天气、政策等对于大型活动参与意向选择的影响机理。研究解决了传统大型活动参与选择决策研究中无法反映的异质性问题,结果可以为决策者制定科学合理的大型活动出行引导政策提供依据。

1 模型构建

在大型活动参与意向选择中,不同大型活动参与者的个体属性、参加大型活动时出行便捷性不同,其对大型活动活动属性的偏好往往存在一定的差异,为了能够在研究中体现出不同大型活动参与者的异质性,本文基于潜在类别选择模型(latent class choice model, LCCM)^[9]构建了大型活动参与意向选择模型,模型的框架如图1所示,模型由2部分构成——类成员模型和类选择模型,其中类成员模型将大型活动参与者属于特定类别的概率公式化为个人特征的函数,类选择模型描述每一类大型活动参与者的选择行为。

基于文献[9]提供的模型框架,首先通过类选择模型预测潜在类别 s 类中个体 n 在 t 情景下选择参加大型活动 j 的概率,概率表达式为

$$P(y_{nj} = 1 | q_{ns} = 1) \quad (1)$$

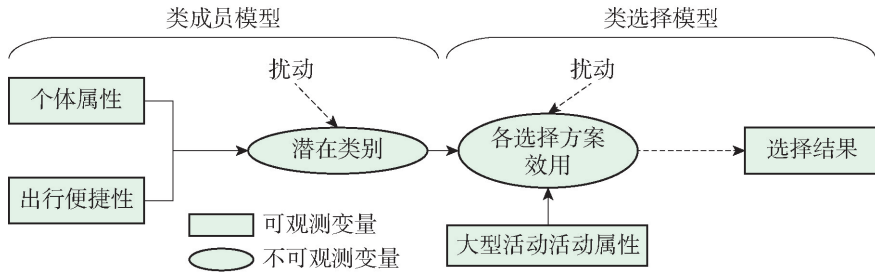


图1 潜在类别模型框架

Fig.1 Framework of LCCM

式中: $y_{nj} = \begin{cases} 1, & \text{个体 } n \text{ 在 } t \text{ 情景下选择大型活动 } j, \\ 0, & \text{其他;} \end{cases}$

$q_{ns} = \begin{cases} 1, & \text{个体 } n \text{ 属于潜在类别 } s, \\ 0, & \text{其他。} \end{cases}$

在目前的研究中,类选择模型一般采用 Logit 模型的形式^[10],本文假设大型活动参与者的选择行为受到大型活动活动方案属性的影响,使用条件 Logit (conditional Logit, CL) 模型框架建立了潜在类别模型中的类选择模型,假设个体 n 属于第 s 类,则其对不同大型活动方案选择的条件概率为

$$P(\mathbf{y}_n | q_{ns} = 1) = \prod_{t=1}^T \prod_{j=1}^J \left\{ \frac{\exp(\boldsymbol{\beta}_s \mathbf{x}_{nj})}{\sum_{k=1}^J \exp(\boldsymbol{\beta}_s \mathbf{x}_{nk})} \right\}^{y_{nj}} \quad (2)$$

式中: \mathbf{y}_n 为二元选择变量; \mathbf{x}_{nj} 为方案属性向量,包含大型活动属性变量、天气变量和政策复杂度变量; $\boldsymbol{\beta}_s$ 为第 s 类人群的偏好参数向量。

潜在类别模型中的另一部分是类成员模型,其主要作用是预测个体 n 属于潜在类 s 的概率。本文类成员模型的被解释变量取值在 $0 \sim 1$,故使用分数多项 Logit (fractional multinomial Logit, FML) 模型进行了类成员模型的构建。根据 FML 模型,个体 n 属于潜在类 s 的概率 $P(q_{ns} = 1)$ 为

$$P(q_{ns} = 1) = \frac{\exp(\boldsymbol{\gamma}_s \mathbf{z}_n)}{1 + \sum_{s=1}^{S-1} \exp(\boldsymbol{\gamma}_s \mathbf{z}_n)} \quad (3)$$

式中: \mathbf{z}_n 为个体 n 的个体属性及出行便捷性属性的向量; $\boldsymbol{\gamma}_s$ 为对应的参数向量。

因此,个体 n 最终选择不同大型活动方案的概率为

$$P(\mathbf{y}_n) = \sum_{s=1}^S P(q_{ns} = 1) P(\mathbf{y}_n | q_{ns} = 1) = \sum_{s=1}^S \frac{\exp(\boldsymbol{\gamma}_s \mathbf{z}_n)}{1 + \sum_{s=1}^{S-1} \exp(\boldsymbol{\gamma}_s \mathbf{z}_n)} \prod_{t=1}^T \prod_{j=1}^J \left\{ \frac{\exp(\boldsymbol{\beta}_s \mathbf{x}_{nj})}{\sum_{k=1}^J \exp(\boldsymbol{\beta}_s \mathbf{x}_{nk})} \right\}^{y_{nj}} \quad (4)$$

对样本的所有个体进行对数求和,可得样本总体的对数似然函数

$$\ln L(\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\gamma}; \mathbf{y}, \mathbf{X}, \mathbf{Z}) = \sum_{n=1}^N \ln \sum_{s=1}^S P(q_{ns} = 1) P(\mathbf{y}_n | q_{ns} = 1) \quad (5)$$

对式(5)直接求解较为困难,为确保参数估计结果的稳定性,需要借助最大期望算法(expectation-maximization algorithm, EM)算法进行参数估计^[13]。在本文中,每个个体的潜在类别 s 为数据中的缺失信息。假设 l 为算法的第 l 次迭代,则其第 $l+1$ 次迭代结果为

$$\boldsymbol{\beta}^{l+1} = \operatorname{argmax}_{\boldsymbol{\beta}} \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^S \varphi_{ns}(\boldsymbol{\beta}^l, \boldsymbol{\gamma}^l) \ln P(\mathbf{y}_n | q_{ns} = 1) \quad (6)$$

$$\boldsymbol{\gamma}^{l+1} = \operatorname{argmax}_{\boldsymbol{\gamma}} \sum_{n=1}^N \sum_{s=1}^S \varphi_{ns}(\boldsymbol{\beta}^l, \boldsymbol{\gamma}^l) \ln P(q_{ns} = 1) \quad (7)$$

式中 $\varphi_{ns}(\boldsymbol{\beta}^l, \boldsymbol{\gamma}^l)$ 为在第 l 次估计中个体 n 属于类别 s 的后验概率,可表示为

$$\varphi_{ns}(\boldsymbol{\beta}^l, \boldsymbol{\gamma}^l) = \frac{P(q_{ns} = 1) P(\mathbf{y}_n | q_{ns} = 1)}{\sum_{s=1}^S P(q_{ns} = 1) P(\mathbf{y}_n | q_{ns} = 1)} \quad (8)$$

最终当模型结果达到收敛要求时停止迭代,即可得模型参数向量 $\boldsymbol{\beta}, \boldsymbol{\gamma}$ 。

2 调查实验设计

2.1 属性及水平选择

为了衡量影响大型活动参与意向选择行为的因素,本文设计了一个叙述性偏好法(stated preference, SP)选择实验。实验中因素的选取参考了相关的文献以及大型活动实际举办过程中可能对潜在的参与者活动参与意向造成影响的因素。天气是影响出行者出行的重要因素,出行者在不同天气下的出行意愿不同,例如,根据文献[14]的研究,雨

天道路上的交通量通常会减少1%~4%。同样的,对于大型活动而言,天气因素会通过影响大型活动参与者的出行体验来影响其大型活动的参与意愿^[15]。为使调查对象更加直观地理解调查内容,提高问卷数据质量,本文将常见的几种天气的分类(晴天、阴天、雾霾天气、雨雪天气)作为天气因素的4个水平来衡量天气因素对大型活动活动参与意向选择行为的影响。除天气因素的影响外,大型活动的活动参与意愿还受到大型活动本身属性的影响,如大型活动的类型、票价、举办时间、活动时长等。本文将大型活动的类型分为4种常见的大型活动类型:大型演唱会、大型体育赛事、大型电竞赛事和大型展会;票价水平的设置参照了文献^[16]当中活动的票价区间及天津市过往大型活动票价的一般水平,将其设置为300、500、900、1 100元4个水平;根据文献^[14]的统计结果,大

型活动的活动时长大多集中在2~4 h,因此,本文将大型活动的活动时长分为2.0、2.5、3.0、3.5 h共4个等级;大型活动活动时间水平的设置主要考虑工作日与休息日之间可能存在不同的空闲时间对于个体大型活动活动参与意向选择的影响,因此本文将大型活动的活动时间划分为工作日、休息日2个水平。此外,在当前新冠疫情持续期的背景下,政府对于参加大型活动的政策要求也是影响出行者大型活动活动参与意愿的重要因素,但目前的文献尚无针对疫情持续期下大型活动管理策略的研究。因此,本文参照当前举办的大型活动对于参与者的要求,基于任务复杂度的概念^[17],提出了大型活动政策复杂度的概念,根据执行要求的数目和执行要求的难易程度将对大型活动的政策限制分为复杂疫情防控要求、简单疫情防控要求,具体描述内容如图2所示。

A 大型电竞赛事	B 大型演唱会	C 大型展会	D
<ul style="list-style-type: none"> 天气:晴天 活动举办时间:休息日 票价:1 100元 活动持续时间:2.5 h <p>· 政策限制:需要遵守复杂的疫情防控要求,佩戴口罩、查验行程码、提供48 h内核酸检测阴性证明等</p>	<ul style="list-style-type: none"> 天气:雨雪天气 活动举办时间:休息日 票价:900元 活动持续时间:3.5 h <p>· 政策限制:需要遵守复杂的疫情防控要求,佩戴口罩、查验行程码、提供48 h内核酸检测阴性证明等</p>	<ul style="list-style-type: none"> 天气:雾天 活动举办时间:工作日 票价:500元 活动持续时间:3.0 h <p>· 政策限制:需要遵守基本的疫情防控要求,佩戴口罩,保持距离</p>	不会参加上述3个大型活动
<input type="radio"/> 参加此大型活动	<input type="radio"/> 参加此大型活动	<input type="radio"/> 参加此大型活动	<input type="radio"/>

图2 选择实验情景示例

Fig. 2 Example of choice experiment situation

2.2 选择实验设计

不同属性及其水平的详细列表如表1所示。实验共有4个4水平因素属性和2个2水平属性,如果进行全因子实验设计,则共需要 $4^4 \times 2^2 = 1\ 024$ 个剖面,这在实际的问卷中很难实施。因此,本文使用D-optimal设计法进行SP实验设计,实验设计通过SAS软件编程获得,每个实验设计的设计情景数为

12,为了减少每个受访者需要完成的情景数,将12个选择情景中的3个情景进行随机组合形成4种调查问卷,每个选择情景中包含3个选项。此外,考虑到人们可能对选择情景中的任意一种选项都不感兴趣,在每个选择情境中额外加入“无”选项。选择实验设计的最终表现形式,如图2所示。

表1 SP调查属性及属性水平

Table 1 Attributes and levels of SP survey

属性	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
大型活动类型	大型演唱会	大型体育赛事	大型电竞赛事	大型展会
天气	晴	阴	雾	雨雪
活动举办时间	工作日	休息日		
票价/元	300	500	900	1 100
活动持续时间/h	2.0	2.5	3.0	3.5
政策复杂度	简单疫情防控要求	复杂疫情防控要求		

2.3 数据收集

数据收集工作委托问卷星平台在天津地区进行调查, 共计回收 526 份有效问卷。为避免各因素之间过高的相关系数导致后续模型产生多重共线性的

问题, 本文首先通过 Pearson 相关系数对收集到的原始数据中变量进行了相关性分析, 选取相关性系数小于 0.3 的变量带入后续模型中进行分析。表 2 为本样本的实际的样本特征。

表 2 个体属性及出行便捷性调查结果统计表

Table 2 Survey table of individual attributes and travel convenience

个体属性							
性别	比例/%	年龄/岁	比例/%	月收入/元	比例/%	有无私家车	比例/%
男	47.6	(15,25]	13.1	[0,3 000]	16.0	有	70.50
女	52.4	(25,35]	27.9	[3 001,5 000]	23.2	无	29.50
		(35,45]	33.3	[5 001,8 000]	26.8		
		(45,55]	20.5	[8 001,10 000]	17.1		
		>55	5.2	>10 000	16.9		
出行便捷性							
出行时间/ min	比例/%	停车便捷性	比例/%	距公交/地铁站 点的步行距离 是否大于 1 km	比例/%	对奥体中心 周围路网的 熟悉程度	比例/%
[0,30]	11.80	非常不方便	8.70	是	49.0	非常不熟悉	12.70
(30,60]	31.00	不方便	14.40	否	51.0	不熟悉	20.20
(60,90]	20.30	一般	53.40			一般	33.80
(90,120]	14.20	方便	20.20			熟悉	21.90
>120	22.70	非常方便	3.50			非常熟悉	11.40

受访者对于不同类型的大型活动的参加意向比例如图 3 所示, 1/3 的受访者没有选择任何类型的大型活动, 这表明相当大比例的受访者对于选择情景中列举的大型活动不感兴趣。

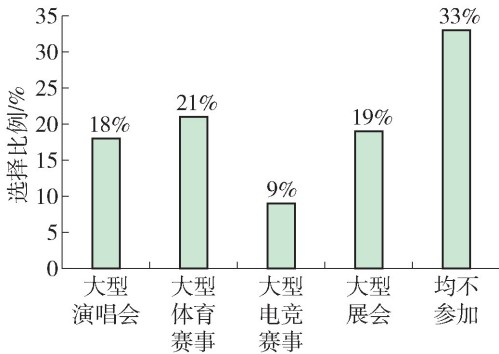


图 3 不同活动类型的意向选择比例

Fig. 3 Proportion of intentional choice of different activity types

3 结果分析

3.1 潜在类别数量选取

在 LCCM 中, 潜在类别数量为模型的超参数, 无法通过模型的标定获取, 需要进行提前定义。因此, 在确定本文最终模型形式的过程中, 分别对不同潜

在类别数量的模型进行了测试, 依据 LCCM 相关的模型检验方法^[9,18], 主要关注不同模型的 CAIC、BIC、 $\bar{\rho}^2$ (adjusted rho-bar squared) 指标, CAIC 和 BIC 值越小, $\bar{\rho}^2$ 值越大, 则模型的拟合优度越高。模型的指标估计结果如表 3 所示, 其中 LLF 为对数似然函数值。由表可知, $\bar{\rho}^2$ 值在 3 类模型和 4 类模型、4 类模型和 5 类模型之间变化较小, CAIC 值和 BIC 值随潜在类别数的增加而增加。参考上述拟合优度指标值变化规律, 本文最终将大型活动活动参与意向选择模型中类成员模型的潜在类别划分为 3 类, 计算得其模型的样本区分度为 0.81, 说明模型能较好对样本总体进行偏好性区分。

表 3 不同类别的模型拟合结果

Table 3 Estimation results of different classes model

类别	LLF	CAIC	BIC	$\bar{\rho}^2$
2	-1 057.75	2 248.71	2 229.71	0.20
3	-1 024.55	2 273.47	2 241.47	0.23
4	-1 004.93	2 325.36	2 280.36	0.24
5	-1 007.37	2 421.39	2 363.39	0.24

3.2 模型估计结果

3.2.1 类选择模型估计结果

类选择模型的解释变量包括大型活动本身的属

性、天气属性和政策复杂度属性,模型的拟合结果如表4所示。

由表4可知,各属性变量在不同类别中的参数

值与其显著性各异,说明不同类别的出行者在对不同的大型活动方案的意向选择上体现了较强的异质性,具体分析如下。

表4 类选择模型估计结果

Table 4 Estimation results of class-specific model

属性	类别1			类别2			类别3		
	参数值	<i>z</i>	<i>P</i> 值	参数值	<i>z</i>	<i>P</i> 值	参数值	<i>z</i>	<i>P</i> 值
天气	-0.971	-3.240	0.030	2.011	1.410	0.159	0.194	-3.790	0.000
大型活动类型	-0.745	-2.170	0.001	-6.545	-1.980	0.047	-0.235	2.920	0.004
活动时间	0.088	0.280	0.782	12.665	1.970	0.049	0.225	1.960	0.050
票价	-0.167	-1.130	0.259	3.124	2.430	0.015	-0.318	-5.670	0.000
活动持续时长	0.277	1.910	0.057	-3.272	-2.170	0.030	0.040	0.880	0.377
政策复杂度	-0.784	-2.130	0.033	12.522	1.900	0.058	-0.030	-0.270	0.784

注:表中加粗字体为90%水平下显著的影响因素,加粗下划线字体为95%水平下显著的影响因素。

1) 类别1——天气敏感型群体

类别1群体约占总体样本(不含选择“均不参加”的人群,下文同)的30%。在本类群体中,天气、大型活动类型、活动持续时长、政策复杂度4个因素影响显著,活动时间与票价参数不显著,且天气因素的参数绝对值最大,因此将类别1定义为天气敏感型群体。此类群体在进行是否参加大型活动的决策时,首重天气因素,对票价因素和活动时间因素不敏感。

2) 类别2——活动时间敏感型群体

类别2群体约占样本总体的15%。在本类群体中,除了天气因素,其他因素均对个体的大型活动参与意向选择有显著影响。这类群体可以接受较为恶劣的天气,且相较于在工作日举办的大型活动,其更偏好于在休息日举办的大型活动。此外,值得注意的是,政策复杂度为此类群体是否参加某一大型活动的第二重要影响因素,但与其他2类人群不同的是,本类别中政策复杂度的参数值符号为正,说明政策复杂度与大型活动的活动参与意向呈正相关,而在类别1与类别3中,政策复杂度则与活动参与意向呈负相关。造成这种现象的原因是不同群体对于政策复杂度这一因素的感知不同,部分群体的认知与本文设置此影响因素的初衷相同,认为复杂的政策要求会降低其对大型活动的期待,而另一部分群体则认为复杂的政策要求是确保其参加大型活动安全性的重要保障,故此严格的政策要求会增加其参加大型活动的意向。

3) 类别3——票价敏感型群体

类别3群体为3个潜在类别中占比最大的群

体,约占总体的55%。天气、大型活动的活动类型、活动时间、票价均对本类中个体的大型活动参与意向选择有显著影响且票价的参数绝对值较大。这说明类别3属于“票价敏感型”。这类群体对于大型活动的票价更加关注,而对活动持续时长及其政策要求敏感程度不高。票价较低的大型活动对于此群体的吸引力较高。

此外,由表4可知,大型活动的类型对于3个类别的人群而言均是显著影响因素,说明对于所有的人群而言,在进行是否参加某一大型活动的决策时,都会或多或少考虑大型活动的类型。不同个体对于不同类型的大型活动兴趣不同,导致不同的选择结果。这说明大型活动的意向选择行为是一种以兴趣为导向的意向选择行为。

3.2.2 类成员模型估计结果

将类别3作为参考类,个体属性及出行便捷性对于潜在类别的影响如表5所示,其中“出行便捷性”是对问卷中大型活动举办地路网的熟悉程度、出行时间、乘坐公共交通的便捷性、停车的便捷性等因素的调查结果进行探索性因子分析(exploratory factor analysis, EFA)得到的因子。由表5可知:性别和年龄在类别2中均显著,在类别1中仅有性别显著,且性别参数为负,年龄参数为正,即女性属于天气敏感型群体(类别1)和活动时间敏感型群体(类别2)的可能性更高,且随着类别2群体年龄的增加,其越容易成为活动时间敏感型群体。因此,年龄越大的女性属于活动时间敏感型群体的可能性越高。

基于上述分析结果,针对不同条件下的大型活

动,应对不同大型活动参与群体采取差异化的引导策略和措施,以实现降低大型活动对城市交通的影响与举办方创造经济价值意愿均得到保障的目的。对于天气敏感型群体,若举办大型活动时天气较差,可以通过给予一定的票价补贴或通过专车接送观众以提高该类群体的参与意愿。对于活动时间敏感型群体,若大型活动于工作日举办,可建议举办方适当降低票价或缩短活动持续时长以吸引此类群体的参与。对于票价敏感型群体,由于其显著影响因素的参数绝对值均较小,因此需综合考虑此类群体的各个显著影响因素,以增强此类群体对管理措施变化的感知,从而达到引导其活动参与需求的目的,如通过同时调整票价和活动时间来达到引导此类人群的大型活动参与需求的目的。在实际制定大型活动出行引导政策时,可根据本文的类成员模型及相应区域的居民个体属性特征,确定各异质性人群的比例及相应的大型活动出行概率,预估大型活动出行需求,进而制定具体的大型活动出行引导政策。

表5 类成员模型估计结果

Table 5 Estimation results of class-membership model

属性	类别1	类别2	类别3
性别	-2.204	-0.782	0
年龄	0.340	0.359	0
收入	0.408	0.182	0
有无私家车	1.501	0.196	0
出行便捷性	-0.057	-0.094	0
常数项	-4.798	-2.272	0

注:表中加粗字体为90%水平下显著的影响因素。

3.2.3 出行者不选择参加大型活动的原因

由于在调查中有相当大比例的受访者在情景选择中选择了“都不参加”(33%),以下将基于描述性统计分析其原因。在本次调查中,当受访者选择“都不参加”的选项时,会要求填写一道简要描述其不参加理由的题项,理由统计结果如表6所示。在选择“都不参加”选项的受访者提供的理由中,常见的理由包括距离太远/出行不便/没时间(26.6%)、价格原因(25.8%)、对所列的大型活动不感兴趣(20.5%)。其中距离太远/出行不便/没时间、价格原因这2项理由的提出往往与个体出行的便捷性、收入相关,而本文无法将选择“都不参加”的受访者纳入模型,这是在类成员模型的估计中,收入属性与出行便捷性属性在类别1和类别2中均不显著的原

因之一。

表6 不选择参加大型活动的原因

Table 6 Reasons for not choosing to attend PSE

原因	比例/%
距离太远/出行不便/没时间	26.6
价格原因	25.8
对所列的大型活动不感兴趣	20.5
天气原因	11.9
其他(疫情影响/个人习惯/对大型活动并不熟悉等)	15.2

4 结论

1) 大型活动类别、举办时间、活动时长、票价、天气、政策复杂度均对个体的大型活动参与意向即其是否选择参加大型活动有显著影响,个体对大型活动的不同属性的敏感程度不同,体现了不同的个体偏好。但对于所有类别的个体而言,大型活动类型均为显著影响因素。由此可知,大型活动的活动参与意向选择行为是一种以兴趣为基础,受不同活动属性、天气属性、政策属性影响的异质性选择行为。

2) 在大型活动的活动参与意向选择行为中,出行者可以划分为天气敏感型群体、活动时间敏感型群体和票价敏感型群体,分别占比30%、15%、55%,区分度为0.81。

3) 在个体属性中,性别、年龄对不同类别群体的大型活动出行意向选择行为有着不同的影响。决策者在制定大型活动交通组织管理方案时应首先熟悉该大型活动受众的性别和年龄结构,根据不同类型的大型活动、天气等属性特点,制定有针对性的交通管理措施来合理地引导大型活动参与者的出行需求。

4) 研究结果揭示了不同因素对不同人群的影响机理,可以更好地解释大型活动观众的活动参与选择行为;根据大型活动的特征,可以在大型活动举办前更加精确地预测大型活动参与人数的总体规模,从而为后续交通方式选择、出行路径选择的预测提供基础。

参考文献:

- [1] 刘新华,孙壮志,姚广铮.奥运会开闭幕式抵离方式及影响因素分析[J].交通运输系统工程与信息,2011,11(1):163-167.

- LIU X H, SUN Z Z, YAO G Z. Spectator arrival and departure traffic mode and influence factors in Beijing Olympic Games opening and closing ceremony[J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2011, 11(1): 163-167. (in Chinese)
- [2] LIN Y, CHEN W. A simulation-based multiclass, multimodal traffic assignment model with departure time for evaluating traffic control plans of planned special events [J]. *Transportation Research Procedia*, 2017, 25: 1352-1379.
- [3] KUMAR P, KHANI A. Evaluating special event transit demand; a robust principal component analysis approach [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020, PP(99): 1-13.
- [4] 王兴川, 姚恩建, 刘莎莎. 基于 AFC 数据的大型活动期间城市轨道交通客流预测[J]. *北京交通大学学报*, 2018, 42(1): 87-93.
WANG X C, YAO E J, LIU S S. Urban rail transit passenger flow forecasting for large special event based on AFC data [J]. *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2018, 42(1): 87-93. (in Chinese)
- [5] TEMPELMEIER N, DIETZE S, DEMIDOVA E. Crosstown traffic-supervised prediction of impact of planned special events on urban traffic[J]. *GeoInformatica*, 2019, 24(2): 339-370.
- [6] 王忠宇, 王玲, 王艳丽, 等. 基于网络变结构优化的大型活动交通拥堵预防方法[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2021, 55(2): 358-366.
WANG Z Y, WANG L, WANG Y L, et al. Traffic congestion prevention method during large-scale special events based on variable network topology optimization[J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2021, 55(2): 358-366. (in Chinese)
- [7] 任刚, 赵星, 贺康康, 等. 大型活动应急疏散交通需求时间加载模型 [J]. *北京工业大学学报*, 2013, 39(11): 1618-1623.
REN G, ZHAO X, HE K K, et al. Time-loading model of evacuation traffic demand for large-scale activities [J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2013, 39(11): 1618-1623. (in Chinese)
- [8] 叶霞, 夏海霞, 高志刚. 大型活动散场观众交通疏散模型[J]. *计算机应用与软件*, 2018, 35(12): 54-60.
YE X, XIA H X, GAO Z G. Audience traffic evacuation model for large scale events [J]. *Computer Applications and Software*, 2018, 35(12): 54-60. (in Chinese)
- [9] VIJ A, CARREL A, WALKER J L. Incorporating the influence of latent modal preferences on travel mode choice behavior [J]. *Transportation Research Part A*, 2013, 54(54): 164-178.
- [10] MELINDA M, MARIA K. Investigating heterogeneity in preferences for mobility-as-a-service plans through a latent class choice model [J]. *Travel Behaviour and Society*, 2021, 23(4): 143-156.
- [11] TIAN Z, FENG T, TIMMERMANS H, et al. Using autonomous vehicles or shared cars? results of a stated choice experiment [J]. *Transportation Research Part C*, 2021, 128: 103-117.
- [12] SAGEBIEL J. Preference heterogeneity in energy discrete choice experiments: a review on methods for model selection [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 69: 804-811.
- [13] PACIFICO D, YOO H. Lclogit: a stata command for fitting latent-class conditional logit models via the expectation-maximization algorithm [J]. *Stata Journal*, 2013, 13(3): 625-639.
- [14] KEAY K, SIMMONDS I. The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2005, 37(1): 109-124.
- [15] ZHANG J, JIANG W, ZHANG J, et al. Exploring weather data to predict activity attendance in event-based social network [J]. *ACM Transactions on the Web (TWEB)*, 2021, 15(2): 1-25.
- [16] 董杰, 刘波. 冬季奥运会的门票: 收益、风险与风险管理 [J]. *体育与科学*, 2014, 35(2): 53-59.
DONG J, LIU B. The tickets of Olympics Winter Games: income, risk and risk management [J]. *Journal of Sports and Science*, 2014, 35(2): 53-59. (in Chinese)
- [17] 姜婷婷, 贺虹虹, 张正楠. 搜索任务复杂度对用户情感的影响研究 [J]. *图书情报知识*, 2016(4): 74-82.
JIANG T T, HE H H, ZHANG Z N. Impacts of search task complexity on users' emotion [J]. *Documentation, Information & Knowledge*, 2016 (4): 74-82. (in Chinese)
- [18] 刘建荣, 黄玲. 地铁拥挤度和出行者异质性对时间价值的影响 [J]. *交通运输系统工程与信息*, 2020, 20(2): 122-126, 173.
LIU J R, HUANG L. Impact of metro's in-vehicle crowding and commuters' heterogeneity on value of time [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2020, 20(2): 122-126, 173. (in Chinese)