

出行弹性概念及其应用

云美萍¹, 张元², 周源¹, 程馨莹¹

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 同济大学电子与信息工程学院, 上海 201804)

摘要: 基于出行链决策中各选择肢的被选概率及其离散程度, 给出了出行弹性度的基本概念及数学定义, 并提出了 3 种出行弹性度, 即出行方式选择弹性度、出发时刻选择弹性度和出行链综合弹性度, 给出了各选择肢被选概率标准差的相关量来确定以上 3 种出行弹性度的方法. 利用广东省中山市的居民出行数据, 建立了出行方式选择和出发时刻选择的多项 Logit 模型, 标定了上述 3 种出行弹性度, 并进行了弹性度分级. 比较了考虑弹性度与不考虑弹性度时交通需求管理措施对交通方式转移量的预测, 结果显示, 不考虑弹性度的转移量预测模型一定程度夸大了交通需求管理措施的实施效果, 验证了出行弹性度研究的必要性及其应用价值.

关键词: 出行弹性; 交通方式选择; 出发时刻选择; 概率离散程度; 多项 Logit 模型

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

Conception of Travel Elasticity and Its Application

YUN Meiping¹, ZHANG Yuan², ZHOU Yuan¹, CHENG Xinying¹

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: This paper defines the elasticity of trip chains as the distribution of the probabilities of different alternatives. Three kinds of travel elasticity are proposed, which are elasticity of mode choice, elasticity of departure time choice, and comprehensive elasticity of mode and departure time. Then methods on how to determine elasticity of trip chains are provided. Based on a dataset collected in a day travel survey in Zhongshan, Guangdong Province, two multinomial logit models on mode choice and departure time choice are established to calculate the elasticity of the above three elasticities. Finally, a comparative study was made of the

mode shift prediction with or without a consideration of the mode choice elasticity. Comparison results show that the mode shift prediction model without a consideration of the travel flexibility tends to exaggerate the effect of travel demand management (TDM), which illustrates the necessary to study travel elasticity in transportation management.

Key words: travel elasticity; mode choice; departure time choice; distribution of probabilities; multinomial Logit model

不同的出行者因个体属性的差异, 在出行需求特征方面也存在差别, 例如出行中对交通方式选择和出发时刻选择的差异. 同时, 出行者在出行决策时, 其“可选择范围”也并不相同, 也即出行者的选择行为决策变量(如出发时刻、交通方式等)可以在一定程度上改变, 但不同出行者其可改变范围有差异. 本文试图用“出行弹性”这一概念衡量出行选择行为的可改变空间.

交通需求管理(travel demand management, TDM)的主要思想是通过采取合理的管理手段(如降低公交票价、拥挤收费等), 调节出行者的选择行为, 在一定程度上可缓解城市高峰时段的通行压力. TDM 对出行弹性较高的出行具有显著调节作用, 而对出行弹性较低的出行调节作用并不明显.

20 世纪 70 至 80 年代, 基于活动的出行需求预测模型开始用于实际预测. 近些年通过大量的研究和应用, 非集计模型在建模方法等方面已经得到很大改进^[1-2]. Damm, Golob, Kitamura 和 Ettema 等人对非集计的出行理论进行了总结. 随后, Ben-Akiva 和 Bowman 提出了日活动计划模型, 把一天中所有出行连接起来, 作为活动链. 在非集计模型的研究方面, 目前国内许多学者应用多项 Logit 模型(multinomial Logit model, MNL)和巢式 Logit 模

收稿日期: 2012-10-01

基金项目: 国家自然科学基金(70501023)

第一作者: 云美萍(1977—), 女, 副教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为交通行为, 交通管理科学与技术, 智能交通系统.

E-mail: yunmp@tongji.edu.cn

通讯作者: 张元(1992—), 男, 本科生, 专业为自动化. E-mail: 18801792095@139.com

型(nested Logit, NL)的基本理论,形成预测出行目的、方式、时间选择等的出行需求预测模型^[3].但是,这些模型在预测 TDM 措施对交通行为产生的影响时,往往没有考虑到不同属性的个体对相同的 TDM 措施的可接受概率的差别,忽视了 TDM 政策对不同的出行者个体的影响程度存在差异,即,尚未考虑出行者本身的“出行弹性”属性,因此预测结果往往跟实际相比存在差距^[1,4].本文尝试引入“出行弹性”这一概念解决这一问题.

弹性的概念源于经济学.在经济学上的弹性概念是由阿尔弗莱德·马歇尔提出的,是指一个变量相对于另一个变量发生的一定比例的改变的属性^[5].交通系统分析中,也常常应用需求和供给的弹性理论研究价格和交通需求的关系^[6-7],花费的时间与出行需求的关系^[8].也有学者研究出行者对某一种方式选择的概率弹性时完全借用经济学的定义方式.而针对决策变量的选择自由度与偏好的弹性概念,在很多出行预测理论中有所涉及,但是大多是一个“弹性需求”模糊的概念,并没有给出严格、完备的数学定义和确定方法^[9].

本文从概率学的角度研究出行弹性的概念,分

析交通方式选择弹性以及出发时刻选择弹性,并以典型城市(广东省中山市)的居民出行调查数据为基础,试图给出出行弹性度的确定方法.最后验证出行弹性研究的必要性及其在分析预测 TDM 效果中的应用价值.

1 出行链弹性度的概率学定义及计算

一次出行具有偶然性,而出行链则能反映出行者的习惯性行为;不同的出行之间的共性不明显,而出行链则能够找到明显共性的特征,所以本文研究出行链的弹性度^[4].

在给出出行链弹性度(elasticity of the trip chains)的定义前,先探讨出行弹性的本质.出行弹性度应该是出行者在很长一段时间内对决策变量选择情况的偏好程度的宏观描述,因此最直观的方法是从同一个出行者多天内的出行链统计情况分析.然而,这种面板数据很难获得,因此后文中采用了横截面数据进行研究.表 1 给出了某出行者 10 d 内的出行情况,出行链都是基于“家”到达目的地再回到“家”的类型(H→O→H).

表 1 某出行者 10 d 内的出行链记录

Tab. 1 Records of trip chains of one commuter in ten days

出行编号	出发时间	出发地点	H→O ₁ 出行方式	O ₁ →O ₂ 出行方式	O ₂ →O ₃ 出行方式	O ₃ →O _n 出行方式	O _n →H 出行方式
1	8:00	家	地铁	公交车	公交车	...	公交车
2	8:15	家	公交车	公交车	公交车	...	公交车
3	8:15	家	地铁	地铁			地铁
4	8:00	家	地铁	小汽车	公交车		小汽车
5	9:00	家	地铁	地铁			地铁
6	8:15	家	公交车	地铁	公交车	...	公交车
7	8:00	家	公交车	公交车	公交车	...	公交车
8	8:00	家	地铁	小汽车	小汽车		小汽车
9	8:20	家	地铁	地铁	公交车	...	公交车
10	8:00	家	公交车	地铁	公交车		公交车

注:O₁~O_n 分别表示第 n 个出行端点;H 指出行端点是家.

该出行者每天第一次出行的出发时间分布区间在 8:00—9:00,如果把此时间段分为 4 段:(8:00, 8:15], (8:15, 8:30], (8:30, 8:45], (8:45, 9:00], 各时间段被选择的频率分别是 0.5, 0.4, 0, 0.1. 在 8:00—9:00 时间范围内,该出行者在 8:00—8:30 (选择肢 I)出发的频率为 0.9,而在 8:30—9:00 (选择肢 II)出行的频率很低,可认为对于选择肢 I 和 II 而言,出发时间的选择弹性很小;而如果仅考虑两个时间选择肢 8:00—8:15, 8:15—8:30,该出行者选择在这两个区间内出发的概率相近,则选择这两个时间段出行的弹性较大.同样,第一次出行选择交通

方式的弹性也可以类似分析.选择公共交通的频率是 0.4,地铁的频率是 0.6,可以认为该出行者在这两种选择肢之间的弹性较大,没有对哪一种方式有刚性的需求.基于以上分析,给出出行链任意决策变量弹性度的定义:

在一条出行链中,对某一决策变量 D 而言(如出发时刻选择,出行方式选择等),假设其在大量的重复实验中有 n 个选择肢,出行者选择第 i 个选择肢的概率为 P_i ,记集合 $\{P_i\}$ 中 n 个元素的离散程度为出行链关于这个决策变量 D 的弹性度,记为 $K(D)$.并规定,当所有选择肢被选择的概率都相同时,弹性

度最大,为1;当某一个选择肢的概率为1,其余所有选择肢被选择概率为0,弹性最小,为0.即

$$\forall i, P_i = \frac{1}{n}, \text{即 } P_i = P_2 = \dots = P_n \text{ 时}, K(D) = 1$$

$$\exists i, \text{使 } P_i = 1, P_j = 0 (\forall j, j \neq i) \text{ 时}, K(D) = 0$$

表示和一定的若干非负实数的离散程度,可采用的指标量有很多,如标准差、方差、离差绝对值和、几何平均数等.这里提出一个选择的标准:考虑两个决策变量时,当决策变量 D_1 与决策变量 D_2 之间相互独立时,出行链整体弹性度 $K(D_1, D_2)$ 可以由 $K(D_1)$, $K(D_2)$ 的代数表达式决定,而与决策变量 D_1 与决策变量 D_2 中各选择肢被选择的概率无关.

满足以上条件且形式简洁、数值区间合理的计算公式如下(式中 $R(D)$ 表示与“弹性”相反的“刚性”, $R(D) = 1 - K(D)$):

(1) 用 n 个概率元 P_i 的标准差 $\sigma(P_i)$ 来度量 $K(D)$

$$\text{由于 } \sigma(P_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \frac{1}{n})^2}{n-1}} \in [0, \frac{1}{\sqrt{n}}]$$

故 $R(D) = \sqrt{n}\sigma(P_i)$ (1)

于是,弹性度 $K(D)$ 定义为

$$K(D) = 1 - R(D) =$$

$$1 - \sqrt{n}\sigma(P_i) = 1 - \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n P_i^2 - 1}{n-1}} \quad (2)$$

(2) 用 n 个概率元的几何平均数 $\sqrt[n]{\prod_{i=1}^n P_i}$ 来度量弹性 $K(D)$

n 个非负数和一定时,其取值越集中,几何平均数越大.同样符合弹性度的定义.

$$K(D) = n \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n P_i} \quad (3)$$

存在两个相互独立的决策变量 D_1, D_2 时,下面推导出行链关于这两个决策变量的总弹性度的计算公式.

考虑一条出行链的两种决策变量 D_1 和 D_2 , 比如出发时间和主要方式选择,假设这两种决策变量之间相互独立,分别有 m, n 个选择肢,分别用 D_{1i}, D_{2j} 表示决策变量 D_1 和 D_2 的第 i 个选择肢和第 j 个选择肢 ($1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n$). 选择决策变量 D_1 选择第 i 个选择肢的概率为 $P(D_{1i})$, 选择决策变量 D_2 选择第 j 个选择肢的概率为 $P(D_{2j})$.

假设两种决策变量之间相互独立,由排列组合原理可知,可以组成 $m \times n$ 个不同选择肢选择组合

$\{D_{1i}, D_{2j}\}$ 的概率为

$$P(D_{1i}, D_{2j}) = P(D_{1i})P(D_{2j})$$

出行链关于决策变量 D_1 和 D_2 的综合弹性度仍可表示为 $m \times n$ 个 $P(D_{1i})P(D_{2j})$ 概率元的离散程度,由方法(1)对刚性度的定义,可得

$$R(D_1, D_2) = \sqrt{\frac{mn \sum_{\substack{i=1, \dots, m \\ j=1, \dots, n}} (P(D_{1i})P(D_{2j}))^2 - 1}{mn - 1}} \quad (4)$$

将

$$R(D_1) = \sqrt{\frac{m \sum_{i=1}^m P(D_{1i})^2 - 1}{m - 1}},$$

$$R(D_2) = \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n P(D_{2j})^2 - 1}{n - 1}},$$

$$\sum_{\substack{i=1, \dots, m \\ j=1, \dots, n}} (P(D_{1i})P(D_{2j}))^2 = \sum_{i=1}^m P(D_{1i})^2 \sum_{j=1}^n P(D_{2j})^2$$

代入式(4),化简可得

$$R(D_1, D_2) = \{[(m-1)(n-1)R(D_1)^2 R(D_2)^2 + (m-1)R(D_1)^2 + (n-1)R(D_2)^2] / (mn - 1)\}^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

由方法(2)对弹性度的定义,可得

$$K(D_1, D_2) = mn \sqrt[mn]{\prod_{\substack{1 \leq i \leq m \\ 1 \leq j \leq n}} P(D_{1i}, D_{2j})} =$$

$$mn \sqrt[mn]{\prod_{\substack{1 \leq i \leq m \\ 1 \leq j \leq n}} P(D_{1i})P(D_{2j})} =$$

$$mn \sqrt[mn]{(\prod_{i=1}^m P(D_{1i}))^n (\prod_{j=1}^n P(D_{2j}))^m} =$$

$$mn \sqrt[mn]{\left(\frac{K(D_1)}{m}\right)^{nm} \left(\frac{K(D_2)}{n}\right)^{nm}} = K(D_{1i})K(D_{2j}) \quad (6)$$

理论上,用方法(1)和方法(2)计算弹性度都是可行的,且方法(2)的形式更简洁,意义更明确.但在操作时,通过计算机处理数据时发现,方法(2)计算时求高次方根速度较慢,且乘法过多容易使数值溢出;方法(1)得到的数值更合理,且计算速度更快.综合考虑意义是否明确、计算数值是否合理、是否便于弹性等级分组等因素,以下采用方法(1)描述弹性度.

2 弹性度的标定模型

本文以 2009 年广东省中山市开展的居民出行

一日调查数据为分析对象,首先提取受访者的出行链数据,得到有效出行链 62 192 条^[4]。

由定义可知,计算出行弹性度首先需要已知各选择肢的被选概率。理论上分析,需要获得同一出行者多天的选择结果统计(面板数据),然而,受限于数据采集的成本及可行性,这里采用某一调查日所有受访者的选择结果统计数据,若该调查日的数据具有代表性,也能够反映每一出行者的长期出行规律。首先建立多项 Logit 模型以获得出行者对各选择肢的选择概率,进而根据出行弹性度定义确定弹性度。

2.1 自变量的筛选

根据对各项可能的影响因素进行相关分析和交叉分析^[10-11],确定出行方式选择模型的自变量为性别、年龄、月交通费用、拥有摩托车数量、拥有小汽车数量、到最近公交站点的步行时间、出行链距离、换乘次数、出行链停驻点数目、出行目的(第一个停驻点的目的作为出行链目的)。

2.2 交通方式及出发时刻选择肢

依据中山市的出行调查,交通方式选择肢可分为 7 种:步行、自行车、电动自行车、公共汽车、小汽车(包括出租车)、摩托车、其他(包括单位班车、单位配车和校车),分别用编号 1, 2, ..., 7 表示,建模中以“其他”作为参考选择肢。由于出发时刻是一连续变量,且分布范围较广,首先进行变量离散化,选择早高峰时间的若干子区间作为选择肢,将早高峰时段分为 4 个时段,即 6:00—7:00, 7:00—7:30, 7:30—8:00 以及 8:00—9:00, 分别占到全天的 5.8%, 17.0%, 33.2% 和 16.3%, 共 72.3%。

2.3 多项 Logit 模型

对于决策变量 D 的 $i = 1, 2, \dots, I$ 类的非序次反应变量(选择肢), 多项 Logit 模型通过以下 Logit 形式描述:

$$\ln \left[\frac{p(y = i | x)}{p(y = I | x)} \right] = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_k x_k \quad (7)$$

式中: α_i 为与选择肢有关的待标定的常数项; β_k 为自变量 k 对选择肢 i 的影响效果的系数。

其中,以最后一个类别(即第 I 个类别)作为参照类。

$$\text{令效用 } V_i = \alpha_i + \sum_{k=1}^K \beta_k x_k \quad (i = 1, 2, \dots, I, V_I = 0)$$

则每一个选择肢被选择的概率为

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_{i=1}^I e^{V_i}} \quad (8)$$

根据非集计的思想,每一个体对各个选择肢的

选择概率都可以根据式(8)计算^[2,11]。利用 SPSS 进行参数标定。标定结果表明,所选择的变量显著性较好,且参数的统计拟合的精度很高。限于篇幅,这里略去多项 Logit 模型参数标定结果。

3 3 种出行弹性度的统计结果

根据模型标定结果可以求出每一个体对每种方式的选择概率,进而按照式(2)计算交通方式选择的弹性度。

根据前文的定义计算得到,统计样本中交通方式选择弹性度最大值为 0.725 7, 最小值为 0, 平均值为 0.220 8, 标准差为 0.173 4, 分布见图 1。

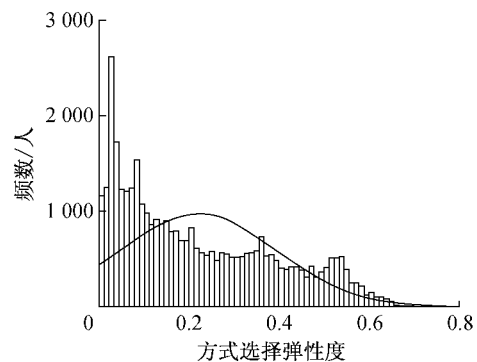


图 1 交通方式选择弹性度分布

Fig. 1 Distribution of elasticity of mode choices

同理,根据定义计算得到,统计样本中出发时刻选择弹性度的最大值为 0.942 3, 最小值为 0, 平均值为 0.626 3, 标准差为 0.154 8。中山市全体居民高峰出发时刻弹性度的标准差为 0.154 8(±0.000 8), 分布见图 2。

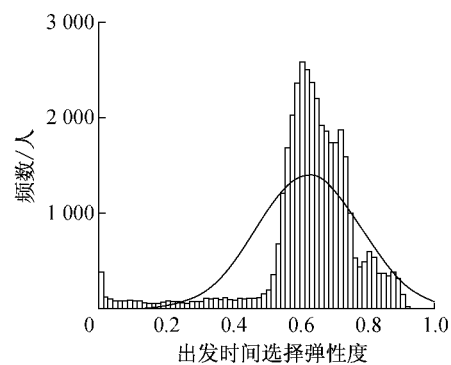


图 2 出发时刻选择弹性度分布

Fig. 2 Distribution of elasticity of departure time choices

方式选择弹性度(elasticity of mode choices, ETCM)和出发时刻选择弹性度(elasticity of

departure time choice, ETCT) 的 Pearson 相关性检验表明, 两变量的相关系数为 -0.066, 接近于 0, 表明二者没有明显的相关性, 可认为二者相互独立, 因此可利用式(5)计算综合考虑交通方式和出发时刻的出行链综合弹性度, 其分布如图 3 所示。

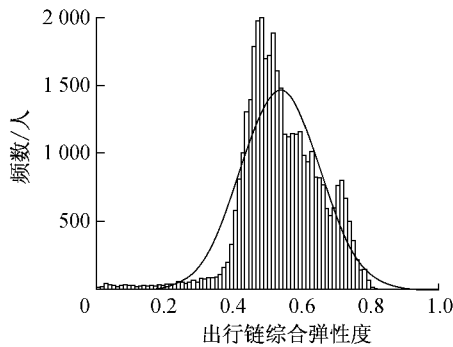


图 3 出行链综合弹性度分布

Fig.3 Distribution of comprehensive elasticity

由图 3 可知, 出行链综合弹性度呈正态分布, 偏度为 -0.586 11, 峰度为 2.063, 均值为 0.537 6, 标准差为 0.115 5, 最小值为 0, 最大值为 0.827 9, 中位数为 0.526 9。

出行链综合弹性度可以用来评价出发时刻与交通方式选择组合的多样性, 也就是出行模式(mode of activities)的多样性。综合弹性度接近于 0, 表示该出行者长时间的出行模式单一; 综合弹性度越大, 表示该出行者很长一段时间内的出行模式较丰富, 选择较灵活。因此, 出行链综合弹性度可作为一个评价出行可改变程度的指标。

4 出行弹性等级的概念及其划分

弹性度是 [0, 1] 之间的连续变量, 为了使弹性度的意义更直观, 可根据弹性度的取值区间将受访人群进行分类, 为此本文提出“弹性等级”的概念及其划分方法。根据模糊分类法原理和思维习惯, 可以将弹性等级分为 4 个类别, 见表 2。

表 2 弹性等级的分类

Tab.2 Classification of four travel elasticity degrees

弹性等级	意义
完全刚性出行	对 1 个选择肢具有刚性需求(或显著偏好)
部分刚性出行	对某 2 个选择肢的并集具有刚性需求(或偏好), 且不是完全刚性出行
部分弹性出行	对某 3 个选择肢的并集具有刚性需求(或偏好), 且不是完全刚性出行和部分刚性出行
完全弹性出行	以上 3 种情况外的出行

(1) 选择数目 $n \geq 4$ 时弹性等级的划分

在此假设, 当某一个选择肢被选择的概率 $p_i \geq 80\%$ 时, 称出行者对该选择肢有刚性需求。

(2) 出行链弹性等级划分阈值

以出发时刻选择为例, 本文选择早高峰的 4 个时段进行研究, 故 $n=4$ 。对完全刚性出行, 设定出行者对选择肢 4 有刚性需求, 令 $p_4=m, m \geq 0.8$, 则有

$$m^2 + \frac{(1-m)^2}{3} \leq \sum_{i=1}^4 p_i^2 = \sum_{i=1}^3 p_i^2 + m^2 \leq m^2 + (1-m)^2 \quad (9)$$

得到 $0.653 \leq \sum_{i=1}^4 p_i^2 \leq 1$ 。

由此可知, 出行链完全刚性出行的阈值为 $K=0.266 7$ 。同理, 可求得部分刚性出行的阈值为 $K=0.653 6$; 部分弹性出行的阈值为 $K=0.933 3$; 完全弹性出行的上限阈值为 1。由此可得到 4 个选择肢时的弹性等级划分, 如表 3 最后一列所示。

(3) 一般情况下的弹性等级划分方法

当所考虑的选择肢数为 n 时, 某一个选择域被选择的概率 $p_i \geq P$ (P 是刚性需求概率阈值, 为常量, 可以由调查数据统计出或管理者选定, 如本文取为 80%), 称出行者对该选择肢所包含的选择域有刚性需求, 可以得到表 3 所示的弹性的等级划分。

对中山市居民出发时刻选择弹性等级统计的结果见图 4。处于部分弹性出行、部分刚性出行这两个等级的市民占多数, 共占 95% 左右。说明采取适当的 TDM 管理措施, 引导这一部分民众错峰出行, 理论上可行的。

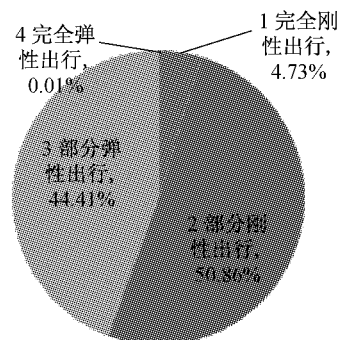


图 4 中山市居民出行时间弹性等级划分

Fig.4 Classification of elasticity degree for departure time choice

5 考虑交通方式弹性度的方式转移预测

TDM 通过调节出行者的选择行为, 达到优化交

表 3 不同弹性等级对应的出行链综合弹性度
Tab.3 Values of elasticity of trip chain of four travel elasticity degrees

弹性等级编号	弹性等级	出行链综合弹性度所在区间	出行链综合弹性度取值(n=4 的情况)
1	完全刚性出行	$\left[0, \sqrt{\frac{np^2 + \frac{n(1-p)^2}{n-1} - 1}{n-1}}\right]$	[0, 0.266 7]
2	部分刚性出行	$\left[1 - \sqrt{\frac{np^2 + \frac{n(1-p)^2}{n-1} - 1}{n-1}}, 1 - \sqrt{\frac{np^2 + \frac{n(1-p)^2}{n-2} - 1}{n-1}}\right]$	(0.266 7, 0.653 6]
3	部分弹性出行	$\left[1 - \sqrt{\frac{np^2 + \frac{n(1-p)^2}{n-2} - 1}{n-1}}, 1 - \sqrt{\frac{np^2 + \frac{n(1-p)^2}{n-3} - 1}{n-1}}\right]$	(0.653 6, 0.933 3]
4	完全弹性出行	$\left[1 - \sqrt{\frac{np^2 + \frac{n(1-p)^2}{n-3} - 1}{n-1}}, 1\right]$	(0.933 3, 1.000 0]

注:为避免相邻弹性等级的区间重叠,表中弹性等级编号高的项区间下限为弹性等级编号较低的上限。

通需求的目的。然而,在 TDM 实施前,如何能够较为准确地预估其实施效果,以作为 TDM 实施可行性分析及措施优化的依据,在研究和实践中至关重要。通过出行者的意愿调查及生活经验,可推测出 TDM 对刚性出行部分的调整非常有限,而对弹性出行部分的调整较为容易。现利用本文提出的出行弹性度概念,对中山市拟采取的 TDM 进行效果预估。

5.1 TDM 方案设定

数据分析中发现,中山市居民通勤出行中摩托车所占比例高(约占 73.0%),而公交车出行较少(约占 1.3%)。当地交通管理部门希望通过实施 TDM,将摩托车出行者转移到公交车出行,以落实公交优先,优化交通方式结构。假定拟采取的 TDM 政策是“适当限制摩托出行、鼓励公交出行”。本文所建立模型中要改变的自变量为摩托车拥有量、公交站步行距离。

5.2 模型计算

根据前文的交通方式选择模型计算得到了出行者选择各种方式的概率。按照实际情况,选定其中概率最大的选择肢为该出行者所选择的方式。

采用随机数比较法,判断出行者是否会受到 TDM 措施的影响。在 0~1 之间生成随机数 r,用来模拟居民个体出行行为的随机性,设某弹性等级的居民接受参数改变的概率是 q(弹性等级区间由表 3 得到)。当 r < q 时,接受参数改变(所谓参数改变,是指模型自变量发生相应的改变)。

(1) TDM 实施之前各方式的分担比率

利用现有的出行数据,统计早高峰时段 7:30~8:00 各类交通方式的分担比例,见表 4。

(2) TDM 实施后不考虑出行弹性的方式转移

不考虑出行弹性,假设减少摩托车拥有量、减短

到公交站步行距离的政策使全体居民以 70% 的概率接受参数改变。即如果有摩托车,使所有居民以 70% 的概率把摩托数量减少 1(最少为 0);使所有居民到公交站距离以 70% 的概率降 1 个等级(最低为 1)。该条件下方式分担情况结果见表 5。

表 4 TDM 实施前早高峰时段方式分担情况

Tab.4 Original distribution ratio of traffic modes in morning peak hours

交通方式	频数/人	有效百分比/%	累计百分比/%
步行	1 958	10.8	10.8
自行车	907	5.0	15.8
电动自行车	284	1.6	17.3
公共汽车	245	1.3	18.7
小汽车	1 481	8.2	26.9
摩托车	13 260	73.0	99.9
其他	17	0.1	100.0
总计	18 152	100.0	

表 5 TDM 实施后未考虑出行弹性时早高峰时段方式分担情况

Tab.5 Distribution ratio of traffic modes after TDM without consideration of travel elasticity

交通方式	频数/人	有效百分比/%	累计百分比/%
步行	2 094	11.5	11.5
自行车	1 130	6.2	17.8
电动自行车	533	2.9	20.7
公共汽车	383	2.1	22.8
小汽车	1 789	9.9	32.7
摩托车	12 204	67.2	99.9
其他	19	0.1	100.0
总计	18 152	100.0	

(3) TDM 实施后考虑出行弹性的方式转移

考虑出行弹性,假设政策对完全刚性出行者有 10% 的概率生效;对部分刚性出行者有 30% 的概率生效;对部分弹性出行者有 70% 的概率生效;对完全弹性出行者有 90% 的概率生效。生效指该出行者的

多项 Logit 模型中自变量发生相应的改变,改变的方式同 TDM 实施后不考虑出行弹性的方式所述. 编程实验方法为随机数法. 该条件下方式分担情况结果见表 6.

表 6 改变后考虑出行弹性时早高峰时段方式分担情况
Tab.6 Distribution ratio of traffic modes after TDM with a consideration of travel elasticity

交通方式	频数/人	有效百分比/%	累计百分比/%
步行	2013	11.1	11.1
自行车	1016	5.6	16.7
电动自行车	360	2.0	18.7
公共汽车	318	1.8	20.4
小汽车	1626	9.0	29.4
摩托车	12799	70.5	99.9
其他	20	0.1	100.0
总计	18152	100.0	

(4)两种预测模型结果比较

公交转移预测差别:在 TDM 实施之前公交车的分担率为 1.3%,TDM 实施之后未考虑弹性的计算结果是 2.1%,考虑弹性的计算结果是 1.8%.

摩托车转移预测差别:在 TDM 实施之前摩托车的分担率为 73.0%,TDM 实施之后未考虑弹性的计算结果是 67.2%,考虑弹性的计算结果是 70.5%.

同理,其他方式的转移结果也表明,在上述规则中,不考虑弹性度的 TDM 效果预测模型一定程度上夸大了其实施效果.事实上,同样的 TDM 措施被不同属性的个体接受的概率是不同的,考虑弹性相当于考虑了 TDM 政策对不同属性的个体影响程度的差异性,所以预测结果更符合实际情况.

6 结论

基于决策变量各选择肢被选择概率的离散程度分析,提出“出行弹性度”的定义,并给出了计算方法,且当两个决策变量相互独立时,综合弹性度能表示为两个决策变量的代数运算的结果.利用中山市出行数据,结合多项 Logit 模型,计算了中山市居民早高峰出行弹性度的分布情况;给出了弹性等级的分类方式;比较了考虑弹性度和不考虑弹性度的情况下,TDM 措施引起的交通方式转移量,数值模拟显示,不考虑弹性度的 TDM 效果预测一定程度上夸大了其实施效果.

本文提出的弹性度定义可以推广到一般的决策

过程,来描述选择肢在被选择过程中的可改变程度;此外,该方法可以与随机效用理论结合起来,推导出弹性度更本质的定义.

参考文献:

- [1] 宗芳. 基于活动的出行时间与方式选择模型研究[D]. 长春: 吉林大学交通学院, 2005.
ZONG Fang. Study on activity-based travel time and mode choice models [D]. Changchun: College of Traffic of Jilin University, 2005.
- [2] 关宏志. 非集计模型——交通行为分析的工具[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
GUAN Hongzhi. Disaggregate model—the tool of traffic behavior analysis[M]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [3] 陈团生. 通勤者出行选择行为与分析方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
CHEN Tuansheng. Research and analysis on the commuter's choice behavior [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.
- [4] 刘江用. 出行链特征对出行交通方式选择的影响研究[D]. 上海: 同济大学交通运输工程学院, 2011.
LIU Jiangyong. Research on the effects of rip-chain features on travel mode choices [D]. Shanghai: College of Transportation Engineering of Tongji University, 2011.
- [5] Mankiw G N. Principles of economics [M]. Beijing: Peking University Press, 2007.
- [6] 王殿海. 交通系统分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
WANG Dianhai. Analysis of traffic system[M]. Beijing: China Communications Press, 2007.
- [7] Granados N, Kauffman R. A la carte pricing and price elasticity of demand in air travel[J]. Decision Support Systems, 2012, 53 (2): 381.
- [8] Borjesson M, Fosger M. On the income elasticity of the value of travel time[J]. Transportation Research Part a—Policy and Practice, 2012, 46(2): 368.
- [9] 李志纯, 黄海军. 弹性需求下的组合出行模型与求解算法[J]. 中国公路学报, 2005, 18(3): 94.
LI Zhichun, HUANG Haijun. Model and solution algorithm with combined travel under elastic demand[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(3): 94.
- [10] 褚浩然, 郑猛, 杨晓光, 等. 出行链特征指标的提取及应用研究[J]. 城市交通, 2006, 4(2): 64.
ZHU Haoran, DENG meng, YANG Xiaoguan, et al. Study on the applications of trip chain indexes[J]. Urban Transport of China, 2006, 4(2): 64.
- [11] 谭家美, 徐瑞华. 影响出行链构成的多因素分析[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2009, 37(10): 1340.
TAN Jiamei, XU Ruihua. Analysis of multi-components of travel chains [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2009, 37(10): 1340.