

引入母子公司关联因素的城际客运出行分布预测模型

陶思然, 叶霞飞

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804)

摘要: 从城际客运出行目的出发, 分析了影响城际客运出行分布的关联性因素, 探讨了各企业总部与分支机构之间的关联性对城际客运出行所带来的影响, 并提出了母子公司关联系数的概念及量化方法。利用母子公司关联系数构建了城际客运出行分布预测模型, 然后采用日本干线旅客流动调查起点-终点(OD)对数据和经济普查数据对模型进行标定。最后, 给出了母子公司关联系数随时间变化的规律。结果表明: 引入母子公司关联系数后, 模型预测能力有所提高。

关键词: 交通规划; 城际客运出行分布; 母子公司关联因素; 重力模型

中图分类号: U125

文献标志码: A

Forecasting Model of Intercity Trip Distribution with Consideration of Connections Between Headquarters and Subsidiaries

TAO Siran, YE Xiafei

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: The influential factors which can describe the connection between cities when it comes to intercity trip distribution were analyzed based on the intercity travel purpose. The effect of the connection between headquarters of enterprises and their subsidiaries on the intercity travel demand was discussed, and a variable of headquarters-subsidiaries links was put forward. The quantification method of the variable was also included. The variable was used to construct the intercity trip distribution forecasting model, and the model was calibrated by using 2010 Inter-Regional Travel Survey data and economic census data in Japan. Finally, the variation

of the headquarters-subsidiaries links with time was discussed. The results show that the forecasting model performs better after adding the variable.

Key words: transportation planning; intercity trip distribution; headquarters-subsidiaries links; gravity model

随着经济社会的快速发展, 我国迅速形成了京津冀、长三角、珠三角等一批城市群, 并正在开展成渝、长江中游、中原、哈长、北部湾等一批城市群的规划和建设, 以城市群为主体构建大中小城市和小城镇协调发展的城镇格局将逐步形成。城市群是我国经济发展的重要增长极, 各城市群内部联系日渐紧密, 各城市群之间的联络也日益频繁, 大量的城际客运交通需求应运而生。因此, 为了支撑我国城市群的快速发展, 需进一步加强城际客运交通设施建设来满足日益增长的城际客运需求, 而城际客运交通需求预测结果则是选择城际客运交通方式和确定建设标准与运营组织模式的重要依据。时至今日, 国内外城际客运交通需求预测方法仍主要采用传统的四阶段交通需求预测方法, 预测精度不高, 其中针对城际客运出行分布影响因素的研究仍待进一步完善。

目前, 出行分布预测阶段使用最为广泛的模型为重力模型。1946年, Zipf^[1]发现, 城际客运量与两个城市人口的乘积成正比, 与两个城市间的距离成反比, 但是具体比例如何却与多种因素有关, 需要进行更深入的研究。在后续研究中, 该模型渐渐演变成今日的重力模型。该模型主要考虑的因素有三个, 即出发城市的交通发生量、到达城市的交通吸引量、城际广义出行费用。然而, 在模型中只考虑这三

收稿日期: 2019-12-16

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAG19B00)

第一作者: 陶思然(1990—), 女, 博士生, 主要研究方向为交通运输规划与管理。E-mail: taosiran0414@126.com

通信作者: 叶霞飞(1961—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为轨道交通规划与设计。

E-mail: yxf@tongji.edu.cn



论文
拓展
介绍

个因素是欠妥的。

表1列出了日本(2010年)部分城际客运交换量以及城际出行阻抗数据。从表1可以看出,在发生量、吸引量以及使用各交通方式时间和费用较为接

近的情况下,交换量却相差极大,这说明基本重力模型考虑的因素明显不足,容易导致预测结果出现严重偏差。因此,对城际出行分布的影响因素进行研究以完善城际出行分布模型是十分必要的。

表1 日本部分城际客运交换量及阻抗(2010年)

Tab.1 Partial intercity passenger flow and impedance in Japan (2010)

出发生活圈	到达生活圈	直线距离/km	各交通方式时间/h				各交通方式费用/日元				到达生活圈吸引量/(千人次·年 ⁻¹)	交换量/(千人次·年 ⁻¹)
			航空	铁道	巴士	小汽车	航空	铁道	巴士	小汽车		
东京都	富良野	895	4.5	14.7	25.9	22.7	22 167	25 270	24 760	23 618	1 891	15
	钏路	904	4.2	15.6	30.9	27.3	43 367	27 535	26 983	24 498	1 681	113
奈良	福岛	541	4.3	5.4	12.2	11.5	33 750	20 730	12 740	15 565	6 319	5
	郡山	510	4.0	5.3	11.4	11.1	30 000	20 420	12 030	15 760	6 396	189

注:生活圈是指人们充当社会实体的区域,是实现日常生活及其延伸的空间,通常以1~2个城市为中心,并包括中心城市周边人口相对较少的町和村,是日本一种交通小区划分方式。

本研究的城际客运出行,主要是针对城市居民因公务或私人原因,产生的跨越城市行政边界的非通勤出行。这种定义下的城际出行目的与目前研究较多的城市内部出行目的明显不同,因此影响因素也存在较大差异。除了两个城市间的交通设施及出行成本这一因素几乎被所有研究者都认为有重要影响外,在现有研究^[2-18]中,对影响因素的研究大致分为三类。第一类研究认识到既有模型考虑的影响因素存在很大的不足,但提出的解决办法不涉及影响因素本身。美国联邦公路局曾提出引力模型^[2],即在模型中添加平衡系数以反映没有考虑到的其他影响因素,同时提高模型精度,袁婧^[3]、高嵩^[4]也都使用了该模型。有研究者通过改变模型的标定方式来提高模型精度,如Abdel-Aal^[5]利用出行目的对重力模型进行分层标定。也有研究者考虑其他目的地或者出发地的影响,如Fotheringham^[6]考虑了竞争目的地聚集在一起和较为分散的情况对客流空间分布的影响,Kerkman等^[7]分析了具有竞争关系的出发地或目的地对出行客流分布的影响。第二类研究关注出发城市和到达城市本身的属性。这类研究所遵从的假设为:城市的某些属性影响了城市本身的客流吸引能力,而城市的客流吸引能力越强,与其他城市之间的出行交换量越大。Wirasinghe等^[8]认为两个地区的城镇人口比例越高,两个地区城镇人口比例的倒数差越大,则两地间出行量就越多。Yao等^[9]认为一个城市的人口数、各产业产值比例、工作人口比例、猎头数、国际会议数、IT行业产值、度假区数、体育中心数、博物馆数、电影院数、购物中心数等越多,去往该地的出行者越多。伍拾煤等^[10]则用出发小区和到达小区内居民的月收入修正两个小区间的出行阻抗。朱鸿国等^[11]在城际出行分布预测模型中加入城

市区位优势因子,认为两个城市间的出行概率与两个城市间区位优势乘积成正比。第三类研究则重点关注两个城市之间的关联性,试图解释一个城市为何会与某个特定的城市之间产生客流,相比较于第二类研究更能解释出行为何会在特定的城市对间发生。Cascetta等^[12]在研究中加入自主定义的主导变量,认为当一个目的地的主导变量大于其他所有目的地时,出行者会选择该目的地。Simini等^[13]和Yang等^[14]都认为,两地间的交换量与以出发地为圆心、出发地与目的地之间距离为半径内的人口有关,所不同的是,前者认为这类模型不需要参数,后者则提出应在模型中加入平衡参数以供不同地域使用。刘海洲等^[15]和许振田等^[16]在重力模型中加入了使用灰色关联模型计算的产业关联因素,认为两地之间的交通联系与两地之间产业的关联程度成正比。郑清菁等^[17]在研究重力模型参数空间差异时,在模型中加入了两地间的铁路列车班次作为参数。Yan等^[18]认为,出行者去往某个交通小区的概率与两个因素有关:一是出行者去往该交通小区的出行历史次数,二是目的地小区的人口与以目的地小区为圆心、出发地与目的地之间距离为半径的圆形区域内总人口之比。

随着各地经济联系的加强,很多大型企业在多个地域设置了分支机构以便于业务开展以及客源市场开拓。各企业总部与其下各分支机构必然会保持较为紧密的联系,这势必带来大量的城际客运出行,而这种因素对城际客运出行分布影响的既有研究工作尚未被发现。本研究在探讨影响城际客运出行分布的城际关联因素的基础上,重点关注企业内部业务联系对城际客运出行分布的影响,通过在基本重力模型中引入母子公司关联系数来构建城际客运出

行分布预测模型。

1 城际客运出行关联因素分析

两个城市之间产生出行需要以下三个条件:

(1)目的地城市具有一定的特性(如著名历史文化遗迹)。

(2)出发地城市对目的地城市的特性有一定的需求(如有去往历史文化遗迹旅游的愿望)。

(3)可以通过一定的交通设施从出发地城市到达目的地城市(如铁路和车站、公路和小汽车等)。

主要针对条件(2)进行分析,因此应当探究出发地城市对目的地城市需求的成因。城际出行一般情况下可以分为因公出行和因私出行。因公出行即由于工作需要而产生的出行,因私出行则是出于出行者自己的意愿而产生的出行。

1.1 因公出行

因公出行可以分为因政治管理需要而产生的出行和因经济活动需要而产生的出行,从中提取出政治关联因素、母子公司关联因素、产业关联因素等。

1.1.1 政治关联因素

由于国家管理需要,上下级政府之间往往需要进行大量的交流,产生人员往来^[19-20]。因此,政治等级不同并存在从属关系的城市之间会产生政治关联,以此带来城际出行。

1.1.2 母子公司关联因素

各个大型企业出于开拓市场或抢占资源的战略性需求,会在多个城市设置分支机构。统一称企业总部为母公司,各分支机构为子公司。母公司与其下的各个子公司间存在直接的管辖与调度关系,称这种关系为母子公司关联。这种紧密的联系会带来大量的城际出行,因此母子公司关联因素应当是构建模型时需要考虑的一部分。

1.1.3 产业关联因素

国民经济各产业部门之间存在着相互依存、相互制衡的关系^[16],这使得各分工不同的地域之间产生联系。这些联系必然通过交通基础设施实现,而交通基础设施的建设又会促进不同地域之间的交流,因此产业关联因素也会对城际客运出行起到促进作用。

1.2 因私出行

因私出行可以分为因个人生活需要而产生的出行,以及因休闲娱乐而产生的出行,可以从中提取出生存关联因素和旅游关联因素等。

1.2.1 生存关联因素

当两个城市的资源存在较大差异时,人们为了获取更利于自身生存的环境,会选择去往其他城市,可以细分为迁移和非迁移两种情况。如果人们并没有进行迁移,如去往医疗资源更优质的城市求医、短期交流学习等,就会带来相关的直接出行。人们因为追逐更好的生活环境而进行了迁移,如选择去往收入更高的城市工作、生活或去往著名学府所在城市求学等,此时除了迁移本身带来的出行外,迁移者本身可能会有周期性多次返乡、回程出行,同时也会引起一定量的探亲访友出行。

1.2.2 旅游关联因素

毫无疑问,旅游出行是城际出行中无法被忽略的重要部分。当具备一定的旅游资源、一定长度的假期、一定收入的人群以及一定的交通基础设施这几个条件之后,只要出行者个人拥有出游意愿,便可以产生旅游出行。旅游可以细分为观光型旅游(以观赏自然或人文景观为主)、集会型旅游(以参加大型集会为主)和休闲型旅游(以购物或餐饮为主)。因此,旅游关联因素也会带来大量的城际出行。

上述按照不同的出行目的,列举出部分城际客运出行关联因素描述,有助于从城际关联的角度提取有效指标,为构建完善的城际客运出行分布预测模型提供依据。本研究焦点为母子公司关联因素。

2 引入母子公司关联因素的城际客运出行分布预测模型

重力模型在不同尺度下的出行分布预测中都有广泛应用^[21-23],由于重力模型具有构建方便,易于求解等优点,可以将母子公司关联因素量化后加入模型以研究其影响程度。

在四阶段交通需求预测模型框架下,基本重力模型假设两地之间的交换量与出发地的交通发生量、目的地的交通吸引量成正比,与两地间的交通成本成反比,表达式为^[24]

$$T_{ij} = kO_i^\alpha D_j^\beta f(C_{ij}) \quad (1)$$

式中: T_{ij} 为交通小区*i*与交通小区*j*之间的全方式年交换量; O_i 为交通小区*i*全年全方式的交通发生量; D_j 为交通小区*j*全年全方式的交通吸引量; k 、 α 、 β 为待定参数; C_{ij} 为交通小区*i*与交通小区*j*之间广义出行费用, $f(C_{ij})$ 为交通小区*i*与交通小区*j*的出行阻抗函数。 $f(C_{ij})$ 的一般表达为

$$f(C_{ij}) = \left(\sum_m a_{ijm} (c_{ijm} + v_i t_{ijm}) \right)^\gamma \quad (2)$$

式中: a_{ijm} 为交通方式 m 的权重; c_{ijm} 为交通方式 m 在两地间的出行费用; v_i 为交通小区 i 的时间价值(按人均纳税收入水平计算); t_{ijm} 为交通方式 m 在两地间的出行时间; γ 为待定参数。

2.1 母子公司关联因素对城际客运分布影响机理分析

大型企业跨地域运营在全球范围内已成为一种普遍趋势,该趋势下企业组织在维系城市之间的联系与交流方面起着日益增大的作用。在经济地理学领域,已经有研究者把集团公司内、母公司与子公司间的组织联系作为测度城市间的联系度及位序关系的依据^[25]。该研究学派认为,构成经济活动的基本单元是企业网络^[26],而企业母子联系网络是企业网络的重要组成部分之一^[27]。企业活动是城市经济活动的主要动因,物质、资本、信息、人力、设备、技术、经营文化等经济要素会沿着企业网络流动,所以当母子公司分别位居不同城市时,必然促成城市之间的各种经济要素流,从而带来城市间的客运出行,尤其是因公出行。

因公出行在城际出行中占有较大比重。课题组曾于2016年8月9日、9月22日、9月29日和10月13日在上海长途汽车客运站、上海虹桥高铁站、上海虹

桥机场、上海火车站对京沪通道旅客出行进行调查。从表2可见,因公出行量在重要的起点-终点(OD)对间占比很高。

表2 京沪通道因公出行比例

Tab.2 Ratio of business trip of Beijing-Shanghai corridor

OD对	因公出行样本数	总出行样本数	因公出行占比数
上海-北京	186	335	0.55
上海-济南	23	59	0.39
上海-南京	101	203	0.50

2010年日本全国干线第5次旅客纯流动调查数据也同样显示了因公出行是城际出行中非常重要的组成部分。该调查针对日本全国跨县级行政单位的出行,将出行目的分为公务、观光、私人、其他和不明,其中公务出行即为因公出行。计算每个OD对间公务出行量占该OD对间总出行量的比例,将计算结果分为10个区间段,如图1所示。图1中,横坐标轴表示公务出行占总出行的比例,前9个区间为左闭右开区间,最后1个区间为闭合区间。主纵坐标轴表示各区间内OD对数量占总OD对数量(2 099对)的比例,副纵坐标轴表示各区间内OD对数量占总OD对数量的累积频率。从图1可以看出,工作日公务出行比例高于20%的OD对数量占有所有OD对数量的87%以上,工作日公务出行比例高于50%的OD对数量占有所有OD对数量的45%以上,远高于其他出行目的。

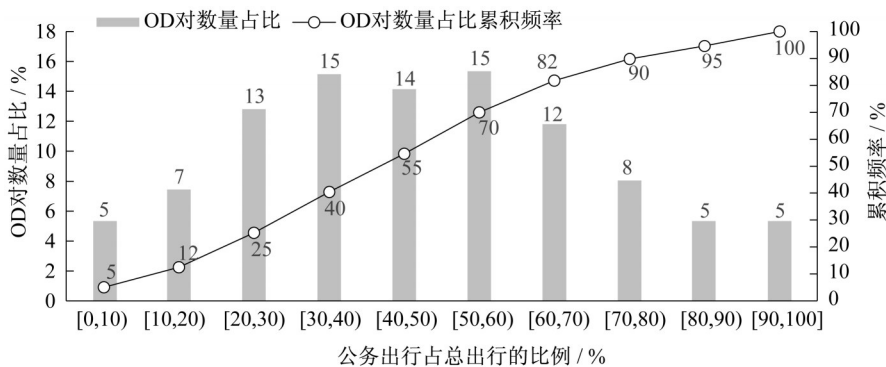


图1 工作日跨县因公出行量占总出行量比例

Fig.1 Ratio of business inter-prefecture trips to all inter-prefecture trips on workdays

从表2和图1可以看出,因公出行是城际出行中非常重要的组成部分。前文已述,因公出行的主要影响因素有政治因素、母子公司关联因素和产业关联因素。母子公司关联网络是城市对外经济活动的重要载体,因此研究该因素对构建城际出行分布模型是有意义的。

2.2 母子公司关联因素的定量表达方法

为了衡量母子公司关联因素对城际客运出行的

影响,需要将其量化后加入分布模型。由于母子公司关联因素对城际客运出行的影响本质上是由人员流动带来的,因此采用与人员规模相关指标来表征该因素较为合理。

当一个企业的母公司和子公司分别位于不同的城市时,每个子公司的一个岗位计为这两个城市之间的一个关联,两城市间的子公司关联岗位数加1。两个城市中具有母子公司关系的所有子公司的岗位

数之和为子公司关联岗位数,表达式为

$$S_{ij} = \sum_{h_{i,j}} s_{ij} \quad (3)$$

式中: S_{ij} 为城市*i*与城市*j*之间的子公司关联岗位数; s_{ij} 为母公司位于城市*i*且子公司位于城市*j*的企业的子公司岗位数或母公司位于城市*j*且子公司位于城市*i*的企业的子公司岗位数; $h_{i,j}$ 为城市*i*和城市*j*中符合条件的企业数。

在构建母子公司关联系数时,需要满足以下两个条件:

(1)母子公司关联因素对两地间的出行应起到促进作用,因此将母子公司关联系数加入只考虑了发生量、吸引量和广义出行费用的基本重力模型时,应保证母子公司关联系数不小于1。

(2)不同OD对间子公司关联岗位数差异巨大,因此宜采用相对值。拟采用两个相对值的平均值来表征这种关联:两个城市间的子公司关联岗位数占出发地所涉及的所有OD对的子公司关联岗位数的加和的比值;两个城市间的子公司关联岗位数占到达地所涉及的所有OD对的子公司关联岗位数的加和的比值。

基于以上两个条件,构建母子公司关联系数,如下所示:

$$Q_{ij} = 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{S_{ij}}{\sum_j S_{ij'}} + \frac{S_{ij}}{\sum_i S_{i'j}} \right) \quad (4)$$

式中: Q_{ij} 为城市*i*与城市*j*间的母子公司关联系数; $\sum_j S_{ij'}$ 为城市*i*与城市*j*间的子公司关联岗位数占城市*i*所涉及的所有OD对的子公司关联岗位数的加和; $\sum_i S_{i'j}$ 为城市*i*与城市*j*间的子公司关联岗位数占城市*j*所涉及的所有OD对的子公司关联岗位数的加和。此处,*i*和*j*表达特定的城市*i*与城市*j*,而*i'*与*j'*泛指符合条件的城市。

2.3 引入母子公司关联系数的城际出行分布预测模型

将母子公司关联系数加入到基本重力模型中,表达式如下所示:

$$T_{ij} = kO_i^\alpha D_j^\beta f(C_{ij}) f(Q_{ij}) = kO_i^\alpha D_j^\beta \left(\sum_m a_{ijm} (c_{ijm} + v_i t_{ijm})^\gamma \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{S_{ij}}{\sum_j S_{ij'}} + \frac{S_{ij}}{\sum_i S_{i'j}} \right) \right]^\eta \right) \quad (5)$$

式中: $f(Q_{ij})$ 为城市*i*与城市*j*之间的母子公司关联函

数,采用幂指数函数形式表征; η 为待定参数。

需要说明的是,在模型系数标定的过程中, a_{ijm} 取交通方式*m*的现状年出行量占两地间现状年总出行量的比值。在预测的过程中,交通方式*m*的规划年出行量占两地间规划年总出行量的比值在进行出行分布预测时是未知的,故可以根据现状年数据计算得到的 a_{ijm} 作为初始值;当交通方式划分阶段完成后,再利用方式划分结果重新计算 a_{ijm} 。如此反复迭代,直到前后两次计算的方式划分结果误差在预定范围内则迭代过程结束。

对模型系数进行标定,再利用标定出的系数计算出预测城际出行量值。考虑到矩阵的行约束和列约束,利用Fratar迭代得出最终的预测城际出行量 $T_{1,ij}$ 。评判模型预测能力的标准采用 R^2 以及预测前后城际出行分布量的标准误差 σ ,表达式如下所示^[28]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j \epsilon_{ij}^2}{n}} \quad (6)$$

$$\epsilon_{ij} = T_{0,ij} - T_{1,ij} \quad (7)$$

式中: ϵ_{ij} 为城市*i*与城市*j*之间的实际交换量与预测交换量之差; $T_{0,ij}$ 为城市*i*与城市*j*之间的实际交换量; $T_{1,ij}$ 为城市*i*与城市*j*之间的预测交换量; n 为参加标定的OD对个数。

3 案例分析

3.1 数据来源

为了说明模型的效果,需要使用实际数据对模型进行标定。将通过案例比较加入母子公司关联系数前后模型的表现,来说明该因素对城际客运出行分布的影响。鉴于我国母子公司关联数据和城际客运出行分布现状数据难以获取,因而采用日本的数据进行模型的标定。其中,母子公司关联数据采用平成21年(2009年)经济普查数据,城际客运出行分布现状数据采用第5次(2010年)全国干线旅客纯流动调查数据。

由于经济普查数据只提供县(相当于我国省级行政单位)与县之间的母子公司关联数据,因此城际客运出行分布数据也采用县级行政单位之间的数据,即本研究中交通小区取为县。

所用的母子公司关联数据是日本经济普查数据的一部分,原数据按都道府县为单位统计每个县内企业个数和岗位数,然后根据母公司所在县对子公司数量和子公司岗位数进行分类。例如,青森县的

子公司中,母公司在北海道的子公司有 a 个岗位,而北海道的子公司中,母公司在青森县的子公司有 b 个岗位, a 和 b 即为给出的数据,以此类推。

所用出行分布数据为日本全国客流干线上各交通工具跨县出行客流分布数据,数据时间为2010年全年。日本县级行政单位有47个,这47个县两两之间出行的交通方式有航空、铁路、干线客船、干线公交、小客车等五种。数据默认,埼玉县、千叶县、东京都、神奈川县属于首都都市圈,岐阜县、爱知县、三重县属于中京都市圈,京都府、大阪府、兵库县、奈良县属于京阪神都市圈,这几个都市圈内部县与县之间的出行性质与城市内部接近,因此不提供它们之间的出行交换量。每个OD对间使用各种交通方式出行所需要的时间、费用来源于日本国土交通省官方公布的数据。

3.2 模型标定结果与讨论

采用最小二乘法进行标定,对模型两边同时取对数。首先,检验取对数后的自变量之间的线性相关性。为了确定相关性分析的具体方法,取对数之后的参数使用W(Shapiro-Wilk)检验,结果如表3所示。可以看出,各参数的正态性检验结果的显著水平都在0.05以下,可以认为正态性不显著,故采用Spearman相关性分析。

表3 模型参数W检验

Tab.3 Shapiro-Wilk test of parameters of the proposed model

$\ln O_i$	$\ln D_j$	$\ln f(C_{ij})$	$\ln f(Q_{ij})$
0.000	0.000	0.000	0.000

各变量的相关系数如表4所示。自变量 $\ln f(C_{ij})$ 和 $\ln f(Q_{ij})$ 的相关系数略高,为-0.57。通过共线性统计量可以看出,每个自变量的容忍度都大于0.1,方差膨胀因子 x_{VIF} 都小于10,这表明自变量之间的多重共线性并不严重,可以进行回归分析。

标定出模型的系数如表5所示。在95%显著性水平下,各系数的 t 统计量绝对值都大于1.96, P 值都小于0.05,说明因变量与各自变量之间的关系在95%的置信度水平下显著,各参数系数显著不为0。基本重力模型的修正 R^2 为0.61,方差分析中 F 显著性统计量为0,远小于0.05;引入母子公司关联系数的重力模型修正 R^2 为0.71,方差分析中 F 显著性统计量为0,远小于0.05。上述结果说明,模型整体回归显著有效。对模型标准误差进行计算,得到基本重力模型预测的标准误差 σ 为1242千人次·(OD对·年) $^{-1}$,是均值的1.68倍。加入母子公司关联系数后,模型的标准误差从均值的1.68倍下降到了1.39倍,下降幅度明显。

表4 变量间相关系数

Tab.4 Bivariate correlation analysis of variables

参数	相关性系数				共线性统计量	
	$\ln O_i$	$\ln D_j$	$\ln f(C_{ij})$	$\ln f(Q_{ij})$	容差	x_{VIF}
$\ln O_i$	1.00				0.92	1.08
$\ln D_j$	-0.04*	1.00			0.93	1.08
$\ln f(C_{ij})$	-0.20*	-0.21*	1.00		0.85	1.18
$\ln f(Q_{ij})$	0.33*	0.33*	-0.57	1.00	0.82	1.22

注:*表示在置信度(双侧)为0.05时,相关性是显著的。

表5 重力模型标定结果

Tab.5 Calibration results of gravity model

拟合变量	基本重力模型			引入母子公司关联系数的重力模型		
	系数	t 统计量	P 值	系数	t 统计量	P 值
$\ln k$	11.20	8.74	4.59×10^{-18}	14.07	12.51	1.19×10^{-34}
α	0.63	14.69	1.64×10^{-46}	0.45	11.67	1.19×10^{-30}
β	0.61	14.11	3.27×10^{-43}	0.43	11.13	5.82×10^{-28}
γ	-2.12	-46.51	0	-1.82	-43.62	3.10×10^{-294}
η				17.70	25.17	5.90×10^{-122}
R^2		0.61			0.71	
σ		均值的1.68倍			均值的1.39倍	

在基本重力模型中加入母子公司关联系数之后,模型的修正 R^2 有较为明显的提高,而标准误差则有较为明显的下降。由于仅在基本重力模型基础上新增了一个单一的影响因素,案例中所有的提高都

是缘于该影响因素的加入,故认为母子公司关联因素对城际客运出行分布存在一定的影响,将该因素作为参数加入到预测模型中,模型的拟合能力和预测能力得到了提升。

虽然模型的整体表现仍然不够理想,但是城际出行是由多种因素构成的性质不同的出行集合而成,而仅将母子公司关联这一个因素引入模型,模型预测能力提高有限是符合认知的。要使得模型精度进一步提高,还需要在以后的研究中对更多的影响因素进行深入研究。

3.3 未来年的母子公司关联系数

如果要将母子公司关联系数应用于预测模型,则需要对母子公司关联系数随时间变化的情况进行探讨。截至论文写作日期为止,关于母子公司关联数据,日本官方仅公布了2009年和2014年调查结果。本研究将通过对比来说明这一问题。

2014年数据与2009年数据相比, S_{ij} (即子公司关联岗位数)发生了增长。2014年,所有OD对的 S_{ij} 均值相较于2009年 S_{ij} 均值增长了9.9%,最大值增长了16.8%,但是两者的分布趋势几乎没有差别(见图2和图3)。

日本的47个都道府县都对应特定的数值代码。图2与图3中, x 轴与 y 轴编号对应的都道府县如下所示:1. 北海道;2. 青森县;3. 岩手县;4. 宫城县;5. 秋田县;6. 山形县;7. 福岛县;8. 茨城县;9. 栃木县;10. 群马县;11. 埼玉县;12. 千叶县;13. 东京都;14. 神奈川县;15. 新泻县;16. 富山县;17. 石川县;18. 福井县;19. 山梨县;20. 长野县;21. 岐阜县;22. 静岡県;23. 爱知县;24. 三重县;25. 滋贺县;26. 京都府;27. 大阪府;28. 兵库县;29. 奈良县;30. 和歌山县;31. 鸟取县;32. 岛根县;33. 冈山县;34. 广岛县;35. 山口县;36. 德岛县;37. 香川县;38. 爱媛县;39. 高知县;40. 福冈县;41. 佐贺县;42. 长崎县;43. 熊本县;44. 大分县;45. 宫崎县;46. 鹿儿岛县;47. 冲绳县。

如果对比这两个年份的 Q_{ij} (母子公司关联系数),就会发现它们之间的差异非常小。2009年 Q_{ij} 的均值为1.022,最大值为1.380,最小值为1.000;2014年 Q_{ij} 的均值为1.022,最大值为1.376,最小值为1.000。设 $Q_{2009,ij}$ 为*i*县与*j*县之间2009年母子公司关联系数, $Q_{2014,ij}$ 为*i*县与*j*县之间2014年母子公司关联系数,则

$$\frac{\sum_i \sum_{j, j \neq i} (Q_{2009,ij} - Q_{2014,ij})^2}{n'^2 - n'} = 1.67 \times 10^{-5} \quad (8)$$

式中: n' 取47,代表47个都道府县; $n'^2 - n'$ 表示共有 n'^2 个OD对,但是对角线上OD对需要去除。不难看出

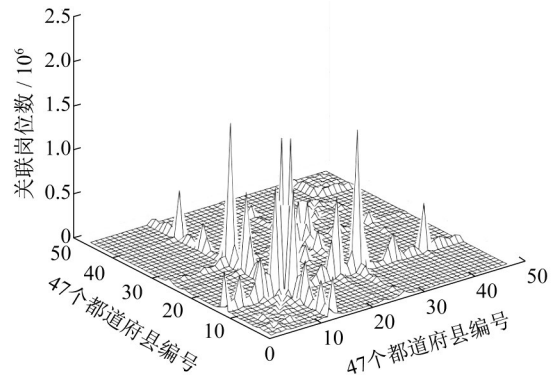


图2 2009年调查中47个都道府县两两之间子公司关联岗位数分布

Fig.2 Distribution of subsidiary job links between every 2 of 47 prefectures in the 2009 survey

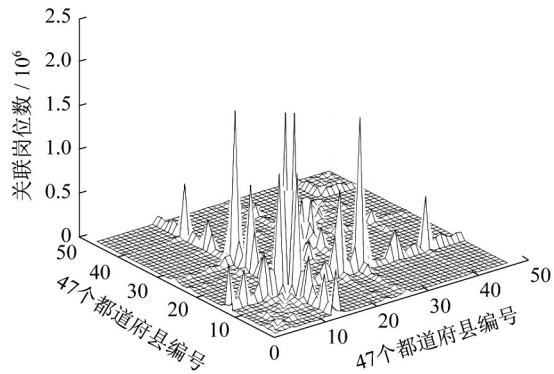


图3 2014年调查中47个都道府县两两之间子公司关联岗位数分布

Fig.3 Distribution of subsidiary job links between every 2 of 47 prefectures in the 2014 survey

出, $Q_{2009,ij}$ 和 $Q_{2014,ij}$ 相比并没有很大差异, Q_{ij} 随时间的变化较为稳定。

用 $Q_{2014,ij}$ 替代 $Q_{2009,ij}$,重新对模型进行标定,模型标定的结果如表6所示。

从2009年到2014年,科学技术飞速发展,经济市场瞬息万变,人们的生活无时无刻不在接受新兴事物的冲击,但是日本母子公司关联系数变化却微乎其微,这说明了以下两点:

(1)母子公司关联关系有自身潜在的规律,除非一个国家的产业经济和市场经济规律发生根本性改变,否则两地间的母子公司关联关系不会发生大变化。

(2)在寻找资料的过程中发现,很多大型企业在日本全国的布局已于21世纪初基本完成,自2010年以后基本处于缓慢变化阶段,而变化剧烈的小型企业显然对母子公司关联系数影响不大。

表6 2009年母子公司关联系数和2014年母子公司关联系数重力模型标定结果对比

Tab.6 Comparison of calibration results of gravity model with headquarters-subsidiaries links in 2009 and 2014

拟合变量	2009年数据标定结果			2014年标定结果		
	系数	<i>t</i> 统计量	<i>P</i> 值	系数	<i>t</i> 统计量	<i>P</i> 值
$\ln k$	14.07	12.51	1.19×10^{-34}	14.23	12.59	4.57×10^{-35}
α	0.45	11.67	1.19×10^{-30}	0.44	11.59	3.97×10^{-30}
β	0.43	11.13	5.82×10^{-28}	0.43	11.08	9.72×10^{-28}
γ	-1.82	-43.62	3.10×10^{-294}	-1.84	-44.08	4.70×10^{-298}
η	17.70	25.17	5.90×10^{-122}	17.60	24.99	2.50×10^{-120}
R^2	0.71			0.70		
σ	均值的1.39倍			均值的1.44倍		

在未来年的预测中,获取大型企业未来年的岗位设置情况是较为重要的。大型企业的设置标准,可根据不同的国家或地区的情况,选择不同的参数与不同的数值标准,如公司市值、年利润、资本金或销售额等达到某一特定水平。一个大型企业在未来年的布局规划,绝不可能是一朝一夕形成的,必然与其长期发展战略是相互依存的。如果预测年限较短,甚至可以使用现状年的母子公司关联系数。

4 结语

通过重点分析母子公司关联因素,并基于日本干线旅客流动调查数据和经济普查数据,以基本重力模型为基础,引入母子公司关联系数,构建了城际客运出行分布模型,分析了该因素对城际客运分布模型精度的影响,并探讨了未来年母子公司关联系数的发展规律。研究表明,在引起城际客运出行分布的关联性因素中,母子公司关联因素真实存在,将其作为参数引入基本重力模型后,模型的拟合效果得到了一定程度的改善。同时,母子公司关联系数随着时间发展的变化也较为稳定。因此,将母子公司关联系数引入城际客运出行分布预测模型,有助于提高模型的预测精度。

大型企业在不同地域设置分支机构以拓展市场已经成为全球存在的普遍现象,我国也不例外,并且母子公司关联因素对城际客运出行分布影响的内在机理是一致的。因此,虽然本研究是基于日本相关基础数据提出的研究案例,但是研究方法和基本结论具有普遍意义,可以用于进一步完善我国城际客运出行分布模型。

在后续研究中,将结合中国国情,进一步完善各关联性因素的指标体系,针对各因素提出合理的量化方法,分析各因素对城际客运出行分布的影响,以构建更加完善的城际客运出行分布预测模型。

作者贡献声明

陶思然:查阅文献,锁定母子公司关联因素,收集并处理数据,建立模型并进行标定,后续分析并得出结论。

叶霞飞:确定研究方向,提出母子公司关联系数改进建议,对分析过程提出修改建议。

参考文献:

- [1] ZIPF G K. The P_1P_2/D hypothesis: on the intercity movement of persons [J]. American Sociological Review, 1946, 11 (6): 677.
- [2] 田志立,周海涛. 交通分布修正引力模型的应用[J]. 公路交通科技, 1996, 13(1): 48.
TIAN Zhili, ZHOU Haitao. Application of modified gravity model of traffic distribution [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1996, 13(1): 48.
- [3] 袁婧. 城市群城际公路客运交通生成与分布预测研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.
YUAN Jing. Study on intercity highway passenger trip generation and distribution forecast for urban agglomeration [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2007.
- [4] 高嵩. 基于神经网络的城市群客运交通需求预测研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
GAO Song. Research on passenger transportation demand forecasting of urban agglomeration base on neural network [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2011.
- [5] ABDEL-AAL M M M. Calibrating a trip distribution gravity model stratified by the trip purposes for the city of Alexandria [J]. Alexandria Engineering Journal, 2014, 53(3): 677.
- [6] FOTHERINGHAM A S. Spatial competition and agglomeration in urban modelling [J]. Environment and Planning A: Economy and Space, 1985, 17(2): 213.
- [7] KERKMAN K, MARTENS K, MEURS H. A multilevel spatial interaction model of transit flows incorporating spatial and network autocorrelation [J]. Journal of Transport Geography, 2017, 60: 155.
- [8] WIRASINGHE S C, KUMARAGE A S. An aggregate demand model for intercity passenger travel in Sri Lanka [J]. Transportation, 1998, 25(1): 77.

- [9] 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.
- [10] 伍拾煤,裴玉龙,程国柱. 密集城镇群客流分布双层最大熵模型[J]. *中国公路学报*, 2014, 27(5): 164.
WU Shimei, PEI Yulong, CHENG Guozhu. Double maximum entropy distribution model for passenger flow of dense urban group [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2014, 27(5): 164.
- [11] 朱鸿国,张祎祎,马壮林,等. 城际间出行分布量预测方法[J]. *长安大学学报:自然科学版*, 2017, 37(5): 104.
ZHU Hongguo, ZHANG Yiyi, MA Zhuanglin, *et al.* Trip distribution forecasting method of intercity-travel[J]. *Journal of Chang' an University: Natural Science Edition*, 2017, 37(5): 104.
- [12] CASCETTA E, PAPOLA A. Dominance among alternatives in random utility models[J]. *Transportation Research, Part A: Policy and Practice*, 2009, 43(2): 170.
- [13] SIMINI F, GONZALEZ M, MARITAN A, *et al.* A universal model for mobility and migration patterns[J]. *Nature*, 2012, 484(7392): 96.
- [14] YANG Y, HERRERA C, EAGLE N, *et al.* Limits of predictability in commuting flows in the absence of data for calibration[J]. *Scientific Reports*, 2014, 4: 5662.
- [15] 刘海洲,周涛,高志刚. 基于产业关联度的都市圈轨道交通客流分布预测[J]. *城市轨道交通研究*, 2010, 13(1): 15.
LIU Haizhou, ZHOU Tao, GAO Zhigang. Forecasting method of passenger flow in metropolitan area based on industry related degree[J]. *Urban Mass Transit*, 2010, 13(1): 15.
- [16] 许振田,刘福生,孙志华. 基于产业关联度的城际轨道交通客流预测[J]. *交通科技与经济*, 2011, 13(4): 62.
XU Zhentian, LIU Fusheng, SUN Zhihua. Industrial correlativeness degree's application on volume prediction of inner-city rail transit[J]. *Technology & Economy in Areas of Communications*, 2011, 13(4): 62.
- [17] 郑清菁,戴特奇,陶卓霖,等. 重力模型参数空间差异研究:以中国城市间铁路客流为例[J]. *地理科学进展*, 2014, 33(12): 1659.
ZHENG Qingjing, DAI Teqi, TAO Zhuolin, *et al.* Spatial heterogeneity of gravity model parameters: a case study of intercity railway passenger flow in China [J]. *Progress in Human Geography*, 2014, 33(12): 1659.
- [18] YAN X, WANG W, GAO Z, *et al.* Universal model of individual and population mobility on diverse spatial scales[J]. *Nature Communications*, 2017, 8: 1639.
- [19] KUMARAGE A S, WIRASINGHE S C. Transferability of aggregate total demand model [J]. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1995, 22: 283.
- [20] YANG Y, LI D, LI X R. Public transport connectivity and intercity tourist flows[J]. *Journal of Travel Research*, 2019, 58(1): 25.
- [21] 徐双应,马建,白小丽,等. 基于引力模型的县域区际公路客运需求分析方法[J]. *中国公路学报*, 2011, 24(4): 101.
XU Shuangying, MA Jian, BAI Xiaoli, *et al.* Analysis method of passenger transportation demand for county level's interzonal highway based on gravity model [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2011, 24(4): 101.
- [22] 马静,林贵宝,罗小强. 基于用地结构熵的广义熵重力模型[J]. *长安大学学报:自然科学版*, 2014, 34(3): 113.
MA Jing, LIN Guibao, LUO Xiaoqiang. Generalized entropy gravity model based on land-use structure entropy [J]. *Journal of Chang' an University: Natural Science Edition*, 2014, 34(3): 113.
- [23] LI Y, WANG H, ZHAO J, *et al.* Multisource data-driven modeling method for estimation of intercity trip distribution [J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018, 2018: 1.
- [24] 褚琴,陈绍宽. 重力模型标定方法及应用研究[J]. *交通运输系统工程与信息*, 2003, 3(2): 51.
CHU Qin, CHEN Shaokuan. On calibration of the gravity model during traffic forecast [J]. *Journal of Transportation System Engineering and Information Technology*, 2003, 3(2): 51.
- [25] 金钟范. 基于企业母子联系的中国跨国城市网络结构:以中韩城市之间联系为例[J]. *地理研究*, 2010, 29(9): 1670.
JIN Zhongfan. On structural properties of transnational urban network based on multinational enterprises network in China : as the case of link with South Korea [J]. *Geographical Research*, 2010, 29(9): 1670.
- [26] MURDOCH J. Actor-networks and the evolution of economic forms: combining description and explanation in theories of regulation, flexible specialization, and networks [J]. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 1995, 27(5): 731.
- [27] YEUNG H W. Critical reviews of geographical perspectives on business organizations and the organization of production: towards a network approach [J]. *Progress in Human Geography*, 1994, 18(4): 460.
- [28] 成艳,叶霞飞,王治,等. 城市轨道交通高峰时段站间起讫点矩阵预测模型[J]. *同济大学学报:自然科学版*, 2018, 46(3): 346.
CHENG Yan, YE Xiafei, WANG Zhi, *et al.* Forecasting model of peak-period station-to-station origin-destination matrix in urban rail transit systems [J]. *Journal of Tongji University: Natural Science*, 2018, 46(3): 346.