

基于行为视角的北京城市交通空间结构

季 珏^{1,2}, 高晓路²

(1. 住房和城乡建设部城乡规划管理中心, 北京 100835;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 从行为的视角研究城市交通空间结构已成为地理学和交通规划关注的热点问题, 但却面临微观研究的偶然性和典型性等局限, 难以对城市交通空间结构进行全面的解析。本文提出了利用交通行为区来反映居民交通行为与地理环境耦合关系的思路, 为解决城市微观研究中的不确定性问题提供了视角, 同时建立起从典型抽样到面域覆盖的评价方法。本文假设居民的交通行为随着空间尺度的变动存在着逐步收敛的规律性。在此假设下, 在北京市外围永泰居住区进行了出行调研实验, 证实了居民出行行为的这一规律性, 并得出居住小区的二手房价、建成年代、规划特征、公共交通服务水平等环境变量成为行为区划分的关键指标。在此基础上, 以北京市城六区范围内搜集的居住小区为基本单元, 参照环境变量的空间聚类结果, 划分了5种典型的行为区类型, 分别是: 高档别墅区, 中档建成区, 历史中心区, 高档高密度区, 成熟完善区。5种行为区内主导的居民群体、居民的出行模式均具有明显的差异性。交通行为区的划分方法对于精细化研究城市交通空间结构具有重要意义, 例如交通资源的差异化配置, 低碳交通空间结构研究等。

关键词: 行为区; 出行行为; 实体环境; 城市交通; 北京

DOI: 10.11821/dlxb201512011

1 引言

城市机动化的高速发展在提升居民出行便捷性的同时也带来了严重的城市交通和城市环境问题, 由此引发的对于城市交通空间结构的研究一直都是城市规划领域和地理学领域关注的热点。特别的, 近年来全球气候变暖现象加剧, 研究城市空间结构的低碳化, 特别是城市交通的低碳化成为学者们关注的重点问题。

居民交通行为与城市空间结构的互动影响是研究城市交通系列命题的重要抓手。从居民个体的视角切入研究个体与城市空间的互动机理, 分析城市空间对个体行为的空间约束^[1-4]。以及个体行为对城市空间重构和城市环境^[5-6]的影响成为解析城市空间结构、评估空间规划绩效的重要研究内容^[7]。在北美的一些实证研究中, 学者们对于城市实体环境(城市密度、土地利用、交通系统、城市结构等)和居民出行行为(出行距离、出行方式等)的相互关系进行了若干实证研究^[8-10], 得出了城市空间形态, 资源配置等对于居民交

收稿日期: 2014-08-25; 修订日期: 2015-03-16

基金项目: 博士后基金项目(2014M550820); 国家自然科学基金项目(41171138); 国家软科学研究计划(2014GXS4B072) [Foundation: China Postdoctoral Science Foundation, No.2014M550820; National Natural Science Foundation of China, No.41171138; Soft Science Project, No.2014GXS4B072]

作者简介: 季珏(1985-), 女, 博士, 主要研究方向为城市空间结构评价, 城市交通, 环境性能评价, GIS空间分析等。
E-mail: Jitutu99@163.com

通讯作者: 高晓路(1969-), 女, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为城市与区域规划, 居住环境评价, 城市地理等。
E-mail: gaoxl@igsnrr.ac.cn

通方式选择,出行距离等的影响。相比而言,中国类似的实证研究仍比较缺乏,已有的研究多集中于个体或城市内部某一特定的尺度^[11-12]。

这种从个体交通行为视角对于城市交通空间结构的研究,可以从更加精细的尺度研究差异化和多元化的城市交通问题。但仅从个体交通行为视角进行的实证研究,受到尺度的局限性以及研究样本典型性和全面性的限制,研究结论难以扩展到整个社会的宏观研究中^[13]。特别的,目前中国大城市以及特大城市的空间结构具有高度的复杂性和多样性,社会群体也呈现老龄化、多元化等新的特征,过于微观的研究尺度对于研究差异化的城市内部交通问题有很大的局限性。如何结合精细化的研究成果,实现自下而上的城市交通空间结构研究和城市规划,将特定区域、特定个体的微观研究扩展到整个社会的宏观研究中^[13],还涉及到尺度综合和尺度转化、类型区划分等一系列关键的问题。

本研究从交通行为—城市空间耦合作用的角度出发,提出利用“交通行为区”作为识别差异化城市交通空间的基本尺度,为实现自下而上的城市交通规划和政策制定提供空间抓手;并以北京市城六区为实例,对行为区的划分进行了验证。

2 交通行为区的提出

2.1 交通行为区的基本假设

居民的行为受到城市空间环境的客观约束已成为学者们比较公认的研究结论^[14-15]。例如比较成熟的城市社会区的划分正是基于城市居住空间—社会群体的耦合关系^[16-18]。在此基础上,本研究假设在同质的城市空间环境下,居民的交通行为也具有类似的特征。进而,可依据城市交通行为—城市空间的耦合关系,根据空间环境的同质性,划定不同类型的地域尺度,作为研究城市差异化交通行为的基本单元,将这种城市微区域称为“交通行为区”(Behavior Zone, BZ),即具有相似的人口和经济特征,居民交通行为也具有相似规律的城市微空间。由于行为区内部特征的同质性,行为区可作为联系城市微观研究(多以居民个体为研究对象)和城市整体空间的中间桥梁。

在划分行为区时,首要的任务便是弄清空间尺度的界限如何划定。一般来讲,过程的平稳性和规律性是依赖于尺度存在的^[19]。当研究尺度比较微观,例如居民个体,则交通行为的随机性较强;如果空间尺度较大,则交通行为的规律性会比较明显,但空间异质性容易丢失。如何依据居民交通行为的特征选取合适的空间单元,是识别行为区的关键。

为此,本研究假设居民的交通行为具有一定的自组织现象,随着空间尺度的不断变化,居民交通行为会变得具有规律性。假设以交通出行频率和空间距离来表征居民的出行特征(图1),总体来看,居民的出行频率会符合距离衰减规律,但在一定的尺度范围内,居民的出行仍会表现出较大的随机性,则这种规律变化的临界

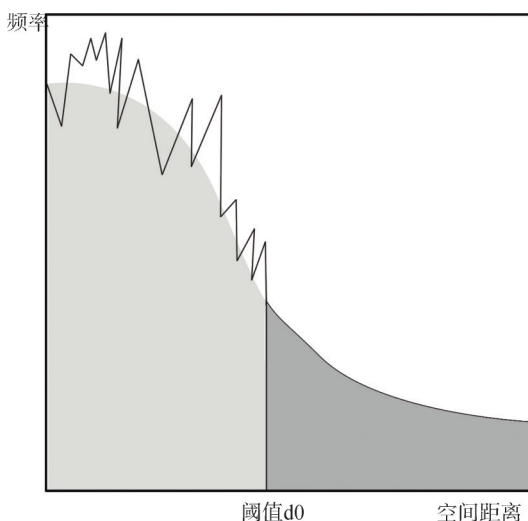


图1 行为区划分的空间阈值

Fig. 1 Threshold distance for defining the range of behavior zone^[20]

阈值(d0)可作为划分的临界阈值。

2.2 行为区划分的实验

基于以上的假设,本研究在北京市永泰居住区进行了行为区划分的实验^[21]。永泰居住区位于北京市五环以外,约2 km²,内部有1978-2010间建成的19个居住小区。本研究利用时间地理学和行为地理学研究个体活动路径和驻点信息的常用方法,于2010年6月在该区域随机挑选正午时段和傍晚时段外出活动的100位居民作为观察对象,调查其日常出行(购物、散步等非工作出行)的空间路径,来获取居民的交通行为特征。具体方法是以其居住地出发点,以居住区和市内的一些主要地点为驻点,以时间频率绘制个人的出行网络。主要的驻点信息则利用空间认知地图来提示居民。

研究利用空间聚类分析对居民的出行频率进行了空间分析。结果显示,依据频率直方图,居民的出行频率与空间距离确实存在类似于图1所示的规律;此外,地理环境(土地利用特征,规划特征等)相似的小区,居民其在出行特征上也具有一定的相似性。

图2为案例地区内两个小区的出行距离—出行频率关系图,出行频率虽然在小范围内有波动性,但从移动平均的趋势可以看出,出行频率存在典型的的空间距离衰减规律。这一规律证实了文中假设的合理性。

考虑到居住区内外城的空间差异,研究选择了内城地区的居住区来进一步验证居民交通行为随着空间尺度的变动存在着逐步收敛这一规律性。特别的,考虑到老龄化居住区可能存在的差别更加明显,研究利用2011年在北京市内城什刹海地区的老年人出行的调研(100份,有效98份)结果来分析。考虑到老年人空间认知的不便性,研究采用出行方式、距离、与出行频次的方法来调研。受到出行方式运速的限制,交通方式的选择可间接代表其空间出行距离的远近,例如10分钟步行的空间距离可大概代表1 km以内,公交30分钟出行则代表空间距离较远(10 km及以上)。由此,从表1来分析,内城地区老年人近距离出行的频率较高,表现为步行和自行车出行的居民占绝对优势,而公交出行的出行频率则比较低。从出行目的地来看,日常购物、散步是居民出行的主要目的,约为90%以上;而大多居民出行的时间在30分钟左右这一出行的特征也间接验证了居民日常出行频率随空间距离递减和收敛的规律性。

2.3 行为区划分的变量

行为区划分的实验分析表明,人们的日常生活不仅局限于本小区,而是包含几个街

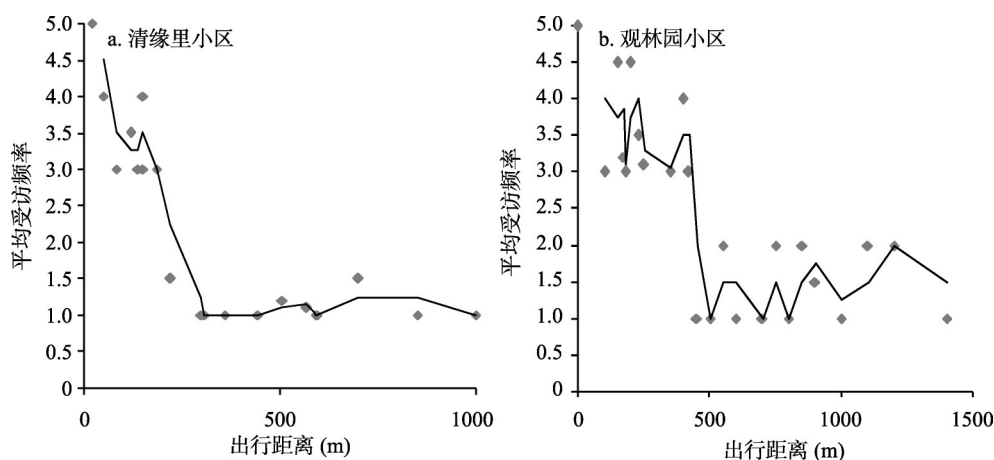


图2 永泰居住区部分小区居民出行距离与出行频率关系图

Fig. 2 Relationship between travel frequency and distance in Yongtai area

区为单位。具体来讲：① 行为区划分的基础可以以居住小区作为基本单元。② 通过分析类型划分时，各指标聚类的贡献率，得出影响行为区划分的关键环境变量包括：二手房价、小区的规划特征、建筑年代、服务设施的便利性，以及交通基础条件的便利性等。③ 城市路网对于行为区的分割起到一定作用^[21]。

表 1 什刹海地区居民出行特征

Tab. 1 Travel characteristics in Shichahai area

出行频率 (次/天)	交通方式占比		
	步行(%)	自行车(%)	公交车(%)
4	10.3	3.4	0.0
3	38.2	17.2	0.0
2	47.1	72.4	0.0
1 及以下	4.4	6.9	100.0
合计	100.0	100.0	100.0

3 北京市中心城区交通行为区的划分

3.1 数据来源及特征

本研究于2012年利用信息采集软件对北京市两大房屋交易网站的二手房交易信息进行了收集，包括小区所属的地理位置、二手房价、容积率、建筑年代等信息。同时，根据专业的地址库进行小区空间位置的地址匹配，建立了北京市城六区范围内居住小区的数据库，城六区范围内共6099个居住小区样本。需要说明的是，本次信息的采集对象是交易在售的二手房居住小区，而对于未公开发售的小区，例如新开盘在售小区，未达到政策允许交易的公共住房，以及没有二手房交易房源的小区等均不在本次信息采集的范围。

受到城市空间扩张与社会经济重构的深入影响，北京市城六区范围内存在多元的居住类型区。不同类型的居住区对于居民空间行为的约束可能有较大影响^[14]，因此，本文新增了居住类型作为识别行为区的又一关键变量。

目前北京市不同居住类型的小区在空间上存在明显的空间集聚现象（图3）。其中，胡同、四合院类型的住房大部分集中于城市二环以内，特别是北二环内，而南部则主要集中在西南二环以内，例如大栅栏地区，长椿街以东地区等地；20世纪70、80年代兴建的就业—居住一体化的单位大院，主要集中于城市的西部，尤其是西三环周边；而各类机关、事业单位、及工厂兴建的宿舍公房主要分布于西北五环周边，例如北五环的清河周边。近几年来，为了解决低收入群体的住房问题，北京市政府特别提供了经济适用房、限价房、廉租房等政策性住房。受政策的限制，部分政策性住房由于尚未具有出售资格，暂不能通过本次数据的收集所体现。但从目前已经公开出售的部分小区数据来看，政策性住房的选址在空间上比较集中，大多位于城市较外围地区，例如东五环外、西四环和西五环周边。此外，本研究分析了别

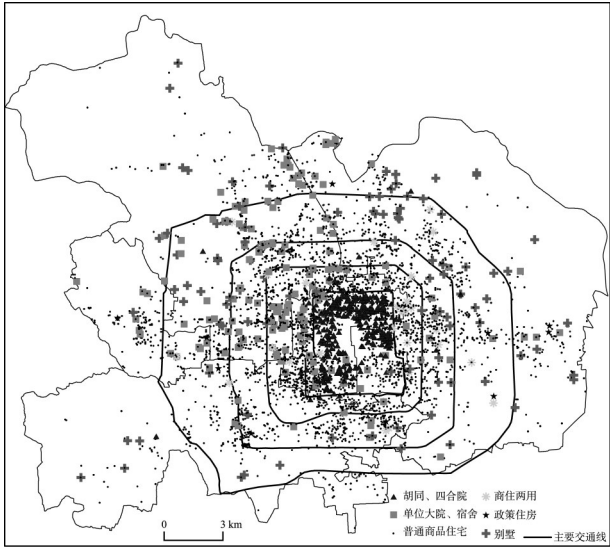


图3 2012年北京市城六区小区住宅类型的空间分布
Fig. 3 Spatial pattern of residential types in central districts of Beijing in 2012

墅等高档住房的空间分布特征（图3），这类高档住房目前主要位于城六区的周边，例如北五环外的小汤山、北七家等地，以及西四环至西五环之间的四季青镇等地。

3.2 北京市城六区行为区的类型识别

在城六区居住小区数据库的基础上，本研究选取了居住小区的二手房价、开发特征（容积率、房龄、物业管理费等）、公共交通服务（地铁和公交）、以及居住类型共计7项变量作为识别行为区的关键变量，具体的统计特征见表2。利用K-Means空间聚类分析的方法，对北京市城六区范围内的行为区类型进行识别。

本文在JMP统计软件中实现了K-Means聚类这一过程。在类别的确定中，研究参考了系统聚类的结果，当类别划定为5类时，样本的类间差变得平稳，并且空间上样本的差异性也比较显著。由此，北京市中心城区范围内行为区划分为5类。

进一步，根据行为区样本的特征，研究将5类行为区归结为：高档别墅BZ、中档建成区BZ、历史中心BZ、高档高密度BZ、成熟完善BZ。研究对每一类别的行为区特征进行了统计（表3），中档建成区BZ、成熟完善BZ和高档高密度BZ具有典型的代表性，共占总比例92.2%。

5类行为区在小区均价、开发特征、交通特征等方面都存在一定的差异性（表3）。例如，就公共交通的便利性来讲，成熟完善区可能由于建成年代较长，位置靠近城市中心，小区周边环境配套设施比较完善，公共交通比较便利。相比较而言，中档建成区BZ、高档别墅BZ还普遍存在公共交通不便利的问题，这可能会对居民的交通方式选择产生影响。特别的，之前细分的单位大院、政策性住房对于行为区划分的影响并不显著（表3），这可能是由于单位的经济体制转型和社会结构的空间转型，使原有单位大院的特质已经发生改变，不再是职住接近的混合型大院，而是经历了多重搬迁组合的新型大

表2 抽样小区环境变量的基本特征分析
Tab. 2 Characteristics of variables in sample blocks

环境变量	指标	备注	平均值	最小值	最大值	比例(%)
二手房价	平均房价(元/m²)	2012年7月	30365	7825	63230	
	FAR		2.9	0.2	30	
开发特征	物业管理费(元/m²)	2012年为止	2.0	0	20	
	房龄(年)		13	1	63	
	800 m 范围内公交站点数		5.7	0	39	
公共交通服务	1 km 内地铁站点数		1.5	0	10	
	传统历史居住区	胡同、四合院等老城区住房				4.6
居住类型	单位大院	原职住一体化的小区				2.6
	普通商品房	约1990年后建造的住房				90.4
	公共政策房	改善中低收入者住房问题的公共住房				0.5
	别墅等	高档别墅				1.9

表3 各类型行为区的统计特征分布
Tab. 3 Characteristics of variables in each behavior zone

类别	房屋主导类型	小区比例 (%)	800 m 内公交站点个数	1 km 内地铁站点数	FAR	物业管理费 (元/m²·月)	二手房价 (万元/m²)	建成时间 (年)
高档别墅BZ	高档别墅	2.4	7.9	0.4	0.8	3.7	3.6	8.1
中档建成区BZ	商品房	37.5	6.9	0.2	1.0	0.9	2.4	13.0
历史中心BZ	胡同、四合院	5.4	25.6	1.8	0.6	0.2	4.9	14.7
高档高密度BZ	商品房	21.9	17.7	0.7	3.7	3.2	3.2	9.6
成熟完善BZ	商品房	32.8	20.9	1.2	1.0	0.5	3.2	17.3

院, 其在性质上更加接近于普通商品房。此外, 政策性住房也没有成为关键的影响因素, 这可能是由于目前已在售的政策性住房的选址在很大程度上与普通商品房混合, 二手房售价方面已与周边的区域相差无几, 另外也有可能是数据收集不全导致的误差。

3.3 行为区的空间划分

如何将空间中居住小区(离散点数据)的聚类结果拓展到城市面域是关键的一步。考虑到城市的道路结构可能成为行为区划分的分割线, 本研究利用北京市城六区的路网制作了街区面域图。由于内城的胡同、四合院空间布局的特殊性, 使得居民的活动范围与外围相比, 有收缩的趋势。因此, 在构建路网街区时, 本研究在四合院、胡同等集聚的三环以内地区采用城市支路进行街区的分析, 在城市外围采用次干路进行分析, 所得到的街区共计 5598 个。

研究将居住小区与城市街区进行叠加, 并据此为街区标定行为区类别。具体包括以下几种情况: ① 街区内没有居住小区, 则该街区标定为非居住区; ② 街区内有同一行为区类型的若干居住小区, 该街区类型标定为该行为区类型。③ 街区内有不同种类的若干居住小区, 利用居住小区的泰森多边形将这一街区划分为不同面域。最后, 研究将 5598 个街区均标定为不同的行为区类型, 考虑到空间的临近性, 研究对属于同一行为区类型且空间相邻的街区, 进行了合并, 最终得到了北京市城六区行为区的空间布局(图4)。

总体来看, 5 种行为区类型在空间上的分布呈现一定的集聚现象。由图5可见, 城六区行为区呈现与环路高度相关的梯度特征, 总体格局以同心圆形式组织, 部分地区以扇形结构组织。其中, 高档别墅区零星分布于城市的外围; 历史中心区集中分布于城市二环以内的北部地区; 成熟完善区分布于二至三环之间、城市北部地区、以及西长安街沿线一带; 而中档建成区则广泛分布于城市的外围空间。

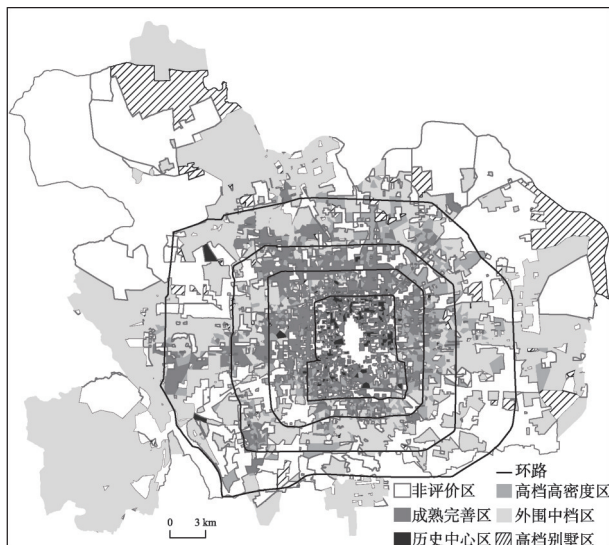


图4 北京市城六区行为区的空间布局

Fig. 4 Spatial distribution of behavior zone in Beijing

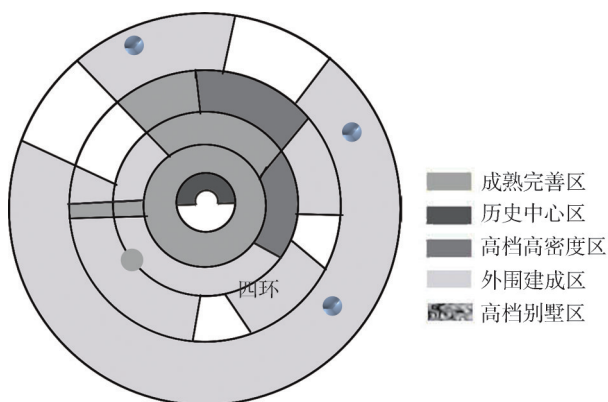


图5 北京市城六区行为区的空间结构模式

Fig. 5 General spatial pattern of behavior zone in Beijing

4 北京市各行为区居民的交通行为规律分析

北京大学行为地理研究小组于2007年在北京市范围内10个社区开展了出行调查, 调

研共取得样本 1071 份^[14]。本研究利用该项目组的共享数据对不同行为区居民的构成和交通行为规律进行分析。需要说明的是, 共享数据在调研时并没有考虑行为区类型的差异, 本文运用这一数据进行行为区出行规律差异的后置性检验。

4.1 居民群体的收入差异

由调研结果发现, 在不同类型行为区中 (表4), 居民的收入构成存在较大差异, 例如在高档别墅行为区, 居民以高收入群体为主, 家庭月收入在 7000 元以上的家庭占 88%; 而在城市外围 BZ 和高档高密度 BZ, 中等收入的居民群体为该类型行为区的核心人群, 表现为收入为 3000~7000 元的群体占类型区的 50% 以上; 而在历史中心区, 3000 元以下的低收入人群 (约占 82%) 为该类型区的主导人群。

居民收入群体的地域差异性对于交通规划和交通政策具有重要的空间启示。例如在低收入人群集中的历史中心区, 经济成本相对低廉的慢行交通和公共交通可能成为其主要偏好的交通方式。而在高收入人群集聚的高档别墅行为区, 经济成本对于其交通方式的选择影响较小, 舒适性较高的机动车分担比例可能较高。

4.2 通勤交通方式选择的差异性

考虑到样本数量的限制可能导致交通方式的使用比例和北京市的大样本规律不符, 本文利用 2009 年北京市宜居调查的大规模样本 (约 5096 份)^[22]对各行为区类型的交通方式进行了修正。

通勤交通方式选择的差异性在不同类型行为区之间比较明显 (表5)。例如小汽车使用比例最高的为高档别墅 BZ (80%), 而最低的为历史中心 BZ (5.1%), 二者相差近 75%。此外, 可以看出, 在历史老城区和成熟完善区, 自行车和步行两种慢行交通的使用比例较高, 这可能是由于这两种类型的行为区分布于城市中心, 建成时间较早, 土地混合利用程度较高, 居民的出行距离较短造成的。此外, 除在高档别墅区外, 公共交通在其他 4 种类型的居住区内均成为使用比例较高的交通方式之一。

4.3 平均通勤距离的差异性

表6表示不同行为区居民单程通勤出行的平均距离。总体来看, 不同行为区居民通

表 4 北京市不同行为区居民家庭收入的差异分布(%)
Tab. 4 Spatial differences of income groups in each behavior zone (%)

家庭收入 (元/月)	高档别墅 BZ	城市外围 BZ	历史中心 区 BZ	高档高密度 BZ	成熟完善 BZ
≤ 3000	0.00	17.86	82.27	27.53	54.14
3000~7000	12.00	53.64	16.57	54.08	38.36
7000~10000	52.00	13.25	0.00	12.25	6.16
>10000	36.00	15.23	1.18	6.12	1.37
合计	100	100	100	100	100

表 5 北京市居民日常通勤所使用的交通方式比例(%)
Tab. 5 Share of commuting traffic mode in Beijing (%)

交通方式	高档别墅 BZ	中档建成区 BZ	历史中心区 BZ	高档高密度 BZ	成熟完善 BZ	平均值
步行	3.0	11.7	7.8	12.1	16.6	13
自行车	1.0	9.7	30.2	21.0	21.5	17
地铁	10.0	16.8	4.0	10.2	9.4	12
小汽车	80.0	29.3	5.1	15.4	10.8	20
公共汽车	5.0	30.3	47.0	38.3	38.2	35
其他	1.0	2.2	5.9	3.1	3.6	3

表 6 北京市不同交通方式单程通勤的平均距离(km)
Tab. 6 Average commuting distance of each traffic mode in Beijing (km)

交通方式	高档别墅 BZ	中档建成区 BZ	历史中心区 BZ	高档高密度 BZ	成熟完善 BZ
平均出行距离	16.8	11.1	10.1	13.8	5.8

勤的平均距离有较大差距。其中高档别墅BZ居民单程通勤距离最长,约为16.8 km;成熟完善区居民通勤距离最短,约为5.8 km。这可能是由于目前大多数别墅区位于城市外围地区,出行距离较长,便利快捷的私家车出行能有效节省出行时间,而位于相对中心位置的成熟完善区土地利用混合程度较高,居民单程通勤的距离较短。

5 结论与展望

基于个体的交通行为研究可以更精细的解析城市交通空间结构的差异性和多元性,但却面临着个体研究的不确定性和偶然性等局限,对城市交通空间政策的支撑作用不足。本文通过对交通行为和地理空间耦合关系的研究,提出交通行为区的地理环境区划方法。具体研究结论如下:

(1) 交通行为区作为城市交通空间结构研究的中观尺度,排除了交通行为研究中单体行为的扰动性,关注群体同质性的行为特性,进而为解决地理学研究中的不确定性问题提供了研究视角。

(2) 对北京市外围永泰居住区进行的实验分析表明:居民的出行行为受到地理环境的客观制约。居住小区的二手房价,公共交通服务水平,建成时间,规划特征等地理环境特征的相似性会导致居民出行行为特征(例如出行方式、结构等)具有一定的相似性。

(3) 数据分析的结果表明,北京市中心城区目前有5类典型的交通行为区,分别为:高档别墅区,中档建成区,历史中心区,高档高密度区,以及成熟完善区。5类行为区的空间布局呈现与环路高度相关的梯度特征,总体格局以同心圆形式组织,部分地区以扇形结构组织。5类行为区的地理环境特征和居民出行模式方面均具有明显的差异性。

行为区搭建了个体行为与城市宏观交通空间研究的空间转换桥梁,对于城市交通空间结构研究具有重要的意义,例如在城市交通资源配置以及低碳交通规划方面有着突出的贡献:

(1) 目前,由于缺乏对于城市内部差异化交通需求的深入了解,导致城市交通资源配置低效率,城市交通政策常常缺乏空间的针对性。通过以行为区为基准的空间转换,可以将个体或案例研究的成果扩展到城市面域尺度,将各类型区域居民差异化的交通需求体现在空间上,这对于交通资源配置,以及交通政策制定具有重要参考。例如,通过本文的分析发现,中档建成区和高档高密度区域,由于通勤距离较长,公共交通尚不完善,导致这些地区公共交通缺乏与小汽车的有力竞争,未来加强这些区域的公共交通建设是值得研究的方向。

(2) 在低碳交通的研究中,如何定量估测城市交通碳排放是需要解决的关键问题之一。以居民出行为视角的测算方法能够比较系统的测算交通碳排放^[23],但却难以进行城市综合尺度的测算。行为区是具有同质性交通行为个体的空间集合,提供了由个体碳排放测算向空间面域估测的转换视角,也对碳排放的分类控制提供了视角。例如分析不同行为区的空间政策对碳排放的约束效果,如城市规划,公共交通,土地利用规划,人口疏散等。

致谢:感谢北京大学城市与环境学院智慧城市研究与规划中心为本研究共享调研数据;衷心感谢北京大学柴彦威教授对本研究的指导。

参考文献(References)

- [1] Alford G, Whiteman J. Macro-urban form and transport energy outcomes: Investigations for Melbourne. Road &

- Transport Research, 2009, 18(1): 53-67.
- [2] Dieleman F M, Dijst M, Burghouwt G. Urban form and travel behavior: Micro-level household attributes and residential context. *Urban Studies*, 2002, 39: 507-527.
- [3] Horner M W. A multi-scale analysis of urban form and commuting change in a small metropolitan area (1990-2000). *Annals of Regional Science*, 2007, 41(2): 315-332.
- [4] Hankey S, Marshall J D. Impact of urban form on future US passenger-vehicle greenhouse gas emissions. *Energy Policy*, 2009, 7(5): 1-8.
- [5] Kitamura R, Fujii S, Kikuchi A, et al. An application of a micro-simulator of daily travel and dynamic network flow to evaluate the effectiveness of selected TDM measures for CO₂ emissions reduction. In: *Proceedings of the 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC, 1998.
- [6] Long Ying, Mao Qizhi, Yang Dongfeng, et al. A multi-agent model for urban form, transportation energy consumption and environmental impact integrated simulation. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1033-1044. [龙瀛, 毛其智, 杨东峰, 等. 城市形态、交通能耗和环境影响集成的多智能体模型. *地理学报*, 2011, 66(8): 1033-1044.]
- [7] Chai Yaiwei, Shen Yue, Ta Na, et al. Review for space-time behavior research: Theory frontiers and application in the future. *Progress in Geography*, 2012, 31(6): 667-675. [柴彦威, 申悦, 塔娜, 等. 时空行为研究动态及其实践应用前景. *地理科学进展*, 2012, 31(6): 667-675.]
- [8] Harding C, Patterson Z, Miranda-Moreno L F, et al. Modeling the effect of land use on activity spaces. *Transportation research record. Journal of the Transportation Research Board*, 2012, 2323: 67-74.
- [9] Zahabi A, Miranda M L, Patterson Z P, et al. Urban transportation greenhouse gas emissions and its link with urban form, transit accessibility and emerging green technologies: A Montreal case study. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2013, 2375: 45-54.
- [10] Darbani J, Rezaei A, Patterson Z, et al. Traditional text-only SP survey of neighborhood choice. Paper presented in session 786 of the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 2013. Washington, DC.
- [11] Pan Haixiao, Shen Qing, Zhang Ming. Influence of urban form on travel behavior in four neighborhoods of Shanghai. *Urban Studies*, 2009, 46(2): 275-294.
- [12] Wang Donggen, Chai Yaiwei, Li Fei. Built environment diversities and activity-travel behavior variations in Beijing, China. *Journal of Transport Geography*, 2011, 19(6): 1173-1186.
- [13] Chai Yaiwei. Methodological problems in behavioral geography study. *Areal Research and Development*, 2005, 24(2): 1-5. [柴彦威. 行为地理学研究的方法论问题. *地域研究与开发*, 2005, 24(2): 1-5.]
- [14] Chai Yaiwei, Xiao Zuopeng, Liu Zhilin. Comparative analysis on CO₂ emission per household in daily travel based on spatial behavior constraints. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(7): 843-849. [柴彦威, 肖作鹏, 刘志林. 基于空间行为约束的北京市居民家庭日常出行碳排放的比较分析. *地理科学*, 2011, 31(7): 843-849.]
- [15] Kwan M P. Human space-time behavior as the basis of dynamic conceptualizations of geographic context. Paper presented on the 7th Workshop on Spatial Behavior and Planning Research, Beijing, 2012.
- [16] Shevky E, Williams M. *The Social Areas of Los Angeles*. Los Angeles: University of California Press, 1949.
- [17] Gu Chaolin, Wang Fahui, Liu Guili. Study on urban social areas in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 917-926. [顾朝林, 王法辉, 刘贵利. 北京城市社会区分析. *地理学报*, 2003, 58(6): 917-926.]
- [18] Zhou Chunshan, Liu Yang, Zhu Hong. Analysis on social areas of Guangzhou city during the economic system transformation. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(10): 1046-1056. [周春山, 刘洋, 朱红. 转型时期广州市社会区分析. *地理学报*, 2006, 61(10): 1046-1056.]
- [19] Li Shuangchen, Cai Yunlong. Some scaling issues of Geography. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 11-18. [李双成, 蔡云龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨. *地理研究*, 2005, 24(1): 11-18.]
- [20] Gao Xiaolu, Ji Jue, Wang Fang. Spatial pattern of transportation carbon emission based on behavior zones: Evidence from Beijing, China. *International Review for Spatial Planning and Sustainable Development*, 2013, 1(2): 3-14.
- [21] Ji Jue, Gao Xiaolu. Identifying the scope of daily life in urban areas based on residents' travel behaviors. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 248-254. [季珏, 高晓路. 基于居民日常出行的生活空间单元的划分. *地理科学进展*, 2012, 31(2): 248-254.]
- [22] Chen Li, Zhang Wenzhong, Dang Yunxiao, et al. The spatial distribution, transition and residential pattern of low-income residents in Beijing. *Geographical Research*, 2012, 31(4): 720-732. [谌丽, 张文忠, 党云晓, 等. 北京市低收入人群的居住空间分布、演变与聚居类型. *地理研究*, 2012, 31(4): 720-732.]
- [23] Ma Jing, Chai Yanwei, Liu Zhilin. The mechanism of CO₂ emissions from urban transport based on individuals' travel

behavior in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(8): 1023-1032. [马静, 柴彦威, 刘志林. 基于居民出行行为的北京市交通碳排放影响机理. *地理学报*, 2011, 66(8): 1023-1032.]

Study on urban transportation structure based on residents' travel behaviors in Beijing

JI Jue^{1,2}, GAO Xiaolu²

(1 The Administration Center of Urban-rural Planning Ministry of Housing & Urban-Rural Development, Beijing 100835, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: It is commonly agreed that the preference or behavior of people ought to be examined within specific geographical contexts. Because of the existence of uncertain geographic context problem, the way for defining the areal unit of geographic context may significantly affect the behavioral pattern. It is thus essential to select an appropriate spatial scale for analyzing the characteristics of transportation activities in cities. The concept of behavior zone (BZ) is proposed based on homogeneous assumption of behaviors to analyze an area-based pattern of people's travel behaviors in the whole city. Behavior zone is identified through spatial analysis of residents' daily travel behaviors with respect to the environments. With a daily travel survey conducted in Beijing's sample residential areas, the critical indices for identifying different types of behavior zones are revealed, including second-hand housing price, development intensity, population density, accessibility to public transportation. With these indices, the residential areas all over the central districts of Beijing are clustered by five representative behavior zone types: luxury villa, suburban, traditional, high-density, and mature areas. The population characters and behavior features, such as dominant income groups, average commuting distance, and share of commuting travel mode, differed obviously from community to community. These results provide great implications for fine transportation resources allocation since behavior zones are areas where the modal choice behaviors of inhabitants are projected. Besides, behavior zones are critically important to data transformation in terms of their area-based features.

Keywords: behavior zone; travel behaviors; geographic context; urban transportation; Beijing