

老年人公交移动性的季节时空分异特征研究 ——以安徽省芜湖市为例

李智轩^{1,2}, 甄峰^{1,2*}, 张姗姗^{1,2}, 杨羽³

(1. 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093; 2. 江苏省智慧城市设计仿真与可视化技术工程实验室, 南京 210093;

3. 研车数据科技(江苏)有限公司, 南京 210046)

摘要:移动性是老年人生活质量的重要影响因素,提高老年人的移动性是延长老年人独立生活时间,从而减小社会养老成本的重要手段。公共交通是中国老年人较长距离出行的最主要交通方式,但已有研究对公交移动性的关注较少。论文从季节时空分异的角度出发,利用安徽省芜湖市智能公交卡数据,分析不同季节老年人公交移动性静态空间集聚特征以及季节变化条件下移动性变化值的空间集聚特征。结果表明:①老年人公交移动性空间集聚明显,呈现圈层式分布的特征。不同季节、不同移动性指标在城市中心、城市中心外围和城市边缘的集聚现象存在较大差异。②老年人公交移动性的时空分异现象是复合的,不同城市空间对季节变化的敏感程度存在差异,主要呈现出从城市中心向外递增的趋势。研究公交移动性的季节时空分异现象可以为老年友好型城市的规划建设提供更加适当的规划和灵活的政策建议。

关键词:公交移动性;老年人;时空分异;季节;芜湖市

中国是一个老龄化十分严重的国家,并且这一现象还在不断加剧的过程中,老年人口的不断增加使得提高老年人生活质量成为社会发展的重要议题。大量研究表明,移动性是影响老年人生活质量的重要因素和老年人独立正常生活的先决条件,也是延长老年人独立在家生活的时间、实现“居家养老”从而减小社会养老成本的有效手段^[1-3]。此外,移动性对老年人的意义不仅在于拓展了时空可达性,对社会和精神需求也有直接或间接的影响^[4]。已有大量研究分析了移动性对老年人幸福感的影响,发现这一影响受到个体与环境等因素的多重干预,并随时间不断变化^[5-6]。

目前对老年人移动性的关注更多集中在步行

方面,而忽略了较长距离移动行为的重要性^[7]。与一些发达国家以小汽车为主的移动模式不同,公共交通一直是中国老年人较长距离出行的主要交通方式^[8-9]。尽管许多研究证实了以小汽车为代表的更加灵活的交通方式对老年人移动性的意义,但老年人驾驶汽车的能力会随着年龄增长显著下降,从而导致移动性的下降,甚至形成社会孤立^[10-11]。因此,公共交通仍然是老年人出行的重要保障^[12]。研究表明,感知居住地与公交站点距离更近的老年人使用公交的频率可能更高^[13]。此外,廉价的公共交通对老年人意义不仅在于提供了去往某一地点便捷的交通方式,也可以促使老年人选择更丰富的出行地点(如休闲公园、更好医疗设施),并促进老年人

收稿日期:2020-03-23;修订日期:2020-07-18。

基金项目:国家社会科学重点基金项目(20AZD040);中国博士后科学基金项目(2019M651784);中央高校基本科研业务费专项基金。[Foundation: Key Project of National Social Science Foundation of China, No. 20AZD040; China Postdoctoral Science Foundation, No. 2019M651784; Fundamental Research Funds for the Central Universities.]

第一作者简介:李智轩(1996—),男,山西太原人,硕士生,研究方向为居民时空行为、智慧城市等。

E-mail: 771445516@qq.com

***通信作者简介:**甄峰(1973—),男,陕西汉中,教授,博士生导师,研究方向为信息地理与智慧城市。

E-mail: zhenfeng@nju.edu.cn

引用格式:李智轩,甄峰,张姗姗,等.老年人公交移动性的季节时空分异特征研究:以安徽省芜湖市为例[J].地理科学进展,2021,40(2): 293-303. [Li Zhixuan, Zhen Feng, Zhang Shanqi, et al. Seasonal and spatiotemporal differences in the public transport-based mobility of elderly population: A case study of Wuhu City in Anhui Province. Progress in Geography, 2021, 40(2): 293-303.]
DOI: 10.18306/dlkxjz.2021.02.010

幸福感和归属感的提升^[14]。

随着年龄的增长,老年人对居住空间的依赖逐渐加强,移动行为受空间的影响也不断加深^[15]。大量研究从空间影响因素的角度入手,分析居住地周边的建成环境与老年人移动性之间的相关性,例如土地利用多样性、道路连通性、设施点可达性、交通资源可获取性等空间因子均已经被证实对老年人移动性有显著影响^[16-20]。而反映在城市空间上,不同居住区位的老年人移动性存在一定差异。黄建中等^[21]对比了上海中心城核心区与边缘区老年人的出行特征,发现老年人的移动频率呈现出从核心区向边缘区递减的特征,但出行时耗和出行目的等没有出现明显的空间结构关联。在时间分异方面,相关研究多集中在对工作日/休息日/节假日或者同一天内不同时间差异的探讨^[22-23],缺少对季节变化的关注。Järv 等^[24]利用手机数据观察了在12个月间手机所有者的活动范围变化,发现个体的活动空间具有明显的季节效应,尤其是非日常性的活动地点受到季节的强烈影响。对于城市中身体健康状况普遍下降的老年人群,季节的变化所带来的客观自然环境和对环境感知的变化对其移动性的影响可能较其他人群更加明显^[25-27]。不同季节气温、日照等自然环境因素差异均被证实对老年人移动行为的变化具有一定解释性^[28-29]。因此,对比分析不同居住空间老年人移动性的季节分异有助于我们进一步明晰地理空间差异和自然环境变化对老年人出行特征的影响。

在数据方面,由于移动行为本身的复杂性,如何准确描述居民移动的时空分异特征一直是地理学研究的热点议题。早期关于老年人移动性的研究多基于活动日志调查,利用调查问卷对居民的出行目的地和移动路线等进行收集。这种数据采集方式的成本高,且获得的数据样本量较小,数据覆盖的时间周期普遍较短。近年来,随着信息和通信技术的发展,许多研究开始运用GPS定位数据、智能公交卡数据、浮动车数据、手机信令数据等时空大数据分析居民出行特征,有助于在时空双重维度上更加细致地描述和理解移动性^[30-32]。但这类研究大多只能间接获取个人属性特征,例如用区域内平均收入水平统计值或房价水平代表该地居民的收入水平,从而将人群类型与活动特征相关联^[22-33]。而智能公交卡数据可以依据卡片类型划分人群类型,进而分析和比较特定人群的出行特征。Huang

等^[34]利用智能卡类型对新加坡的智能卡持有者年龄段进行分类(老人、中年人和儿童),并比较其移动性时空分异特征。

综上所述,已有对城市居民移动性时空分异特征的研究已经从传统的出行调查数据转向了多源数据结合的分析,并由单一的静态空间逐渐转向了更加精细的时空特征描述。然而,通过时空大数据对特定人群特定移动行为的研究仍比较缺乏,且多基于横截面数据,缺少对季节变化的时间序列分析。对老年人公交出行季节时空分异特征的分析弥补了相关研究的不足,在探究移动性的影响机制及提升老年人幸福感等方面有重要参考价值。因此,本文聚焦于城市居住老年人公交出行行为,以安徽省芜湖市城区为案例地,通过公交卡号特征对特定老年人群进行识别,利用空间自相关的方法分析比较其移动性的在不同季节的空间集聚特征,试图为后续进一步探讨时空异质性对老年人移动性的影响机制奠定基础,并对老年友好型城市的规划建设提供理论依据与实践参考。

1 数据与方法

1.1 研究思路

本文首先利用公交刷卡数据提取出老年人公交出行时空特征,从3个方面的指标对老年人的公交移动性进行描述,并对不同季节和不同指标表示下的移动性特征进行对比描述分析。进一步,利用全局和局部空间自相关的分析方法,对比不同季节老年人公交移动性的空间集聚特征以及季节间差异的空间集聚特征,评价不同季节不同地区老年人移动性,并解释空间集聚现象的成因以及季节变化对老年人出行的影响机制。

1.2 研究区域及数据

1.2.1 研究区域

芜湖市位于长江下游、安徽省东南部,是安徽省重要的科教、工业基地和交通枢纽。市区主要包括镜湖区、弋江区、三山区和鸠江区4个区(图1)。2018年末,芜湖市总人口约388.85万人,其中市区人口约150.26万人,城镇化率约为66%。芜湖市是一个典型的单中心城市,公交线网在城市中心分布密集,并呈放射状向城市边缘地区延伸,公共交通供给的空间异质性明显;生活设施在城市中心分布较为密集,并逐渐向外围递减,高等级生活服务设

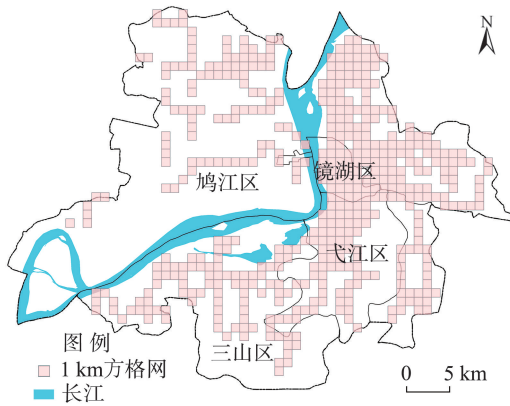


图1 研究区域

Fig.1 The study area

施在城市边缘尤其缺乏,可以较为明显地观察和解释空间分异对公交移动性的影响。选取芜湖市作为实证研究区域,将其划分为边长为1 km的正方形格网,并筛选出其中分布有公交站点的格网作为有效分析区域。

1.2.2 数据获取与预处理

相对于手机信令等难以区分不同群体属性的数据类型,智能公交卡数据可以利用卡号特征筛选出不同使用人群的数据集(如学生、老年人、残疾人等)。研究使用的原始数据主要包括公交刷卡数据、公交实时数据以及公交站点数据3个类型,分别采集2018年4、7、10和12月4个月的数据表征春、夏、秋、冬4季。其中,公交实时数据主要包括车辆编号、路线编号、记录时间、经纬度等字段;公交站点数据主要包括站点名称、经纬度等字段;公交刷卡数据主要包括刷卡卡号、刷卡时间、路线编号、车辆编号等字段。首先,通过卡号特征筛选出老年卡公交刷卡数据,逐条提取老年人乘坐的车辆编号和刷卡时间;进一步,结合公交实时数据提取该车辆在这一刷卡时间的经纬度,从而匹配得到老年人的刷卡位置,构建出老年人公交出行数据库(表1)。由于芜湖市公交车实行上车单次刷卡规则,故获取的老年人刷卡位置均表示公交出行起点。根据芜湖市对申领老年卡的年龄规定,本文将70岁及以上的

人群定义为老年人。

在获取老年人刷卡时间和位置的基础上,研究忽略了下车点与乘车点间的位置差异,即认为老年人下车地点为下一次刷卡的乘车地点,并据此识别老年人的居住地和主要活动地点。研究统计单个老年卡4个月在不同格网中的刷卡次数,选取数量在前25%的格网作为持有该卡老年人的主要活动地点,并进一步取主要活动地点中早8:00前刷卡次数最多的格网作为老年人的居住地。对于刷卡位置所在格网数不足4个的样本,使用总体样本在每个格网刷卡次数的前25%作为阈值进行筛选,去除无效样本。在描述老年人移动性时,均以主要活动地点为基础进行计算,去除其余访问次数较低格网的活动数据。

1.3 研究方法

1.3.1 指标选取

基于老年人的主要活动地点可以描述老年人的活动空间,并在此基础上计算老年人的移动性指标。现有研究描述活动空间的具体方法有标准差椭圆(SDE)、最小凸多边形(MCP)等^[35-36]。本文采用老年人主要活动地点构建的标准差椭圆表示老年人的活动空间,并选取移动半径、移动频率和移动熵3个指标衡量老年人移动性,共同刻画老年人的公交出行强度。研究最终共识别出3958762条老年人移动性数据,包括春季(4月)660457条、夏季(7月)930165条、秋季(10月)1336112条和冬季(12月)1032028条。

选取指标中,移动半径根据主要活动地点标准差椭圆的长短轴长度计算,计算公式如下:

$$R(a) = \frac{e_1 + e_2}{4} \quad (1)$$

式中: e_1 表示个体 a 主要活动地点标准差椭圆长轴长度, e_2 表示短轴长度。移动半径 $R(a)$ 越大,表示老年人公交出行移动范围越大,可能反映了老年人获取一定服务需要克服的空间距离。

移动频率用老年人一个月中平均每个出行日的出行次数表示,计算公式如下:

$$F(a) = \frac{n}{d} \quad (2)$$

式中: n 表示一个月中个体 a 访问所有主要活动地点的次数, d 表示个体 a 一个月中的出行天数。移动频率 $F(a)$ 越大,表示老年人出行越频繁,可能反映了老年人使用公交获取日常性服务的需求和意愿。

表1 老年人公交出行数据库示例

Tab.1 Sample public transport trip database for the elderly

卡号	经度/(°E)	纬度/(°N)	刷卡时间
63XXXX91	31.2256600	118.164490	2018-04-15T6:41
63XXXX15	31.2289700	118.394045	2018-04-15T6:58
63XXXX46	31.2277667	118.393920	2018-04-15T8:19

移动熵表示了个体移动目的地的固定程度,与个体访问不同地点的频率有关^[37],计算公式如下:

$$E(a)=\sum_{i=1}^k P_i \log_2 P_i$$

(3)

式中: P_i 表示个体 a 为在主要活动地点 i 中刷卡的次数与总刷卡次数的比值, k 为主要活动地点的总数。移动熵 $E(a)$ 越大,表示该老年人主要出行地点的随机性越大,相反则表示老年人移动有更固定的目的地,可能反映了老年人对不同类型或同类服务的多样化需求。

1.3.2 分析方法

已有研究利用密度分析、聚类分析、时空自相关分析等方法分析居民移动性的时空特征^[38-41]。空间自相关是分析变量在空间上关联程度的有效方法,其基于的原则是变量在空间距离上越近,关联性也越强。通过空间自相关分析,可以发现老年人移动性对空间的依赖程度^[41]。常用的空间自相关分析方法有莫兰指数(Moran's I)、Getis 指数等。

本文基于老年人居住地统计老年人移动性的空间相关性,选取莫兰指数作为衡量空间自相关的指标,并使用 GeoDa 软件进行分析。首先,从静态角度出发,利用全局和局部莫兰指数分析移动频率、移动半径和移动熵在不同季节的空间集聚特征,比较不同季节老年人移动性的空间依赖性。进一步,从动态角度出发,以春季作为参照,利用差分全局莫兰指数和差分局部莫兰指数分析不同季节老年人公交移动性的变化量在空间上存在的集聚特征,并比较其异同。与静态的空间集聚分析不同的是,差分莫兰指数可以反映出不同空间对于季节变化敏感程度的差异^[42]。其通过表示季节变化引起的移动性差值在空间上的集聚现象,可以反映出季节对不同居住空间的老年人移动性影响程度的空间相关性。

2 老年人移动性特征描述

在方差齐性检验结果为方差不齐的条件下,研究选用 Welch 方差分析检验不同季节老年人移动性的组间差异。检验结果表明,移动性指标在4个季节两两之间的组间差异均在0.01水平下显著,说明季节变化对老年人移动性有显著影响,满足进一步分析条件。在此基础上,对老年人公交移动性进行描述性统计(表2)。由于老年人出行样本数据中存在较多的极值,因此将反映全体数据的平均数和标准差,以及除去极值影响的中位数和四分位差结合观察能够更好地描述样本的分布状况。

4个季节老年人移动半径平均数与中位数的差值普遍较大,可能存在极值较多。秋季移动半径平均数和中位数均最大,夏季则最小,秋冬季节老年人移动半径明显大于春季和夏季。老年人公交出行的频率平均仅有2~3次,春季和冬季的移动频率平均数和中位数均较大,这2个季节的老年人公交出行次数整体较多。与其他2个指标不同,移动熵数据平均数略小于中位数,可能出行地点多样性偏低的老年人样本较多。秋季和冬季的老年人出行目的地更加多样,而春季则相对单一。

4个季节老年人移动半径的标准差和四分位差相对大小均明显呈现出秋季移动半径差值最大、冬季和春季其次、夏季最低的特征,老年人秋季出行次数个体差异最明显,而夏季则较为平均。老年人春季移动频率标准差和四分位差明显大于其他3个季节,即老年人春季出行频率波动最为明显。而秋季移动频率的标准差较小,但四分位差偏大,这反映出老年人出行频率在秋季虽然整体波动较小,但是中间部分的数据波动则较大,受极值影响小,数据整体较为平均。移动熵在春季反而表现最为平稳,标准差和四分位差均最小,出行目的地趋于单一。夏季和秋季的离散趋势较为明显,四分位差反

表2 老年人移动性指标描述性分析
Tab.2 Descriptive statistics of mobility indicators for the elderly

指标	移动半径/km				移动频率/次				移动熵			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
平均数	2.713	2.448	3.199	3.027	2.349	2.220	2.262	2.322	2.804	2.915	3.014	3.071
中位数	2.173	1.942	2.655	2.491	2.125	2.000	2.000	2.120	2.807	2.922	3.029	3.102
标准差	1.955	1.836	2.153	2.029	0.902	0.861	0.853	0.871	0.864	0.942	0.944	0.925
四分位差	2.310	2.079	2.639	2.560	1.036	0.964	0.976	0.987	1.279	1.367	1.390	1.344
离散系数	0.720	0.750	0.673	0.670	0.384	0.388	0.377	0.375	0.308	0.323	0.313	0.301

映出的中间部分数值差异也更高。

对比离散系数可以看出同一季节不同指标之间的离散程度差异。在消除量纲影响后可以看出,老年人公交移动性的数据离散程度普遍较高,分布非常分散,且在4个季节中均表现为移动半径离散程度最高,移动频率其次,移动熵最低的特征。即老年人的移动熵分布相对较为集中,移动频率次之,而移动半径则最分散。不同老年人公交出行频率在一天内相对平稳,相应到达目的地的数量和频率也波动较小;而移动半径则取决于老年人居住地和需要获取的设施之间的距离,居住在不同区位的老年人日常出行距离有较大差异。

3 老年人移动性的空间集聚特征

3.1 移动性空间集聚的季节分异特征

3.1.1 全局空间自相关特征

全局空间自相关分析结果表明,总体上,不同季节老年人移动性空间相关性明显,但莫兰指数偏小,呈现出弱相关特征(表3)。这说明老年人移动性受到居住空间的制约并不强烈,移动行为在空间上随机性较强。老年人由于身体机能的不断衰退,自身行动能力显著下降,身体健康状况等个人差异较为明显,削弱了整体的空间集聚表现^[15]。

通过比较可以发现,移动熵的全局莫兰指数在3个指标中最大,对居住空间的依赖最强,移动频率

表3 老年人移动性全局莫兰指数

Tab.3 Global Moran's I index for the elderly mobility

指标	春季	夏季	秋季	冬季
移动半径	0.254	0.284	0.256	0.235
移动频率	0.256	0.351	0.381	0.268
移动熵	0.316	0.327	0.409	0.367

次之,移动半径则受到空间制约最弱。居住空间对老年人出行范围的影响较小,而更多影响了老年人出行地点的固定程度。不同季节全局莫兰指数存在较大差异,移动半径在4个季节间表现相对稳定,而移动频率和移动熵则差异较为明显,即二者整体的空间集聚程度可能受到季节的影响更加强烈。具体来看,夏季老年人移动半径受到空间制约更强,而冬季则相对较弱;移动频率全局莫兰指数则表现出夏季和秋季明显大于春季和冬季的特征;而移动熵则表现出秋季显著大于其他3个季节、春季和夏季相对较小的特征。

3.1.2 局部空间自相关特征

进一步,局部空间自相关分析结果显示了不同季节老年人公交移动性的空间集聚特征(图2)。可以看出,老年人移动性的空间集聚效应呈现出明显的圈层式分布特征,由内而外可以分为城市中心、城市中心外围和城市边缘3个集聚圈层。不同季节的空间集聚特征没有出现明显的结构性改变,但集聚区的位置和范围随着季节的变化有一定改变。整体而言,季节因素对移动熵的空间集聚分布影响

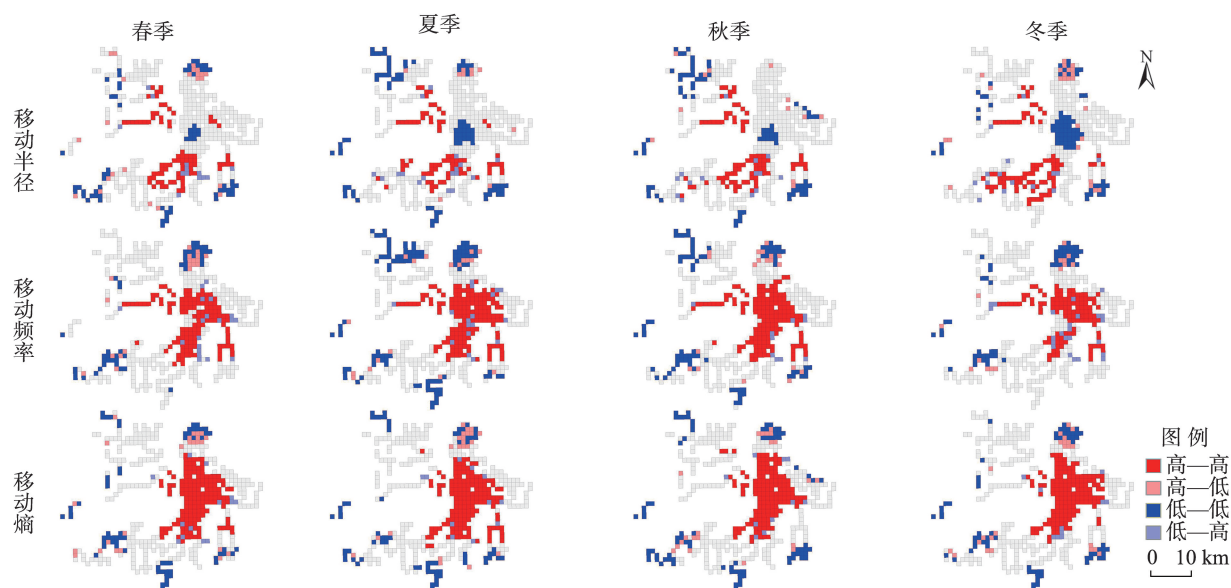


图2 老年人移动性局部空间自相关特征

Fig.2 Local spatial autocorrelation characteristics of the elderly mobility

并不明显,对移动半径和移动频率的影响则比较显著。

4个季节老年人的移动半径从城市中心到边缘均出现显著的空间集聚现象,并呈现出冷点—热点—冷点的变化趋势。城市中心出现小范围的低—低集聚点,居住在城市中心空间的老年人移动半径受到了空间的显著制约作用。而弋江区、鸠江区中部和镜湖区东部等城市中心外围地区出现明显的高—高集聚,居住在这些地区的老年人在空间影响下出行范围较大。而城市外围,如鸠江区北部以及三山区和镜湖区的南部地区,移动半径主要表现为低—低集聚或低—低与高—低集聚交错分布的形态。相对于移动半径,移动频率在城市中心和城市中心外围形成了连片的热点区,而城市外围仍主要呈现低—低分布态势,但冷点的分布范围相对移动半径有所延伸。移动熵的空间集聚特征与移动频率类似,但热点区域在东西方向出现收缩,而南北方向出现扩张,即鸠江区西部地区热点消失,而南部的弋江区则热点分布更加密集。

综合看来,城市中心居住的老年人普遍具有短距离、高频率、多样化的公交移动特征。城市中心生活服务设施和公交线路分布最为密集,老年人生活和乘坐公交可能更加便利,服务选择也更为多样。城市中心外围居住的老年人生活对城市中心的依赖较强,周边设施往往难以满足全部需求,需要在城市中心获取特定的服务作为补充,因此在移动特征上反映为出行距离较长且频率较高,但出行目的地相对于城市中心更加单一。而城市边缘的老年人在3个指标下均主要呈现低值集聚,公交出行整体偏少。这些地区虽然空间自身供给不充足,但公交出行便利程度可能大幅抑制了老年人的移动性。谭一洛等^[43]从地理不确定的角度将活动地建成环境纳入移动性的影响分析,对居住在距离市中心不同距离样本的活动空间面积受到其活动空间内设施的影响进行解释,本文观察到的结论与之相近。

老年人的出行能力随着年龄增长不断下降,通过较为便利的交通方式获取生活服务逐渐成为老年人生活质量的重要保障,其对居住地周边公共设施和公共交通的需求也与日俱增,从而形成了强烈的空间依赖。而在季节的变化影响下,相同居住空间的老年人在不同季节下的公交出行也存在较大差异。从季节间的对比可以发现,相对于其他3个

季节,冬季老年人移动半径的空间集聚区分布更加广泛,具体表现在城市中心的冷点区域和三山区北部的热点区域范围均明显扩大。而与移动半径相反,移动频率在冬季的集聚范围相对最小,主要体现在镜湖区以北地区高—高集聚的压缩上。冬季和春季的移动半径和移动频率在鸠江区西北部的低—低集聚范围均明显变小,而秋季鸠江区东北部的移动半径的集聚现象消失。不同季节移动熵的变化并不直观,集聚区随季节变化并不明显。冬季移动熵的高—高集聚区向东部有一定扩散,但鸠江区西北部的冷点几乎消失。

3.2 移动性季节差异的空间集聚特征

3.2.1 差分全局空间自相关特征

差分全局莫兰指数表示了夏秋冬3季老年人公交移动性与春季差值的总体空间集聚情况。总体来看,季节差异下移动性变化值的空间相关性较弱,季节对老年人移动性的影响整体较弱,需要与具体空间的影响结合分析。夏秋冬3个季节对春季的差分全局莫兰指数均表现为移动半径大于移动熵。不同的是,移动频率夏秋季对春季的差分全局莫兰指数在3个指标中最大,而冬季则最小。冬季与春季移动频率的差值在空间上集聚现象并不显著。对于同一移动性指标,移动半径和移动熵的差分全局莫兰指数表现为冬—春最大、秋—春次之、夏—春最小的特征,而移动频率恰好相反。

3.2.2 差分局部空间自相关特征

差分局部莫兰指数具体显示出了移动性的季节性差值在空间上的集聚特征,其结果反映出不同居住空间老年人移动性对于季节变化的敏感程度(图3)。可以看出,圈层式发展的结构仍明显存在,但与单个季节老年人移动性的空间集聚分布相比,季节差的集聚区域明显减少,且分布结构更加简单。此外,在热点区和冷点区中分别出现了较多的低—高和高—低集聚点,说明在受到空间强烈制约的区域周围存在较多极化点,相邻的空间单元表现出的影响可能是不同甚至相反的,这些差异在更微观的尺度上可能体现得更加明显。

移动频率和移动熵中表现出显著相关的集聚点主要零散或呈组团式地分布在城市边缘,主要位于三山区西部和南部以及鸠江区东北部,而在城市中心和中心外围则几乎没有分布。这说明居住在城市外围的老年人移动频率和移动熵受到季节因素的影响与居住空间的限制有显著关联,空间应对

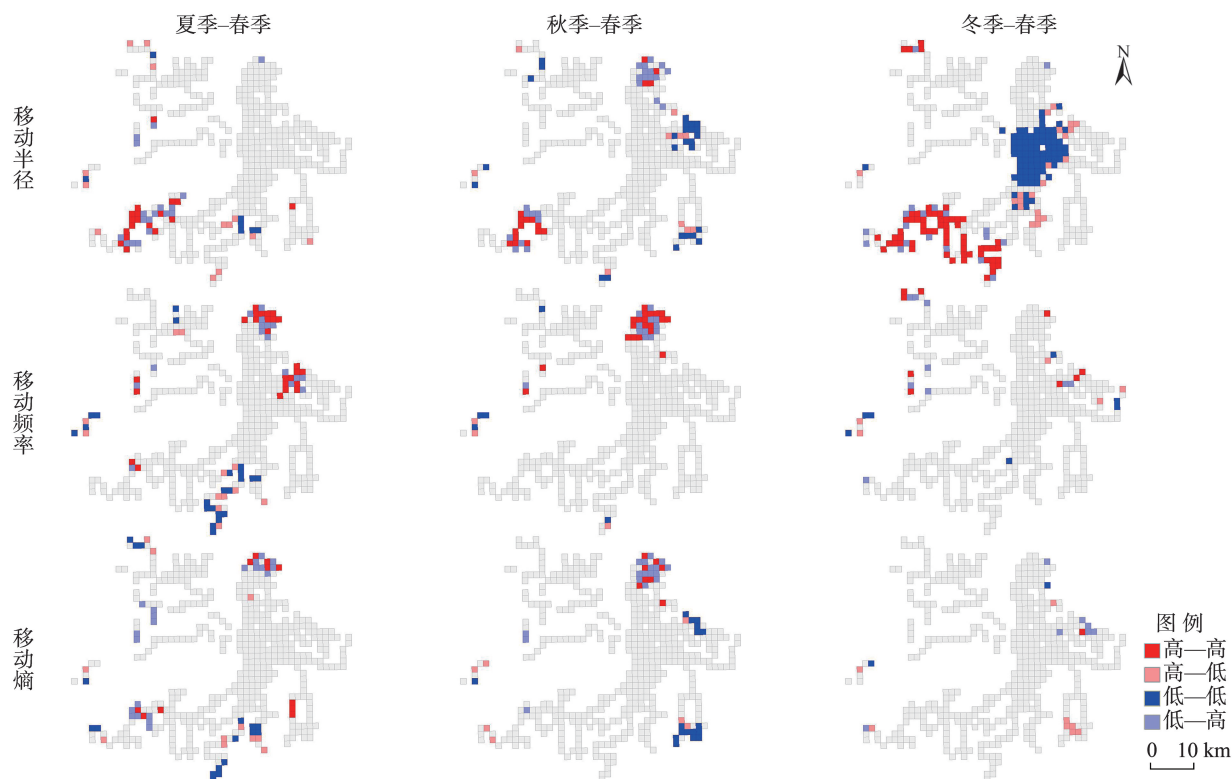


图3 老年人移动性季节差分局部空间自相关特征

Fig.3 Local spatial autocorrelation characteristics of seasonal differences in mobility of the elderly

季节变化的能力更弱。3组差值中,秋季与春季差值集聚最明显,尤其体现在鸠江区东北部;而冬季—春季的值在空间上几乎没有集聚现象,即影响倾向于随机分布。夏、秋季与春季移动半径差值的空间集聚现象与移动频率、移动熵类似,但冬季与春季移动半径差值在城市中心和中心外围地区呈现大片明显的冷点,并在周围伴有少量高一低集聚点,同时在三山区大部分地区出现了高一高集聚点和低—高集聚混合的区域,即冬季相对于春季的移动半径变化在这些区域空间相关性显著。

出现显著空间集聚的区域对季节变化更加敏感,居住在这些地区的老年人在季节更替过程中移动意愿和能力更容易受到空间限制。过往有研究对20~64岁样本的调查发现,季节变化引起活动空间的改变与居住在位置的关联并不显著,这与本文的发现有一定出入^[24]。本文面向的70岁以上老年人群由于自身移动能力显著下降,应对季节变化时对居住空间设施和服务供给的依赖增强,因而出现了更加明显的空间相关性。老年人出行的季节变化可以从供需两方面共同解读。其一,已有研究表明充足的公共交通供给(如公交站点和线路的密度)

对老年人的公交出行有支持作用^[44-45]。因此,城市中心居住的老年人应对季节变化的能力相对较强,季节变化对公交出行产生额外的促进或阻碍作用较弱;相反,城市边缘公共交通设施不完善,季节变化带来的促进或阻碍作用可能会被放大化。其二,城市中心较为完善的生活设施减少了公交出行需求,因而在气候条件较为极端的冬季移动半径表现出大范围冷点^[21]。对老年人个体而言,季节和空间双重作用导致了公交出行的需求和能力在时空层面的不断变化,这对其自主生活能力和生活品质都具有重大影响。通过静态和动态相结合的方式探讨老年人的出行特征可以更加精准地刻画老年人的生活和空间需求,进而提出更具针对性的时空干预策略。

4 结论与讨论

公交移动性是老年人生活质量的重要保障,分析老年人公交移动性的时空分异特征对充分理解老年人较长距离的出行需求有重要意义。在老龄化趋势愈发明显的背景下,如何发现老年人的出行

需求并进一步提升老年人的移动性是城市建设管理中面对的重要问题。

已有研究多基于横截面数据探讨城市居民移动性的时空分异特征,缺少对较长时间序列的比较分析,且对特定群体的关注不足。利用公交卡号对城市中特定人群公交出行的提取分析为聚焦分析其公交移动性提供了新思路,一定程度上弥补了大数据分析对人群属性关注不足的问题。本文基于老年人的公交出行特征,利用移动半径、移动频率和移动熵3个指标对老年人公交移动性进行描述,从静态和动态2个方面分析老年人公交移动性在不同季节及季节间差异的空间集聚特征,拓展了对老年人移动性分异特征的时空分析范围。研究结果可以为提升城市老年人移动性、建设老年友好型城市提供决策依据和方法参考。

实证研究发现:①老年人公交移动性在空间上的集聚效应明显,并呈现出城市中心、城市中心外围和城市边缘3个圈层式分布的集聚区。移动半径由内而外表现出冷点—热点—冷点的特征,而移动频率和移动熵主要呈现出城市中心及中心外围热点、城市边缘冷点的集聚模式。在城市中心居住的老年人往往拥有频繁且多样的短距离出行;在城市中心外围居住的老年人出行距离的空间依赖降低,但移动空间多样化的集聚现象更加明显;城市边缘的空间集聚现象表现出明显的组团集中趋势,且高低值混合分布态势明显,这些地区居住的老年人尽管受到较强的空间约束,但出行特征较为多样,空间极化现象明显。②不同城市居住空间和不同移动性指标对季节变化的敏感程度存在较大差异。季节单因素对于老年人公交出行的直接影响较弱,不同季节的空间集聚特征在结构上保持稳定,仅在集聚范围上有一定变化。季节的变化引起老年人移动性的变化量在空间上的分布具有集聚性,但冷热点主要集中在城市边缘区域,城市中心和中心外围的变化量倾向于随机分布,但冬季与春季的移动性差值在城市中心出现了明显的冷点。相对于春季,夏季和秋季移动频率和移动熵的变化在城市边缘体现的空间依赖更强;移动半径则是在冬季与春季差值中在城市中心出现明显集聚,夏季和秋季的变化值更倾向于随机。

进一步,基于分析结果可以对老年人移动性的影响因素进行定性解释和探讨。从季节时空分异特征可以看出,空间因素可能是影响老年人移动性的直接决定因素,而季节因素则可能主要通过影响

老年人对空间需求的变化间接影响老年人移动性。有调查显示,季节变化并不是限制移动的直接因素,而是加强了对其他因素的限制作用^[46]。本文提供了季节和居住空间对老年人移动性协同影响的实例。空间上资源配置的不均衡一方面直接影响了老年人的移动性,另一方面还造成了季节对老年人移动性影响程度的差异。在实证地芜湖,单中心的城市结构表现出交通和生活设施供给从城市中心向边缘的减少,从而导致了老年人移动半径、移动频率和移动熵的季节时空分异格局,并进一步促成了季节变化对空间敏感程度由内而外圈层式递减的特征。

在实践层面,在城市建设管理中针对不同时空条件下老年人出行需求的分异调配公共交通资源可以有效提升老年人出行能力,从而更加精准地提高老年人生活质量和幸福感。一方面,从社会公平的角度强化设施可达性较低区域的公共交通配置,有助于老年人克服居住分异带来的影响。另一方面,空间资源的配置不应是固定不变的,针对不同类型老年人出行的需求差异,在时间维度上对公共资源进行灵活分配和调整,如利用定制公交等智慧手段弥补特定地区特定时间的交通需求,对于利用有限资源提高老年人移动性,提升城市精细化治理水平具有很强的现实意义。

此外,在分析过程中还发现,尽管老年人移动性的空间集聚现象明显,但在集聚区内部和周围都存在一定数量的特殊极值点。这可能是受到老年人个人社会经济属性、健康状况等因素的影响,也可能与更加微观尺度上的社区类型、公交站点可达性等因素有关。未来将宏观出行大数据与个体属性小数据进行结合分析,可能更有利于对老年人移动性进行更为细致而深入的理解^[47]。

参考文献(References)

- [1] Metz D H. Mobility of older people and their quality of life [J]. *Transport Policy*, 2000, 7(2): 149-152.
- [2] Yen I H, Anderson L A. Built environment and mobility of older adults: Important policy and practice efforts [J]. *Journal of the American Geriatrics Society*, 2012, 60(5): 951-956.
- [3] 周洁, 柴彦威. 中国老年人空间行为研究进展 [J]. *地理科学进展*, 2013, 32(5): 722-732. [Zhou Jie, Chai Yanwei. Research progress on spatial behaviors of the elderly in China. *Progress in Geography*, 2013, 32(5): 722-732.]
- [4] Mollenkopf H, Marcellini F, Ruoppila I, et al. Outdoor mo-

- bility and social relationships of elderly people [J]. Archives of Gerontology and Geriatrics, 1997, 24(3): 295-310.
- [5] Schwanen T, Ziegler F. Wellbeing, independence and mobility: An introduction [J]. Ageing and Society, 2011, 31(5): 719-733.
- [6] Nordbakke S, Schwanen T. Well-being and mobility: A theoretical framework and literature review focusing on older people [J]. Mobilities, 2014, 9(1): 104-129.
- [7] Rosso A L, Auchincloss A H, Michael Y L. The urban built environment and mobility in older adults: A comprehensive review [J]. Journal of Aging Research, 2011: 816106, doi: 10.4061/2011/816106.
- [8] 毛海彪, 任福田. 中国老年交通特征、问题与对策研究 [J]. 重庆建筑大学学报, 2005, 27(3): 30-33, 56. [Mao Haixiao, Ren Futian. Research on characteristics, problem and improvement suggestions of traffic for Chinese old people. Journal of Chongqing Architecture University, 2005, 27(3): 30-33, 56.]
- [9] 宋彦李青, 王竹影. 城市老年人活动: 出行行为特征及相关建成环境影响研究 [J]. 西南交通大学学报(社会科学版), 2018, 19(6): 77-89. [Song Yanliqing, Wang Zhuying. Study on the characteristics of activity-travel behavior of urban elderly and the impact of related built environment. Journal of Southwest Jiaotong University (Social Sciences), 2018, 19(6): 77-89.]
- [10] Vichitvanichphon S, Talaei- Khoei A, Kerr D, et al. What does happen to our driving when we get older? [J]. Transport Reviews, 2015, 35(1): 56-81.
- [11] Stjernborg V, Wretstrand A, Tesfahuney M. Everyday life mobilities of older persons: A case study of ageing in a suburban landscape in Sweden [J]. Mobilities, 2015, 10(3): 383-401.
- [12] Pettersson P, Schmöcker J D. Active ageing in developing countries? Trip generation and tour complexity of older people in Metro Manila [J]. Journal of Transport Geography, 2010, 18(5): 613-623.
- [13] Truong L T, Somenahalli S V C. Exploring frequency of public transport use among older adults: A study in Adelaide, Australia [J]. Travel Behaviour and Society, 2015, 2(3): 148-155.
- [14] Green J, Jones A, Roberts H. More than A to B: The role of free bus travel for the mobility and wellbeing of older citizens in London [J]. Ageing and Society, 2014, 34(3): 472-494.
- [15] 谷志莲, 柴彦威. 城市老年人的移动性变化及其对日常生活的影响: 基于社区老年人生活历程的叙事分析 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(12): 1617-1627. [Gu Zhilian, Chai Yanwei. Change of mobility of urban elderly and effects on their daily life: A narrative analysis of the life of a retired couple living in an urban community. Progress in Geography, 2015, 34(12): 1617-1627.]
- [16] Nagel C L, Carlson N E, Bosworth M, et al. The relation between neighborhood built environment and walking activity among older adults [J]. American Journal of Epidemiology, 2008, 168(4): 461-468.
- [17] Frank L, Kerr J, Rosenberg D, et al. Healthy aging and where you live: Community design relationships with physical activity and body weight in older Americans [J]. Journal of Physical Activity and Health, 2010, 7(S1): S82-S90.
- [18] Gómez L F, Parra D C, Buchner D, et al. Built environment attributes and walking patterns among the elderly population in Bogotá [J]. American Journal of Preventive Medicine, 2010, 38(6): 592-599.
- [19] Hjorthol R. Transport resources, mobility and unmet transport needs in old age [J]. Ageing and Society, 2013, 33(7): 1190-1211.
- [20] 姜玉培, 甄峰, 王文文, 等. 城市建成环境对居民身体活动的影响研究进展与启示 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(3): 357-369. [Jiang Yupei, Zhen Feng, Wang Wenwen, et al. Influence of urban built environment on residents' physical activity: Review and implications. Progress in Geography, 2019, 38(3): 357-369.]
- [21] 黄建中, 吴萌. 特大城市老年人出行特征及相关因素分析: 以上海市中心城为例 [J]. 城市规划学刊, 2015(2): 93-101. [Huang Jianzhong, Wu Meng. An investigation and analysis of travel characteristics and related factors of the elderly population in megacities: The case of the central area in Shanghai. Urban Planning Forum, 2015(2): 93-101.]
- [22] 郭思慧, 文聪聪, 何云, 等. 居民出行活动特征与收入水平的关系: 以上海市为例 [J]. 地理科学进展, 2017, 36(9): 1158-1166. [Guo Sihui, Wen Congcong, He Yun, et al. Relationship between travel behavior and income level of urban residents: A case study in Shanghai Municipality. Progress in Geography, 2017, 36(9): 1158-1166.]
- [23] 闫晴, 李诚固, 陈才, 等. 基于手机信令数据的长春市活动空间特征与社区分异研究 [J]. 人文地理, 2018, 33(6): 35-43. [Yan Qing, Li Chenggu, Chen Cai, et al. Characteristics of activity space and community differentiation in Changchun: A study using mobile phone signaling data. Human Geography, 2018, 33(6): 35-43.]
- [24] Järv O, Ahas R, Witlox F. Understanding monthly variability in human activity spaces: A twelve-month study using mobile phone call detail records [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2014, 38: 122-135.
- [25] Matz C J, Stieb D M, Davis K, et al. Effects of age, season, gender and urban-rural status on time-activity: Cana-

- dian Human Activity Pattern Survey 2 (CHAPS 2) [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2014, 11(2): 2108-2124.
- [26] Liu Y, Liu X, Gao S, et al. Social sensing: A new approach to understanding our socioeconomic environments [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2015, 105(3): 512-530.
- [27] Cinderby S, Cambridge H, Attuyer K, et al. Co-designing urban living solutions to improve older people's mobility and well-being [J]. *Journal of Urban Health*, 2018, 95: 409-422.
- [28] Rantakokko M, Iwarsson S, Vahaluoto S, et al. Perceived environmental barriers to outdoor mobility and feelings of loneliness among community-dwelling older people [J]. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 2014, 69(12): 1562-1568.
- [29] Cepeda M, Koolhaas C M, van Rooij F J A, et al. Seasonality of physical activity, sedentary behavior, and sleep in a middle-aged and elderly population: The Rotterdam study [J]. *Maturitas*, 2018, 110: 41-50.
- [30] 甄峰, 翟青, 陈刚, 等. 信息时代移动社会理论构建与城市地理研究 [J]. *地理研究*, 2012, 31(2): 197-206. [Zhen Feng, Zhai Qing, Chen Gang, et al. Mobile social theory construction and urban geographic research in the information era. *Geographical Research*, 2012, 31(2): 197-206.]
- [31] 黄怡, 朱晓宇. 城市老年人的日常活动特征及其感知评价的影响因素: 以上海中心城社区为例 [J]. *上海城市规划*, 2018(6): 87-96. [Huang Yi, Zhu Xiaoyu. Research on features of daily activities of urban elderly and influence factors of their perception evaluation: A case study of communities in central area of Shanghai. *Shanghai Urban Planning Review*, 2018(6): 87-96.]
- [32] 吴志建, 王竹影, 宋彦李青, 等. 城市老年人户外体力活动时空特征的社区分异: 基于GIS、GPS、加速度计的实证研究 [J]. *人文地理*, 2019, 34(5): 53-61. [Wu Zhijian, Wang Zhuying, Song Yanliqing, et al. Community differentiation of spatial and temporal characteristics of outdoor physical activity in urban elderly: An empirical study based on GIS, GPS and accelerometer. *Human Geography*, 2019, 34(5): 53-61.]
- [33] 关庆锋, 任书良, 姚尧, 等. 耦合手机信令数据和房价数据的城市不同经济水平人群行为活动模式研究 [J]. *地球信息科学学报*, 2020, 22(1): 100-112. [Guan Qingfeng, Ren Shuliang, Yao Yao, et al. Revealing the behavioral patterns of different socioeconomic groups in cities with mobile phone data and house price data. *Journal of Geo-information Science*, 2020, 22(1): 100-112.]
- [34] Huang X, Tan J. Understanding spatio-temporal mobility patterns for seniors, child/student and adult using smart card data [J]. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2014, XL-1: 167-172. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-1-167-2014.
- [35] Downs J A, Horner M W. A characteristic-hull based method for home range estimation [J]. *Transactions in GIS*, 2009, 13(5): 527-537.
- [36] van Dijk J, Krygsman S. Analyzing travel behavior by using GPS-based activity spaces and opportunity indicators [J]. *Journal of Urban Technology*, 2018, 25(2): 105-124.
- [37] Song C M, Qu Z H, Blumm N, et al. Limits of predictability in human mobility [J]. *Science*, 2010, 327: 1018-1021.
- [38] Tang J J, Liu F, Wang Y H, et al. Uncovering urban human mobility from large scale taxi GPS data [J]. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 2015, 438: 140-153.
- [39] 齐兰兰, 周素红. 邻里建成环境对居民外出型休闲活动时空差异的影响: 以广州市为例 [J]. *地理科学*, 2018, 38(1): 31-40. [Qi Lanlan, Zhou Suhong. The influence of neighborhood built environments on the spatial-temporal characteristics of residents' daily leisure activities: A case study of Guangzhou. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(1): 31-40.]
- [40] 钟炜菁, 王德. 基于居民行为周期特征的城市空间研究 [J]. *地理科学进展*, 2018, 37(8): 1106-1118. [Zhong Weijing, Wang De. Urban space study based on the temporal characteristics of residents' behavior. *Progress in Geography*, 2018, 37(8): 1106-1118.]
- [41] 周素红, 邓丽芳. 城市低收入人群日常活动时空集聚现象及因素: 广州案例 [J]. *城市规划*, 2017, 41(12): 17-25, 81. [Zhou Suhong, Deng Lifang. Spatio-temporal agglomeration of low-income people's daily activities and related factors: A case study of Guangzhou. *City Planning Review*, 2017, 41(12): 17-25, 81.]
- [42] Anselin L. An introduction to spatial data analysis: Local spatial autocorrelation (2) advanced topics [EB/OL]. 2019-03-06 [2020-03-01]. http://geodacenter.github.io/workbook/6b_local_adv/lab6b.html.
- [43] 谭一泓, 柴彦威, 关美宝. 地理背景对时空行为分析的影响及其空间分异: 基于西宁市的实证研究 [J]. *城市发展研究*, 2017, 24(3): 22-30. [Tan Yiming, Chai Yanwei, Kwan Meipo. Spatial variations of the geographic contextual effects on space-time behavior analysis: An empirical study in Xining, China. *Urban Studies*, 2017, 24(3): 22-30.]
- [44] 石飞, 居阳. 公交出行分担率影响因素分析: 基于南京主城区的实证研究 [J]. *城市规划*, 2015, 39(2): 76-84. [Shi Fei, Ju Yang. Analysis on influencing factors of pub-

- lic transportation share: An empirical study of central Nanjing. *City Planning Review*, 2015, 39(2): 76-84.]
- [45] Yang L C, Cui X. Determinants of elderly mobility in Hong Kong: Implications for elderly-friendly transport [J]. *China City Planning Review*, 2020, 29(1): 74-83.
- [46] Kolodinsky J, Roche E, DeSisto T, et al. Seasonality, mobility, and livability [R/OL]. Burlington, USA: University of Vermont Transportation Research Center, 2012-01-31 [2020-04-26]. <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/24497>.
- [47] 秦萧, 甄峰. 大数据与小数据结合: 信息时代城市研究方法探讨 [J]. *地理科学*, 2017, 37(3): 321-330. [Qin Xiao, Zhen Feng. Combination between big data and small data: New methods of urban studies in the information era. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(3): 321-330.]

Seasonal and spatiotemporal differences in the public transport-based mobility of elderly population: A case study of Wuhu City in Anhui Province

LI Zhixuan^{1,2}, ZHEN Feng^{1,2*}, ZHANG Shanqi^{1,2}, YANG Yu³

(1. School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2. Provincial Engineering Laboratory of Smart City Design Simulation & Visualization, Nanjing 210093, China;

3. Yakka System & Technology (Jiangsu) Co., Ltd, Nanjing 210046, China)

Abstract: Mobility is an important factor that influences the quality of life of elderly population. Improving the mobility of the elderly is an important means to prolong their independent living time and thereby reduce the cost of elderly care of the society. Public transport is the most important transportation mode for the Chinese elderly population when they travel for a long distance. Despite many studies focusing on the elderly's mobility through walking, insufficient attention has been paid to the public transport-based mobility. This study took Wuhu City as the study area and examined the pattern of the elderly's public transport-based mobility using smart card data. In particular, three parameters—movement radius, movement frequency, and movement entropy—were first used to quantify elderly's public transport-based mobility. Spatial autocorrelation methods were applied to analyze how elderly's public transport-based mobility patterns are spatially aggregated in different seasons and how the patterns vary under seasonal changes. The results show that: 1) Elderly's public transport-based mobility shows an obvious spatial aggregation pattern. The clusters are circularly distributed across the city, with the city center, the periphery of the city center, and the edge of the city showing different aggregation characteristics. Specifically, the radius of movement shows a crossed distribution of cold spots and hot spots from the city center to the outskirts of the city; the movement frequency and movement entropy show a wide range of hot spots in the city center and the periphery of the city center, while the cold spots are distributed in groups on the edge of the city. The agglomeration characteristics did not show structural changes in different seasons, but there were differences in the location and range of agglomeration. 2) The spatiotemporal differentiation of the elderly's public transport-based mobility is compound. Although the overall influence of seasonal factors on the mobility of the elderly population is weak, there is a significant concentration in specific places. However, the sensitivity of different urban spaces to seasonal change is different, and it mainly increases from the city center outward. The study enriches elderly mobility research by developing an understanding on public transport-related mobility behavior of the elderly, and by exploring the spatiotemporal differentiations of public transport-based mobility across seasons. Empirically, this study can shed light on planning strategies and policy recommendations for developing elderly-friendly cities.

Keywords: public transport-based mobility; elderly population; spatiotemporal differentiation; season; Wuhu City