

建成环境对老年人活力出行的影响 ——基于极端梯度提升决策树的研究

刘吉祥¹, 肖龙珠², 王波^{3*}

1. 香港大学建筑学院, 香港 999077

2. 香港城市大学建筑学与土木工程系, 香港 999077

3. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275

摘要 活力出行与老年人移动能力、身心健康和生活品质息息相关。以厦门为案例, 采用极端梯度提升决策树模型, 探究建成环境和老年人活力出行之间的非线性关系。研究发现: 出行距离是影响老年人是否活力出行的最重要因素; 建成环境要素的相对重要性远高于社会经济属性; 全部建成环境变量与老年人活力出行之间均存在复杂的非线性关系和“阈值”效应; 出发地和目的地建成环境变量的影响模式存在异同。

关键词 建成环境; 老年人; 活力出行

中国已经进入老龄化时代, 并即将进入深度老龄化时代。1999年末, 60岁及以上人口占全部人口比例达到10.3%, 标志着中国正式进入老龄化社会。近年来, 随着人们生活水平和人均寿命的进一步提高, 老年人口总量和比例均持续上升。截至2019年底, 中国拥有2.54亿60岁及以上人口, 占比达到18.1%, 而65岁及以上人口亦达到1.76亿, 占比达12.6%, 已经接近深度老龄化国际标准(即65

岁及以上人口占总人口14%)。深度发展的老龄化为中国城市和交通发展带来了前所未有的挑战, 也为城市和交通规划等公共政策提出了适老化改革的全新要求^[1-2]。

活力出行(active travel)的定义源自西方学术界, 亦有译作“主动出行”, 是指基于出行者身体活动以运输人或物的交通出行方式, 通常包括步行和自行车出行。根据世界卫生组织的定义, “积极老

收稿日期: 2020-09-17; 修回日期: 2021-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41901191); 中央高校基本科研业务费专项(19lgpy42)

作者简介: 刘吉祥, 博士研究生, 研究方向为建成环境与出行行为, 电子信箱: u3004679@hku.hk; 肖龙珠(共同第一作者), 博士研究生, 研究方向为建成环境与出行行为, 电子信箱: longzxiao2-c@my.cityu.edu.hk; 王波(通信作者), 副教授, 研究方向为信息通信技术与智慧城市、城市与区域规划、活动空间与交通地理, 电子信箱: wangbo68@mail.sysu.edu.cn

引用格式: 刘吉祥, 肖龙珠, 王波. 建成环境对老年人活力出行的影响——基于极端梯度提升决策树的研究[J]. 科技导报, 2021, 39(8): 102-111; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.08.012

龄化”是指一项“尽可能增加健康、参与和保障的机会的过程,以提高人们老年时的生活质量”。活力出行作为一种便捷、技术门槛低的交通方式,是老年人机动性或可移动能力、独立性的重要保证,使老年人可以持续参与社会、经济、文化事务,对老年人和谐的社会关系的构建和生活品质提升具有十分积极的作用。同时,活力出行也是体力活动的重要形式,对老年人身体和心理健康均具有重要的意义^[3]。如荷兰的一项研究表明,老年人的体力活动(包括步行、自行车和家务劳动等)可以显著提高老年人健康相关的生活质量水平^[4]。更多研究证实:步行对于老年人各项身体机能的维持与恢复^[5]、焦虑等负面情绪以及抑郁症等心理疾病的预防及舒缓^[6]以及心脑血管和糖尿病等慢性疾病的预防和减轻均具有积极的作用^[7-8]。同样,积极使用自行车出行的老年人也被证实患高血压、心脏病和高血脂等慢性非传染病的风险显著降低^[9]。总之,老年人活力出行对于积极老龄化具有突出的促进作用。因此,关注老年人活力出行,探究建成环境对老年人活力出行的影响,可以助力城市和交通规划等公共政策更好地适应老龄化社会,为老年人健康生活方式创造积极条件,提高老年人健康水平和生活品质,实现积极老龄化。

老年人活力出行及其建成环境影响因素吸引了城市和交通规划、地理学以及公共健康等领域学者和专业人士的关注。此类研究首要的一步在于合理地刻画建成环境,众多刻画方法中最经典、接受程度最高、影响最为广泛的是“3Ds”模型。该模型由 Cervero 和 Kockelman^[10]共同提出,采用密度(density)、土地利用混合度(diversity)和设计(design)来提炼和测度城市建成环境的特征。其后,“3Ds”模型又被拓展为“5Ds”模型(增加了目的地可达性 destination accessibility 和公交站点距离 distance to transit)和“7Ds”模型(增加了交通需求管理 demand management 和人口统计特征 demographics)^[11]。关于以“Ds”模型测度的建成环境对活力出行的影响的研究非常多,专注于老年人的研究也不在少数。总体上,在西方的情境下,较高的密度、土地利用混合度、适于步行和自行车的设计、较高的

目的地可达性和较短的公交站点距离,可以显著地促进老年人活力出行^[12-16]。相较于西方情景,针对国内案例的研究发现社区休闲环境(包括邻近公园、菜市场、棋牌室以及运动设施等)显著影响老年人步行行为^[17-18]。然而,现有研究还存在以下两个方面的不足。

1) 当前研究忽视目的地建成环境对老年人出行行为的影响。大部分研究仅关注居住社区(即出发地)建成环境对老年人出行行为的影响,很少同时关注出发地和目的地建成环境的作用及其异同。虽然老年人大部分出行行程较短,但仍有相当比例出行行为远离其居住地,在进行出行决策时(例如决定选择何种出行方式或何时出行)不仅受出发地的影响,同时也受目的地建成环境状况的影响。仅考虑居住地建成环境可能造成对建成环境和老年人出行行为之间关系估计的偏差。因此,有必要同时探究出发地和目的地的建成环境对老年人交通出行的影响,并比较其异同。

2) 当前研究大多基于线性假设,缺少非线性关系的探讨。绝大多数研究假设建成环境和老年人出行行为之间为线性或广义线性关系,很少有研究探讨两者之间的非线性关系,以及可能存在的“阈值”效应。Cheng 等^[19]通过南京的案例,发现建成环境(包括人口密度、土地利用混合度和街道连通性等)与老年人步行时长之间存在明显的非线性关系。此研究是笔者已知目前关于老年人出行行为受建成环境非线性影响的唯一的研究。建成环境对老年人出行行为非线性影响的作用机制可能包括“同群效应(peer effect)^[20]”——即老年人的出行行为可能受其他老年人行为的影响,和“交通行为本身的正效用^[21]”——即出行行为本身会为老年人带来益处因此较难被取代。非线性关系和阈值效应将为城市和交通规划带来全新的政策启示。例如,某些建成环境特征可能只在某一区间对老年人出行产生影响,这就要求城市决策者更准确地理解建成环境和老年人出行行为的这种复杂关系,并对相关政策作出相应的调整。传统统计模型通常预设线性或广义线性关系,较难揭示复杂的非线性关系。近年来,机器学习等方法日趋成熟,并已经

逐渐应用于交通出行研究领域。例如,有学者利用梯度提升决策树(GBDT)考察建成环境对通勤方式选择^[22]、小汽车出行距离^[23]、活力出行^[24]以及交通相关碳排放^[25]的影响。另外,随机森林^[26]、深度学习等多种机器学习方法^[27-28]也已被应用于交通方式选择等领域。

鉴于此,本研究以厦门岛为案例,基于极端梯度提升决策树模型,同时探究出发地和目的地建成环境对厦门60岁及以上老年人活力出行的影响,重点揭示其非线性关系。

1 数据与方法

1.1 案例地与数据

本研究选取厦门市中心城区——厦门岛作为案例。厦门坐落在中国东南沿海,是中国最早的经济特区之一,因其舒适的气候、宜人的居住条件以及发达的旅游业而闻名,有“海上花园”美誉。包括6个区级行政单元,其中思明区和湖里区构成厦门岛,是厦门发展最早和目前城市建设最完善的区域。厦门市政府、商务中心(即中山路步行街)、厦门火车站和厦门国际机场等重要公共设施均位于岛内。海沧区、集美区、同安区和翔安区位于岛外,与岛内二区隔海相望。岛外4区近年来也发展迅速,但仍保留了大片乡村地区。出于调查、统计和研究城市交通的需要,厦门被划分为171个交通分析区(traffic analysis zone, TAZ),其中,厦门岛内包含80个。作为厦门市发展最完善、城市化水平最高的区域,以厦门岛为案例地可以帮助我们更准确地探究城市老年居民的出行特征及其影响因素。

本研究所用数据包括3种类型:老年人出行行为数据、老年人社会经济属性数据和建成环境数据。出行行为数据包含了受访老年人在调查日24小时内所有出行行程的起讫点所属交通分析区(TAZ)、出行距离以及主要的出行方式等信息。社会经济属性数据包含受访老年人年龄、性别、家庭规模、住房大小、教育程度以及家庭是否拥有小汽车等信息。老年人出行行为数据和社会经济属性数据抽取自厦门市2015年居民出行行为调查,选

取60周岁及以上、且出行起讫点均位于厦门岛内的受访者作为研究对象。厦门市居民出行调查是一项长期的交通调查计划,每5年进行一次,由厦门市交通局、厦门市城市规划设计研究院和中国城市规划设计研究院厦门分院共同设计和组织。厦门2015年出行调查采用分层抽样,共发放调查问卷120603份,收回96010份,其中有效答卷93812份。居民抽样比例达到3.05%,有效答复率达到97.80%,能够有效地代表厦门市全体居民。建成环境数据包括厦门城市交通基础设施、土地利用、城市设计特征等。建成环境数据经过了地理信息系统(GIS)进一步分析处理,分析过程以TAZ作为空间分析单元。

1.2 变量

1) 因变量。本研究因变量为二元虚拟变量(0,1),即老年人在受访日24小时内是否进行活力出行。亦即,若某受访老年人在受访日内进行了一次或以上的步行或自行车出行,则因变量取值为1,若某老年人在受访日内未进行任何步行或自行车出行,则因变量取值为0。

2) 自变量。本研究自变量包括3种类型:出行行程相关特征变量、社会经济属性变量和建成环境变量。其中,选取出行距离作为出行行程相关特征变量。社会经济属性变量包括年龄、性别(男=0,女=1)、受教育程度(1=低,2=中,3=高)、户口类型(0=非厦门户口,1=厦门户口)、家庭规模、住房大小、住房类型(1=自购住房,2=单位住房,3=租赁住房)、家中是否有6周岁以下儿童(0=无,1=有)、是否有小汽车(0=无,1=有)。建成环境变量依据“5Ds”模型处理和计算,以TAZ为空间分析单元。包括人口密度、容积率、土地利用混合度(采用熵值Entropy计算)、道路交叉口密度、服务设施(包括学校、公园、商店、餐馆等日常生活设施)密度、距市中心(中山路)距离和公交站密度。

1.3 研究方法:极端梯度提升模型

极端梯度提升模型(extreme gradient boosting, XGBoost)是一种基于决策树的集成模型,既可用于回归,又可用于分类,其实质是对于Friedman^[29]提出的传统梯度提升决策树(gradient boosting deci-

sion tree, GBDT)的提升和优化。XGBoost由Chen等^[30]提出,由于具有运行速度快、准确度高、可调参数多等优点,现已成为决策树机器学习领域最常用的算法之一。作为一种集成方法,XGBoost基于加总训练的理念迭代生成低深度的决策树。简单地说,在XGBoost模型中,每一棵树都建立在对前一棵树的损失函数(loss function)最小化的基础上,并且赋予在前一棵树中被错误预测的案例以更高的权重。最终模型结果由过程中建立的所有树加总决定。

XGBoost模型拥有以下3个优点:第一,相比传统统计模型,XGBoost模型可以拟合因变量和自变量之间复杂的非线性关系;第二,XGBoost模型对于变量类型(例如:分类变量还是连续变量)、变量分布情况(例如:是否正太分布)以及异常值和缺失值等,具有很高的宽容度;第三,不少研究表明,XGBoost相比传统梯度提升决策树模型以及随机森林、神经网络和支持向量机等机器学习算法表现更优异。

XGBoost建模过程中,常需调整的参数包括eta(学习率,控制拟合过程每一步的权重、可用于提高模型准确率)、max_depth(最大树深,控制模型的复杂程度、可用于防止过拟合)、min_child_weight(最小叶子节点权重,用于防止过拟合)、subsample(随机采样比例,控制每棵树过程中随机采样的比例、可用于防止过拟合)、nrounds(最大迭代数)等。

2 模型结果与讨论

本研究利用R语言中“XGBoost”包拟合模型。常用参数中,eta设为0.001、max_depth设为10、min_child_weight设为0.8、nrounds设为10000,其余参数设为默认值。模型采用了5折交叉验证,经验证得知,最佳拟合树数目为9244,模型测试准确率达到84.2%。取得了良好的准确率,且不存在过拟合问题。

2.1 自变量相对重要性

相对重要性反映建模过程中各特征(即自变量)对于结果预测的相对贡献大小。表1为模型自

变量对于预测老年人步行或自行车出行概率的相对重要性。所有变量相对重要性之和为100%,其排名依据重要性从大至小依次排列。由表1可知,影响老年人是否以步行或自行车出行的最重要因素为出行距离,重要性占比达到43.02%。此发现与许多过往研究的结论,例如:Lu等^[31]和Adlakha等^[32]以及我们的预期相符合。步行或自行车虽然是最为普遍的交通方式,但其交通效率相对较低,尤其对于老年人而言,长距离步行或自行车出行对

表1 社会经济属性和建成环境变量相对重要性

变量	相对重要性/%	排名
行程特征		
出行距离	43.02	1
社会经济属性		
住房大小	4.63	2
年龄	2.91	14
家庭规模	1.24	18
性别	1.00	19
是否有小汽车	0.71	20
家中是否有6岁以下儿童	0.51	21
受教育程度	0.37	22
住房类型	0.33	23
户口类型	0.18	24
合计	11.88	
起始点建成环境		
容积率	3.84	3
道路交叉口密度	3.64	4
人口密度	3.33	8
服务设施密度	3.30	9
距离市中心距离	3.22	10
土地利用混合度	2.84	15
公交站密度	2.56	17
合计	22.73	
终点建成环境		
服务设施密度	3.49	5
道路交叉口密度	3.44	6
公交站密度	3.39	7
容积率	3.20	11
土地利用混合度	3.04	12
人口密度	2.98	13
距离市中心距离	2.83	16
合计	22.37	

体力可能存在挑战,因此活力出行行为对于距离通常非常敏感。

整体而言,建成环境变量重要性高于社会经济属性变量。具体来说,起始点和终点建成环境变量合计达到 45.10%,远高于社会经济属性(总计 11.88%),而起始点建成环境变量重要性和终点几乎一样。关于单个自变量重要性,除出行距离外,其他自变量的相对重要性均在 5% 以下。社会经济属性中重要性较高的变量包括住房大小和年龄,住房大小可以反映受访老年人的经济状况和社会阶层。众多研究表明,老年人的社会经济阶层与老年人的健康素养、身体健康程度以及闲暇时间利用方式有着紧密联系^[33-34]。年龄对老年人的身体机能能有显著影响,从而可以显著地影响其出行方式的选择。其他社会经济属性变量重要性均相对较低,值得注意的是,是否拥有小汽车对老年人步行或自行车概率影响极小,这与不少已有研究发现在高密度或公共交通主导的地区,如中国等众多发展中国家和地区,是否拥有小汽车对老年人出行行为影响很小的结论相呼应^[35],这同时是与中国老年人开车比例普遍较低的现状相适应的。建成环境变量相对重要性绝大多数大于 3%,且彼此间差距很小。其中,重要性排名较高的变量包括:起始点容积率、道路交叉口密度、人口密度和距离市中心的距离、终点服务设施密度、道路交叉口密度和公交站点密度等。

2.2 主要自变量与老年人活力出行非线性关系分析

XGBoost 算法中内嵌的部分依赖图(partial dependence plot)可以展现模型中的某个特征(feature,即自变量)对模型拟合结果的边际效应,从而揭示自变量对因变量可能存在的非线性关系。

1) 出行距离与老年人活力出行的非线性关系。图 1 为出行距离对老年人活力出行的影响,可以看出出行距离对老年人活力出行具有负向影响,同时在出行距离不同取值范围内此影响并不稳定,而是呈现明显的非线性关系和阈值效应。具体来说,出行距离对老年人活力出行的影响,可以划分为 3 段。在 0~5 km 范围内,出行距离与老年人活力出行几乎为线性相关关系;5~10 km 范围内,两

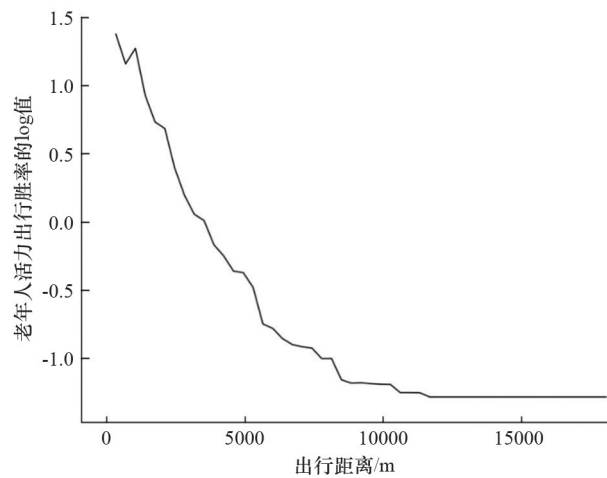


图1 出行距离对老年人活力出行的影响

者相关关系斜率逐渐减小直至为 0; 出行距离 10 km 以上,老年人活力出行的概率保持不变。

2) 住房大小和年龄与老年人活力出行的非线性关系。住房大小和年龄对老年人活力出行的影响,均呈现复杂的非线性关系。对于住房大小而言,0~120 m² 以内,住房大小对老年人活力出行的影响呈现较小幅度的波动,在 100 m² 左右达到最低值;120 m² 以上,住房大小的影响呈线性攀升,在 200 m² 左右达到最大值,并保持稳定。年龄对老年人活力出行的影响,呈现粗略的倒“U”型,在 70 岁左右,老年人活力出行概率达到峰值。60~70 岁区间内,虽然存在波动,呈现正相关;70 岁以上,呈现负相关,老年人活力出行概率逐渐降低。

图 2 为行程起始点和终点建成环境对老年人活力出行的影响。整体来说,所有建成环境变量均与老年人活力出行存在明显的非线性关系和阈值效应。

3) 容积率与老年人活力出行的非线性关系。起始点和终点容积率对老年人活力出行的影响模式非常接近,均可分为 3 个区间。0~1.0 范围内,呈现较小幅度的波动;1.0~2.2 范围内,呈负相关关系;2.2 以上,老年人活力出行概率保持恒定。粗略地看,容积率对老年人活力出行具有负向影响,这与西方情境下容积率(密度)与活力出行正相关的结论形成鲜明对比。出现这种结果的原因可能在于:第一,容积率较高的区域往往拥有较完善的公

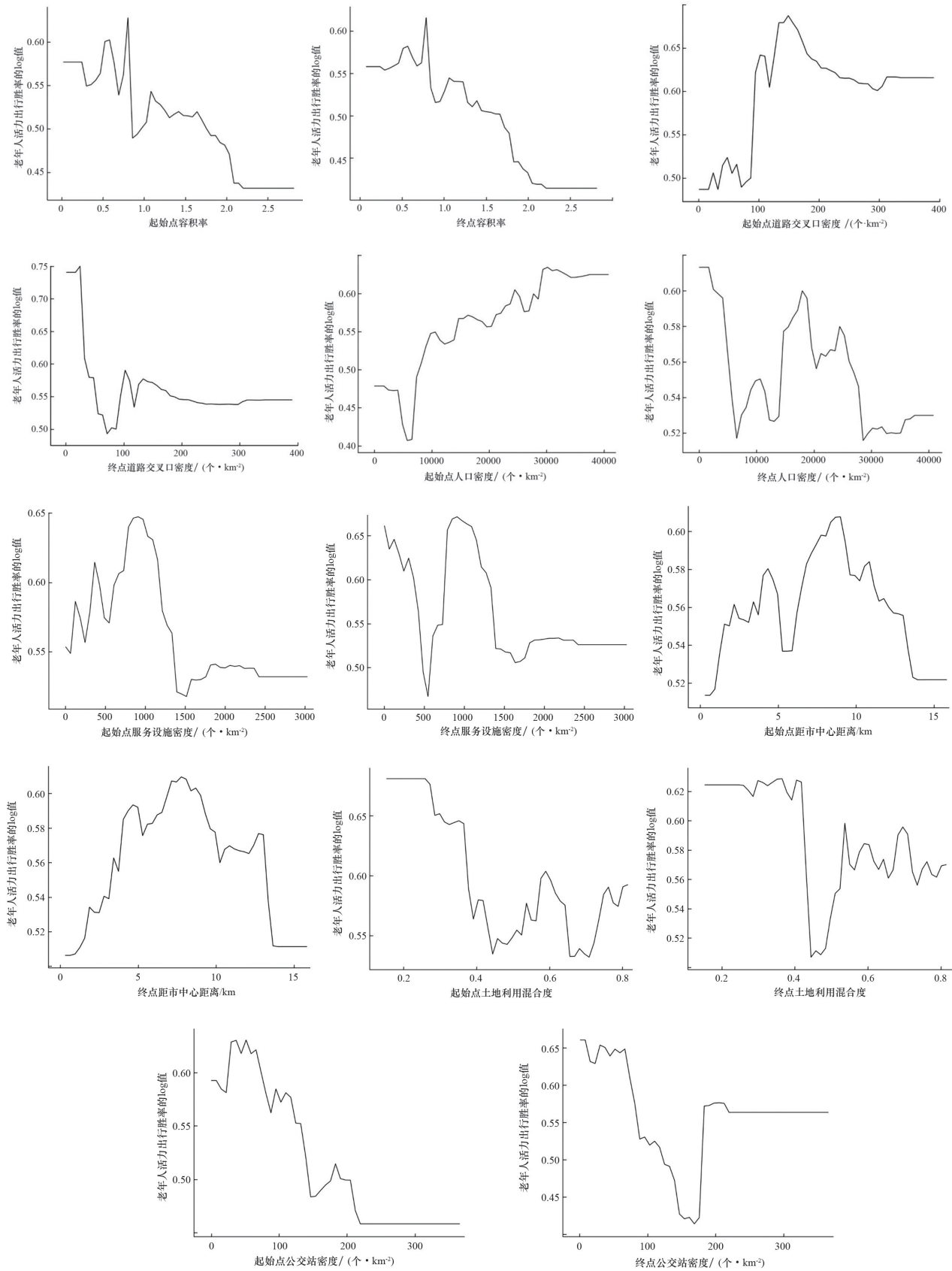


图2 起始点和终点建成环境对老年人活力出行的影响

公共交通配套,从而老年人公共交通出行比例较高,替代了部分老年人活力出行;第二,容积率较高的区域可能属于老城区或“城中村”,这些区域往往缺少步行或自行车设施或公共空间,活力出行环境较差。

4) 道路交叉口密度与老年人活力出行的非线性关系。起始点和终点道路交叉口密度对老年人活力出行的影响差别很大。起始点道路交叉口密度对老年人活力出行的影响可大致分为3个区间。0~90个/ km^2 范围为波动区间,90~150个/ km^2 为近线性正相关区间,150个/ km^2 以上为轻微负向相关直至稳定在较高水平。而终点道路交叉口密度可大致分为2个区间,0~100个/ km^2 为线性负向相关区间,100个/ km^2 以上,经过一段较小幅度的波动后,稳定在较低的水平。对比起始点和终点道路交叉口密度的影响可以发现,整体来说,居住在道路交叉口密度较高区域的老年人倾向于选择活力出行,而道路交叉口密度较低区域(可能为面积较大的公园等)则能吸引较多老年人步行或自行车前往。

5) 人口密度与老年人活力出行的非线性关系。起始点和终点人口密度对老年人活力出行的影响也有较大差别。起始点人口密度的影响,与老年人活力出行呈现正相关关系,并在30000人/ km^2 以上范围恒定在较高水平。这种正相关关系与众多研究发现一致。而终点人口密度与老年人活力出行的关系呈现明显的不规律性。

6) 服务设施密度与老年人活力出行的非线性关系。起始点和终点服务设施密度的影响模式大同小异。相同之处在于在500~1500个/ km^2 区间范围内,服务设施对老年人活力出行的影响呈现明显的倒“U”型,并在1000个/ km^2 左右达到峰值,且在1500个/ km^2 以上恒定在较低的水平。而相异之处在于起始点服务设施密度在0~500个/ km^2 区间内呈现轻微波动,而终点服务设施密度在此区间则与老年人活力出行呈明显负相关关系。

7) 距市中心距离与老年人活力出行的非线性关系。起始点和终点距市中心的距离的影响模式基本一致,均大致为倒“U”型,且在8 km左右达到峰值,即位于距离市中心8 km左右的区域,既有较

多的老年人选择步行或自行车出发,同时又吸引较多的老年人以活力出行方式前往。

8) 土地利用混合度与老年人活力出行的非线性关系。起始点和终点土地利用混合度的影响模式也大相迥异。起始点土地利用混合度与老年人活力出行呈现“恒定(0~0.3)+准线性负相关(0.3~0.45)+较大幅度波动(0.45以上)”的形态,而终点土地利用混合度与老年人活力出行的关系则为“恒定(0~0.4)+线性负相关(0.4~0.45)+线性正相关(0.45~0.55)+波动(0.55以上)”的复杂形态。

9) 公交站密度与老年人活力出行的非线性关系。起始点和终点公交站密度对老年人活力出行的影响模式比较接近。在0~200个/ km^2 范围内,呈接近线性的负相关关系,据此,可以推测老年人公共交通出行和活力出行之间,具有显著的替代作用。在200个/ km^2 以上的区间,起始点公交站密度与老年人活力出行的关系恒定在较低水平,而终点公交站密度则经过一段急剧的线性正相关后,稳定在较高水平。

综上所述,建成环境变量与老年人活力出行均呈较复杂的非线性关系,且部分变量对老年人活力出行的影响与已有研究结论截然不同(符号相反),如容积率、距市中心距离、土地利用混合度和公交站密度。同时发现,对于老年人活力出行,促使其发生的出发地和吸引其前往的目的地在建成环境特征方面有着较显著的区别。

3 结论

以厦门为案例,利用厦门2015年居民出行调查数据和厦门市建成环境数据,基于极端梯度提升模型,考察了厦门岛以“5Ds”模型刻画的建成环境与60岁及以上老年人是否活力出行之间的非线性关系。研究有以下发现。

1) 研究发现影响老年人活力出行概率最重要的因素是出行距离。老年人由于身体机能下降,不适合长距离出行。因此,为满足老年人生活需求,为其活力出行提供便利,应尽力缩短老年人所需出行距离。例如,在进行公共服务设施布局,尤其涉

及到老年人相关服务设施(如棋牌室、菜市场、老年人健身设施等)时,要特别注意进行适老化安排,结合老年人的分布,合理布局,适当提高密度,等。

2) 研究发现出发地和目的地建成环境对老年人活力出行具有重要作用,其加总相对重要性远大于社会经济属性的重要性。此发现证实城市和交通规划工作者可通过对城市建成环境的干预,促进老年人活力出行。另一方面,此发现也提醒城市和交通规划工作者应当谨慎、正确使用其专业技能,作出城市规划决策时,应考虑可能对老年人造成的影响。同时,研究发现容积率、服务设施密度和道路交叉口密度等变量对老年人活力出行的相对重要性较大。在适老化规划实践中可考虑优先从上述建成环境特征入手进行干预。

3) 部分依赖图揭示了建成环境与老年人活力出行之间复杂的非线性关系和阈值效应。总的来说,出发地和目的地建成环境对老年人活力出行的影响模式,既有相似之处,又有迥然而异的部分。部分建成环境变量与老年人活力出行的关系,与既有研究结论截然不同,这凸显了“情境(context)”在建成环境-出行行为研究中的重要性。此发现提醒城市和交通规划工作者应该更深入地理解建成环境和老年人活力出行之间的复杂关系,在规划实践中充分掌握本地实际情况,区别出发地和目的地,厘清规划干预手段能有效发挥作用的区间,据此进行相关政策制定或修订。

将来研究可从以下两个方面改进:第一,本研究采用数据为横截面数据,因此仅能探讨相关关系,未来研究可利用时间序列数据或面板数据以探究建成环境和老年人活力出行之间的因果关系。第二,所采用数据中缺少老年人出行偏好和态度等变量,因此未能控制“自选择”效应,然而已有研究证明,相比年轻人而言,老年人出行的“自选择”效应并不显著^[36]。

参考文献(References)

[1] 陈卉,甄峰. 信息技术对老年人的社区满意度影响路径[J]. 地理进展, 2016, 35(9): 1167-1176.
[2] 王波,卢佩莹,曹彦芹,等. 中国养老政策的演进及智慧

社会下居家养老的发展[J]. 科技导报, 2019, 37(6): 6-12.

- [3] 姜玉培,甄峰,孙鸿鹄,等. 健康视角下城市建成环境对老年人日常步行活动的影响研究[J]. 地理研究, 2020, 39(3): 570-584.
- [4] Koolhaas C M, Dhana K, Van Rooij F J A, et al. Physical activity types and health-related quality of life among middle-aged and elderly adults: The Rotterdam study[J]. The Journal of Nutrition, Health & Aging, 2018, 22(2): 246-253.
- [5] Nishimori T, Imaoka M, Kuremoto T. Variance of divided step length in relation to walking speed in the elderly in a geriatric health services facility[J]. Physiotherapy, 2015, 101: 1097-1098.
- [6] Zhao W, Ukawa S, Kawamura T, et al. Health benefits of daily walking on mortality among younger-elderly men with or without major critical diseases in the new integrated suburban seniority investigation project: A prospective cohort study[J]. Journal of Epidemiology, 2015, 25(10): 609-616.
- [7] Bellelli G, Noale M, Guerini F, et al. A prognostic model predicting recovery of walking independence of elderly patients after hip-fracture surgery: An experiment in a rehabilitation unit in Northern Italy[J]. Osteoporosis International, 2012, 23(8): 2189-2200.
- [8] Hatta A, Nishihira Y, Higashiura T. Effects of a single bout of walking on psychophysiological responses and executive function in elderly adults: A pilot study[J]. Clinical Interventions in Aging, 2013, 8: 945.
- [9] 于洪军,仇军. 身体活动负荷对我国老年人患慢性疾病风险率的影响研究[J]. 中国体育科技, 2013, 49(2): 139-144.
- [10] Cervero R, Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design[J]. Transportation Research part D: Transport and Environment, 1997, 2(3): 199-219.
- [11] Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment: A meta-analysis[J]. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(3): 265-294.
- [12] Kerr J, Rosenberg D, Frank L. The role of the built environment in healthy aging: Community design, physical activity, and health among older adults[J]. Journal of Planning Literature, 2012, 27(1): 43-60.
- [13] Marquet O, Miralles-Guasch C. Neighbourhood vitality and physical activity among the elderly: The role of walkable environments on active ageing in Barcelona, Spain[J]. Social Science & Medicine, 2015, 135: 24-30.

- [14] Cunningham G O, Michael Y L. Concepts guiding the study of the impact of the built environment on physical activity for older adults: A review of the literature[J]. *American Journal of Health Promotion*, 2004, 18(6): 435-443.
- [15] 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.
- [16] Cerin E, Nathan A, Van Cauwenberg J, et al. The neighbourhood physical environment and active travel in older adults: A systematic review and meta-analysis[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2017, 14(1): 1-23.
- [17] Cheng L, Chen X, Yang S, et al. Active travel for active ageing in China: The role of built environment[J]. *Journal of Transport Geography*, 2019, 76: 142-152.
- [18] 郑振华, 彭希哲. 社区环境对老年人行为与健康的影响研究——不同年龄阶段老年人的群组比较[J]. *地理研究*, 2019, 38(6): 1481-1496.
- [19] Cheng L, De Vos J, Zhao P, et al. Examining non-linear built environment effects on elderly's walking: A random forest approach[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 88: 102552.
- [20] Walker J L, Ehlers E, Banerjee I, et al. Correcting for endogeneity in behavioral choice models with social influence variables[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2011, 45(4): 362-374.
- [21] Mokhtarian P L, Salomon I. How derived is the demand for travel? Some conceptual and measurement considerations[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2001, 35(8): 695-719.
- [22] Ding C, Cao X, Wang Y. Synergistic effects of the built environment and commuting programs on commute mode choice[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2018, 118: 104-118.
- [23] Ding C, Cao X J, Næss P. Applying gradient boosting decision trees to examine non-linear effects of the built environment on driving distance in Oslo[J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2018, 110: 107-117.
- [24] Tao T, Wu X, Cao J, et al. Exploring the nonlinear relationship between the built environment and active travel in the Twin cities[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 2020: 0739456X20915765.
- [25] Wu X, Tao T, Cao J, et al. Examining threshold effects of built environment elements on travel-related carbon-dioxide emissions[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019, 75: 1-12.
- [26] Cheng L, Chen X, De Vos J, et al. Applying a random forest method approach to model travel mode choice behavior[J]. *Travel Behaviour and Society*, 2019, 14: 1-10.
- [27] Hagenauer J, Helbich M. A comparative study of machine learning classifiers for modeling travel mode choice[J]. *Expert Systems with Applications*, 2017, 78: 273-282.
- [28] Zhao X, Yan X, Yu A, et al. Prediction and behavioral analysis of travel mode choice: A comparison of machine learning and logit models[J]. *Travel Behaviour and Society*, 2020, 20: 22-35.
- [29] Friedman J H. Greedy function approximation: A gradient boosting machine[J]. *Annals of Statistics*, 2001: 1189-1232.
- [30] Chen T, Guestrin C. Xgboost: A scalable tree boosting system[C]//*Proceedings of the 22nd Acm Sigkdd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. San Francisco, 2016: 785-794.
- [31] Lu W, McKyer E L J, Lee C, et al. Perceived barriers to children's active commuting to school: A systematic review of empirical, methodological and theoretical evidence[J]. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2014, 11(1): 1-20.
- [32] Adlakha D, Hipp J A, Sallis J F, et al. Exploring neighborhood environments and active commuting in Chennai, India[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(9): 1840.
- [33] Lee S G, Jeon S Y. The relations of socioeconomic status to health status, health behaviors in the elderly[J]. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 2005, 38(2): 154-162.
- [34] Kim H J, Park S, Park S H, et al. The significance of frailty in the relationship between socioeconomic status and health-related quality of life in the Korean community-dwelling elderly population: Mediation analysis with bootstrapping[J]. *Quality of Life Research*, 2017, 26(12): 3323-3330.
- [35] 冯建喜, 黄旭, 汤爽爽. 客观与主观建成环境对老年人不同体力活动影响机制研究——以南京为例[J]. *上海城市规划*, 2017, 3: 17-23.
- [36] Cheng L, De Vos J, Shi K, et al. Do residential location effects on travel behavior differ between the elderly and younger adults[J]. *Transportation research part D: Transport and Environment*, 2019, 73: 367-380.

Non-linear effects of the built environment on elderly's active travel: An extreme gradient boosting approach

LIU Jixiang¹, XIAO Longzhu², WANG Bo^{3*}

1. Faculty of Architecture, the University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China
2. Department of Architecture and Civil Engineering, School of Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China
3. School of Geography and Planning, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract The active travel (including walking and cycling) is closely related with elderly's mobility, physical and mental health, and quality of life. Hence, it is of great importance for urban and transportation planners and practitioners to examine the impacts of the built environment on elderly's active travel. Among the rich research findings, the existing research tends to focus on the built environment surrounding the living space (usually the departure place) of the elderly, while ignoring the built environment surrounding the destinations. Moreover, in prior studies, the associations between the built environment and the elderly's active travel are oftentimes assumed to be linear or log-linear. Against this backdrop, this study, taking Xiamen as an example, utilizes one of the latest machine learning method, i.e., the Extreme Gradient Boosting Decision Tree model (XGBoost) to disentangle the complex non-linear relationships between the built environment surrounding both departure places and destinations and elderly's active travel. It is found that (1) the trip distance is the most important factor that impacts elderly's propensity of the active travel; (2) the collective relative importance of the built environment variables is much higher than that of the socio-economic variables; (3) obviously, the associations between all built environment variables and elderly's active travel are non-linear and there exist "threshold" effects; (4) for some built environment variables, their impacts on elderly's active travel differ between the departure places and the destinations, while for the others, they are very similar. This study can provide a knowledge base and rich policy implications for the urban and transportation development and planning in China in the era of aging population.

Keywords built environment; the elderly; active travel ●



(责任编辑 卫夏雯)