

建成环境对步行通勤通学的影响 ——以中国香港为例

刘吉祥¹, 周江评¹, 肖龙珠^{2*}, 杨林川¹

(1. 香港大学建筑学院, 香港 999077; 2. 香港城市大学工学院, 香港 999077)

摘要:步行是一种重要的交通方式,也是体力活动的重要组成部分。然而,现代城市居民步行频率持续下降,相应地带来体力活动水平的持续降低,伴随着肥胖等慢性非传染病广泛蔓延,值得警惕。西方很多研究证实了建成环境(常以“3D”或“5D”等模型刻画)对步行行为的影响。基于西方的结论对于中国香港、北京和上海等具有与西方城市大相迥异的建成环境的城市是否适用?不同的人群由于具有不同的社会经济属性和生活节奏、习惯,其步行行为受建成环境的影响在方向、强度上是否存在差异?为解决上述问题,论文以香港为案例地,以职员和学生2类人群的步行通勤通学行为为研究对象,利用香港人口普查数据、Open Street Map数据以及中原地图数据等,采用传统的线性回归和空间计量模型进行分析,发现:①通勤通学距离是影响职员和学生步行通勤通学行为的最重要变量;②以“5D”模型刻画的建成环境对香港居民步行通勤通学行为的影响,与西方情境下的结论存在一定的差异,如,在香港,距地铁站的距离与职员和学生步行通勤比例相关性均不显著;③建成环境对步行通勤通学行为的影响,在职员与学生两类人群之间在方向和强度上存在显著差异。例如人口密度与职员步行通勤比例负相关,但与学生步行通勤比例正相关。研究凸显了在“建成环境-交通行为”关系研究中情境(context)和人群区分(segmentation)的重要性。

关键词:建成环境;步行通勤通学;职员;学生;公交依赖城市;香港

步行是一种环保的非机动交通方式,也是人们体力活动(physical activity)的重要组成部分,具有显著的社会、经济、环境和公共健康效益(Wankel et al, 1990; Lee et al, 2008; 杨林川等, 2016; Yang, Wang et al, 2019)。然而,随着城市规模的增加,居民通勤通学距离增大,社会压力提高,生活节奏加快。城市居民,尤其是面临着沉重工作或学习压力的职员和学生,越来越看重速度和效率,从而越来越依赖机动车出行。此外,久坐行为(sedentary behavior)在城市居民中广泛蔓延,步行和骑行等体力活动频率持续下降,这一定程度上加快了肥胖、心脑血管疾病、糖尿病等慢性非传染病的广泛蔓延(Bauman et

al, 2012; Heath et al, 2012; Pratt et al, 2012)。

上述问题引起了包括城市规划、交通规划、公共健康以及地理学等专业的诸多学者和从业人员的关注。已有大量国际研究致力于揭示城市建成环境对居民步行行为的影响。该类研究首要的一步就是如何更有效地刻画步行环境。例如,美国学者于2007年提出用“步行得分(walk score)”来测度城市建成环境的可步行性(walkability)。该指数测度目标地点距离各种设施(amenity)的距离,结合衰减效应进行打分,将可步行性分为5个等级:步行者天堂、非常适合步行、比较适合步行、不太适合步行、完全机动车依赖(Carr et al, 2010a, 2010b; Yang

收稿日期:2018-10-18;修订日期:2019-03-21。

基金项目:香港大学基础研究种子基金项目(201711159217)。[Foundation: Seed Fund for Basic Research, the University of Hong Kong, No. 201711159217.]

第一作者简介:刘吉祥(1989—),男,湖南娄底人,博士生,主要从事城市健康地理与交通出行研究。

E-mail: u3004679@hku.hk

*通信作者简介:肖龙珠(1988—),女,福建莆田人,博士生,主要从事交通出行行为研究。E-mail: xiaolongzhuu@163.com

引用格式:刘吉祥,周江评,肖龙珠,等. 2019. 建成环境对步行通勤通学的影响:以中国香港为例[J]. 地理科学进展, 38(6): 807-817. [Liu J X, Zhou J P, Xiao L Z, et al. 2019. Effects of the built environment on pedestrian commuting to work and school: The Hong Kong case, China. Progress in Geography, 38(6): 807-817.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2019.06.002

et al, 2018; 周垠等, 2018)。另一个更为经典、接受程度更高、影响和应用更广泛的模型是“3D”模型, 由美国著名交通学者 Cervero 和 Kockelman 提出, 该模型用密度、土地利用混合度和设计来提炼和刻画城市建成环境的核心要素(Cervero et al, 1997)。此模型常常被作为探究建成环境对于居民交通行为或体力活动(包括步行)影响的基础。该模型对建成环境-交通行为领域研究产生了深远影响, 后来学者们在其基础上进一步提出了“5D”(加上设施可达性和距离公共交通的距离)、“6D”模型(加上交通需求管理)以及“7D”模型(加上人口统计属性)(Ewing et al, 2010)。

国内学者近年也进行了一些有成效的探索。赵莹等(2014)对比了北京和芝加哥城市中心区居民的出行行为, 发现较之于芝加哥居民, 北京居民通勤距离短, 倾向于慢行交通(步行和自行车)出行; 孙斌栋等(2008, 2010, 2017)和何舟等(2014)发现, 在宏观层面, 城市规模、密度、城市结构(单中心或多中心)以及职住平衡等因素影响居民的通勤时耗和通勤行为; 而微观层面, 孙斌栋等(2015)以上海为案例地, 发现提高居住地人口密度、土地利用混合度和街道连通性, 可减少小汽车通勤行为比例, 增加步行、自行车等慢行交通的比例, 呼应了广泛应用于西方城市研究的“3D”模型; 周素红团队以广州为例, 对不同阶层(齐兰兰等, 2017)、不同性别(何嘉明等, 2017)和不同生命历程阶段(古杰等, 2014)的人群的通勤行为进行了研究。

然而, 关于建成环境对城市居民步行行为的影响, 仍存在矛盾和争议。以“3D”或者“5D”模型为例, 一方面, 大部分研究证实, 更高的密度(人口、就业或建筑密度)、更高的土地利用混合度、更高质量的设计(美学品质以及街道交叉口数量等)与更高频率的步行显著相关(Forsyth et al, 2007; Cervero et al, 2009; Duncan et al, 2010); 另一方面, 部分研究发现密度、街道连通性等指标对居民步行行为的影响并不显著(Oakes et al, 2007)。另外, 大部分研究采用横截面研究设计, 能反映出建成环境与交通行为之间的相关性, 而非因果关系。基于此, 有学者以“自选择效应(self-selection)”来解释这样的相关性, 即具有高频率步行行为的居民选择了适合步行的建成环境, 而非适合步行的建成环境促进了居民的步行行为(Handy et al, 2006; Boone-Heinonen et al, 2011)。也就是说, 居民对步行行为的态度可能比建成环境对步行行为影响更大。但是, Bauman 等

(2012)在期刊 *The Lancet* 上发表的文章分析了现有“建成环境-体力活动”的海量研究, 明确了建成环境对促进或者抑制体力活动的重要作用。

建成环境与步行行为关系的研究还面临着能否“一般化”的问题。首先, 上述结论, 无论是正面(建成环境对步行行为存在显著影响), 还是反面(建成环境与步行行为不存在显著关系), 大多基于西方发达国家(尤其是北美和澳洲)的“小汽车导向”城市。研究城市的主要特点是低密度蔓延、郊区化、居民高度依赖小汽车, 这与位于东亚, 以高密度、高土地利用混合度、高公共交通分担率为特点的城市(如香港、新加坡、东京、首尔、北京和上海)存在很大差异(Lu et al, 2017; Yang, Zhou et al, 2019)。这些基于西方城市的研究结论在香港等“公交依赖”的城市情境中是否适用? 例如, 关于香港的研究, 既有证实建成环境对步行行为有显著影响者(Sun et al, 2014), 也有得出不同结论者(Lu et al, 2018)。另外, 不同人群的步行行为受建成环境影响的强度和方向可能存在差异。已有研究证实, 不同性别(何嘉明等, 2017)、不同种族或种群(Forsyth et al, 2007)、不同年龄阶段(如老年人与年轻人)(Nagel et al, 2008; 古杰等, 2014)、不同社会经济阶层和健康状况的人群(Forsyth et al, 2009)的步行行为受建成环境影响明显不同。

具体到步行通勤通学, 众多研究者发现通勤通学距离具有重要的影响。例如, Adlakha 等(2018)发现, 通勤距离与职员活力通勤方式(包括步行、自行车)频率显著负相关, 其影响甚至超过了其他建成环境变量。又如, Lu 等(2014)发现, 在影响学生步行通勤的众多变量(如学生年龄、家长监督与否、通勤距离、学生身体健壮程度等)中, 只有通勤距离与学生步行通学频率显著相关。

综上所述, 目前关于城市建成环境-居民步行行为的西方经验和结论是否适用于中国香港等东亚城市尚无定论, 需要更多的实证分析加以验证, 而关于职员和学生2类人群步行行为受建成环境影响的对比研究亦非常少见。基于此, 本文以香港为案例地, 以职员和学生为目标人群, 利用多源数据, 采用线性回归模型和空间计量模型, 考察建成环境对居民步行行为的影响。基于上述文献, 本研究提出3个假设: ① 通勤通学距离对职员和学生步行通勤通学频率有显著影响; ② 香港建成环境与居民步行通勤通学行为的关系与前述西方城市中得到的主流结论存在一些差异; ③ 职员和学生2类人群步

行通勤通学频率受建成环境的影响存在差异。本文一方面能一定程度上弥补现有研究的不足,另一方面也能为相关公共政策干预提供支持。

1 方法与数据

1.1 研究区域

本文选取中国香港为研究区域。香港是全世界人口和建筑密度最高的城市之一,同时也是有名的适合步行和公交出行的城市。出于方便规划编制和管理的目的,香港特别行政区政府城市规划署建立了三级规划单元体系,其中第一级规划单元9个,第二级规划单元52个,第三级规划单元(Tertiary Planning Unit, TPU) 289个。考虑到数据的准确性和对居民隐私的保护,当一个TPU的人口数不足1000时,香港规划署进行人口普查时会将该TPU与邻近的TPU进行合并。因此,2011版TPU实际为209个(图1)。由于部分数据缺失,4个TPU被去除。

1.2 变量与数据

本文基于相关研究综述以及数据可获取性来确定因变量和自变量。因变量是每个TPU中以步行作为通勤(或通学)方式的职员(或学生)占该TPU中全部职员(或学生)的百分比。需要特别说明的是,只有当一个人某次通勤全程都使用步行时,才认为其进行了一次步行通勤,而当步行通勤是此人通勤的最主要方式时,香港人口普查数据中才标明此人为步行通勤者。自变量分为2类:一类是TPU中居民的社会经济和人口统计属性,包括性别、年龄、收入、家庭规模等,这些变量为控制变量;另一

类是每个TPU的建成环境属性,包括人口密度、容积率、土地利用混合度、道路交叉口密度、距离最近地铁站距离等,这些变量为解释变量。值得注意的是,本文将TPU中职员和学生在该TPU内部通勤通学的百分比作为通勤通学距离的表征,因为该比例越高,平均来看,通勤通学距离相应越小。其他建成环境变量包括人口密度、容积率、土地利用混合度、道路交叉口密度、距离最近地铁站距离等,这些变量是本文真正感兴趣的变量。

本文采用了多种来源的数据。其中,居民的社会经济和人口统计属性数据来源于香港2011年人口普查(https://www.byccensus2016.gov.hk/en/bc-own_tbl.html);建成环境变量数据主要来源于Open Street Map,并通过ArcGIS和Spatial Design Network Analysis(sDNA)软件进行测算;居民步行行为数据来源于中原地图(<http://hk.centamap.com/gc/home.aspx>)。

表1为变量描述及相应数据的平均值和标准差。平均而言,每个TPU中9.2%的职员以步行作为通勤方式,而学生这一比例为21.4%。土地利用混合度采用Cervero(1989)提出的公式计算:

$$\text{Entropy index} = - \sum_{i=1}^N (p_i \ln p_i) / \ln N \quad (1)$$

式中: N 表示土地利用方式的种类数量; p_i 表示第 i 种土地利用方式的面积占总面积的比值。

邻近中心性和中介中心性均为空间句法中用来表征可达性的变量。其中,某个节点(用 p_i 表示)的邻近中心性(C_c)表示该节点与其他所有节点之间最短路径长度之和的倒数,可用以下公式计算:

$$C_c(p_i) = 1 / \sum_{k=1}^n d_{ik} \quad (2)$$

式中: d_{ik} 表示节点 i 到节点 k 之间的最短路径长度。某节点邻近中心性越大,表示该节点在整个网络中越靠近中心位置,即可达性越高。

中介中心性(C_b)指的是某个节点(用 p_i 表示)在另外两两节点(j 和 k)的最短路径中充当桥梁作用的次数,中介中心性越高,表示某节点在网络中其他节点相互联系所起的作用越大,同时表示越高的可达性,用如下公式计算:

$$C_b(p_i) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n g_{jk}(p_i) / g_{jk} \quad (3)$$

式中: g_{jk} 表示两两节点(j 和 k)之间最短路径的数量,而 $g_{jk}(p_i)$ 表示这些最短路径中经过节点 p_i 的路径的数量。



图1 2011版香港TPU划分

Fig.1 Map of Hong Kong Tertiary Planning Units (TPU), 2011

表1 变量及数据描述
Tab.1 Description of variables and data

变量	变量描述	均值	标准差
社会经济属性变量(控制变量)			
女性百分比	每个TPU中女性占总人口百分比	0.5	0.04
平均年龄	居民年龄平均值	41.8	3.2
平均家庭收入	家庭平均月收入(港币)	33294	29762
平均家庭规模	家庭人口数	2.9	0.4
建成环境属性变量(解释变量)			
在TPU内部通勤的百分比	学生/职员在TPU内部通勤通学的人数占全部学生/职员的百分比	0.46/0.17	0.22/0.10
人口密度	每km ² 人口数	28963	33422
容积率	总建筑面积与用地面积比值	1.1	1.3
土地利用混合度	公式 $\text{Entropy index} = -\sum_{i=1}^N (p_i \ln p_i) / \ln N$, 选用居住、商业、公共管理与服务设施3种土地利用类型(即 $N=3$)	0.3	0.3
公交站点密度	每km ² 公交站数量	27	33
道路交叉口密度	每km ² 街道交叉口数量	102	103
距最近地铁站距离	从TPU地理中心到最近的地铁站的距离(m)	1868	2117
距CBD距离	从TPU地理中心到CBD的距离(m)	11809	8402
邻近中心性(搜索半径800 m)	空间句法中用来表征可达性,公式 $C_c(p_i) = 1 / \sum_{k=1}^n d_{ik}$	588	182
中介中心性(搜索半径800 m)	空间句法中用来表征可达性,公式 $C_b(p_i) = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n g_{jk}(p_i) / g_{jk}$	141	210
步行通勤通学变量(因变量)			
职员步行通勤百分比	职员中步行通勤的人数占该TPU中全部职员的百分比	0.092	0.077
学生步行通学百分比	学生中步行通学的人数占该TPU中全部学生的百分比	0.214	0.144

上述变量中,邻近中心性和中介中心性用sDNA计算得来,其他变量均使用ArcGIS计算。

1.3 计量模型介绍

本文采用线性回归模型和空间计量模型来探究建成环境对居民步行通勤通学的影响。

线性回归模型(模型1)先输入社会经济属性和人口统计属性变量。模型2和模型3陆续加入解释变量(即建成环境变量)。通过观察拟合优度(R^2)的变化来考察在控制社会经济和人口属性的条件下,解释变量对因变量的影响。线性回归模型可用以下公式表示:

$$Y = \alpha_0 + \sum \alpha_i X_i + \varepsilon \quad (4)$$

式中: Y 表示因变量; X_i 表示自变量; α_0 为常数项; α_i 为系数; ε 为残差项。线性回归模型的估计方法为最小二乘法(ordinary least squares, OLS)

OLS模型不能考虑空间相关性(spatial autocorrelation or spatial dependence),因此有必要采用空间计量模型进行检验和核准。最常用的空间计量模型包括2种:空间滞后模型(spatial lag model, SLM)和空间误差模型(spatial error model, SEM)。SLM考

虑因变量之间的空间相关性,可用以下公式表示:

$$Y = \rho WY + X\beta + \varepsilon \quad (5)$$

式中: W 为空间矩阵; ρ 和 β 为需要估计的参数; ε 为残差项。

SEM考虑误差项之间的空间相关性,可用以下公式表示:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (6)$$

$$\varepsilon = \lambda W\varepsilon + \mu \quad (7)$$

式中: W 为空间矩阵; β 和 λ 为需要估计的参数; ε 和 μ 为残差项。

2 模型结果

为了避免多重共线性,首先对自变量进行皮尔森相关性分析。结果表明,公交站密度与交叉口密度、容积率、中介中心性,以及中介中心性与交叉口密度存在显著的高相关性(大于0.7),其他各变量之间的相关性均处于正常水平。因此,综合考量之下,剔除公交站密度与中介中心性变量,保留其他自变量进行分析。

2.1 线性回归模型结果及解析

对职员和学生的步行通勤通学进行线性回归分析,首先将社会经济属性和人口统计属性变量输入模型。为了区别并对比通勤通学距离和其他建成环境变量对步行通勤通学的影响,将“在TPU内部通勤通学的百分比”这一变量第二批输入模型,将其他所有建成环境变量最后输入,分别产生2组基础模型(M1、M4)和扩展模型(M2、M3和M5、M6),结果表明所有模型均在统计学上显著,并且经检验,方差膨胀因子(VIF)均远小于10(均小于3),即不存在多重共线性。分析结果如表2所示。由表2可知,两组扩展模型的拟合优度(R^2)均远大于基础模型, R^2 的增值分别达到0.273(M3对比M1)和0.518(M6对比M4),这表明,无论职员和学生,在控制年龄、收入等社会经济属性之后,其步行通勤通学行为都受到建成环境的显著影响。而相对而言,职员步行通勤行为受社会经济属性影响的程度要高于学生。同时,不难发现,M1到M2以及M4到M5, R^2 的增值分别达到0.207和0.467,且模型新加入的第二层的变量——在TPU内部通勤通学的百分比——与职员和学生的步行通勤通学均显著正相关,可见通勤通学距离对于职员和学生步行通勤通学的显著影响,这也验证了假设①。

另外,由M3可知,在控制社会经济属性的情况下,职员步行通勤百分比与TPU人口密度负相关,亦即人口密度越高,越少职员进行步行通勤,这与西方情境中的人口密度与步行频率的正相关关系形成对比。同时,容积率、道路交叉口密度与职员步行通勤百分比正相关,这些均较好理解:容积率、交叉口密度对步行行为的正向影响在西方情境中也已得到广泛验证。值得注意的是,步行通勤百分比与距最近地铁站距离正相关(即距地铁站越远,步行通勤的百分比越高),可能原因在于,距离地铁站较远,使得步行成为相比于地铁出行更方便、因此更受欢迎的通勤通学方式,这突出体现了通勤步行和非通勤步行的区别。另外,土地利用混合度、距CBD的距离以及邻近中心性等常用建成环境变量均与职员步行通勤关系不显著。

由M6可知,对于学生而言,除了前述与步行通学正相关的“在TPU内部通学的百分比”之外,在控制了社会经济属性和人口统计属性之后,与步行通学正相关的变量还包括人口密度、土地利用混合度、道路交叉口密度、距地铁站距离、距CBD的距离,而邻近中心性与其负相关。有意思的是,容积

率与学生步行通学负相关,但在统计学上不显著。

由上述M3和M6的结果中可以看出,香港建成环境对于居民步行通勤通学的影响与西方情境中得到的结论既有相吻合的部分,又存在一些显著差异。例如,人口密度与职员步行通勤比例负相关,而距离地铁站距离与职员和学生步行通勤通学正相关,与西方情境中得到的结论截然相反。研究结果无疑支持假设②。

对比而言,职员和学生步行通勤通学百分比受建成环境的影响呈现很多不同。例如,人口密度、容积率、土地利用混合度、距CBD的距离这些变量对职员和学生步行通勤通学百分比的影响,不仅方向全部相反,而且影响程度和统计学显著程度也不同,充分反映了建成环境对步行通勤通学行为的影响存在人群差异。这验证了假设③。

2.2 空间计量模型结果与解析

如表3和表4所示,空间异方差性和空间相关性检验中,2类人群各种诊断指标均在统计学上显著,表明存在空间异方差性和相关性,亦表明了进行空间统计分析的必要性。因此,分别对职员和学生2类人群进行空间滞后模型(SLM)和空间误差模型(SEM)分析,结果表明,4个模型(M7至M10)均在统计学上显著。具体结果如表5所示。由表5可以发现,考虑空间相关性得到的建成环境与职员和学生步行通勤通学百分比的关系,与前文线性回归得到的结果大体上一致,但也发生了一些变化。具体地,职员步行通勤百分比仍与人口密度负相关,与在TPU内部通勤的百分比、容积率、道路交叉口密度正相关。而学生步行通学百分比与人口密度、土地利用混合度显著相关,且方向仍然与上述职员和此2个变量的关系正好相反,另外,学生步行通学百分比还受到距CBD距离和TPU内部通学百分比的显著正向影响。

与OLS线性回归不同的是,考虑了空间相关性之后,道路交叉口密度对学生步行通学影响的显著性明显降低,而距最近地铁站的距离与2类人群步行通勤通学行为均不再显著。

3 结论与讨论

本文以中国香港为案例地,以职员和学生为目标人群,利用香港人口普查数据、中原地图数据等多个来源的数据,采用线性回归模型和空间计量模型,探究在香港高密度、高土地利用混合度等区别

表2 线性回归结果
Tab.2 Results of linear regression modeling

变量	职员						学生					
	基础模型1 (M1)		扩展模型2 (M2)		扩展模型3 (M3)		基础模型4 (M4)		扩展模型5 (M5)		扩展模型6 (M6)	
	系数	t值	系数	t值	系数	t值	系数	t值	系数	t值	系数	t值
女性百分比	-0.227*	-1.714	0.034	0.319	0.0003	0.003	0.001	0.003	0.058	0.279	-0.072	-0.353
平均年龄	0.001	0.9402	0.001	0.716	0.0002	0.183	0.006**	2.060	0.005**	2.265	0.005**	2.535
平均家庭收入	5.466E-07**	3.232	6.580E-08	0.466	-1.757E-07	-1.153	-9.652E-07**	-2.471	-1.039E-06**	-3.944	-5.989E-07*	-1.966
平均家庭规模	-0.141**	-10.294	-0.074**	-5.960	-0.048**	-3.909	-0.068**	-2.159	-0.066**	-3.075	-0.049**	-2.084
TPU内部通勤通学占比			0.429**	10.949	0.367**	9.398			0.456**	15.633	0.395**	11.504
人口密度					-2.592E-07*	-1.963					7.046E-07**	2.547
容积率					0.011**	3.280					-0.011	-1.627
土地利用混合度					-0.011	-1.056					0.053**	2.318
道路交叉口密度					0.0001**	3.251					0.0002**	2.445
距最近地铁站距离					2.990E-06*	1.709					8.052E-06**	2.299
距CBD距离					-5.010E-07	-0.919					2.212E-06**	2.063
邻近中心性(搜索半径800 m)					-6.852E-06	-0.385					-8.727E-05**	-2.376
常数	0.559**	6.901	0.185**	2.540	0.155**	2.027	0.188	1.006	0.010	0.081	-0.014	-0.103
R ²	0.444		0.651		0.717		0.148		0.615		0.666	

注: *、**分别表示 $P<0.1$ 、 $P<0.05$ 。下同。

表3 空间异方差性检验结果
Tab.3 Results of spatial heteroscedasticity test

检验	职员			学生		
	df	统计值	P	df	统计值	P
Breusch-Pagan 检验	12	100.0430	<0.00001	12	46.1657	0.00001
Koenker-Bassett 检验	12	57.5177	<0.00001	12	28.2822	0.00503
White 检验	90	153.4140	0.00004	90	145.5779	0.00019

于西方城市的特殊情境下,主要以“5D”模型刻画的建成环境对香港职员和学生两类不同人群步行通勤通学比例的影响。研究结果验证了本文提出的3个假设,即通勤通学距离对居民步行通勤通学行为的显著影响、香港地方情境对比西方城市的特殊性以及职员和学生的人群差异。

具体而言,研究发现在控制社会经济属性和人口统计属性与空间相关性的影响之后,“5D”模型中的“3D”,包括城市设计(以道路交叉口密度表征)、目的地可达性(以距离CBD的距离表征)和多样性(土地利用混合度),均只对某一人群影响显著(表5),而距公交站距离(以距最近地铁站距离表征)对2类人群步行通勤通学的影响在统计学上均不显著,与西方城市情境中的众多发现形成鲜明对比。一个可能的原因是缺少差异性,即居民距离地铁站的距离相差不大,或者从统计学角度,居民离地铁站的距离的方差比较小,因此对两类人群的步行通勤通学行为不构成显著影响。与西方城市相比,香港的道路交叉口密度、土地利用混合度和公交站点覆

表4 空间相关性检验结果
Tab.4 Results of spatial correlation test

检验	职员			学生		
	mi/df	统计值	P	mi/df	统计值	P
Moran's I (误差)	0.2418	6.1754	<0.00001	0.1100	2.8830	0.00394
拉格朗日乘数(滞后)	1	42.2045	<0.00001	1	9.8972	0.00166
稳健性拉格朗日乘数(滞后)	1	19.1230	0.00001	1	4.8873	0.02705
拉格朗日乘数(误差)	1	33.1992	<0.00001	1	6.6945	0.00967
稳健性拉格朗日乘数(误差)	1	10.1177	0.00147	1	1.6846	0.19431
拉格朗日乘数(萨玛检验)	2	52.3222	<0.00001	2	11.5819	0.00306

表5 空间计量模型分析结果
Tab.5 Results of spatial econometric models

变量	职员				学生			
	SLM (M7)		SEM (M8)		SLM (M9)		SEM (M10)	
	系数	z值	系数	z值	系数	z值	系数	z值
女性百分比	-0.096	-1.042	-0.057	-0.643	-0.133	-0.682	-0.175	-0.909
平均年龄	0.001	1.346	0.001	1.578	0.005**	2.544	0.005**	2.858
平均家庭收入	-2.763E-07**	-2.069	-1.027E-07	-0.747	-6.053E-07**	-2.144	-5.067E-07*	-1.748
平均家庭规模	-0.024**	-2.155	-0.026**	-2.319	-0.036	-1.624	-0.037	-1.626
在TPU内部通勤通学的百分比	0.335**	9.689	0.395**	10.876	0.389**	12.167	0.390**	12.208
人口密度	-2.374E-07**	-2.087	-2.011E-07*	-1.744	5.693E-07**	2.191	6.290E-07**	2.422
容积率	0.010**	3.389	0.009**	3.003	-0.008	-1.324	-0.003	-0.449
土地利用混合度	-0.005	-0.505	-0.012	-1.289	0.056**	2.671	0.050**	2.441
道路交叉口密度	0.0001**	2.392	0.0001**	2.540	0.0001*	1.898	0.0001	1.773
距最近地铁站距离	-2.600E-07	-0.145	-1.574E-06	-0.881	3.012E-06	0.769	2.236E-06	0.573
距CBD距离	6.147E-07	1.254	5.371E-07	1.098	3.588E-06**	3.435	2.863E-06**	2.753
邻近中心性(搜索半径800 m)	1.768E-05	0.999	1.694E-05	0.969	-4.826E-05	-1.233	-4.724E-05	-1.216
常数	0.073	1.098	0.044	0.659	-0.047	-0.369	-0.031	-0.231
ρ (空间相关或依赖系数)	0.263**	5.660	0.543**	7.065	0.158**	3.239	0.366**	3.829
R^2	0.771		0.778		0.687		0.691	
Log likelihood	386.963		385.323		227.832		227.374	
AIC	-745.927		-744.646		-427.664		-428.748	

盖率已经达到很高的水平(香港公共交通出行比例约为90%,80%的人口居住在地铁站500 m范围内),可能已经达到一个阈值,对居民步行行为不再具有重要的影响。

另外,密度(本文包括人口密度和建筑密度——容积率)和多样性(即土地利用混合度)与职员和学生的步行通勤通学比例呈现出复杂的关系,具体表现为:①对比职员和学生,人口密度、容积率和土地利用混合度与其步行通勤通学比例的相关关系,方向正好相反;②人口密度对职员步行的影响与容积率方向相反;对学生而言,人口密度和容积率的影响方向也相反,但是容积率的影响不显著;③土地利用混合度对学生步行有显著的正向影响,而对职员步行的影响却不太显著(仅在15%水平上显著,表5中未标明)。我们猜测,要解释上述复杂的关系,需要把职员和学生的步行通勤通学行为与建成环境的关系置于整个香港城市结构的大背景下,并从“职-住平衡”和“家-校平衡”的角度来理解。首先,虽然香港拥有多个就业中心,如中环/湾仔群组、西九龙群组、元朗等,但工作岗位所在地的集中程度仍远远超过相对均匀分布的学校。第二,就业中心地价昂贵,集中了大量工作岗位,而居民相对较少,就业中心之外另外分布有居住中心。就业中心建筑密度和容积率极高,而居住中心人口密度大,容积率却相对较低。因此,职员步行通勤比例与人口密度负相关的原因可能是:人口密度高的地区离就业中心较远,意味着更大的通勤距离,因而更少的人选择步行通勤。而学校(尤其中小学)往往结合居住中心设置,更高的人口密度往往伴随着更多的学校,也就意味着更小的通学距离,因此人口密度与学生步行通学正相关。我们推测,在香港,职员面临的“职-住失衡”比学生面临的“家-校失衡”较为严重。这同时也解释了容积率对职员步行通勤比例的正向影响以及为什么容积率对学生步行通学比例影响不显著。

以上发现突出体现了“情境(context)”对“建成环境-步行行为”关系研究的重要影响,呼应了Lu等(2017)的研究结论:地方情境,尤其是香港这样高密度、低汽车依赖度的特殊情境,与西方高汽车依赖城市截然不同,可能对“建成环境-步行行为”关系的方向、规模和显著程度都造成影响(Lu et al, 2017),这也凸显了加强与香港类似的很多城市和地区的相关实证研究的必要性。另外,通过本文研

究也可以发现“建成环境-步行行为”关系研究中职员和学生2类不同人群的巨大差异。

综合上述,本文研究进一步凸显了“地方情境”和人群区分在“建成环境-步行行为”关系研究中的重要性,一定程度上弥补了非西方情境以及区分职员和学生2类人群方面研究的不足。然而,本研究仍存在以下局限:首先,本文为横截面研究,只能探究建成环境和步行行为的相关关系,而非因果关系。第二,受数据来源所限,本研究所用数据为集聚数据(aggregate data)而非个人数据(individual-level data),只能探究整体趋势,不能探讨个体差异。盲目地以整体推断个体,可能会产生“生态谬误(ecological fallacy)”的问题。第三,受数据来源所限,本文仅探讨了香港居民居住地所在TPU的建成环境对于其步行通勤通学行为的影响,事实上,有不少研究已证实(Vale et al, 2016),居民工作地(或学校)以及居住地和工作地(或学校)之间路线周边的建成环境对步行通勤行为都会产生显著影响。后续研究将着重获取相关数据,考察并对比不同活动(居住、工作、就学、出行等)所在地的建成环境对步行行为的影响。第四,文章仅分析了建成环境与职员和学生步行通勤通学的关系以及两者之间的区别,并未就建成环境对职员和学生步行的影响机制展开深入讨论。事实上,两者的影响机制也存在显著差别,例如,职员相比学生,受到更紧的时间约束,因此对工作地可达性和距离更敏感,而学生(尤其是中小学生),对步行路径的安全性和舒适度可能有更高的要求。最后,虽然同属东方城市,并同样在建成环境、居民行为等各方面显著区别于西方城市,但实际上香港与内地城市在建成环境方面也正显示出越来越大的区别。例如,内地不少城市正在经历高密度蔓延,并且伴随着越来越高的机动车依赖,这与香港高密度集约发展、高公共交通分担率大相径庭。香港和内地城市日趋增大的差异背后的机制是什么,香港经验如何指导内地城市发展,这也是我们后续研究跟进的方向。

参考文献(References)

- 古杰,周素红,闫小培. 2014. 生命历程视角下广州市居民日常出行的时空路径分析[J]. 人文地理, 29(3): 56-62. [Gu J, Zhou S H, Yan X P. 2014. The space-time paths of residents' daily travel in Guangzhou from a perspective of life course. Human Geography, 29(3): 56-62.]
- 何嘉明,周素红,谢雪梅. 2017. 女性主义地理学视角下的广

- 州女性居民日常出行目的及影响因素[J]. 地理研究, 36(6): 1053-1064. [He J M, Zhou S H, Xie X M. 2017. Female residents' daily travel purpose and its influencing factors from the perspective of feminism: A case study in Guangzhou, China. *Geographical Research*, 36(6): 1053-1064.]
- 何舟, 宋杰洁, 孙斌栋. 2014. 城市通勤时耗的空间结构影响因素: 基于文献的研究与启示[J]. 城市规划学刊, 57(1): 65-70. [He Z, Song J J, Sun B D. 2014. Impacts of urban spatial structure on urban commuting duration: Based on literature review. *Urban Planning Forum*, 57(1): 65-70.]
- 齐兰兰, 周素红. 2017. 广州不同阶层城市居民日常家外休闲行为时空特征[J]. 地域研究与开发, 35(5): 57-63. [Qi L L, Zhou S H. 2017. Spatial and temporal characteristics of city residents daily leisure behavior outside the home under view of stratum in Guangzhou City. *Areal Research and Development*, 35(5): 57-63.]
- 孙斌栋, 但波. 2015. 上海城市建成环境对居民通勤方式选择的影响[J]. 地理学报, 70(10): 1664-1674. [Sun B D, Dan B. 2015. Impact of urban built environment on residential choice of commuting mode in Shanghai. *Acta Geographica Sinica*, 70(10): 1664-1674.]
- 孙斌栋, 何舟, 李南菲, 等. 2017. 职住均衡能够缓解交通拥堵吗? 基于GIS缓冲区方法的上海实证研究[J]. 城市规划学刊, 60(5): 98-104. [Sun B D, He Z, Li N F, et al. 2017. Could jobs-housing balance relieve traffic congestion? A case study of Shanghai based on GIS buffer. *Urban Planning Review*, 60(5): 98-104.]
- 孙斌栋, 李南菲, 宋杰洁, 等. 2010. 职住平衡对通勤交通的影响分析: 对一个传统城市规划理念的实证检验[J]. 城市规划学刊, 43(6): 55-60. [Sun B D, Li N F, Song J J, et al. 2010. Analysis of the impact of occupational-residential balance on commuting traffic: An empirical test of a traditional urban planning concept. *Urban Planning Review*, 43(6): 55-60.]
- 孙斌栋, 潘鑫. 2008. 城市空间结构对交通出行影响研究的进展: 单中心与多中心的论争[J]. 城市问题, 26(1): 19-22. [Sun B D, Pan X. 2008. Progress in research on the impact of urban spatial structure on travel: Debate between single center and multi-center pattern. *Urban Questions*, 26(1): 19-22.]
- 杨林川, 张衍春, 洪世键, 等. 2016. 公共服务设施步行可达性对住宅价格的影响: 基于累积机会的可达性度量方法[J]. 南方经济, 34(1): 57-70. [Yang L C, Zhang X C, Hong S J, et al. 2016. The impact of walking accessibility of public services on housing prices: Based on the cumulative opportunities measure. *South China Journal of Economics*, 34(1): 57-70.]
- 赵莹, 柴彦威, 关美宝. 2014. 中美城市居民出行行为的比较: 以北京市与芝加哥市为例[J]. 地理研究, 33(12): 2275-2285. [Zhao Y, Chai Y W, Kwan M P. 2014. Comparison of urban residents' travel behavior in China and the U S: A case study between Beijing and Chicago. *Geographical Research*, 33(12): 2275-2285.]
- 周垠, 李果. 2018. 15分钟步行圈生活便利指数评价与区县比较: 以成都市中心城区为例[J]. 上海城市规划, 27(5): 78-82. [Zhou Y, Li G. 2018. Evaluation and district comparison of life convenience index in 15-minute walking circle: A case study of Chengdu central city. *Shanghai Urban Planning Review*, 27(5): 78-82.]
- Adlakha D, Hipp J A, Sallis J F, et al. 2018. Exploring neighborhood environments and active commuting in Chennai, India[J]. *International Journal of Environment Research and Public Health*, 15(9): 1840. doi: 10.3390/ijerph15091840.
- Bauman A E, Reis R S, Sallis J F, et al. 2012. Correlates of physical activity: Why are some people physically active and others not? [J]. *The Lancet*, 380: 258-271.
- Boone-Heinonen J, Gordon-Larsen P, Guilkey D K, et al. 2011. Environment and physical activity dynamics: The role of residential self-selection[J]. *Psychology of Sport and Exercise*, 12(1): 54-60.
- Carr L J, Dunsiger S I, Marcus B H. 2010a. Validation of walk score for estimating access to walkable amenities[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 45(14): 1144-1148.
- Carr L J, Dunsiger S I, Marcus B H. 2010b. Walk score™ as a global estimate of neighborhood walkability[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 39(5): 460-463.
- Cervero R. 1989. Land-use mixing and suburban mobility[J]. *Transportation Quarterly*, 42(3): 429-446.
- Cervero R, Kockelman K. 1997. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design[J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3): 199-219.
- Cervero R, Sarmiento O L, Jacoby E, et al. 2009. Influences of built environments on walking and cycling: Lessons from Bogotá[J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 3(4): 203-226.
- Duncan M J, Winkler E, Sugiyama T, et al. 2010. Relationships of land use mix with walking for transport: Do land uses and geographical scale matter? [J]. *Journal of Urban Health*, 87(5): 782-795.
- Ewing R, Cervero R. 2010. Travel and the built environment: A meta-analysis[J]. *Journal of the American Planning Association*, 76(3): 265-294.
- Forsyth A, Oakes J M, Lee B, et al. 2009. The built environment, walking, and physical activity: Is the environment more important to some people than others? [J]. *Transport-*

- tation Research Part D: Transport and Environment, 14(1): 42-49.
- Forsyth A, Oakes J M, Schmitz K H, et al. 2007. Does residential density increase walking and other physical activity? [J]. *Urban Studies*, 44(4): 679-697.
- Handy S, Cao X, Mokhtarian P L. 2006. Self-selection in the relationship between the built environment and walking: Empirical evidence from Northern California [J]. *Journal of the American Planning Association*, 72(1): 55-74.
- Heath G W, Parra D C, Sarmiento O L, et al. 2012. Evidence-based intervention in physical activity: Lessons from around the world [J]. *The Lancet*, 380: 272-281.
- Lee I-M, Buchner D M. 2008. The importance of walking to public health [J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(S7), doi: 10.1249/MSS.0b013e31817c65d0.
- Lu W, McKyer E L J, Lee C, et al. 2014. 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*, 11(1), doi: 10.1186/s12966-014-0140-x.
- Lu Y, Sun G, Sarkar C, et al. 2018. Commuting mode choice in a high-density city: Do land-use density and diversity matter in Hong Kong? [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5), doi: 10.3390/ijerph15050920.
- Lu Y, Xiao Y, Ye Y. 2017. Urban density, diversity and design: Is more always better for walking? A study from Hong Kong [J]. *Preventive Medicine*, 103: S99-S103.
- Nagel C L, Carlson N E, Bosworth M, et al. 2008. The relation between neighborhood built environment and walking activity among older adults [J]. *American Journal of Epidemiology*, 168(4): 461-468.
- Oakes J M, Forsyth A, Schmitz K H. 2007. The effects of neighborhood density and street connectivity on walking behavior: The Twin Cities walking study [J]. *Epidemiologic Perspectives & Innovations*, 4(1), doi: 10.1186/1742-5573-4-16.
- Pratt M, Sarmiento O L, Montes F, et al. 2012. The implications of megatrends in information and communication technology and transportation for changes in global physical activity [J]. *The Lancet*, 380: 282-293.
- Sun G, Oreskovic N M, Lin H. 2014. How do changes to the built environment influence walking behaviors? A longitudinal study within a university campus in Hong Kong [J]. *International Journal of Health Geographics*, 13(1), doi: 10.1186/1476-072X-13-28.
- Vale D S, Pereira M. 2016. Influence on pedestrian commuting behavior of the built environment surrounding destinations: A structural equations modeling approach [J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(8): 730-741.
- Wankel L M, Berger B G. 1990. The psychological and social benefits of sport and physical activity [J]. *Journal of Leisure Research*, 22(2): 167-182.
- Yang L C, Wang B, Zhou J P, et al. 2018. Walking accessibility and property prices [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62: 551-562.
- Yang L C, Wang X, Sun G B, et al. 2019. Modeling the perception of walking environmental quality in a traffic-free tourist destination [J]. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, doi: 10.1080/10548408.2019.1598534.
- Yang L C, Zhou J P, Shyr O F, et al. 2019. Does bus accessibility affect property prices? [J]. *Cities*, 84: 56-65.

Effects of the built environment on pedestrian commuting to work and school: The Hong Kong case, China

LIU Jixiang¹, ZHOU Jiangping¹, XIAO Longzhu^{2*}, YANG Linchuan¹

(1. Faculty of Architecture, The University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China;

2. College of Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong 999077, China)

Abstract: Walking is not only an important and convenient travel mode but also a primary component of physical activities. However, in the modern era that is characterized by fast pace of living, urban people, especially those facing relatively intense time constraints such as office workers and students, tend to walk increasingly less. This has led to a reduced level of physical activity and partially resulted in widespread prevalence of non-communicable diseases (NCDs) such as obesity and diabetes. There have been many studies in the Western contexts confirming the significant impacts of the built environment (usually depicted by the 3D or 5D model) on walking. However, existing research is incomplete in the following two aspects: on the one hand, the current conclusions have been mainly based on the Western contexts, and therefore their applicability in cities of rapidly developing countries such as China is understudied. On the other hand, different population subgroups—for example, office workers and students—are featured with different lifestyles and habits. Thus, a research question arises: does the built environment affect their walking behavior in the same manner with regard to direction and magnitude? To address the aforementioned research gaps, this study examined and compared the impacts of the built environment on office workers' and students' pedestrian commuting in Hong Kong. Multivariate linear regression models and spatial econometric models were employed based on the 2011 Hong Kong Census data, Hong Kong Tertiary Planning Units (TPU) data, Open Street Map data, and CentaMap data. We found that: 1) Commuting distance is the strongest determinant of office workers' or students' probability of walking to workplaces or schools. 2) The associations between the built environment in Hong Kong (delineated by the 5D model, namely, density, diversity, design, destination accessibility, and distance to transit) and pedestrian commuting behavior of office workers and students are different from those in the Western contexts. For example, distance to transit is widely confirmed to significantly impact people's walking in Western countries. However, the variable is insignificantly associated with workers' or students' propensity of pedestrian commuting in Hong Kong. 3) There are apparent differences between the effects of the built environment on pedestrian commuting propensity of office workers and students. For example, population density is associated with office workers' and students' propensity of pedestrian commuting negatively and positively, respectively. This study highlights the importance of contexts and population differentiation in the built environment-travel behavior association research. Geographers, urban planners, public policy practitioners, and policymakers can draw on the findings of this study to make more informed and targeted interventions to mitigate physical inactivity for certain population groups. Further study can pay more attention to 1) impacts of the built environment surrounding a workplace/school and/or those of routes from home to workplace/school on pedestrian commuting behavior; and 2) the increasing differences between the built environment of Hong Kong and cities in the mainland of China and the underlying mechanisms of variation.

Keywords: built environment; pedestrian commuting; office worker; student; transit-dependent city; Hong Kong