

北京土地利用混合度对居民职住分离的影响

党云晓^{1,2,3,4}, 董冠鹏⁴, 余建辉^{1,2}, 张文忠^{1,2}, 谌 丽^{1,2,5}

- (1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验, 北京 100101;
2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 中国科学院大学, 北京 100039;
4. 英国布里斯托尔大学地理科学学院, 布里斯托尔 BS8 1SS;
5. 中国科学院虚拟经济与数据科学研究中心, 北京 100190)

摘要: 市场经济体制改革以来, 中国城市土地利用方式发生巨大变化, 深刻影响居民日常生活。尽管国内外学者关注土地利用方式对居民通勤行为的影响, 然而其研究方法均采用简单的单层模型, 未能将数据的多层嵌套关系纳入模型中。为解决这一问题, 本文采用多层线性模型(Multilevel Models), 以北京为例, 同时分析了在居住地和工作地层级上的街道土地利用混合度对居民职住分离的影响, 以及居民住房情况和社会经济属性对其职住分离的影响。研究结果表明, 微观层面的土地利用混合度的提升的确有利于减轻个体的职住分离; 个体所在的工作地土地利用方式也对其职住分离产生影响, 而且工作地对个体的影响要比居住地的影响更大; 居民的社会经济属性、住房情况等对其职住分离程度存在显著的影响; 交叉分类多层线性模型适用于解决存在复杂嵌套关系的影响因素分析。

关键词: 多层线性模型; 土地利用混合度; 职住分离; 北京

DOI: 10.11821/dlxb201506006

1 引言

1978年改革开放以来, 中国城市土地利用方式发生巨大变化。20世纪80年代以前, 单位是中国城市经济活动和空间组织的基本单元, 职工住房均由所在单位以福利发放的形式分配, 住房与单位在布局上非常接近, 形成就业用地与居住用地高度混合的土地利用布局方式。1980年以来, 市场化成为塑造土地利用方式的新力量, 由土地价值引发的城市用地功能置换推动不同功能地块在空间上自由寻找最佳区位, 引起城市空间结构从原来基于单位式就业—住宅混合的土地利用模式逐步向相对单一的城市用地结构发展, 尤其是住宅与就业的空间分离^[1]。土地利用方式的变化对居民出行行为产生了重要影响, 引起城市地理学和经济学的广泛关注。

长期以来, 土地利用方式被认为是影响居民职住分离的重要因素。然而, 国内外学者对此研究的结果存在差异。在西方国家, 学者们从不同角度探讨并认可了混合土地利用方式对减轻居民职住分离的作用。从城市规划的角度看, 以精明增长、新城市主义、

收稿日期: 2014-06-05; 修订日期: 2015-02-03

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41230632); 国家自然科学基金项目(41201169) [Foundation: Key Project of National Natural Science Foundation of China, No.41230632; National Natural Science Foundation of China, No.41201169]

作者简介: 党云晓(1987-), 女, 河南济源人, 博士研究生, 主要从事城市发展和住房问题研究。

E-mail: dangyx.09s@igsrr.ac.cn

通讯作者: 余建辉(1983-), 男, 甘肃张掖人, 助理研究员, 主要从事城市和区域发展研究。E-mail: yujh@igsrr.ac.cn

紧凑城市为代表的城市规划理念认为分离的土地利用方式会导致过长的通勤时间、交通拥堵、空间污染、低效的能源消耗、开敞空间损失以及职住不平衡等多种问题,而混合的土地利用方式被认为是解决这些问题的重要手段^[2]。近年来,一些学者从微观角度入手研究土地利用方式对个体职住分离的影响,其结果也呼应了规划界对混合土地利用方式的认可。例如, Mercado 以及 Maoh 等人的研究表明,对于一个居住区(zones/neighborhoods)而言,商业用地和居住用地的混合程度越高,居民在居住区内就业的可能性越大,发生职住分离的概率就越小^[3-4]。

从国内研究来看,学者们的研究结果尚未达成一致。一些学者主张借鉴国外的研究成果,认为在中国城市也应当积极推行混合土地利用方式来减轻职住分离,解决城市交通问题^[5-6]。其他学者并不主张通过提高土地利用混合度来解决中国城市交通问题^[7-8]。比如,丁成日指出,现阶段中国城市的突出特点是土地利用的高度混合,而普遍的混合用地正是导致交通严重拥堵的重要原因之一^[7]。一方面是因为土地利用混合度的提高伴随就业密度的下降,降低了通勤出行的交通可达性,另一方面是由于混合用地的零散分布很可能产生大量混乱而随机的交通流,增加对正常交通的干扰^[1]。此外,由于中国通勤交通需求缺乏弹性,所以混合土地利用给中国城市带来的益处并不明显。郑思齐也指出,混合土地利用模式降低了集聚经济效益和劳动生产率,不利于土地利用专业化分工,被切割的土地利用模块分割了劳动力市场,降低了宏观层面通勤出行的交通可达性。另外,郑思齐对北京市职工工资补偿和工资溢价的研究也表明,企业已经开始在集聚经济和通勤成本之间进行权衡,政府应当避免一味发展职住均衡而牺牲集聚效益^[8]。

虽然越来越多的学者关注职住分离问题^[9-11],然而关于上述问题的分歧依然存在。本文从两个方面对现有土地利用方式与职住空间分离关系的研究进行补充和深化。首先,理论上,笔者认为不但居民所在居住地的属性会影响其职住空间分离状况,而且居民所在工作地的属性也会影响居民职住分离状况。这是因为居民的居住所在地和工作所在地的属性特征都会影响其居住迁移(或者区位选择)和工作变动的决策,而居民的职住分离状况正是其决策后的均衡状态^[12-13]。实证研究中,忽略居民工作地特征对其职住距离的影响会导致模型对其他变量的影响程度估计不准确。其次,方法论上,提出多层线性模型可以作为一个既有效又灵活的分析框架,对土地利用方式和职住空间分离的关系进行研究。这是因为:①数据结构的嵌套性即居民嵌套于社区单元(比如街道委员会)。嵌套性预示着属于同一社区单元的微观个体之间存在着相互联系,这就是多层线性模型文献中的组内依赖性^[14];②多层线性模型能够同时估计居住所在地和工作所在地特征属性对居民职住分离的影响;③多层线性模型能够同时估计和研究居民职住分离状况在居住地和工作地上的空间分异。

为验证多层次模型在解决高层级空间单元的土地利用混合度对低层级个体职住分离的影响中,相比单层次模型更加灵活有效,本研究基于北京市宜居城市课题组于2005年获取的调查问卷数据,在多层线性模型分析框架下,回答以下三个问题:①从微观角度来看,土地利用混合度对个体职住分离有什么样的影响,是否有别于西方国家?②个体工作所在地的土地利用特征是否影响个体行为,这种影响是否有别于居住地对个体的影响?③将多层线性模型运用在地理学中处理数据的嵌套关系时,有什么样的优点?

2 研究方法 with 模型

目前,基于微观个体数据,对土地利用混合度和居民职住分离关系的研究主要采用

单层多元线性回归模型^[3-4]：

$$y_i = cons\beta_0 + \gamma landusemix_i + X'_i\beta + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中： y_i 表示居民的职住距离； $cons$ 表示常数项； $landusemix_i$ 表示居民所处社区（neighbourhood）的土地利用混合度；回归系数 γ 表明土地利用混合度对居民职住距离的影响； X'_i 为其他控制变量比如居民社会经济特征； β 为相应的回归系数向量； ε_i 为模型误差项，服从均值为0，方差为 σ_e^2 的正态分布， $N(0, \sigma_e^2)$ 。

模型（1）的主要问题在于，虽然 $landusemix_i$ 表示的是社区的土地利用混合度，但是它被强行赋给个体，作为个体的属性特征加入模型，这样的模型忽略了数据结构的嵌套性，即微观个体（居民）嵌套于社区单元中。位于同一社区内的居民，由于受到社区背景特征（能够测量以及不可观测到的属性）的影响，其行为结果往往具有的相似性。这就意味着在模型（1）中，同一社区内居民的职住距离是相互联系的而并非如模型所假设相互独立的。就统计推断来讲，忽略数据结构的嵌套性会导致变量（特别是社区层面变量）回归系数显著性的检验失效。通常，单层模型会低估变量回归系数的标准误差，进而高估变量的显著性^[14]。基于此，采用多层线性模型（Multilevel Models，下文中均简称MLM）研究北京市城区土地利用混合度对居民职住距离的影响。

根据文献^[14]，MLM可以设定为：

$$y_{ij} = cons\beta_{0ij} + \gamma_{ij} landusemix_j + X'_{ij}\beta + X'_j\delta \quad (2)$$

式中： i 和 j 分别表示居民和居住地两个层级； X_{ij}' 和 X_j' 表示居民和居住地层级的解释变量， β 和 δ 为对应的回归系数向量； u_j 为居住地的随机效应，服从均值为0，方差为 σ_u^2 的正态分布， $N(0, \sigma_u^2)$ ； u_j 和 ε_{ij} 被假定为相互独立的。 σ_u^2 和 σ_e^2 分别表示因变量职住距离在居住区和居民两个层级的变异程度（方差）。根据模型（2），居民职住距离的方差， $var(y_{ij}) = \sigma_u^2 + \sigma_e^2$ 。同一居住地的不同居民职住距离间的协方差， $cov(y_{ij}, y_{ij'}) = cov(u_j + \varepsilon_{ij}, u_j + \varepsilon_{ij'}) = \sigma_u^2$ 。因此，同一居住地内居民间的相互联系程度为 $\rho = \sigma_u^2 / (\sigma_u^2 + \sigma_e^2)$ 。在多层模型文献中， ρ 通常被称为组内相关系数或者方差分解系数，用于衡量组间差异对因变量的解释能力^[14]。

与单层回归模型相比，MLM最大的不同之处在于回归模型的截距和斜率都不再是一个固定常数，而是随机变量。原来单层模型的截距项 β_0 变为多层模型中的 β_{0ij} ， β_{0ij} 由三部分构成：固定效应 β_0 、居住区层级随机效应 u_{0j} 、居民层级随机效应 ε_{0ij} ；社区土地利用混合度的斜率由 γ 变为多层模型中的 γ_{ij} ； γ_{ij} 由两部分截距构成：固定效应 γ_1 、居住区层级随机效应 u_{1j} 。居民层级控制变量的斜率由 β 变为多层模型中的 β_{nij} ； β_{nij} 由三部分构成：固定效应 β_n 、居住区层级随机效应 u_{nj} 、居民层级随机效应 ε_{nij} 。由于截距和斜率在不同层级的随机效应被单独剥离出来，因此运用模型（2）可以控制居民职住分离在居住地层级的空间分异以及准确的估计居住地特征属性对职住距离的影响。

但是模型（2）依然不能够估计个体的工作所在地特征（能够测量以及不可观测到的属性）对职住距离的影响以及职住距离在工作地层级的空间分异。因此，为了同时估计居住地和居住地特征属性对居民职住距离的影响，采用更加复杂的交叉分类多层线性模型（cross-classified multilevel models，下文中均简称CC-MLM）。这是因为就数据结构来讲，居民既嵌套于居住地层级空间单元又嵌套于工作地层级空间单元，然而居住地和居住地却不存在严格的嵌套关系。根据Browne, Goldstein and Rasbash（2001）^[15]提出的表达方法，MLM和CC-MLM的概念模型可以用图1表示。

根据文献^[15]，CC-MLM可以表达为：

$$y_i = \gamma landusemix_i + X'_i\beta + Z'_i\delta + u_{residence(i)}^2 + u_{work(i)}^{(3)} + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$u_{residence(i)}^2 \sim N(0, \sigma_{u(2)}^2), u_{work(i)}^{(3)} \sim N(0, \sigma_{u(3)}^2), \varepsilon_i \sim N(0, \sigma_e^2)$$

式中： y_i 表示第*i*个居民的职住距离； $Z_i = [Z_{i,residence} \ Z_{i,work}]$ 表示第*i*个居民所在居住地和工作地的特征属性值， $\delta = [\delta_{residence} \ \delta_{work}]$ 为相对应的回归系数向量； $landusemix_i = [landusemix_{i,residence} \ landusemix_{i,work}]$ 表示第*i*个居民所在居住地和工作地的土地利用混合度， $\gamma = [\gamma_{residence} \ \gamma_{work}]$ 表示居住地和工作地土地利用混合度对居民职住距离的影响程度； $residence(i)$ 和 $work(i)$ 分别表示第*i*个居民的居住地和工作地， $u_{residence(i)}^{(2)}$ 和 $u_{work(i)}^{(3)}$ 表示居住地 $residence(i)$ 和工作地 $work(i)$ 的随机效应； $\sigma_{u(2)}^2$ 和 $\sigma_{u(3)}^2$ 分别表示职住距离在居住地层级和工作地层级的空间差异程度。运用该模型，可以很好的估计居住地和工作地层级变量对居民职住距离的影响以及分解职住距离在居住地和工作地层级的空间分异程度。比如 $\sigma_{u(2)}^2 / (\sigma_{u(2)}^2 + \sigma_{u(3)}^2 + \sigma_e^2)$ 表示职住分离在居住地层级的空间分异对职住距离总体差异的解释程度。

根据以往研究^[16-18]，用街道这一空间单元代表居民的居住地和工作地。一方面，街道作为中国城市人口普查的基本单元，可以获取其基本属性特征，也是可以获取的最高精度的空间单元。另一方面，尽管街道本身仍是一个较大的空间单元以及其内部异质性的存在，街道间社会经济属性的差异要远大于街道内部的差异^[19]。

3 数据与变量

本文的基础的数据主要来自宜居城市课题组于2005年实施的北京市居民社会属性及居住环境问卷调查，调查范围包括城八区的129个街道和远郊区中具有代表性的回龙观、天通苑、通州新城、亦庄新城、大兴黄村五个大型居住区^[20]。该调查按照每个街道总人口的千分之一比例分布问卷，采用等距随机抽样、方便抽样、交通控制配额抽样相结合的方法，控制调查对象为居住半年以上的居民，不包括短期停留的群体。调查问卷内容包括被调查者的居住和工作地的详细地址以及收入、年龄、性别、家庭结构、职业类型等社会经济属性状况和住房产权性质。调查共发放问卷11000份，回收有效问卷7647份，有效率为69.5%。根据本文的研究主题，选择居住与就业地址同时填写完整、社会经济属性信息完全的样本，并且删除了职业类型为学生、离退休、自由职业者等没有就业信息的样本，最终进入模型的样本个数为4312。街道层级的数据中，土地利用混合度数据来自2004年的北京市规划委员会土地利用现状图数字化结果，街道就业和人口数据分别来自北京市2001年单位普查数据和第五次人口普查资料。通过建立的调查问卷空间数据库，可以得到每个居民住房和工作单位的经纬度坐标，进而计算居民的职住空间距离，作为模型的因变量，对职住空间距离进行了自然对数转换以使其分布更加对称。

模型中的解释变量包含居民与街道两个层级的特征属性。对于居民层级数据，根据相关研究^[3-4, 21]，首先选取与职住分离密切相关的居民属性信息，包括收入、年龄、性别、家庭人口。此外，考虑到住房产权类型对居民职住分离的影响^[10, 22-24]，也将居民住房产权类型引入模型。对于街道层级数据，除了土地利用混合度外，参考已有研究^[4, 25]，在模型中还控制了人口密度与就业密度对居民职住分离的影响。主要的样本信息和模型变量的描述性统计分析如表1所示。通过对所有变量的统计分析，没有发现共线性问题。值得

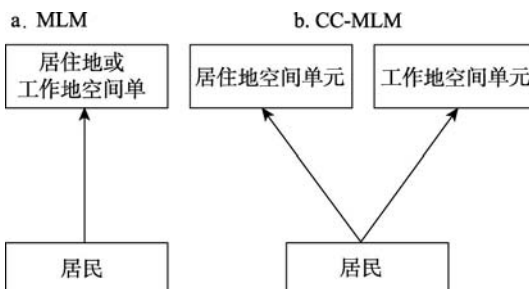


图1 MLM(a)和CC-MLM(b)概念模型对比

Fig. 1 Diagrams for a simple two level MLM (a) and a cross-classified MLM (b)

说明的是,在样本中,有82.82%的居住地和工作地不在同一个街道单元内,这些样本使能够运用CC-MLM对居民职住分离在居住地和工作地层级上空间变异同时进行估计。

本文对土地利用混合度的计算参考文献[3]及文献[26]的计算方法,公式如下:

$$Landusemix_i = \frac{-\sum_{k=1}^K p_{k,i} \ln(p_{k,i})}{\ln(K, i)}$$

(4)

式中: K 表示街道*i*的土地利用类型数量。利用北京市2004年土地利用现状图,文章选取与居住和工作密切相关的居住用地、公共服务设施用地、工业用地、市政公用设施用地四类用地; $p_{k,i}$ 表示第*k*种土地利用类型在街道*i*的面积占比。根据公式(4)计算的*Landusemix_i*取值区间在0~1之间,其大小反映了街道不同土地利用功能的混合程度,取值越大表示街道各种土地功能分配越均衡,土地利用混合度越高,取值越小表示街道的用地分配比较单一,土地混合利用度较低。经计算的街道土地利用混合度空间分布如图2所示。

4 模型估计与结果分析

依次对三个模型进行估计,其中模型I的第二层变量只加入样本居住街道属性信息,模型II的第二层变量只加入样本工作街道属性信息。前两个模型均属于传统的多层线性模型即MLM(公式(2))。在模型III中,采用更为复杂的交叉分类多层线性模型(CC-MLM)对居住地和工作地对居民职住距离的影响同时进行建模分析。对于MLM的估计,可以采用迭代广义最小二乘方法(Iterative Genelised Least Squares, IGLS)或者基于马尔科夫链蒙特卡洛模拟的贝叶

表1 样本基本情况与变量描述性统计分析

Tab. 1 Model variables and sample means		
变量	变量设定	均值(%)
个体层变量		
职住距离	居住地与就业地直线距离 (km)	5.93
收入		
3000元以下	家庭月总收入为3000元以下 (%)	22.54
3000~9999元	家庭月总收入为3000~9999元 (%)	69.09
1万元及以上	家庭月总收入为1万元及以上 (%)	8.37
住房产权		
单位房	包括已购单位房与未购单位房 (%)	48.17
保障性住房	包括经济适用住房、拆迁回迁房 (%)	18.78
商品房	商品房 (%)	22.47
其他住房	除上述以外产权的其他住房 (%)	10.58
年龄		
30岁以下	年龄为30岁以下 (%)	38.87
30~49岁	年龄为30~49岁 (%)	50.86
50~59岁	年龄为50~59岁 (%)	8.70
60岁及以上	年龄为60岁及以上 (%)	1.58
性别		
男	性别为男 (%)	49.70
女	性别为女 (%)	50.30
家庭人口	家庭人口总数 (%)	3
街道层变量		
土地利用混合度	根据公式(1)计算	0.54
人口密度	街道居住人口总数/面积 (人/m ²)	2.47
就业密度	街道就业人口总数/面积 (人/m ²)	1.25

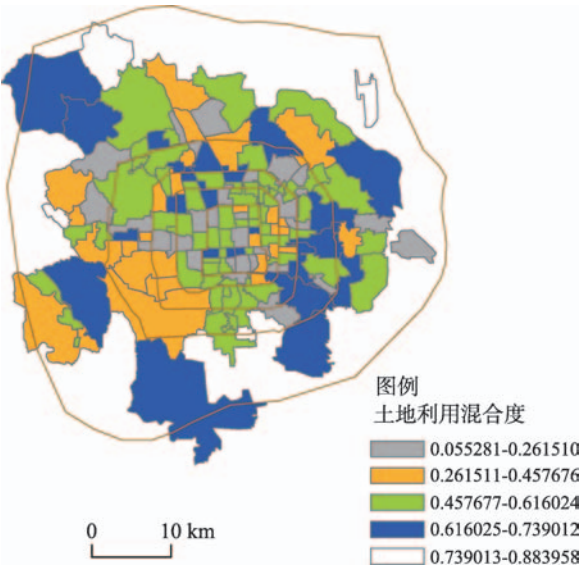


图2 北京城区街道土地利用混合度示意图
Fig. 2 Land-use mixed degree of sub-districts in Beijing

斯估计 (Bayesian Monte Carlo Markov Chain, MCMC)^[14]。对于 CC-MLM 的估计, 与 IGLS 方法相比, MCMC 方法能够提供更加准确并且稳定的模型参数估计^[15], 因此本文采用 MCMC 对 CC-MLM 进行估计。为了不同模型间的可比性, 本文中的所有模型均采用 MCMC 这一估计方法。

上述模型均采用 MLwiN (version 2.26) 软件进行估计, 基于 MCMC 估计的 MLwiN 详细操作手册见文献^[27]。为了保证 MCMC 收敛, 我们从各个模型参数的均衡条件分布 (conditional posterior distributions) 中抽取 110000 个样本。舍去前 10000 个样本 (burn-in period), 最终的模型参数汇总均基于后 100000 样本。文中采用 DIC (Deviance Information Criterion) 这一指标比较不同模型的拟合效果。DIC 作为一个综合指标, 既考虑到不同模型对数据的拟合程度又能考虑到模型的复杂程度。DIC 值越小表明模型对数据的拟合程度越高, 一般来说, 如果 DIC 值差别大于 10 则表明两个模型见有显著的差异^[27-28]。

4.1 职住距离在居住地和工作地层级空间分异

表 2 给出了三个模型对于居民职住距离在居住地和工作地层级空间分异的估计。从模型 I 和模型 II 可以看出, 在控制了一系列的居民人口社会经济属性, 居住地和工作地特征后, 居民职住距离在居住地和工作地的空间分异能够解释其总变异的 11.62% 和 18.29%。这表明位于同一居住地或者工作地的居民间的职住距离具有较大程度的相似性。在同时控制居住地和工作地对居民职住距离的影响下 (模型 III), 居民职住距离在居住地和工作地层级上的空间差异分别占其总变异的约 8.97% 和 22.81%。

表 2 职住分离影响因素的多层线性模型方差估计

Tab. 2 Variance component estimates for multilevel model of home-work separation

模型	居民层面方差 (总方差中比重)	居住地层级方差 (总方差中比重)	工作地层级方差 (总方差中比重)
模型 I (MLM)	1.187 (88.38%)	0.156 (11.62%)	NA
模型 II (MLM)	1.108 (81.71%)	NA	0.248 (18.29%)
模型 III (CC-MLM)	0.996 (68.22%)	0.131 (8.97%)	0.333 (22.81%)

这些结果对目前职住距离的研究至少有两个方面的启示。首先, 因为居民的职住分离状况除了在居民层面差异外, 在居住地和工作地层级都有显著的变异, 所以与单层模型相比, 多层线性模型能够提供了一个更为合适的分析框架。其次, 居民的职住距离在工作地层级上的差异 (22.81%) 比在居住地层级上的差异 (8.97%) 更为明显。对街道居住和就业人口的平均职住距离的直方统计图 (图 3) 也显示, 与所有街道作为居住地考虑时相比, 当所有街道作为工作地考虑时, 平均职住距离标准差相对更大, 说明居民职住距离差异在工作地层级上表现的更加明显。这说明一方面, 居民所在的工作地对其职住分离的影响要比居住地的影响大; 另一方面, 同一工作地内居民的职住分离状况的相似性要大于同一居住地内的居民。因此, 协同考虑工作地和居住地对居民职住距离的影响应该在以后类似的研究中得到重视。

4.2 模型估计结果解读

表 3 给出了三个模型的估计结果。表 3 中, pD 为模型有效估计参数的数目, 是模型复杂程度的标识, 其值越大表明该模型越复杂。因为在多层线性模型中, 居住地或者工作地的随机效应也需要估计, 所以三个模型的有效估计参数都要远大于模型中的自变量个数。分析发现模型 III 的 DIC 值分别比模型 I 和模型 II 小 648.75 和 364.41, 说明模型 III 要显著的优于模型 I 和模型 II, 也进一步的验证了同时考虑居住地和工作地对居民职住距离影响的重要性。

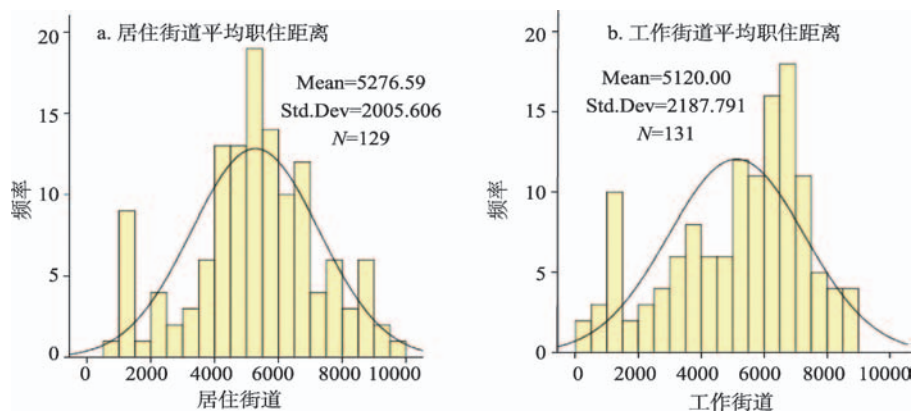


图3 居住地和工作地的样本平均职住距离直方图

Fig. 3 Histogram of mean home-work distance at sub-district level in Beijing

表3 职住分离影响因素的多层线性模型估计结果

Tab. 3 Estimate results for multilevel model of home-work separation

变量	模型I		模型II		模型III		单层多元线性模型	
	β	S.E.	β	S.E.	β	S.E.	β	S.E.
常量	8.172***	0.171	7.872***	0.204	8.104***	0.264	7.684***	0.109
个体层变量								
收入								
3000-9999元	0.078*	0.042	0.045	0.040	0.056	0.039	0.075*	0.043
1万元及以上	0.139**	0.070	0.068	0.068	0.115*	0.066	0.097	0.071
住房产权								
保障性住房	0.150***	0.048	0.231***	0.045	0.157***	0.044	0.215***	0.047
商品房	0.235***	0.045	0.296***	0.043	0.242***	0.042	0.215***	0.045
其他住房	-0.202***	0.059	-0.223***	0.057	-0.203***	0.055	-0.254***	0.060
年龄								
30-49岁	-0.083**	0.039	-0.096***	0.037	-0.101***	0.036	-0.080*	0.040
50-59岁	-0.269***	0.067	-0.295***	0.065	-0.262***	0.062	-0.316***	0.068
60岁及以上	-0.724***	0.140	-0.668***	0.136	-0.629***	0.130	-0.754***	0.143
性别								
女	-0.005	0.034	-0.006	0.033	-0.004	0.032	-0.009	0.035
家庭人口	-0.035*	0.020	-0.027	0.019	-0.025	0.018	-0.036*	0.020
居住街道层变量								
土地利用混合度	0.082	0.287			-0.607**	0.272	0.002	0.125
人口密度	-0.000	0.011			-0.005	0.010	-0.002	0.004
就业密度	0.004	0.004			-0.004	0.003	0.000	0.002
工作街道层变量								
土地利用混合度			0.343	0.348	0.515	0.396	0.664***	0.127
人口密度			0.007	0.013	0.011	0.015	0.005	0.004
就业密度			0.010**	0.004	0.013***	0.004	0.012***	0.001
pD	104.34		114.34		209.79			
DIC	13077.84		12793.50		12429.09			

注：*、**、***分别表示变量在90%、95%和99%置信水平上显著。

4.2.1 居民层面变量对职住距离的影响 根据模型Ⅲ的估计结果,居民层面变量中,收入对其职住分离有显著的影响,特别是家庭月总收入在1万元及以上居民的职住分离状况要显著的大于家庭月总收入小于3000的居民。这可能是因为相比低收入家庭,高收入家庭更有可能拥有已购住房,迁就工作地而更换居住地的概率较小,相应的职住距离较长,而低收入家庭中选择租房的概率更大,以缩短职住距离为目的的迁居经济成本小,因而职住分离相对较轻。不同住房产权属性的居民其职住分离程度不同,相比于保障性住房和商品房,单位房居民的职住距离较短。这也说明了虽然中国城市进行住房体制改革已有20余年的历史,旧有单位体制的历史遗留作用依然对个体行为产生重要影响,单位房在过去职住合一的布局思路下表现出职住更加临近的特征。年龄与职住分离有显著的负相关关系,年龄在50~59岁、60岁及以上居民的职住分离程度显著低于30岁以下居民,可能的原因是,50岁及以上的居民更多受到过去单位制度的影响,住房多为当时的单位分配房,这种类型的住房在空间上更接近职工的工作地,因而其职住分离程度较轻。居民性别属性与家庭人口数量对其职住分离状况没有显著的影响。

4.2.2 居住地和工作地属性对职住距离的影响 根据模型Ⅲ的估计结果,居住地的土地利用混合度对个体的职住距离有显著负向影响:居民居住地的土地利用混合度越高,个体相应的职住分离越轻。模型估计的两者量化关系可以表示为,居住街道的土地利用混合度每提高1个单位,个体的职住距离将减少约60.7% (模型中对职住距离进行了自然对数转换),说明提高居住街道层的土地利用混合度有利于降低居民的职住分离程度。该研究结果与国外学者对西方国家城市的研究结果类似^[3-4]。对于居民所在的居住街道,高土地利用混合度可能意味着更多的就业用地,个体在街道内寻找到就业机会的概率更大,发生职住分离的概率更小。然而在模型Ⅰ中,居住地的土地利用混合程度对居民职住距离并没有显著的影响,这表明不将居住地和工作地对居民职住距离的影响区分开来可能会得到错误的结论。居住地的人口密度与就业密度对个体的职住分离没有显著影响。

从工作地属性来看,土地利用混合程度对职住距离的影响不显著。然而,工作地的就业密度对职住分离有显著的正向影响,工作街道的就业密度每增加1个单位,个体的职住距离将增加1.3%。可能的原因是在就业人口高度密集的道路,用地功能以产业为主,居住用地较少,可以寻求到的住房机会很小,因此在这些街道工作的个体不得不向街道外寻找住房机会,从而产生较大的职住分离程度。

值得注意的是,对比基于CC-MLM方法的模型Ⅲ的回归结果,单层多元线性模型的回归结果显示,居住街道土地利用混合度的系数为正且不显著,工作街道土地利用混合度显著,这就证明了如果采用单层线性模型,把街道层级变量强行赋予个体会得出有偏差的结论,街道层级属性对个体职住距离的影响不能被真实地估计。

4.3 居住地和工作地随机效应

图3分别显示采用CC-MLM方法模拟的空模型的居住街道和工作街道层级随机效应的空间分布。这里的随机效应表示街道层级的随机截距,即街道居民职住距离与总体均值的差异,引入街道的随机效应分析可以帮助我们空间上对职住距离的分布进行整体检验。此外,随机效应的另外一个重要意义在于识别异常值,即帮助我们查找职住距离显著异于总体均值的街道。图3a和3b中的临界值为居住街道和工作街道随机效应的四分位数,从四分位数来看,没有明显的异常值街道。

对于居住街道层级来说,居住街道单元的随机效应分布没有明显的空间分布规律。随机效应为负,即居民职住距离小于总体均值的街道(图中灰色图斑)主要还是分布在四环以内。一些位于五环附近或者以外的城市边缘区的街道单元(图中蓝色图斑)的随

机效应较大,说明这些区域的居民职住距离均值明显高于总体均值,即这些区域的职住空间分离状况相对严重。作为居住地,大多数位于城市区域的街道单元的职住分离状况较轻。分析发现一些位于三环以内的街道单元的随机效应也较大,说明这些街道居民的职住距离相对较大。

工作街道单元的随机效应同样也未表现出明显的空间分布规律,相比居住街道而言,工作街道单元的随机效应分布更均匀且更向零值靠拢。随机效应较大的街道(图中蓝色图斑)主要位于四环以外的区域,在这些街道工作的居民其职住分离程度相对严重。

5 结论与讨论

本文以北京为例,在多层线性模型框架下分析了居民所在的小尺度地理单元——街道的土地利用混合度对居民职住分离的影响,以期解答土地市场化改革以来,旧有制度和市场化力量共同作用下的土地利用方式对个体行为的影响。本文主要得到以下结论与启示:

(1) 虽然丁成日、郑思齐等学者指出应当避免一味的推行宏观层面的混合土地利用方式,认为这并不利于集聚经济和有序的交通出行,但是本文的研究结果表明,从个体的微观层面来看,居住在土地利用混合度相对较高的街道有利于降低其职住分离的概率。笔者认为,这并不是两条矛盾的结论,从城市发展的宏观层面来看,人口和产业在空间上分别走向各自的集聚点是城市发展的必然趋势和要求,但也造成了人口和就业的空间失衡,尤其是北京表现出就业整体向中心地区集聚的强大趋势,而人口在外迁的过程中不断向近郊区分散^[29]。然而从微观层面来看,土地利用混合度的提升的确有利于减轻职住分离。这暗示了宏观与微观层面的土地利用模式需要在空间上相互衔接协调,在产业和人口大集聚的空间结构下,合理安排小尺度单元的混合土地利用方式。合理的城市土地利用不仅仅是有利于集聚经济的发挥,同时也要有利于居民就近寻找就业,减少跨区域通勤。

(2) 区别于以往仅仅关注个体所在居住地的研究相比,本文最大的发现在于,个体所在的工作地土地利用方式也对其职住分离产生影响,而且工作地的这种影响要比居住地的影响更大。也就是说,与街道被作为居住地相比,作为工作地时不同街道之间个体的职住分离差异更大,而同一街道内部个体的职住分离差异更小。可能的原因是,就北京市目前的城市空间结构来看,就业用地向中心城区集聚而居住用地向外扩散,这就导致同在中心城区就业的个体其居住地选择有更多的可能性。至于城市空间结构是如何作用于这种差异,还需要进一步深入研究。这一结论启发我们,协同考虑工作地和居住地对居民个体行为的影响应该在以后类似的研究中得到重视。

(3) 居民的社会经济属性、住房情况等对其职住分离程度存在显著的影响,具体来说,高收入居民的职住分离状况大于低收入;单位房居民的职住距离相比保障性住房和商品房居民更短;高年龄居民的职住分离程度低于年轻人。这些结论进一步证实了国内外已有的研究。

(4) 就方法而言,以往的研究往往忽略了居民嵌套于街道这层空间单元内的数据关系,采用单层模型模拟街道土地利用方式与个体职住距离的关系,本文采用多层线性模型有效地解决了这个问题。多层线性模型适用于解决数据之间存在嵌套关系(即数据同时存在两个或以上的层级,其中至少有一个层级嵌套于另外一个层级中)的影响因素分析,模型能够同时估计出不同层级影响因素的方差贡献,可以估计高层级单元属性对低

层级单元属性的影响。更加复杂的交叉分类多层线性模型可以解决存在复杂嵌套关系(如本文所示,低层级单元同时嵌套于两个不存在严格嵌套关系的高层级单元中)的影响因素分析,能够同时估计出不同高层级属性对低层级单元的影响以及分解低层级属性在不同高层级单元的空间分异程度。

随着人文地理学研究话题向更加微观尺度的拓展,地理学家研究的空间尺度开始多元化,如何整合不同地理空间层级的要素成为地理学家们关注的重点。多层线性模型为解决这一难题提供了有利的工具,在欧洲,多层线性模型已经深入到健康地理学和行为地理学领域,借助这一工具,越来越多的城市问题研究得以开展。目前,我国地理学者对多层线性模型的关注和使用还相对较少,未来需要人文地理学者广泛地关注多层次模型。

当然,本文只是对基于多层次线性模型的土地利用混合度与职住分离的初步研究,存在一些不足和待改进地方。首先,由于本文的主要目的是验证多层次模型在解决此类数据嵌套关系研究中的优势,因此没有刻意选用最新的数据,而是采用了2005年的调研数据;其次,本文对土地利用特征与个体行为之间关系的理论研究不足,同时由于数据限制,也未能考虑更多的制度和政策因素;此外,多层线性模型框架本身也有一定的不足之处,例如考虑到街道单元间的相互作用^[18];再者,国外学者的研究也指出,对于不同的人群而言,土地利用混合度的影响也是不同的^[3],而在不同的城市与地区,土地利用特征对个体行为的影响并不完全一致。例如,Morency对加拿大三个城市的对比研究发现不同城市的人口密度对个体职住距离的影响截然相反^[30]。未来需要进一步研究在不同城市,对不同人群来说,土地利用特征对个体行为影响的差异。

参考文献(References)

- [1] Ding Chengri. Urban Growth and Policy: International Perspective and China Development. Beijing: Higher Education Press, 2009: 189-193. [丁成日. 城市增长与对策: 国际视角与中国发展. 北京: 高等教育出版社, 2009: 189-193.]
- [2] Yan Song, Gerrit-Jan Knaap. Measuring the effects of mixed land use on housing values. *Regional Science and Urban Economics*, 2004, 34: 663-680.
- [3] Ruben Mercado, Antonio Paez. Determinants of distance traveled with a focus on the elderly: A multilevel analysis in the Hamilton CMA, Canada. *Journal of Transport Geography*, 2009, 17(1): 65-76.
- [4] Hanna Maoh, Zhongyuan Tang. Determinants of normal and extreme commute distance in a sprawled midsize Canadian city: Evidence from Windsor, Canada. *Journal of Transport Geography*, 2012, 25: 50-57.
- [5] Lin Hong, Li Jun. Relationship between spatial distribution of resident trips and mixed degree of land use: A case study of Guangzhou. *City Planning Review*, 2008, 32(9): 53-74. [林红, 李军. 出行空间分布与土地利用混合程度关系研究: 以广州中心片区为例. *城市规划*, 2008, 32(9): 53-74.]
- [6] Qian Linbo. The research on the relationship between degree of mixed urban land-use and spatial distribution of trips: In case study of main districts in Nanjing. *Urban Research*, 2000, 82(3): 7-10. [钱林波. 城市土地利用混合程度与居民出行空间分布: 以南京主城区为例. *城市研究*, 2000, 82(3): 7-10.]
- [7] Ding Chengri. The impact of urban spatial structure and land use pattern on urban transportation. *Urban Transport of China*, 2010, 8(5): 29-35. [丁成日. 城市空间结构和用地模式对城市交通的影响. *城市交通*, 2010, 8(5): 29-35.]
- [8] Zheng Siqi. The Spatial Structure of Urban Economy: Housing, Jobs and Related Urban Issues. Beijing: Tsinghua University Press, 2012: 147-153. [郑思齐. 城市经济的空间结构: 居住、就业及其衍生问题. 北京: 清华大学出版社, 2012: 147-153.]
- [9] Liu Zhilin, Zhang Yan, Chai Yanwei. Home-work separation in the context of institutional and spatial transformation in urban China: Evidence from Beijing household survey data. *Urban Studies*, 2009, 16(9): 110-117. [刘志林, 张艳, 柴彦威. 中国大城市职住分离现象及其特征: 以北京市为例. *城市发展研究*, 2009, 16(9): 110-117.]
- [10] Chai Yanwei, Zhang Yan, Liu Zhilin. Spatial differences of home-work separation and the impacts of housing policy and urban sprawl: Evidence from household survey data in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 157-166. [柴彦威, 张艳, 刘志林. 职住分离的空间差异性及其影响因素研究. *地理学报*, 2011, 66(2): 157-166.]

- [11] Meng Bin. The spatial organization of separation between jobs and residential locations in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1457-1466. [孟斌. 北京城市居民职住分离的空间特征. *地理学报*, 2009, 64(12): 1457-1466.]
- [12] William A V Clark, Huang Youqin, Suzanne Withers. Does commuting distance matter? Commuting tolerance and residential change. *Regional Science and Urban Economics*, 2003, 33(2): 199-221.
- [13] Yu Jianhui, Dong Guanpeng, Zhang Wenzhong, et al. The correlated decision process of house move and job change and its heterogeneity: A case study of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(2): 147-155. [余建辉, 董冠鹏, 张文忠, 等. 北京市居民居住—就业选择的协同性研究. *地理学报*, 2014, 69(2): 147-155.]
- [14] Harvey Goldstein. *Multilevel Statistical Methods*. 3rd ed. London: Arnold, 2003.
- [15] William J Browne, Harvey Goldstein, Jon Rasbash. Multiple membership multiple classification (MCMC) models. *Statistical Modelling*, 2001(1): 103-124.
- [16] Dong Guanpeng, Zhang Wenzhong, Wu Wenjie, et al. Spatial heterogeneity in determinants of residential land price: Simulation and prediction. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(6): 750-760. [董冠鹏, 张文忠, 武文杰, 等. 北京城市住宅土地市场空间异质性模拟与预测. *地理学报*, 2011, 66(6): 750-760.]
- [17] Richard Harris, Dong Guanpeng, Zhang Wenzhong. Using contextualised geographically weighted regression to model the spatial heterogeneity of land prices in Beijing, China. *Transaction in GIS*, 2013, 17: 901-919.
- [18] Dong Guanpeng, Richard Harris. Spatial autoregressive models for geographically hierarchical data structures. *Geographical Analysis*, 2014 (in press).
- [19] Wu Wenjie, Dong Guanpeng. Valuing the 'green' amenities in a spatial context. *Journal of Regional Science*, 2014, 54(4): 569-585.
- [20] Zhang Wenzhong, Yin Weihong, Zhang Jingqiu, et al. *A Study of Livable Cities in China*. Beijing: Social Science Academic Press, 2006: 5-38. [张文忠, 尹卫红, 张景秋, 等. 中国宜居城市研究报告. 北京: 社会科学文献出版社, 2006: 5-38.]
- [21] Ronald W McQuaid, Tao Chen. Commuting times: The role of gender, children and part-time work. *Economic Geography*, 2012, 34(1): 66-73.
- [22] Wang Donggen, Chai Yanwei. The jobs-housing relationship and commuting in Beijing, China: The legacy of Danwei. *Journal of Transport Geography*, 2009, 17: 30-38.
- [23] Pengjun Zhao, Bin Lu. Exploring job accessibility in the transformation context: An institutional approach and its application in Beijing. *Journal of Transport Geography*, 2010, 18: 393-401.
- [24] Enru Wang, Jinping Song, Tao Xu. From "spatial bond" to "spatial mismatch": An assessment of changing jobs-housing relationship in Beijing. *Habitat International*, 2011, 35: 398-409.
- [25] Zhao Pengjun, Bin Lu, Gert de Roo. Impact of the jobs-housing on urban commuting in Beijing in the transformation era. *Journey of Transport Geography*, 2011, 19: 59-69.
- [26] Robert Cervero, Kara Kockelman. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity and design. *Transport Research Part D: Transport and Environment*, 1997(2): 199-219.
- [27] William Browne. MCMC estimation in MLwiN (version 2.26). Centre for Multilevel Modelling, University of Bristol, 2012.
- [28] David J Spiegelhalter, Nicola G Best, Bradley P Carlin, et al. Bayesian measures of model complexity and fit (with discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 2002, 64: 191-232.
- [29] Sun Tieshan, Wang Lanlan, Li Guoping. Distributions of population and employment and evolution of spatial structures in the Beijing metropolitan area. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(6): 829-840. [孙铁山, 王兰兰, 李国平. 北京都市区人口—就业分布与空间结构演化. *地理学报*, 2012, 67(6): 829-840.]
- [30] Catherine Morency, Antonio Paze, Matthew J Roorda, et al. Distance traveled in three Canadian cities: Spatial analysis from the perspective of vulnerable population segments. *Journey of Transport Geography*, 2011, 19: 39-50.

Impact of land-use mixed degree on resident's home-work separation in Beijing

DANG Yunxiao^{1,2,3,4}, DONG Guanpeng⁴, YU Jianhui^{1,2}, ZHANG Wenzhong^{1,2}, CHEN Li^{1,2,5}

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

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

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. School of Geographical Sciences, University of Bristol, Bristol, BS8 1SS, UK;

5. CAS Research Center on Fictitious Economy & Data Science, Beijing 100190, China)

Abstract: In the last three decades, urban China has experienced drastic market-oriented reform, which has led to enormous transformation of urban spatial structure, as well as to the change of land-use pattern. Some researches at home and abroad have noticed possible impacts of land-use pattern on residents' daily commuting behaviors. However, the results are quite different. Western researchers proved that mixed land-use pattern has positive impacts on home-work separation, and a lot of domestic scholars argued that mixed land-use pattern should be encouraged in urban China. Conversely, few researchers, like Ding and Zheng, objected to mixed land-use pattern in urban China. So far, there has been limited empirical research on the impact of land-use mixed degree on home-work separation in Chinese cities.

This paper attempts to contribute to the gap by providing empirical evidence for mixed land-use pattern and its impact on home-work separation in Beijing. Using the land-use map in 2004 and large-scale survey data of land use in 2005, based on multilevel model, we analyze the impact of land-use mixed degree on resident's home-work separation. The primary innovation of this paper is that, we prove the possible influences of working place attributes on individual home-work separation. More importantly, we use a more complex multilevel model in this paper, called cross-classified multilevel model based on Bayesian Monte Carlo Markov Chain method.

Several conclusions are drawn as follows: (1) Land-use mixed degree of sub-district has influences on residents' home-work separation. The probability of bearing long home-work separation for residents who live in sub-districts with higher land-use mixed degree is small. (2) There are significant variances of residents' home-work distance both in living and working sub-district, implying that the correlated impact of living and working sub-district on home-work separation should be given more attention in future researches. (3) Residents' economic attribute and housing ownership have significant influence on home-work separation. The probability of bearing long home-work distance for residents living in Danwei houses is smaller than those living in commercial or affordable houses. (4) Multilevel modelling provides a more flexible and effective framework for the analysis of geographic data containing complicated nest relationship. As geography develops, MLM would be very useful in the field of urban issues.

Keywords: multilevel modelling; land-use mixed degree; home-work separation; Beijing