

施响, 王士君, 王冬艳, 等. 中国市域间日常人口流动特征及影响因素 [J]. 地理科学, 2022, 42(11): 1889-1899. [Shi Xiang, Wang Shijun, Wang Dongyan et al. Characteristics and influencing factors of daily population flow among cities in China. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(11): 1889-1899.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2022.11.004

中国市域间日常人口流动特征及影响因素

施响¹, 王士君², 王冬艳³, 浩飞龙², 李卓伟²

(1. 吉林大学东北亚学院, 吉林 长春 130012; 2. 东北师范大学地理科学学院, 吉林 长春 130024;
3. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要: 基于腾讯位置大数据, 分析了 2015—2018 年中国 368 个城市间人口流动的空间格局, 并基于指数随机图模型 (ERGM) 识别了与人口流入、流出相关的影响因素。研究发现: ① 人口流动的空间分布格局相对稳定, 形成了以京、深、沪、穗、蓉、莞为“中枢”的菱形空间结构。② 通过社区划分得到的城市子群结构表明, 社区间呈现明显的地理临近和省际分异特征, 既形成了以省会城市为核心、受省界制约明显的中心—腹地结构的小型城市子群, 也形成了跨越省界的多中心结构的大型城市子群, 但大部分城市以省界为主要流动圈层, 省域内人口流动更为密切。③ ERGM 模型确定的人口流入、流出网络影响因素与新古典经济学理论相一致, 人口规模、城市化水平、时间成本、经济成本等市场因素和经济因素在人口流动中仍然具有主导性作用。④ 城市对外来人口的吸引力更大程度上取决于自身的属性特征, 而城市人口外流更依赖于外部网络关联要素, 一定程度上验证了推拉理论中城市“拉力”的主导力量, 以及各类距离因素的综合作用。

关键词: 人口流动; 腾讯位置大数据; ERGM; 外来人口

中图分类号: C912.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2022)11-1889-11

中国人口流动正在发生巨大变化。20 世纪 80 年代末以前, 随着乡镇企业的迅速发展和农业体制改革, 大量剩余劳动力从农村流向中小城市。20 世纪 90 年代至 21 世纪初, 随着沿海城市的快速发展, 中国流动人口数量急剧增加。然而, 自 2015 年以来, 流动人口的规模已从先前的持续上升转变为缓慢下降。据《中国流动人口发展报告 2018》^[1] 显示: 2015 年, 中国移民总数与 2014 年相比减少了约 800 万人。除了总量变化, 人口流动的方向也在发生转变。2015 年以来, 中国劳动力特别是外来务工人员开始从沿海地区向中西部地区回流。因此, 随着人口流动数量和方向的变化, 中国人口流动的空间格局演变, 城市间人口流动网络的决定因素都是迫切需要解决的问题。

已有研究成果虽然在一定程度上回答了上述问题, 但仍存在一些不足。首先, 从理论的角度来看,

新古典经济学和以舒适性为导向的迁移理论使人口流动的解释变得更加困难。作为这一领域的先驱, Ravenstein 基于 20 多个国家或地区的数据, 率先提出了移民法则^[2]。Lee 系统地提出了人口迁移的推拉理论, 他认为迁出地和迁入地实际上既有拉力又有推力, 人口迁移是迁出地因素、迁入地因素、中间障碍因素和个人因素等综合作用的结果^[3]。在新古典宏观经济学理论中, 劳动力供求之间的地理差异和工资差异在劳动力迁移中起着重要作用^[4]。另一方面, 在新古典微观经济学理论中, 个人利益最大化成为移民的根本原因^[5]。上述人口迁移理论均强调了经济因素的重要作用, 而低估了环境、基础设施等舒适性因素的影响。Mueser 等认为, 便利的居住设施可能比利润转移变量更为重要^[6]。Alessandra 等学者发现, 即使控制传统变量, 衡量舒适性的综合指标(包括多个方面)仍然发挥着至关重要的

收稿日期: 2021-04-15; **修订日期:** 2022-01-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171198)、中央高校基本科研业务费项目(2412020FZ001)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (42171198), the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2412020FZ001).]

作者简介: 施响(1993-), 女, 辽宁沈阳人, 博士, 助理, 主要从事城市地理与区域规划、流动空间研究。E-mail: shixiang@jlu.edu.cn

通讯作者: 王士君。E-mail: wangsj@nenu.edu.cn

作用^[7]。与此同时,国内学者关于人口迁移行为也存有争议。多数学者认为移民是由较高的经济收益、较高的预期收入以及较少的就业机会和地理距离所推动的^[8-14]。其他学者也提出了不同的观点,Cao 等人发现自然环境在各省之间的人口流动中起着重要作用^[15],而 Liu 等认为,设施便利性的地区差异对中国人口迁移几乎没有影响^[16]。

其次,利用网络方法来探究人口流动的文献稍有不足,特别是用 ERGM(Exponential Random Graph Models, 随机图模型)方法分析人口流动网络影响因素的相关文献十分有限。现有方法主要有重力模型或改进的重力模型^[15]、多元回归分析^[17]、个体效用最大化框架^[16]、二元逻辑回归^[18]、动态模型^[9]、地理加权回归^[11,12]等。事实上,区域间人口流动的空间相关性呈现出一种网络结构^[19]。Wei 等人提出,城市间人口流动形成了典型的有向加权地理网络^[20]。Xu 等建议应用网络方法来揭示劳动力迁移与城市发展之间的关系^[13]。此外,Windzio 认为,网络结构中未被观察到的特征可能会对人口迁移产生重大影响^[21]。社会网络分析(尤其是 ERGM)可以捕获社交过程的内在性,以揭示这些未被观察到的特征,为探究人口流动因素提供更为准确的方法。

第三,现有的文献研究大多基于各省的人口普查数据^[22-26],且侧重于部分城市,而忽略了少数民族城市以及边远地区的自治州、盟和其他地级行政单元,并不能准确反映中国的总体情况^[27,20]。2015 年至今,大型互联网公司根据亿万用户的位置数据统计了各个级别空间单元之间的每日人口流量。这样的大数据为解决上述问题提供了良好契机^[28],引起了学者们的广泛关注。相比传统数据,大数据由于时间和位置信息相当准确,具有较高的准确性;由于数据庞大覆盖范围广而更具代表性。相关文献中大数据的使用主要集中在土地利用模式^[29,30],城市边界和城市等级体系的重新划分^[20,31,32],检测社会经济发展信息^[11,13,33,34]等,均体现了这些优势。

尽管如此,现有的人口流动文献大多采用春节前后^[13,35]或“国庆—中秋”期间的数据^[27]。因此,所获得的结论不能反映全年的情况,也不能揭示逐年的变化。此外,区域间人口流动网络形成的影响因素尚未确定。鉴于此,本文基于“腾讯位置大数据”探究 2015—2018 年中国人口流动网络的空间特征及变化,构建 ERGM 模型,深度剖析网络结构特征、城市节点属性特征以及城市网络关系特征对人口流

动网络形成的影响,以期补充现存文献在人口流动网络驱动机制分析方面的研究。

1 研究区域、数据来源与方法

1.1 研究时点和区域

本研究选取 368 个城市市域为研究范围,即城市行政管辖的全部地域,具体包括 4 个直辖市、364 个地级行政单元(324 个地级市、30 个自治州、7 个地区,3 个盟)。由于腾讯位置大数据对外开放始于 2015 年,以及 2019 年末新冠肺炎疫情的影响,研究时限为 2015—2018 年,其中,由于个别年份数据获取限制,2015 年研究区域为 363 个市级行政单元(双河市、可克达拉市、昌都市、北屯市和澳门市无人口流动数据),2017 年则为 367 个市级行政单元(哈密市无人口流动数据),2016 年和 2018 年均 368 个市级行政单元。另外,由于统计口径范围划定及部分社会经济数据获取受限,在人口流动空间格局演变与影响因素分析中未包含台湾地区。

1.2 数据来源

本文所用的人口流动数据是来自互联网的“腾讯位置大数据”(https://heat.qq.com/),时间精确到每一天,记录了 2015—2018 年 368 个城市间每日人口流量,共标注了“流入量”“流出量”“时间”“出发城市”“到达城市”和“交通方式”6 个字段。该数据集已多次用于城市间人口流动研究,并已验证了数据有效性^[27]。此外,根据《中国移动互联网 2020 半年大报告》(https://www.questmobile.com.cn/research/report-new/142),截至 2020 年 6 月,移动互联网用户中腾讯 APP 用户规模突破 10 亿,移动大盘渗透率达到 98.7%。腾讯位置大数据具有用户量多、时空分辨率高且与人们生活息息相关等优势,因此,该数据集可以相对准确地反映个人出行的运动轨迹,已经被广泛应用于城市间人口流动、经济联系、城市群识别等相关研究中。

通过腾讯位置大数据获取的人口流动数据显示了城市间每日的人口往来流量,对人口迁移的性质与目的未做明确区分。因此,本文所指的人口流动未对户籍登记地是否变更进行区分,既包含短期临时流动也包含长期迁徙定居,泛指城市间人口的日常流动。

1.3 研究方法

1.3.1 社区发现

社区发现(Community detection)可反映网络中

个体局部性特征及其相互间的联系, 并分析与预测整个网络各元素间的交互关系。其中, Newman 等提出模块度 (Modularity)^[36] 算法, 指在某种社区划分下与随机网络的差异, 用来衡量网络社区划分质量, 公式如下:

$$Q = \sum_{m=1}^n \left[\frac{l_m}{L} - \left(\frac{d_m}{2L} \right)^2 \right], m \leq n$$

式中, Q 为模块度函数, 定量衡量社区划分结果; n 代表计算出的社区数量; L 为网络中人口流动总量; l_m 为第 m 个社区内部的人口流量; d_m 为社区 m 中与各节点相关联的人口流量之和。

通过 Gephi 计算 4 a 的人口流动网络模块化程度, 均保持在 0.7 以上, 这意味着基于人口流动网络划分的社区结构集聚特征明显。

1.3.2 发现驱动因素的 ERGM 模型

随机图模型 (ERGM) 是对网络结构进行统计分析的模型, 可以用来解释观测的网络结构特征。该模型以“自下而上”和“内外兼顾”的研究视角引起学界广泛关注^[31], 其更多强调网络关系与关系之间的依赖性, 一条关系的出现取决于其他关系是否出现的概率, 同时考虑行为者属性 (城市特征) 在网络结构形成过程中发挥的作用, 以及外部环境对网络结构发展的影响, 被认为是对网络科学进行实证分析最为有效的工具之一^[37]。具体计算过程参见文献 [37]。

ERGM 经过估计、诊断、仿真、比较和改进等步骤, 用来检验哪些因素对网络形成的影响更为显著。本文主要采用 R 语言 statnet 程序包构建模型并完成 ERGM 估计。

1.3.3 候选解释变量的理论基础

1) 在 ERGM 中, 网络结构效应是指仅来自网络内部过程的内生结构因素, 如网络边缘数、互惠性、聚敛性、扩张性、传递性等, 上述统计数据使 ERGM 能够揭示所观察到的特定依赖结构在网络形成过程中的作用。受模型自由度的限制, 模型中不能包含所有 368 个城市节点的发起者效应和接收者效应, 本文不包括聚敛性和扩张性。在强聚类网络中如果引入三角结构, 可能会导致模型估计结果的不收敛或近似退化^[31,38]。因此, 最终选择边缘数和互惠性作为网络内生结构的影响因素 (表 1)。

2) 节点属性变量, 包括人口因素、经济因素、社会环境因素等。根据新古典经济学理论, 人口规

模被认为会影响人口流动, 并在此基础上发展了引力模型。本文选取城市的人口规模作为衡量人口流动影响因素的指标之一。大多数学者的研究表明, 理性的个体试图最大限度地从发展中地区流向发达地区, 经济较为发达的城市对人口更具吸引力, 因此选取二产结构 (第二产业增加值占比)、三产结构 (第三产业增加值占比)、城市化水平和经济规模 (人均 GDP) 4 个方面来反映城市的经济发展水平^[11~13,18]。此外, 医疗设施、教育设施、文化设施和市政媒体的水平也影响人们的出行选择^[7]。由于本文研究范围较大, 很难获得一个相对完整的指标。一般来说, 政府在教育 and 科技方面的投入越大, 城市便利性越高。因此, 本文采用教育水平 (人均教育支出) 和科技水平 (技术支出) 来衡量社会环境因素。

3) 反映外部网络效应的变量, 包括地理距离、时间距离、经济距离、连通距离和制度距离。首先, 地理距离是早期人口迁移理论中的一个关键因素。地区之间的距离越小, 凝聚力量越强的观点已成为学术界的共识^[38]。其次, 在研究人口流动的驱动因素中, 出行成本是影响人口移动决策行为的重要因素, 主要包括时间可达性和经济可达性两个方面。时间可达性方面, 城市间通行用时的长短逐渐成为人在迁移选择前所需要考虑的重要因素, 高铁和高速的快速发展使得沿线城市间交通便利、时间距离拉近, 形成“同城效应”, 而非沿线城市间的可达性与社会经济交流则未得到强化, 城市间可达距离相对拉大。因此, 选取城市间的时间距离、连通距离 (城市间的高铁连通度和高速连通度) 用于反映时间可达性。经济可达性方面, 通行的经济成本对城市间人口流动具有一定影响, 票价即交通工具的出行成本决定了乘客的交通方式、机动能力与可达性水平。本文选取平均通行费用表示城市间的经济距离。行政边界的存在影响了要素的跨区域流动和城际社会经济文化交流。与省内流动相比, 不同省级行政区间的制度壁垒会增加迁移成本, 阻碍人的自由移动。如靳诚和陆玉麒等研究^[38]发现, 行政区边界对长三角区域旅游一体化造成影响。因此, 选取城市间的行政区划差异表示制度距离。

2 人口流动网络的空间特征

2.1 空间格局

基于 ArcGIS 空间分析平台, 利用自然断裂法将人口流量分为 3 个等级, 构建 2015—2018 年中

表 1 ERGM 模型中的变量定义
Table 1 Variable definition in ERGM model

变量		计量单位	定义
网络结构效应	边缘数	无	人口流动网络中连接数
	互惠性	无	网络节点是否倾向于形成交互
节点属性效应	人口规模	万人	城市的户籍人口规模
	二产结构	%	第二产业增加值占国内生产总值比重
	三产结构	%	第三产业增加值占国内生产总值比重
	教育水平	元/人	人均技术支出
	科技水平	元/人	人均教育支出
	城市化水平	无	土地城市化、人口城市化、经济城市化和社会城市化的综合测度
	经济规模	元/人	人均GDP
外生网络效应	地理距离	km	地球表面上城市间最短距离
	时间距离	min	城市间所有铁路车次出行时间的平均值
	经济距离	元	城市间所有铁路车次出行票价的平均值
	制度距离	无	城市间是否跨越省级行政区(是=1, 否=0)
	高铁连通度	无	城市间是否有高铁(是=1, 否=0)
	高速连通度	无	城市间是否有高速(是=1, 否=0)

国人口流动的空间联系。中国人口流动网络大致形成了以菱形为核心的空间结构。菱形的顶点分别由北京(北)、上海(东)、广州(南)、深圳(南)和成都(西)4个方向节点5个城市构成(图1)。

2015年,人口流动在全国尺度形成以北京为核心,连接东北、西南、华东和华南(<http://www.stats.gov.cn/tats.gov.cn/>)四大地区的网络结构,在区域尺度上形成以省会城市为核心连接省域其他地级市的放射状网络结构,人口流动密集节点和通道主要集中在胡焕庸线东侧,菱形结构初步形成。

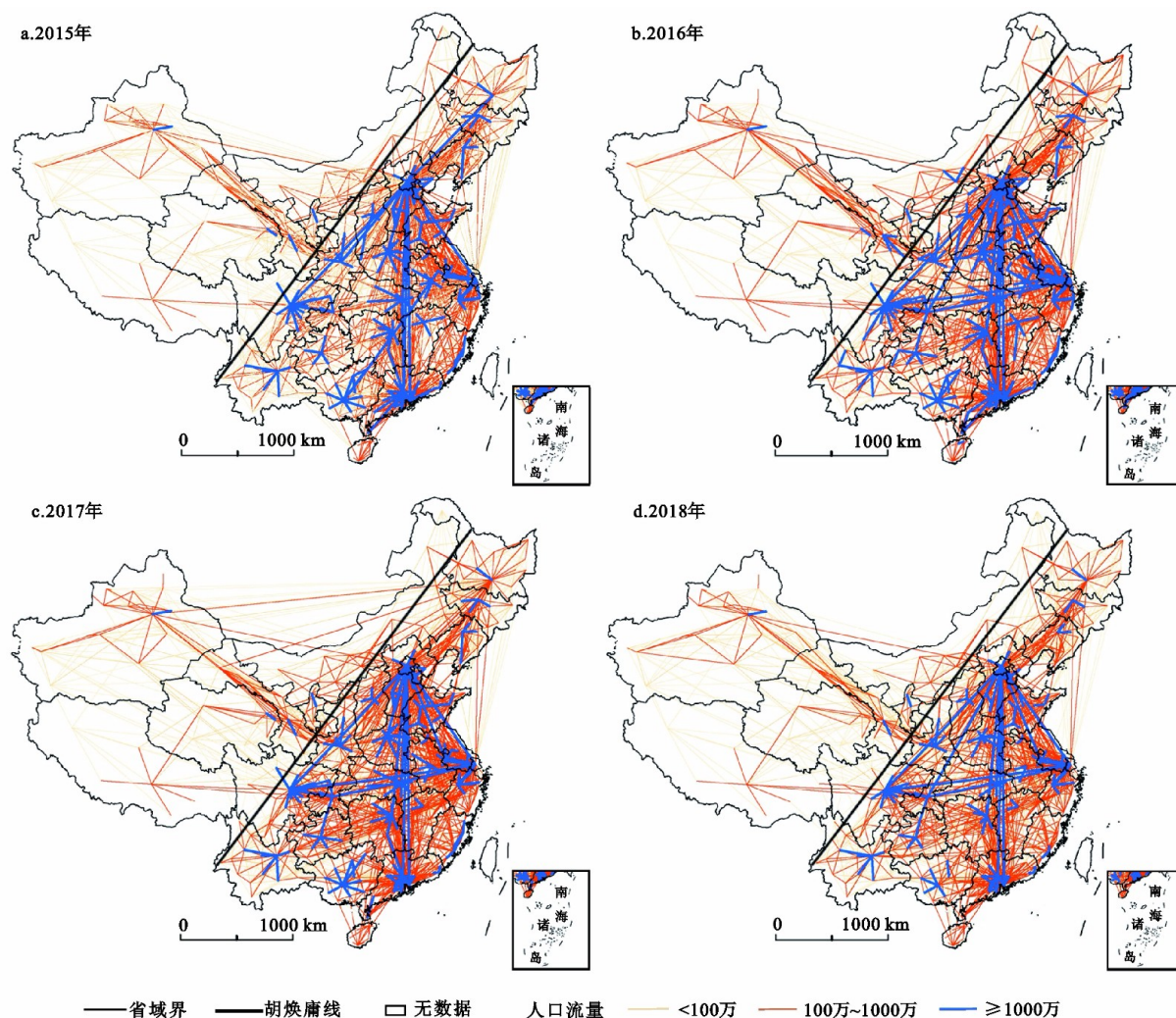
2016年,全国、区域尺度人口流动逐渐加强。全国尺度上,北京在流动网络中的核心地位被打破,人口流动主要支柱不再局限于北京与其他主要节点城市的单向联系,西南地区与东南地区之间人口流动逐渐增强,形成了以成都、上海为核心跨越东西两大区域的主要通道。北京与东北地区联系减弱,同时,北京到重庆(西南)、郑州(中)、南京(东南)等城市出现大规模的人口流动。区域尺度上,除东北地区外的区域间人口联系逐渐增强,以菱形为核心的空间结构得以持续巩固。

2017年,向核心节点城市人口流动的聚集态势逐渐减弱,非核心节点城市间的人口流动随之加强,人口从向大城市聚集逐渐分流到中小城市。全国尺度上,东北地区与西北地区间人口流动规模增大,北京、上海与周围城市间的人口流动规模减弱;区

域尺度上,部分省域内(如甘肃、内蒙古、江西、四川、广东等)的省会城市与其他城市间人口流动规模减弱,中小城市间人口流动规模增加,同时中小城市间人口跨省联系强度增大。菱形结构保持不变,但菱形内部空间联系密度增加。

2018年,城市间人口流动强度整体减弱,以菱形为核心的人口流动网络格局趋于稳定。值得注意的是,北京与重庆间人口联系在2017年下降到1 000万以下,于2018年又恢复为1 000万以上,同年广州与衡阳间人口联系首次下降到1 000万以下。流动方向上,除了中国北部与西南区域间人口联系减弱外,东北与西北地区间人口联系强度也明显降低,人口流动再次向菱形结构内部集聚,但流动规模和流动密度较2017年仍在持续下降。

总体来看,2015—2018年全国尺度人口流动规模呈现先增后减的趋势特征,人口流动方向经历向菱形结构内逐渐集聚到向外围区域分散再重新集聚的变化过程。区域尺度上,秦岭淮河以南的大部分省份省域内人口流动规模呈现为先增后减的特征,流动方向虽然以省会城市与周围城市间流动为主,但非省会城市间人口联系愈加频繁;秦岭淮河以北的省份省域内人口流动规模也呈现出先增后减的特征,而人口流动方向始终以省会城市与周围城市间流动为主,省会城市的核心地位保持不变,相较之下非省会城市对外人口流动方向未发生明显变化。



基于审图号为 GS(2020)4632 号的标准地图制作, 底图无修改; 未包含台湾数据

图 1 2015—2018 年城市间人口流动网络

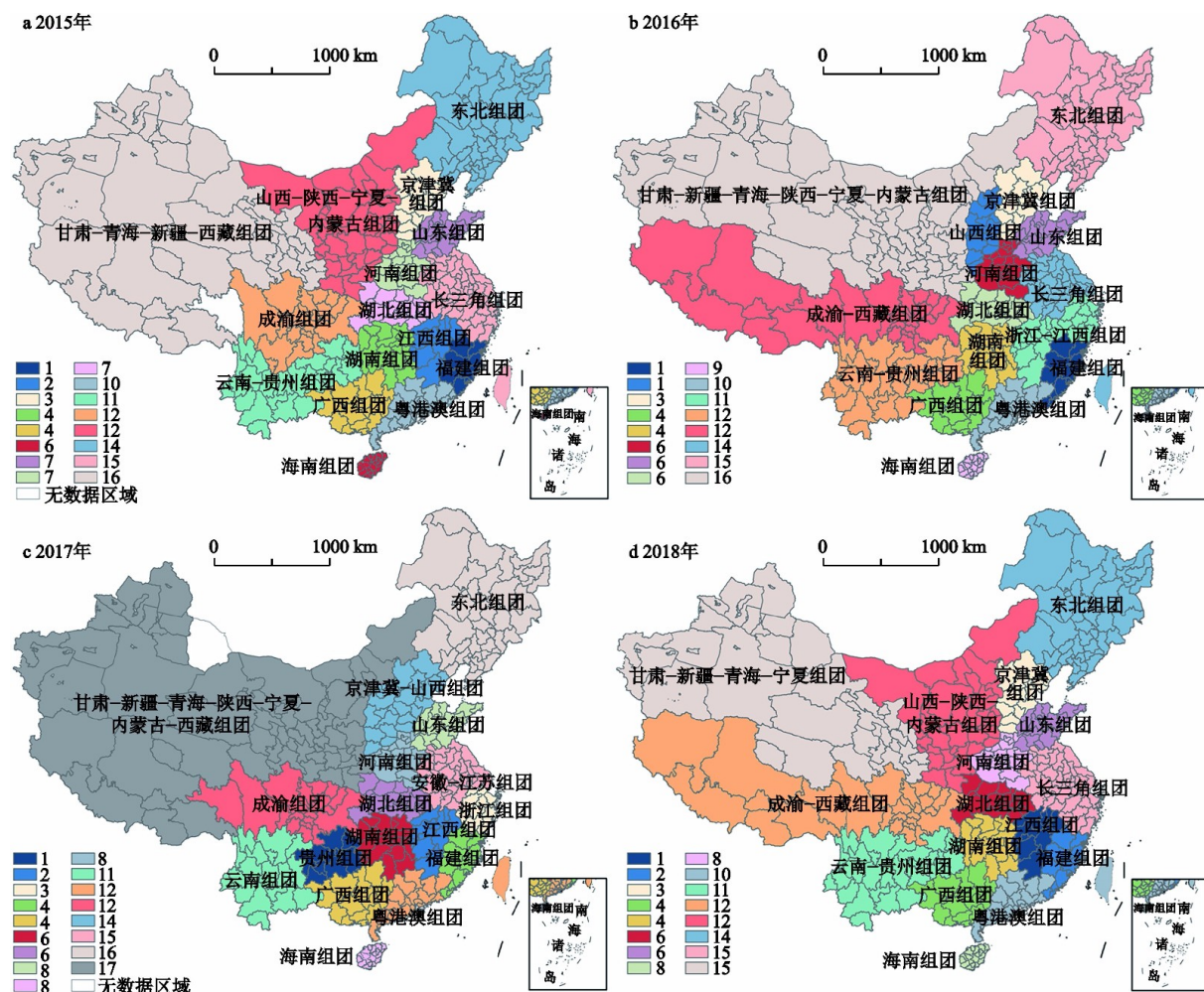
Fig.1 Inter-city population flow networks in 2015-2018

2.2 子群结构

基于复杂网络分析的社区发现算法用于发现网络中的子群特征, 刻画网络内部的集聚模式与功能结构。通过 Gephi 软件计算, 2015—2018 年中国人口流动网络的模块度均在 0.7 以上, 表明其网络内部始终存在明显的子群结构, 即在同一城市子群内, 人口流动相对频繁, 城市之间联系密切。总体上, 子群间呈现明显的地理临近和省际分异特征(图 2)。在空间上, 由于人口流动对距离变化较为敏感, 因而其在拓扑网络中的集聚特征受到城市节点空间位置的显著影响, 导致其子群划分结果具有一定的地理特征, 形成了以省会城市为核心、受省界制约明显的中心-腹地结构的小型城市子群, 同时在东北、西北、西南、长三角、粤港澳等地区也形成了跨越省

级行政边界的多中心结构的大型城市子群, 子群结构挖掘结果揭示了人口流组织模式在区域层面的集聚特征。

2015 年人口流动网络共形成了 16 个城市子群, 分别为以沈阳、长春、哈尔滨为核心, 由辽、吉、黑以及蒙东四盟构成的东北子群; 以太原、西安为核心, 由晋、陕以及蒙中、蒙西构成的晋陕蒙子群; 以乌鲁木齐、兰州为核心的覆盖甘、青、新、藏的西北子群; 以贵阳、昆明为核心, 覆盖云、桂的西南子群; 以上海、南京、杭州、温州、合肥为核心覆盖江、浙、皖、台的长三角子群; 以广州、深圳、香港为核心的粤港澳子群和以北京为核心的京津冀子群, 除以上 7 个跨区域大型城市子群外, 其余 9 个城市子群均以省界划分。



彩色斑块后数字为凝聚子群等级排序; 基于审图号为 GS(2020)4632 号的标准地图制作, 底图无修改

图 2 2015—2018 年人口流动网络的城市子群结构

Fig.2 Coherent subgroups of cities based on population flow networks in 2015-2018

2016 年西部区域子群结构出现大幅调整, 蒙、陕、新、青、甘和川、渝、藏分别形成了 2 个新的城市子群, 长三角子群被拆分为 2 部分, 分别为以上海、南京、合肥为核心包含沪苏皖台的城市子群和以杭州、温州为核心的浙江子群。东北城市子群、云贵城市子群、粤港澳城市子群和京津冀城市子群不变外, 其余 8 个城市子群均以省市界划分。

2017 年跨区域大型城市子群缩减为 6 个, 分别为西北、东北、京津冀晋、成渝、沪苏皖和粤港澳城市子群。其中西北城市子群在 2016 年的基础上扩展了蒙中蒙西, 粤港澳城市子群扩展了台湾省, 东北城市子群和沪苏皖城市子群保持不变; 其余 11 个城市子群均以省市界划分。

2018 年西北、西南和华北区域再次重组为新、

甘、青、宁城市子群, 川、渝、藏城市子群和陕、晋、蒙城市子群, 长三角城市子群范围恢复为江、浙、皖 3 省, 但台湾与大陆的联系从以长三角方向为主, 逐渐向粤港澳方向转移, 与广东、香港、澳门共同组成粤港澳大型城市子群; 其余 8 个城市子群均以省市界划分。

由此可见, 人口流动形成的城市子群结构空间分异特征明显, 西北地区、东北地区、三大城市群地区的多数城市人口流动受省级行政边界阻碍小, 省际人口流动频繁。多省组成的大型城市子群中, 既包含节点中心度大的相邻区域大城市辐射带动形成的发达地区子群, 也包含节点中心度不高、辐射带动能力较弱、地理位置临近的多个省份抱团发展的欠发达地区子群; 而其他多数地区主要以省级行政

边界为主要流动圈层,省域内人口流动更为密切,一定程度上体现了省级边界对人口流动的屏蔽和对塑造城际移动格局的关键性作用。

3 人口流动网络的影响因素

考虑到人口流动网络是有向加权网络,城市间的人口流动既包含了城市 A 流入城市 B 的人口,也包含了城市 B 流入城市 A 的人口,是双向流动的过程,而引入的节点属性变量和外生网络变量均为单向变量,对城市人口流入和流出的影响有所不同,因此本文分别构建人口流入网络和人口流出网络。采用指数随机图模型(ERGM)从网络结构效应、

节点属性效应和外生网络效应剖析两种网络形成的影响因素,其结果解释了人口流入、流出网络的形成,如表 2 所示。

1)网络结构效应。本文选取边缘数(Edges)、互惠性(Mutual)2 种变量,构建 ERGM 的基础模型。在基础模型中,弧参数类似线性回归模型的截距,对结果影响不大,可忽略,而互惠性始终反映一对城市实现互惠关系的可能性,是双向反馈的过程,因此人口流入和流出网络的互惠性参数十分接近且均显著为正,这表明如果城市 A 的人口迁移到城市 B,在观测期间城市 B 总是有更大的可能性将人口提供回城市 A 进行双向交互,反映出城市间人口

表 2 人口流动网络的影响因素分析

Table 2 Analysis of the factors affecting the population flow networks

	人口流出网络		人口流入网络	
	(1)	(2)	(3)	(4)
网络结构效应				
边缘数	-4.491 49 ($<1e-04$) ^{***}	-4.285 01 ($<1e-04$) ^{***}	-4.491 83 ($<1e-04$) ^{***}	-4.263 62 ($<1e-04$) ^{***}
互惠性	4.707 89 ($<1e-04$) ^{***}	4.609 89 ($<1e-04$) ^{***}	4.683 81 ($<1e-04$) ^{***}	4.657 61 ($<1e-04$) ^{***}
节点属性效应				
经济规模		9.629 69 (0.884 887)		8.904 85 (0.884 142)
人口规模		-1.539 09 (0.001 178) ^{**}		0.454 59 (0.001 1775) ^{**}
二产结构		-8.814 96 (0.894 58)		-8.504 11 (0.893 914)
三产结构		-1.599 55 (0.112 897)		-0.466 86 (0.112 8975)
科技水平		-0.268 42 (0.329 531)		1.335 65 (0.336 121)
教育水平		2.571 22 (0.582 948)		2.637 79 (0.557 048)
城市化水平		0.920 69 (0.012 087) [*]		0.920 69 (0.012 0885) [*]
外部网络效应				
高铁连通度		2.216 51 ($<1e-04$) ^{***}		0.166 82 ($<1e-04$) ^{***}
高速连通度		0.518 51 ($<1e-04$) ^{***}		0.192 83 ($<1e-04$) ^{***}
地理距离		-2.818 16 ($<1e-04$) ^{***}		-0.354 89 ($<1e-04$) ^{***}
时间距离		-1.921 37 ($<1e-04$) ^{***}		-0.213 47 ($<1e-04$) ^{***}
经济距离		-1.068 9 (0.000 467) ^{***}		-0.084 42 (0.000 5) ^{***}
制度距离		-1.851 78 ($<1e-04$) ^{***}		-0.052 74 ($<1e-04$) ^{***}
Akaike Inf. Crit.	23 068	23 745	23 088	42 794
Bayesian Inf. Crit.	23 088	23 891	23 107	42 920

注:括号内数值为P值,*、**、*** 分别代表变量在10%, 5%, 1%水平下显著;空白为无此项。

流动的高度依赖性。

2)节点属性效应。就节点属性变量而言,城市化水平对人口流入和流出均具有显著的正相关,表明城市化程度对城市间人口流动具有促进作用。城市化水平越高,其人口、土地、经济、社会发展越成熟,与其他城市交流的倾向更明显,为本地人口向外流出提供更多机会的同时也吸引外地人口频繁流入,因此城市化水平对城市人口对外联系和对内吸引均具有显著正向效应。而城市人口规模参数对人口流入流出的影响是反向的,基于流出网络的城市人口规模参数显著为负,这意味着城市人口规模越大,城市人口向外流动的可能性越小;基于流入网络的人口规模参数显著为正,表明城市人口规模大的城市,吸引其他城市人口流入能力强。人口规模越大,城市对于人口的引力越强斥力越弱,因此人口规模对人口流出和流入具有逆向影响。

3)外生网络效应。从外生网络变量的角度来看,高铁的连通度、高速公路的连通度参数均显著为正,这表明,高铁和高速的通达程度对人口流入和流出均有正向影响,铁路和高速公路的发展凸显了时空收缩效应,人口在城市间移动的时间距离进一步拉近。而铁路和高速公路不发达的城市间距离则相对扩大,人口移动的机会成本上升、规模下降,因而高铁和高速的通达程度对人口移动具有显著正效应。值得注意的是,高铁和高速连通情况对城市人口流出影响均高于流入,也就是说城市人口流出对高铁、高速的依赖性强于城市人口流入。同时,高铁对人口流出的影响高于高速,高速对人口流入的影响高于高铁。

人口流入、流出网络中地理距离、时间距离和经济距离的参数均显著为负,这表明城市间地理距离越远、时间成本越高、经济成本越高,城市间人口流动越弱,且在影响程度上,地理距离大于时间距离大于经济距离。人口流入、流出网络的制度距离参数均显著为负,这表明省级行政边界对人口流动具有一定的约束力,受行政区划的影响,不同省级行政区相对隔离,人口更倾向于在省内流动。边界效应的存在限制了人口跨区域流动,户籍制度、儿童入学制度等政策的不一致导致了制度壁垒、使人产生心理屏障,人口移动的无形成本较高。因此,人口流动多集中于同一省级行政区之内。

总体上,人口流入网络中外生网络效应影响较小,主要决定因素为城市节点的属性特征,如城市

化水平和人口规模,同时也是表征城市引力的重要因素,说明城市对外来人口的吸引力更大程度上取决于城市本身的属性特征;人口流出网络中外生网络效应影响显著,而节点属性效应影响相对较小,说明城市外部网络关联要素对人口流出更具决定意义。

4 结论与讨论

4.1 结论

基于“腾讯位置大数据”探究 2015—2018 年人口流动网络的空间特征及变化,构建 ERGM 模型,深度剖析网络结构特征、城市节点属性特征以及城市关系特征对人口流动网络形成的影响。本文的主要结论如下:① 2015—2018 年,中国人口流动网络大致形成了以菱形为核心的空间结构,流动规模呈现先增后减的趋势特征,流动方向经历由菱形结构内集聚到向外围区域分散再集聚的变化过程。人口流动密集节点和主要通道集中在胡焕庸线东侧,京、深、沪、穗、蓉、莞已经逐渐成为中国人口流动网络的“中枢”,具有绝对中心地位,承担全国人口的集散功能。② 通过社区划分共发现 16~17 个城市子群,总体上,子群间呈现明显的地理临近和省际分异特征,既形成了以省会城市为核心、受省级边界制约明显、由首位联系主导的中心—腹地结构的小型城市子群,同时在东北、西北、长三角、珠三角、京津冀等地区也形成了跨越省级行政边界的多中心结构的大型城市子群。大部分城市主要以省级行政边界为主要流动圈层,省域内人口流动更为密切,一定程度上体现了省级边界对人口流动的屏蔽和对塑造城际移动格局的关键性作用,这与现有文献观点基本一致。③ 研究发现中国人口流动网络形成机制可以用网络结构效应、节点属性效应和外生网络效应来解释。其中,决定便利设施效果的人均技术支出和人均教育支出均未通过显著性水平测试,设施便利性的地区差异对中国人口流动没有显著影响。同时,基于新古典经济学理论的其他变量(城市化水平、人口规模)具有显著意义。因此,本文更倾向于新古典经济学理论可以更为真实描述中国人口流动网络的形成。从影响程度的角度来看,人口流入网络中外生网络效应影响较小,主要决定因素为城市节点的属性特征,说明城市对外来人口的吸引力更大程度上取决于城市本身的属性特征;人口流出网络中外生网络效应影响显著,而节点属性效应影响相对较小,说明城市外部网络关联要素对人口

流出更具决定意义, 以上结论也在一定程度上验证了“推拉”理论中“拉力”的主导力量, 以及多种距离因素(中间障碍)的综合作用。

4.2 讨论

新古典经济学和推拉理论强调经济因素对人口流动的重要影响, 同时以舒适性、便利性为导向的人口迁移理论认为环境、基础设施等便利性要素已经逐渐成为人口流动的主导因素。本文将相关经济因素、设施便利性因素均纳入 ERGM 模型加以测度, 结论证实了中国的人口流动现阶段仍以经济作用为主, 新古典经济学和推拉理论对人口流动更具解释力。

从方法论的角度来看, 应用 ERGM 模型分析网络形成的驱动因素, 结论发现了城市间人口流动的双向交互结果, 即城市间人口流动存在高度依赖性。考虑到现有用于分析人口流动网络影响因素的研究方法主要为重力模型或改进的重力模型、多元回归分析等, 忽略了人口流动网络的内在结构效应, ERGM 能够通过包括内生结构效应的参数来考虑观测值之间的依赖性, 因此揭示了决定性因素与人口流动之间更可靠的关系。

从研究数据来看, 现有的文献研究多基于各省的人口普查数据反映全年人口迁移情况, 而传统人口普查数据不适合揭示人口的日常流动格局和潜在的社会经济动态, 同时, 由于数据获取的局限性, 基于大数据的现有文献主要以节假日期间的人口流动为研究对象, 时间尺度上缺少对全年以及逐年变化的宏观视角。因此, 本文提出了一种基于每日数据的人口流动模式的新视角, 与相关大数据研究的不同之处在于, 本文不仅揭示了人口流动网络的空间格局, 而且分析了其在不同年份的演变。

从研究结论来看, 基于人口普查数据的相关研究表明, 中国人口流动的主要方向为从中西部地区向东部沿海地区, 长三角、珠三角和京津冀三大城市群是跨省人口流动的主要吸引中心^[39,40]。本文的研究结论显示, 现阶段中国人口流动的主要方向更加多元化和区域化, 大规模的人口流动不再局限于从中西部地区向东部沿海地区的单向流动, 而是呈现为以菱形结构为核心的网络特征, 省域内的省会城市与周围临近城市间的人口流动也是目前中国人口流动的主要类型, 同时, 进一步验证了珠三角中的广州和深圳、长三角中的上海、京津冀中的北京以及西南地区的成都在人口流动网络中的重要节点

作用。在人口流动的影响因素分析中, 部分学者^[41-43]证实了迁移距离是外出打工“迁移成本”中的重要部分, 距离越大, 迁移者选择迁移的可能性越小。这与本文中对人口流动成因探讨的结论具有一定的吻合, 即地理距离的缩短会同时促进人口的流入和流出, 但对于人口流出影响程度更大, 进一步地本文也补充验证了时间距离和经济距离对人口流动的显著影响, 且在影响程度上地理距离>时间距离>经济距离。

然而, 本文也存在一定的局限性。首先, 衡量舒适性主导因素的变量有待完善, 未来的研究还应包括体育设施、卫生设施、教育设施、文化设施、市政媒体等。其次, 出于隐私考虑, 腾讯数据并未提供流动人口的社会属性(职业、性别和年龄), 因此无法区分与人口流动相关的活动目的。最后, 由于全国尺度连续年份统计数据计算、整理难度较大, 探索各个变量在不同年份的变化以辨析人口流动在不同年份形成显著差异的动因, 以及推断变量的稳健性也是未来研究中需要补充完善的内容。

参考文献(References):

- [1] 国家卫生健康委员会. 中国流动人口发展报告2018 [M/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2018-12/25/content_5352079.htm, 2018.12.25. [China National Health Commission. China's floating population development report 2018. http://www.gov.cn/xinwen/2018-12/25/content_5352079.htm, 2018.12.25.]
- [2] Ravenstein E G. The laws of migration[J]. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1889, 52(2): 241-305.
- [3] Lee E S. A theory of migration[J]. *Demography*, 1966, 3: 47-57.
- [4] Kristian B, Yasuhiro S. Migration, skill formation, and the wage structure[J]. *Journal of Regional Science*, 2011, 51(1): 5-30.
- [5] Sjaastad L A. The costs and returns of human migration[J]. *Journal of Political Economy*, 1962, 70(5): 80-93.
- [6] Mueser P R, Graves P E. Examining the role of economic opportunity and amenities in explaining population redistribution[J]. *Journal of Urban Economics*, 1995, 37(2): 176-200.
- [7] Alessandra F, Vicente R. Migration flows and quality of life in a metropolitan area: The case of Barcelona-Spain[J]. *Applied Research in Quality of Life*, 2010, 5(3): 241-259.
- [8] Cai F, Wang D. Migration as marketization: What can we learn from China's 2000 census data?[J]. *The China Review*, 2003, 3(2): 73-93.
- [9] Huo J, Wang X, Zhao N et al. Statistical characteristics of dynamics for population migration driven by the economic interests[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2016, 451(6): 123-134.

- [10] Shen J. Increasing internal migration in China from 1985 to 2005: Institutional versus economic drivers[J]. *Habitat International*, 2013, 39: 1-7.
- [11] Wang Y, Dong L, Liu Y et al. Nationwide migration patterns in China extracted from mobile positioning data[J]. *Habitat International*, 2019, 86: 71-80.
- [12] Wang Y, Wang F, Zhang Y et al. Delineating urbanization “source-sink” regions in China: Evidence from mobile app data[J]. *Cities*, 2019, 86: 167-177.
- [13] Xu J, Li A, Li D et al. Difference of urban development in China from the perspective of passenger transport around spring festival[J]. *Applied Geography*, 2017, 87: 85-96.
- [14] Zhang K H, Song S. Rural-urban migration and urbanization in China: Evidence from time-series and cross-section analyses[J]. *China Economic Review*, 2003, 14(4): 386-400.
- [15] Cao Z, Zheng X, Liu Y et al. Exploring the changing patterns of China's migration and its determinants using census data of 2000 and 2010[J]. *Habitat International*, 2018, 82: 72-82.
- [16] Liu Y, Shen J. Jobs or amenities? Location choices of interprovincial skilled migrants in China, 2000-2005[J]. *Population Space and Place*, 2014, 20(7): 592-605.
- [17] Liu C, Otsubo K, Wang Q et al. Spatial and temporal changes of floating population in China between 1990 and 2000[J]. *Chinese Geographical Science*, 2007, 17(2): 99-109.
- [18] Shen J, Liu Y. Skilled and less-skilled interregional migration in China: A comparative analysis of spatial patterns and the decision to migrate in 2000-2005[J]. *Habitat International*, 2016, 57: 1-10.
- [19] Dash Nelson G, Rae A. An economic geography of the United States: From commutes to mega regions[J]. *Plos One*, 2016, 11(11): e0166083.
- [20] Wei Y, Song W, Xiu C et al. The rich-club phenomenon of China's population flow network during the country's spring festival[J]. *Applied Geography*, 2018, 96(5): 77-85.
- [21] Windzio M. The network of global migration 1990-2013 Using ERGMs to test theories of migration between countries[J]. *Social Networks*, 2018, 53: 20-29.
- [22] Fan C C. Interprovincial migration, population redistribution, and regional development in China: 1990 and 2000 census comparisons[J]. *The Professional Geographer*, 2005, 57(2): 295-311.
- [23] Chen R S, Ye C, Cai Y L et al. The impact of rural outmigration on land use transition in China: Past, present and trend[J]. *Land Use Policy*, 2014, 40: 101-110.
- [24] Yan X H, Bauer S, Huo X X. Farm size, land reallocation, and labour migration in rural China[J]. *Population Space and Place*, 2014, 20(4): 303-315.
- [25] Shen J. Explaining interregional migration changes in China, 1985-2000, using a decomposition approach[J]. *Regional Studies*, 2015, 49(7): 1176-1192.
- [26] Qi J, Wang Z, Wang Y et al. Visualization and analysis on the spatial temporal patterns of flow direction of interprovincial migration in China based on origin destination matrix[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2015, 26: 115-118.
- [27] Pan J, Lai J. Spatial pattern of population mobility among cities in China: Case study of the National Day plus Mid-Autumn Festival based on Tencent migration data[J]. *Cities*, 2019, 94: 55-69.
- [28] Yang X, Fang Z, Yin L et al. Understanding the spatial structure of urban commuting using mobile phone location data: A case study of Shenzhen, China[J]. *Sustainability*, 2018, 10(5): 14-35.
- [29] Levin N, Lechner A M, Brown G. An evaluation of crowd sourced information for assessing the visitation and perceived importance of protected areas[J]. *Applied Geography*, 2017, 79: 115-126.
- [30] Liu X, Kang C, Gong L et al. Incorporating spatial interaction patterns in classifying and understanding urban land use[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2016, 30(2): 334-350.
- [31] Matthew E B. Exponential random graph models for social networks: Theory, methods, and applications[J]. *Contemporary Sociology: A Journal of Reviews*, 2014, 43(4): 552-553.
- [32] Zhen F, Cao Y, Qin X et al. Delineation of an urban agglomeration boundary based on Sina Weibo microblog “check-in” data: A case study of the Yangtze River Delta[J]. *Cities*, 2017, 60: 180-191.
- [33] Halás M, Klapka P, Tonev P. The use of migration data to define functional regions: The case of the Czech Republic[J]. *Applied Geography*, 2016, 76: 98-105.
- [34] Xia C, Zhang A, Wang H et al. Bidirectional urban flows in rapidly urbanizing metropolitan areas and their macro and micro impacts on urban growth: A case study of the Yangtze River middle reaches megalopolis, China[J]. *Land Use Policy*, 2019, 82: 158-168.
- [35] Long Y. Redefining Chinese city system with emerging new data[J]. *Applied Geography*, 2016, 75: 36-48.
- [36] Newman M E J, Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks[J]. *Physical Review E Statistical Nonlinear Soft Matter Physics*, 2004, 69(2 Pt 2): 26113.
- [37] Contractor N S, Wasserman S, Faust K. Testing multi theoretical, multilevel hypotheses about organizational networks: An analytic framework and empirical example[J]. *Academy of Management Review*, 2006, 31(3): 681-703.
- [38] Zhang W, Chong Z, Li X et al. Spatial patterns and determinant factors of population flow networks in China: Analysis on Tencent Location Big Data[J]. *Cities*, 2020, 99(C): 102640-102640.
- [39] 靳诚, 陆玉麒. 区域旅游一体化进程中边界效应的定量化研究——以长江三角洲地区入境旅游为例[J]. *旅游学刊*, 2008, 23(10): 34-39. [Jin Cheng, Lu Yuqi. A quantitative study on boundary effect in the course of regional tourism integration—Taking inbound tourism in Yangtze River Delta Region as an example.

- Tourism Tribune*, 2008, 23(10): 34-39.]
- [40] 劳昕, 沈体雁. 中国地级以上城市人口流动空间模式变化——基于2000和2010年人口普查数据的分析[J]. *中国人口科学*, 2015, 29(1): 15-28+126. [Lao Xin, Shen Tiyan. Spatial pattern of China's internal migration and higher level cities: Evidence from the 2000 and 2010 population census data. *Chinese Journal of Population Science*, 2015, 29(1): 15-28+126.]
- [41] 杨传开, 宁越敏. 中国省际人口迁移格局演变及其对城镇化发展的影响[J]. *地理研究*, 2015, 34(8): 1492-1506. [Yang Chuankai, Ning Yuemin. Evolution of spatial pattern of inter-provincial migration and its impacts on urbanization in China. *Geographical Research*, 2015, 34(8): 1492-1506.]
- [42] 张耀军, 岑俏. 中国人口空间流动格局与省际流动影响因素研究[J]. *人口研究*, 2014, 38(5): 54-71. [Zhang Yaojun, Cen Qiao. Spatial patterns of population mobility and determinants of inter-provincial migration in China. *Population Research*, 2014, 38(5): 54-71.]
- [43] 刘晏伶, 冯健. 中国人口迁移特征及其影响因素——基于第六次人口普查数据的分析[J]. *人文地理*, 2014, 29(2): 129-137. [Liu Yanling, Feng Jian. Characteristics and impact factors of migration in China: Based on the analysis of the sixth census data. *Human Geography*, 2014, 29(2): 129-137.]

Characteristics and Influencing Factors of Daily Population Flow Among Cities in China

Shi Xiang¹, Wang Shijun², Wang Dongyan³, Hao Feilong², Li Zhuowei²

(1. *Northeast Asian Research Center, Jilin University, Changchun 130012, Jilin, China*; 2. *School of Geographical Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin, China*; 3. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China*)

Abstract: Using Tencent location big data, this study analyzes the spatial pattern of population flow among 368 cities in China and identifies the influencing factors related to population inflow and outflow based on an exponential random graph model (ERGM). 1) From 2015 to 2018, the spatial distribution pattern of population flow was relatively stable, forming a rhombic spatial structure with Beijing, Shenzhen, Shanghai, Guangzhou, Chengdu, and Dongguan as the 'center'. The densely populated nodes and channels are mainly concentrated to the east of the Hu Huanyong Line. The significance of this study lies in further determining the core cities and main pillars in the population flow network. 2) The urban subgroup structure obtained by community division shows obvious geographical proximity and inter-provincial differentiation among communities, which form not only small urban subgroups with the provincial capital city forming the core and bordered by the provincial boundary, but also large urban subgroups with a multi-center structure spanning provincial administrative boundaries. However, for most cities, the provincial boundary delimits the main flow circle, and population flow within the same province is more frequent. 3) The influencing factors of the population inflow and outflow networks determined by the ERGM model are consistent with the predictions of neoclassical economics. Market and economic factors such as population scale, urbanization level, time cost, and economic cost still play a leading role in population flow. 4) The attraction of a city to the floating population depends on its individual attributes, while the urban population outflow depends more on the external-network-related elements of the city. To a certain extent, this study verifies the predominance of the urban "pull" in the push-pull theory and the comprehensive effect of various distance factors.

Key words: population flow; Tencent location big data; ERGM; migrant