“流空间”视角下区域空间结构研究进展

Research Progress of Regional Spatial Structure Under the Perspective of Space of Flow

王焱 钮心毅 宋小冬
Wang Yao, Niu Xinyi, Song Xiaodong

摘要: 通过对国外近几年关于“流空间”视角下区域空间结构研究的文献梳理,发现研究领域集中在区域中心性测度方法,从功能性角度识别多中心空间结构,传统腹地和网络腹地的划分以及中心地理论、城市网络理论和引力模型等理论验证四个方面。四个方面的研究深入都与“流”类型及其测度方法演变密切相关。不同类型的“流”数据在区域空间结构研究中起到了重要推动作用,尤其是手机信令数据、互联网数据、手机通话数据等大数据能更好地反映区域城市之间的空间相互作用,为“流空间”视角下的区域空间研究提供了新的机遇。以“物流”数据测度的“流”分析、整合大数据和传统数据、进一步认识不同类型“流”差异及适用环境将是未来的研究方向。

Abstract: Based on the review of recent literatures of regional spatial structure studies in the perspective of space of flow, this paper finds most researches focused on four areas: measurement of regional centrality, identification of polycentric spatial structure in functional perspective, delimitation of traditional hinterland and network hinterland, as well as the verification of central place theory, network theory and gravity model. The studies in these four areas are all closely related to the evolution of the types of flow and their measurement methods. Different types of data of flow play important roles in the study of regional spatial structure. Big data especially such as mobile phone signaling data, internet data and mobile phone call record data can better reflect the interactions between the regional city spaces. The emerging big data provides new opportunities for the research of regional spatial structure in the perspective of space of flow. Results reported in this paper indicate three future research directions: flow analysis of logistics data, integration of big data and traditional data, further understanding of the different flow types and its applicability.

关键词: “流空间”; “流”数据; 区域研究; 空间结构; 空间相互作用

Keywords: Space of Flow; Data of Flow; Regional Studies; Spatial Structure; Spatial Interaction

中央高校基本科研业务费专项资金项目“多源大数据支持下的城市和区域空间结构定量分析方法研究”(kx0010020172651)

作者: 王焱, 同济大学建筑与城市规划学院, 博士研究生。245540789@qq.com
钮心毅 (通信作者), 同济大学建筑与城市规划学院, 高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室, 副教授, 博士生导师。niuxinyi@tongji.edu.cn
宋小冬, 同济大学建筑与城市规划学院, 高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室, 教授, 博士生导师

引言

在经济全球化背景下,区域一体化进程正在加剧,这与交通、通讯设施的日益完善有关。城市之间人、物、信息、资本、技术的流动速度不断加快,1989年卡斯特尔(Castells)提出了以流通要素构成的空间形式——“流空间”(Space of Flow)概念^[1]。在流空间背景下,以“流”作为真实的关系数据(relational data)反映城市之间的相互作用,促使区域空间结构的研究从城市的内部特征转向城市的外部关系,关注点从城市的形态、核心—边缘、等级体系转变为城市网络的结构、功能和连接关系^[2]。泰勒(Taylor)提出中心流理论(Central Flow Theory),其实质是进一步修正了中心地理论(Central Place Theory)^[3]。梅耶尔(Meijers)甚至将这种转向视作区域研究范式的转换^[4]。

由于获取“流”的难度较大,“流”测度早期是基于假设并运用逻辑推理模型进行理论解释和理论推导的^[5],随后采用经济、社会、文化等指标,借用引力模型、断裂点模型、潜力模型等来模拟各种“流”。当前“流空间”的测度手段有参量替代和实测流分析两种方法^[6]。参量替代法是目前常用的方法,该方法主要是通过其他数据类型替代无法观测的关联数据,比如以企业关联数据代表经济流、客运班次代表人流。传统的实测流分析是获取区域内城市之间真实的人流、物流、信息流等,比如以交通调查数据代表的人流、邮政数据代表的信息流。近些年大数据研究兴起后,以手机通话数据、互联网数据、移动定位数据等作为实测数据,降低了“流”数据的获取门槛,丰富了“流空间”的认知,吸引了诸多学者用不同类型的“流”来描述区域空间结构。

随着“流空间”视角下区域空间结构研究逐步在西方成为热点,对此国内已有甄峰、修春亮、赵渺希、吴

康等学者以不同的“流”数据对城市体系、空间结构、腹地等区域空间问题展开研究^[6-12]。本文将着重以国外相关研究文献为线索,基于“流”的测度方法演变,从区域中心性测度方法、多中心空间结构识别、区域城市腹地划分和理论模型验证四个方面分析国外研究文献,审视区域空间结构研究中的“流”数据的类型、特点以及应用,有助于国内学者系统了解相关领域的当前发展动态以及未来发展方向。

1 区域中心性的测度方法

中心性的测度方法是区域空间结构研究关注的焦点。中心性(Centricity)最早由克里斯塔勒(Christaller)于1933年提出,采用城市内电话线接头的数量作为数据,以区位熵法测算城市的中心性^[13]。早期研究是霍尔(Hall)、里德(Reed)等以复杂的社会、经济、文化指标测度城市中心性^[14,15],随后弗里德曼(Friedmann)、萨森(Sassen)等以总部企业机构的数量反映中心性^[16,17]。这些方法关注于各种城市指标,采用复杂的数学模型反映城市内部特征,通过城市所在区域的绝对地位反映中心性,但忽视了城市之间的相互作用。

基于“流”的中心性测度,是根据“流”具有方向的关联数据特征,从城市作为网络节点的连通性(Connectivity)、节点之间“流”强度两个方面测度中心性。

节点的连通性是当前主流方法。最早由弗里曼(Freeman)于1978年以节点的联系数量、节点之间的接近程度以及最短路径数来反映中心性^[18]。2001年泰勒以企业关联数据测算城市之间的联系数量从而测算中心性^[19]。2011年尼尔(Neal)进一步考虑节点与其相联系的其他节点的关系,提出以节点的控制力(Power)代表对资源的流通的影响^[20]。1989年惠勒(Wheeler)提出优势流法,其实质是选取流量强度排名前列的流来计算节点的连通性——以美国联邦邮政数据作为信息流,从中筛选信息强度排名前四的信息流代表美国48个大都市地区的空间联系,作为大都市区中心性判断的依据^[21](表1)。

节点之间“流”强度是从节点在网络的相对强度衡量中心性。2004年格林(Green)结合社会网络分析法中网络密度概念,提出了以网络节点之间吸引量的标准差与网络密度作为功能性多中心度^[22]。2007年雷姆塔纳库尔(Limtanakool)则在综合考虑节点的相对强度和连通性的基础上,提出“S-dimensions”指数测算中心性^[23](表1)。

基于“流”的中心性测度方法与传统方法相比,是一种“相对中心性”,更能体现节点之间的相互关系,突破了传统方法“绝对中心性”局限。中心性的测度方法是区域空间结构研究的基础。

2 多中心空间结构识别

多中心空间结构的识别是区域空间结构研究的热点。传统识别方法主要是从城市形态(规模)上判断,但卡马尼(Camagni)以电话的通话数据代表意大利北部地区的城市之间的功能联系,在排除米兰的影响后,发现区域内核心城市是小城市,颠覆了传统的认知^[24]。这表明形态上的单中心结构也可能是功能上的多中心结构,形态上的空间结构并不能体现城市之间功能上的联系。基于“流”的多中心空间结构研究会带来新的认知。

有研究发现形态上的多中心结构不等于功能上的多中心结构,完全的多中心结构并没有出现,而单中心空间结构却在强化。2006年霍尔领导的POLYNET项目以欧洲8个城市区域为研究对象,基于城市间通勤数据、企业关联数据以及访谈调查数据,采用功能性多中心度测算方法(表1),证明形态上的多中心结构并不等于功能上的多中心结构,一些城市区域的单中心结构进一步加剧^[25]。2010年戈埃(Goei)以1981年、1991年和2001年三个时间截面上英国大东南部地区的通勤模式,表明英国大东南部地区并不存在多中心结构^[26]。2007年雷姆塔纳库尔采用1992年、1995年、1999年和2002年荷兰国家交通调查数据,采用“S-dimensions”(表1)测度23个城市区域10年间通勤流和休闲流下的网络结构演变,表明不存在完全的多中心结构,城市之间近距离出行量增长速度高于远距离出行量,城市区域的集聚程度逐步增强^[27]。

有研究认为多中心结构存在并且不同的经济发展程度影响多中心结构。2010年博格莱西(Burgalassi)以2001年出行调查数据采用“S-dimensions”测度意大利的托斯卡纳区287个城镇,研究表明托斯卡纳区存在多中心空间结构^[28]。2016年刘行健通过从网上抓取的城际客运、客运铁路、城际航空的营运表估测城市之间的人流联系,采用功能性多中心度测算中国22个城市群的多中心性,发现东部沿海的城市群存在形态与功能上的多中心空间结构,中部的城市群存在形态多中心而功能单中心的空间结构,而西部的城市群则是形态与功能上单中心的空间结构,表明不同的经济发展程度影响多中心结构^[29]。

空间尺度、时间维度也会对流空间下的多中心空间结构产生影响。2006年泰勒以欧洲8个区域内200个城市近2000家高级生产性企业的总部分支机构建立城市之间的关联网络,在区域、国家、欧洲、全球四个尺度量化多中心空间结构,研究表明不同尺度下的区域空间结构存在明显的差异,多中心空间结构随着尺度的增大而减弱^[30]。2007年雷姆塔纳库尔基于2001年7月—2002年7月欧盟15国和瑞士的远距离(超过100 km)出行调查,获得8万人(15岁以上)

的 101 000 条长距离出行, 并且按照出行目的分为商业出行、假日出行和休闲出行, 采用“S-dimensions”测度方法, 结果表明法国是以巴黎为主的单中心空间结构, 而德国是由汉堡—汉诺威—不来梅、莱茵—美因茨、莱茵—鲁尔等区域构成多中心空间结构, 并且不同时段“流”测度的区域空间结构存在差异^[23]。

3 区域城市腹地划分

传统腹地划分是采用断裂点理论、Huff 模型来比较不同城市吸引力的绝对量^[31,32]。相较于传统的统计数据, 1955 年格林基于铁路、航运的车票数据以及调查统计货车的移动来确定人流、物流, 以报纸的流通范围和电话通信数据代表信

表 1 区域中心性的测度方法

方法	中心性指数		公式	作用
弗里曼 ⁱ	度中心性 (Degree Centrality)		$C_D(N_a) = \sum_{j=1}^g X_{ij}$	反映了某个节点与其他节点的关联性, 并且也依据网络规模 (g) 而定
	接近中心性 (Closeness Centrality)		$C_D(N_i) = \frac{1}{\sum_{j=1}^g d(N_i, N_j)}$	反映在网络中某一节点与其他节点之间的接近程度
	中介中心性 (Between Centrality)		$C_B(N_i) = \sum_{j < k} \frac{g_{jk}(N_i)}{g_{jk}}$	以经过某个节点的最短路径数目来刻画节点重要性的指标
泰勒 ⁱⁱ	节点关联 (Nodal Connection)		$N_a = \sum_i R_{ai}$	反映了某个节点在网络中关联的重要性
尼尔 ⁱⁱⁱ	递归中心性 (Recursive Centrality)		$RC_i = \sum_j R_{ij} \times RC_j$	不仅关注关联网络的连接性, 还重视连接城市的重要性
	递归控制力 (Recursive Power)		$RP_i = \sum_j \frac{R_{ij}}{RC_j}$	支配其他城市的能力, 相对的概念
惠勒	优势流法 (Dominant Flow)		通过某个节点在关联网络中的较高优势流向去判断该节点在网络中的地位	
格林 ^{iv}	专项功能性多中心度 (Special Functional Polycentricity)		$P_{SF}(N) = \left(\frac{1 - \sigma_\theta}{\sigma_{\theta \max}} \right) \cdot \Delta$	反映单个网络的总体多中心程度
	综合功能性多中心度 (General Functional Polycentricity)		$P_{GF}(N) = \frac{1 - \sigma_\theta \sigma_{\theta \max}}{n} \cdot \Delta$	反映多种“流”构成网络的总体多中心程度
雷姆塔纳库尔 S-dimensions ^v	结构 (Structure)	熵 (Entropy)	$EI = - \sum_{i=1}^L \frac{(Z_i)L_n(Z_i)}{L_n(L)}$	衡量整个网络联系的均衡性
	强度 (Strength)	优势 (Dominance)	$DIT_i = \frac{I_i}{(\sum_{j=1}^J T_j/J)}$ $DII_i = \frac{T_i}{(\sum_{j=1}^J I_j/J)}$	反映某一节点联系强度相对于平均联系强度的优势
		相对强度 (Relative Strength)	$RSL_{ij} = \frac{t_{ij}}{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J t_{ij}}$	反映两节点之间的联系强度与整个网络所有节点之间联系的相对强弱
	对称性 Symmetry	节点的对称性 Node Symmetry	$NSI_{ij} = \frac{\sum I_i - \sum O_i}{\sum I_i + \sum O_i}$	反映某一节点向心流强度和离心流强度的差异
		联系的对称性 Link Symmetry	$LSI_{ij} = - \frac{(f_{ij})L_n(f_{ij}) + (f_{ji})L_n(f_{ji})}{L_n(2)}$	反映节点之间的向心流联系强度和离心流联系强度的差异

注: i X_{ij} 指节点 i 和节点 j 之间的线联系; g 指网络中节点的数量; $d(N_i, N_j)$ 指节点 i 和节点 j 之间的最短距离; g_{jk} 指节点 j 和节点 k 之间的最短路径的数量; $g_{jk}(N_i)$ 指节点 j 和节点 k 之间所有经过点 i 的最短路径的数量。

ii R_{ai} 指公司 i 在城市 a 中的所有企业总部与分支的联系。

iii R_{ij} 指城市 i 和城市 j 的联系强度; RC_j 指节点 j 的度中心性。

iv σ_θ 指节点等级的标准差; $\sigma_{\theta \max}$ 指一个节点为 0、另一个节点为网络 N 中的最高值的双节点网络的标准差; Δ 指网络密度; $P_{GF}(N)$ 指功能网络 $N_1, N_2, \dots, N_n$ 的综合功能中心度; n 指网络的数量。

v l 网络中的线 ($l=1, 2, \dots, L$); Z_l 指网络中的线 l 的数量占整个网络线数量的比重; I_i, I_j 指节点 i、节点 j 向心线的数量; O_i 指从节点 i 离心线的数量; t_{ij} 指从节点 i 到节点 j 联系线的数量; T_i, T_j 指节点 i、节点 j 所有联系线的数量; i, j 指 $i=1, 2, \dots, I, j=1, 2, \dots, J, i \neq j$; f_{ij} 指从节点 i 到节点 j 的联系线相对于节点 i 和节点 j 所有联系线的比重; f_{ji} 指从节点 j 到节点 i 的联系线相对于节点 j 和节点 i 所有联系线的比重。

资料来源: 作者整理

息流,并且以联邦银行的业务往来建立金融联系,通过对比区域内交通流、信息流、资本流等数据的等值线,划分了纽约与波士顿两大城市间的腹地边界^[33]。1974年贝里(Berry)以 Huff 模型为基础,采用新闻报纸作为“流”数据测算美国全境内主要城市的腹地^[34]。1994年米切尔森(Mitchelson)以美国联邦邮政数据作为信息流,测算主要城市之间的腹地范围^[35]。格雷迪(Grady)以2010年1月15日在美国48个州3109个县的11950239条银行支票的位置信息反映人的流动性,采用分级聚类法划分腹地范围^[36]。这些方法只是以“流”替代模型模拟,划分方法从城市之间的“流”的绝对量的比较逐步转变为聚类法划分,避免受到空间距离衰减的影响。

随着城市网络关联日益密切,德吕代(Derudder)曾经用“城市派系”(City Cliques)的方法,按照网络关联度对每个城市的关联城市进行排序,进而划分城市子群^[37]。尽管网络关联度较强的“城市对”(City-dyads)构成城市的网络腹地,但区域网络格局中较弱的网络联系往往容易被忽略,2004年泰勒提出一种“相对关联度”的方法,划分每座城市的网络腹地^[38]。网络腹地较传统腹地更能体现网络的特征(表2)。2004年纽曼(Newman)基于贪心算法提出了一种以网络关联测算最优社区的方法,该方法通过模块度(Modularity)来划分社区^[39](表2)。2010年拉蒂(Ratti)获取英国(不包括北爱尔兰)范围内一个月手机通讯数据,基于手机通讯数据的城市联系测算模块度,划分出23个地区^[40]。2013年索博列夫斯基(Sobolevsky)采用法国、英国、意大利、比利时、葡萄牙、沙特阿拉伯和科特迪瓦等七个国家的电话通讯数据,基于模块度方法划分区域腹地^[41]。布隆德尔(Blondel)在进一步优化纽曼(Newman)的算法的基础上,基于比利时260万人的6个月的电话通话记录,采用上述方法将比利时划分为17个地区^[42,43]。这些算法从“流”空间角度划分区域城市腹地,有别于传统的腹地划分方法,带来了新的研究视角和思路。

无论是传统的理论模型方法还是当前的网络分析方法,在新的“流”数据支持下,都可作为区域城市腹地划分的重要方法。

4 理论模型验证

4.1 中心地理理论与城市网络理论

中心地理理论、城市网络理论是半个世纪以来研究区域空间结构的最重要理论。中心地理理论基于城市商品服务的假设推理得到理论模型,认为区域城市存在等级体系;城市网络理论则是基于区域内各种流要素构成关联网络,认为城市之间存在功能互补的水平体系^[2]。两个经典理论的验证方法传统上是基于城市形态的数学分析,而不是基于城市之间真实的空间相互作用。

上述理论验证中使用过多种“流”数据。1998年拉恩(Laan)以荷兰全国范围的交通调查数据、劳动力调查数据作为城市间人流联系^[44];2005年纳塔莉(Nathalie)采用比利时北部弗兰德地区(Flanders)1991年交通调查数据,研究城市间人流联系^[45]。2007年梅耶斯认为克氏中心地理理论是起源于城市向消费者提供公共服务,其选择了1993年、1997年、2001年、2005年四个时间节点上荷兰的高校和医院设施总部及其分支机构关联数据^[4];2010年奥尔特(Oort)从荷兰的兰斯塔德地区2005年企业调查数据筛选出1676个生产性服务业企业的关联数据^[46]。2016年多兰(Doran)获取塞内加尔全国范围内2013年12个月1666个基站所记录的20.79亿条手机通话数据作为信息流^[47]。

从验证结果上看,无论是在欧洲发达国家还是非洲国家,多个研究都证实了克氏的中心地理理论依然存在。但研究也发现高等级城市有明显的外向的“流”,证明了泰勒的中心流理论同时也成立。当前区域空间结构依然以中心地理理论为主,但同时具有城市网络理论的特征。

4.2 引力模型

引力模型作为“流”的预测模型,一直在区域空间研究中发挥重要作用。随着实测“流”的获取成为可能,以“流”数据验证引力模型成为研究热点之一。

很多研究关注人口规模和距离的相关性分析。1990年里特韦尔(Rietveld)采用1983年荷兰国内22个电话区之间

表2 区域城市腹地测度方法

测度方法		公式	作用
泰勒 ⁱ	网络关联（Network Correlation）	$V_{ij} = a + bN_i (+R_{ij})$	以节点之间的网络关联强度划分网络腹地
纽曼 ⁱⁱ	模块度（Modularity）	$Q = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^L [A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}] \sigma(c_i, c_j)$	以节点之间的网络关系划分最优的网络社区

注: i V_{ij} 指节点*i*与内其他节点*j*的网络关联度, N_i 指这些节点自身的总关联度, R_{ij} 指 N_i 回归分析得到的残差。

ii Q 指最大模块度, m 指网络中边的总数, A_{ij} 指顶点*i*和顶点*j*之间一个矩阵的边数(这通常是0或1), k_i 指连接到顶点*i*的权重的总和。

资料来源:作者整理

和荷兰与国际 27 个国家的几分钟内的电话通话数据测算城市联系,与引力模型测算结果对比分析证明了空间距离衰减对城市联系有较大的影响,与社会经济发展水平成正比^[48]。2000 年埃斯帕萨 (Esparza) 以美国 346 个高端服务公司的贸易数据建立主要城市之间贸易联系,收集 1990 年的人口普查数据和城市之间的直线距离,研究表明城市人口规模和距离影响城市之间的贸易联系,并且距离较人口规模扮演着更重要的角色^[49]。2008 年郑宇成 (Jung) 根据 2005 年韩国全境 24 条高速公路上 238 个出入口统计的交通统计数据测算人口规模排名前 30 的城市之间的交通流,研究表明城市的交通量与城市的人口规模的相关性达到 0.95,以 30 个城市的人口规模、城市之间的高速路网距离通过引力模型 (衰减系数取值 2.0) 测算城市之间的交通流与实测的交通流具有极高的相关性^[50]。2009 年克林斯 (Krings) 采用与朗比奥特 (Lambiotte) 相同的数据,采用相关性分析证明比利时的手机通话强度与城市之间的人口规模成正比,与距离的平方成反比,与引力模型相似^[51]。

随后研究进一步深入到模型系数的修正,主要是针对距离衰减系数验证。格罗舍 (Grosche) 于 2007 年基于引力模型建立以城市人口规模、机场服务区、乘客购买力指数、城市 GDP、地理距离和航班平均出行时间为影响因子的航空流的预测模型,并收集到 2004 年 1—8 月德国和其他 28 个欧洲国家共计 137 个城市的 9 091 082 名乘客的航班预定数据,作为城市之间的航空联系的实测数据,进而采用多元回归法校正预测模型,得到相关参数^[52]。朗比奥特于 2008 年以比利时 250 万人在 6 个月内的 8 100 万条手机通话记录测算 571 个城市之间的联系,每个城市的通话联系数量与所有城市总通话联系数量的比值作为规模,结合城市之间的直线距离,采用引力模型证明了衰减系数值为 2.0 时与手机通话联系数量相吻合^[53]。2012 年康朝贵收集黑龙江省一个月 (31 天) 13 个城市和全国 283 个主要城市之间 4 464 多万条手机通话数据,基于手机通信联系数量、手机通话时长所代表的城市联系测得引力模型的衰减系数分别为 0.5、0.4^[54]。

同时研究还考虑了引力模型适用性分析。2012 年卡罗兰 (Carolan) 根据一段时期内的爱尔兰全国范围内手机信令数据测算 25 个主要城镇之间的人流联系,并识别出每个用户的居住地,对每个城市人口规模分别和工作日 (周一至周五)、休息日 (周六、周日) 的人流联系的比值与城市之间的空间距离、时间距离作相关性分析。研究表明大城市之间人流联系符合引力模型,而小城市则不适用;大城市工作日比周末的人流联系更加符合引力模型^[55]。

5 区域空间结构研究中的“流”数据

5.1 “流”数据类型及应用

这些“流空间”视角下的区域空间结构研究中,人流、资本流和信息流是三种常用的“流”数据。

人流数据的获取通常是交通调查数据或者是客运班次估测。由于西方国家的交通调查统计较为详细 (精度可达居住街区),成为人流联系数据的主要来源,但调查数据成本较高;相对而言,航空、铁路等客运班次数据获取成本较低,并且能够用于不同的洲、国家等宏观区域尺度的人流联系^[56],缺点是客运班次无法统计实际上座率以及私家车等个人出行行为,准确性较低。因而早期“流空间”的区域空间结构研究仍旧以模型预测为主,一定程度上制约了研究进展。随着移动终端技术的发展,数据获取门槛大大降低,近期出现了以手机信令数据等移动定位大数据测度人流的研究^[57,58]。移动定位大数据具有样本量较大的特点,并且准确性也能达到交通调查的程度。

随着经济全球化和跨国公司的兴起,城市之间的资本联系日益密切。真实资本流是企业之间的资本业务往来数据,由于涉及公司隐私而无法获得。为此,学界普遍采用企业关联数据替代,即以企业总部机构所在地与其分支机构所在地反映城市之间的经济联系,较适用于不同的国家、洲等宏观尺度的区域研究,推动了世界城市 (world city)、全球城市 (global cities)、世界城市区域 (global city-region) 和巨型城市区域 (mega-city region) 等研究^[59,62]。

信息流常以快递、报纸发行等数据代表^[63],但其自身受空间距离衰减的影响,不能完全体现信息流的特征。随着信息技术发展和互联网时代来临,基于电信和互联网的信息流使得研究能够扩展到赛博空间 (cyber space)^[64,65],能够超越空间距离的限制,丰富区域空间的研究领域。在大数据时代下,手机通话数据代表的信息流进一步提高了数据采样率和精确性,也扩展了研究尺度,涉及区域城市腹地、理论模型验证等方面^[40,54]。

近些年手机信令数据、互联网、手机通话数据等大数据的出现,提升了人流、资本流、信息流的测度,有效地推动了区域空间结构研究。从近些年的研究进展来看,不同类型的“流”数据在区域空间结构研究中起到重要推动作用。可以预见,大数据将会带来区域空间结构研究的变革。

5.2 “流”数据的特点

(1) “流”数据的优势

“流”数据是区域城市之间真实的空间相互作用,回避了传统数据、构建模型本身具有的明显的等级规模和空间临

近性的不足,为“流空间”视角下的区域空间结构研究提供了数据基础。其次,“流”数据带来了研究方法的转变,使得区域空间结构理论的研究从理论模型的“假设—逻辑推理”提升到“假设—逻辑推理—验证—再假设”的阶段,进一步丰富和发展了区域空间结构理论。“流”数据的特点在区域中心性测度方法、多中心空间结构识别、区域城市腹地划分和理论模型验证等四个研究方向上均得到了体现。

(2)“流”数据的局限

泰勒的研究表明同一种流在不同尺度下的区域空间结构存在明显的差异^[30],霍尔证实了同一区域内交通调查数据、企业关联数据分别测算的人流、资本流代表的区域中心性各不相同^[25]。不同“流”数据及尺度的差异,也会得出不同的研究结论。从国外近期“流空间”研究文献来看,研究尺度差异会造成研究结果的“量变”,而不同的“流”数据则会引起研究结果的“质变”;同一种流的不同获取方式也会使研究结果产生差异,但这种差异还不是本质上的差异,而是研究数据的样本差异所产生的结果偏差。

基于“流”数据的研究使得“流空间”视角下的区域空间结构研究取得明显的进展,但因数据获取等限制,当前研究对不同流空间的认知还存在不足。绝大多数都采用了单一类型的“流”数据,缺少采用多种“流”对同一区域的研究。不同类型的“流”数据在不同研究尺度下如何使用,结果会有何种的差异,均有待深入探讨。

6 小结与展望

从当前国外“流空间”视角下区域空间结构来看,区域中心性测度是区域空间结构研究的基础,也是研究的关键领域,决定着多中心空间结构识别、腹地划分以及理论模型验证研究的深度和广度。而多中心空间结构识别、腹地划分以及理论模型验证则是国外区域空间结构研究的三个热点问题,反映了区域要素之间的空间组织关系,对理论和实践均有指导意义。

不同类型“流”数据在上述四个领域的研究中均起到了重要推动作用。尤其是大数据能更好地反映区域城市之间的空间相互作用,为“流空间”视角下的区域空间研究提供了新的机遇。

针对国外“流空间”视角下区域空间结构研究类型的梳理,本文认为,从“流”测度方法出发,“流空间”视角下的区域空间结构研究还需要在以下三个方面深入。第一是对“物流”数据测度的“流”的分析。当前采用物流数据的研究较少,随着交通设施发展、网络贸易的兴起,物流所反映的城市之间物质交换日益重要,需要加以关注。第二是整合大数据和传统数据研究。当前采用手机通话数据、手机信令

数据等大数据的研究尚处于初级阶段。大数据与传统数据所测度的“流”各有特点,综合大数据和传统数据将是今后研究的方向。第三是需要进一步认识不同类型“流”的差异及适用环境。同一种“流”在不同研究尺度,以及不同获取方式的“流”在同一种研究尺度下所测度的区域空间结构都存在差异性。综合多种“流”数据将会进一步丰富区域空间结构的相关研究。UPI

参考文献

- [1] Castells M. The Rise of Network Society[M]. Oxford: Blackwell, 1996.
- [2] Batten D F. Network Cities: Creative Urban Agglomerations for the 21st Century[J]. Urban Studies, 1995, 32(2): 313-327.
- [3] Taylor P J. External Urban Relational Process: Introducing Central Flow Theory to Complement Central Place Theory[J]. Urban Studies, 2010, 47(13): 2803-2818.
- [4] Meijers E. From Central Place to Network Model: Theory and Evidence of a Paradigm Change[J]. Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie, 2007, 98(2): 245-259.
- [5] Meijers E. The Notion of Complementarity in Urban Networks: Definition, Value, Measurement and Development[C]. 10th UNECE Conference on Urban and Regional Research, 2006: 22-23.
- [6] 修春亮,魏治,等. “流空间”视角的城市与区域结构[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [7] 甄峰,顾朝林. 信息时代空间结构研究新进展[J]. 地理研究, 2002, 21(2): 257-267.
- [8] 高鑫,修春亮,魏治. 城市地理学的“流空间”视角及其中国化研究[J]. 人文地理, 2012(4): 32-37.
- [9] 甄峰,王波,陈映雪. 基于网络社会空间的中国城市网络特征——以新浪微博为例[J]. 地理学报, 2012, 67(8): 1031-1043.
- [10] 赵渺希,魏冀明,吴康. 京津冀城市群的功能联系及其复杂网络演化[J]. 城市规划学刊, 2014(1): 46-52.
- [11] 赵渺希,唐子来. 基于网络关联的长三角区域腹地划分[J]. 经济地理, 2010, 30(3): 371-377.
- [12] 吴康,方创琳,赵渺希. 中国城市网络的空间组织及其复杂性结构特征[J]. 地理研究, 2015, 34(4): 711-728.
- [13] 克里斯塔勒 W. 德国南部中心地原理[M]. 常正文,王兴中,李贵才,等,译. 北京: 商务印书馆, 1998.
- [14] Hall P. The World Cities[M]. London: Heinemann, 1966.
- [15] Reed H C. The Pre-eminence of International Financial Centres[M]. New York: Praeger Publishers, 1981.
- [16] Friedmann J. The World City Hypothesis[J]. Development and Change, 1986, 17(2): 69-83.
- [17] Sassen S. The Global City: New York, London, Tokyo[M]. Princeton: Princeton University Press, 1991.
- [18] Freeman L C. Centrality in Social Networks: Conceptual Clarification[J]. Social Networks, 1978, 1(2): 215-239.
- [19] Taylor P J. Specification of the World City Network[J]. Geographical Analysis, 2001, 33(2): 181-194.
- [20] Neal Z. Differentiating Centrality and Power in the World City Network[J]. Urban Studies, 2011, 48(10): 2733-2748.
- [21] Wheeler J O, Mitchelson R. Information Flows Among Major Metropolitan Areas in the United States[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1989, 79(4): 523-543.
- [22] Green N. Functional Polycentricity: A Formal Definition in Terms of Social Network Analysis[J]. Urban Studies, 2007, 44(11): 2077-2103.
- [23] Limtanakool N, Dijst M, Schwanen T. A Theoretical Framework and Methodology for Characterising National Urban Systems on the Basis of

- Flows of People: Empirical Evidence for France And Germany[J]. *Urban Studies*, 2007, 44(11): 2123-2145.
- [24] Camagni R, Stabilini S, Diappi L. City Networks in the Lombardy Region: An Analysis in terms of Communication Flows[J]. *Flux*, 1994, 10(15): 37-50.
- [25] 霍尔 P, 佩恩 K. 多中心大都市：来自欧洲巨型城市区域的经验 [M]. 罗震东, 张京祥, 陈焱, 等, 译. 北京：中国建筑工业出版社, 2010.
- [26] Goei B D, Burger M J, Oort F G V. Functional Polycentrism and Urban Network Development in the Greater South East, United Kingdom: Evidence from Commuting Patterns, 1981-2001[J]. *Regional Studies*, 2010, 44(9): 1149-1170.
- [27] Limtanakool N, Schwanen T, Dijst M. Developments in the Dutch Urban System on the Basis of Flows[J]. *Regional Studies*, 2009, 43(2): 179-196.
- [28] Burgalassi D. Defining and Measuring Polycentric Regions: the Case of Tuscany[J]. *Mpra paper*, 2010, 25880(18): 1-38.
- [29] Liu X, Derudder B, Wu K. Measuring Polycentric Urban Development in China: An Intercity Transportation Network Perspective[J]. *Regional Studies*, 2016, 50(8): 1302-1315.
- [30] Taylor P J, Evans D M, Pain K. Application of the Interlocking Network Model to Mega-city-regions: Measuring Polycentricity Within and Beyond Bity-Regions[J]. *Regional Studies*, 2008, 42(8): 1079-1093.
- [31] Huff D L. The Delineation of a National System of Planning Regions on the Basis of Urban Spheres of Influence[J]. *Regional Studies*, 1973(7): 323-329.
- [32] Huff D L, Lutz J M. Ireland's Urban System[J]. *Economic Geography*, 1979, 55(3): 196-212.
- [33] Green H L. Hinterland Boundaries of New York City and Boston in Southern New England[J]. *Economic Geography*, 1955, 31(4): 283-300.
- [34] Berry B J L, Lamb R F. The Delineation of Urban Spheres of Evaluation of an Interaction Model[J]. *Regional Studies*, 1974(8): 185-190.
- [35] Mitchelson R L, Wheeler J O. The Flow of Information in a Global Economy: The Role of the American Urban System in 1990[J]. *Annals of The Association of American Geographers*, 1994, 84(1): 87-107.
- [36] Grady D, Brune R, Thiemann C, et al. Modularity Maximization and Tree Clustering: Novel Ways to Determine Effective Geographic Borders[J]. *Springer Optimization and Its Applications*, 2011, 57(29): 169-208.
- [37] Derudder B, Taylor P J. The Cliquishness of World Cities[J]. *Global Networks*, 2005, 5(1): 71-91.
- [38] Taylor P J. *World City Network: A Global Urban Analysis*[M]. New York, London: Routledge, 2004.
- [39] Newman M E J. Fast Algorithm for Detecting Community Structure in Networks[J]. *Physical Review E*, 2004, 69(6): 066133.
- [40] Ratti C, Sobolevsky S, Calabrese R, et al. Redrawing the Map of Great Britain from a Network of Human Interactions[J]. *PLoS ONE*, 2010, 5(12): 1-6.
- [41] Sobolevsky S, Szell M, Campari R, et al. Delineating Geographical Regions with Networks of Human Interactions in an Extensive Set of Countries[J]. *PLoS ONE*, 2013, 8(12): e817071-10.
- [42] Blondel V D, Guillaume J L, Lambiotte R, et al. Fast Unfolding of Communities in Large Networks[J]. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10): 10008.
- [43] Blondel V, Krings G, Thomas I. Regions and Borders of Mobile Telephony in Belgium and in the Brussels Metropolitan Zone[J]. *Brussels Studies*, 2010, 42(4): 1-6.
- [44] Laan V D. Changing Urban Systems: An Empirical Analysis at Two Spatial Levels[J]. *Regional Studies*, 1998, 32(3): 235-247.
- [45] Nathalie V N, Saey P. Commuting, Hierarchy and Networking: The Case of Flanders[J]. *Tijdschrift Voor Economische En Sociale Geografie*, 2005, 96(3): 313-327.
- [46] Oort F V, Burger M, Raspe O. On the Economic Foundation of the Urban Network Paradigm: Spatial Integration, Functional Integration and Economic Complementarities Within The Dutch Randstad[J]. *Urban Studies*, 2010, 47(4): 725-748.
- [47] Doran D, Fox A. Operationalizing Central Place and Central Flow Theory with Mobile Phone Data[J]. *Annals of Data Science*, 2016, 3(1): 1-24.
- [48] Rietveld P, Janssen L. Telephone Calls and Communication Barriers. The Case of the Netherlands[J]. *Regional Science*, 1990(24): 307-318.
- [49] Esparza A X, Krmenec A J. Large City Interaction in the US Urban System[J]. *Urban Studies*, 2000, 37(4): 691-709.
- [50] Jung W S, Wang F Z, Stanley E. Gravity Model in the Korean Highway[J]. *Europhysics Letters*, 2008, 81(4): 1-5.
- [51] Krings G, Carabrese F, Ratti C, et al. Urban Gravity: A Model for Intercity Telecommunication Flows[J]. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2009, 14(7): 1-7.
- [52] Grosche T, Rothlauf F, Heinzl A. Gravity Models for Airline Passenger Volume Estimation[J]. *Journal of Air Transport Management*, 2007, 13(4): 175-183.
- [53] Lambiotte R, Blondel V, Kerchove C, et al. Geographical Dispersal of Mobile Communication Networks[J]. *Physica A*, 2008, 387(21): 5317-5325.
- [54] Kang C, Zhang Y, Ma X. Inferring Properties and Revealing Geographical Impacts of Intercity Mobile Communication Network of China Using a Subnet Data Set[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 27(3): 431-448.
- [55] Carolan E, McLoone S C, McLoone S F, et al. Analysing Ireland's Interurban Communication Network Using Call Data Records[C]. *Irish: Signals and Systems Conference*, 2012.
- [56] Choi J, Barnett G, Chon B. Comparing World City Networks: A Network Analysis of Internet Backbone and Air Transport Intercity Linkages[J]. *Global Networks*, 2006, 6(1): 81-99.
- [57] Ratti C, Frenchman D, Pulselli R, et al. Mobile Landscapes: Using Location Data from Cell Phones for Urban Analysis[J]. *Environment and Planning B-Planning & Design*, 2006, 33(5): 727-748.
- [58] Reades J, Calabrese F, Sevtsuk A, et al. Cellular Census: Explorations in Urban Data Collection[J]. *IEEE Pervasive Computing*, 2007, 6(3): 30-38.
- [59] Friedmann J, Wolff G. World City Formation: An Agenda for Research and Action[J]. *Journal of Urban And Regional Research*, 1982, 6(3): 309-344.
- [60] Beaverstock J V, Smith R G, Taylor P J, et al. Globalization and World Cities: Some Measurement Methodologies[J]. *Applied Geography*, 2000, 20(1): 43-63.
- [61] Scott A J. Globalization and the Rise of City-Regions[J]. *European Planning Studies*, 2001, 9(7): 813-826.
- [62] Aguilar A G, Ward P M, Smith C B. Globalization, Regional Development, and Mega-city Expansion in Latin America: Analyzing Mexico City's Peri-urban Hinterland[J]. *Cities*, 2003, 20(1): 3-21.
- [63] Mitchelson R L, Wheeler J O. The Flow of Information in a Global Economy: The Role of the American Urban System in 1990[J]. *Annals of The Association of American Geographers*, 1994, 84(1): 87-107.
- [64] Camagni R, Stabilini S, Diappi L. City Networks in the Lombardy Region: An Analysis in Terms of Communication Flows[J]. *Flux*, 1994, 10(15): 37-50.
- [65] Wheeler D C, O'Kelly M E. Network Topology and City Accessibility of the Commercial Internet. *Professional Geographer*, 1999, 51(3): 327-339.

(本文编辑：秦潇雨)