

引用格式:黄洁,王姣娥.交通大数据在人文与经济地理学的应用及学科影响[J].地球信息科学学报,2020,22(6):1180-1188. [Huang J, Wang J.E. Applications and influence of transport big data in human and economic geography[J]. Journal of Geo-information Science, 2020,22(6): 1180-1188.] DOI:10.12082/dqxxkx.2020.190629

交通大数据在人文与经济地理学的应用及学科影响

黄洁¹,王姣娥^{1,2*}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室,北京 100101;
2. 中国科学院大学资源与环境学院,北京 100049

Applications and Influence of Transport Big Data in Human and Economic Geography

HUANG Jie¹, WANG Jiaoe^{1,2*}

1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Transport big data can reflect movement and trajectories of human socio-economic activities, and facilitate studies in a wide range of areas using high-resolution data. Various types of continuous observations from different perspectives can provide new ideas and promote the technological development of human and economic geography. Based on the frontier of transport studies, this paper reviewed the development of location theory, time and space behavior, complex network, and space of flow. Also, this paper outlined a research framework of human and economic geography in the era of big data, discussed the possibilities of combining traditional methods and new technologies, and summarized influences of related branches. Then we proposed the major direction and tendency of applying transport big data, including transport planning with 'Mobility as a Service', urban management with artificial intelligence, simulation of traffic flow migration at a large scale, and investigation of space of flow and space at multiple scales, etc. Finally, this paper pointed out emerging issues in the application such as data access and data bias.

Key words: big data; transport; individual travel; information technology; geography; disciplinary innovation

***Corresponding author:** WANG Jiaoe, E-mail: wangje@igsrr.ac.cn

摘要:交通大数据能够反映人类社会经济活动产生的位移与时空轨迹,不仅能够满足学者们在微观尺度更深入、更精细的研究粒度要求,而且能够为宏观尺度的研究提供广范围、多视角的连续性观测,其研究与发展为人文与经济地理学带来了新思路和新技术。本文以交通大数据的研究前沿为基础,梳理了区位论、时空行为、复杂网络、流空间等理论研究的发展方向,勾勒了“大数据时代”背景下人文与经济地理学的研究框架体系,探讨了新旧技术方法融合的可能性,并讨论了对各个分支学科相关研究的影响。接着,本文总结了交通大数据在人文与经济地理学的主要应用方向与趋势,主要包括出行即服务的交通规划理论与方法,“人工智能+大数据”的城市管理科学,大尺度交通流迁移的模拟,以及“流空间”与“场所空间”的多维度研究等。最后,本文指出了交通大数据应用在获取难度和数据有偏性等值得注意的问题并进行了展望。

收稿日期:2019-10-25;修回日期:2020-01-06.

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA19040402);国家自然科学基金项目(41701132)。[**Foundation items:** Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA19040402; National Natural Science Foundation of China, No.41701132.]

作者简介:黄洁(1988—),女,广西桂林人,副研究员,主要从事交通地理、大数据与城市交通研究。E-mail: huangjie@igsrr.ac.cn

*通讯作者:王姣娥(1981—),女,湖南涟源人,研究员,主要从事交通地理与区域发展、大数据与城市交通研究。

E-mail: wangje@igsrr.ac.cn

关键词:大数据;交通;个人出行;信息技术;地理学;学科创新

1 引言

随着信息技术的高速发展,人类社会已经进入大数据时代。大数据是指数量巨大、结构复杂、类型众多的以非结构化数据为主的复杂数据集合,储存在社交网络、信息网站、移动设备等信息系统中,处于持续更新状态,具有海量性、高速性、真实性、多样性等特点^[1]。大数据时代,交通大数据是能够反映人类社会经济活动、交通运输工具等产生位移时被记录的具有时空信息的地理标记或轨迹数据,以及每次位移之间的驻留信息等数据集。交通大数据中所隐含的社会经济活动时空变化、运输网络演变、以及出行行为规律等,可以为不同尺度的人地关系、社会经济活动组织模式,以及人类与自然、社会经济发展的动态交互关系、城市居民与城市空间的相互作用关系等提供新的视角^[2-6]。

交通地理学是研究交通运输地域组织及其发展规律的学科,核心是研究交通运输网络的空间分布和组织结构的演变规律,分别探讨居民出行、客货运输联系的产生和变化规律,剖析交通运输系统在人类经济社会活动过程中的地位与作用等,是人文与经济地理学的重要分支学科^[6-7]。随着移动互联网的普及和高速交通的快速发展,新兴出行模式不断涌现,使得交通大数据的类型和内容不断丰富,已经成为交通地理学的研究热点^[8]。个体尺度,公共交通刷卡数据、出租车GPS数据等特定出行方式的时空信息有助于个人出行行为、职住区位、出行方式选择、潜在社会流动等影响因素分析和机理解释,进而识别群体规律和城市空间结构^[9-13]。城市内部,手机信令数据、浮动车轨迹等促进了门到门出行链、城市活力时空分布的测度;城市间层面,高速公路流、高铁班次数据、航班时刻表等丰富了区域间人口流动等研究内容^[14-15]。全球尺度,航线轨迹信息及航班时刻表等数据有助于完善枢纽机场航班波、全球航线网络和城市网络等议题在时间、空间双重维度的研究^[16-18]。

近年来,人文与经济地理学的其他分支学科也基于交通大数据展开了一系列的研究^[19-20]。例如,城市地理学基于居民出行轨迹剖析了交通碳排放、居民健康影响机制等^[21];产业地理基于社交网络和POI等数据深入剖析了企业区位选择的机理^[22];社会计算(Social Computation)、群体识别和个体非集

计分析等技术运用人类活动轨迹数据丰富了社会地理学的研究体系^[20]。因此,本文以剖析交通大数据的概念与特征为基础,梳理了以此为核心的人文与经济地理学研究框架,探讨交通大数据对人文与经济地理学带来的影响。

2 交通大数据的概念与内涵

相较于传统数据,交通大数据在获取方式、数据量、及数据连续性3个方面具有一定的优势(表1)。从获取方式来看,交通大数据多依赖于被动收集(Passive Collection),而传统的问卷调查和统计数据通常依赖于主动征集(Active Solicitation)。从2000年开始,少数问卷调查研究引入了GPS追踪器以提升问卷调查的准确性,获取更多的环境要素信息^[21]。由于问卷调查数据耗费大量人力、时间和费用,通常只抽样调查极少部分用户的信息。交通大数据的被动收集过程既节省了数据收集的成本,又突破了传统数据样本量不足和缺乏代表性的限制,能够促进人文与经济地理学理论体系的完善和技术方法的进步与提升。统计数据依赖于逐层汇总的收集过程,通常从最低等级的行政单元开始收集汇总,受限于行政管理体系和汇总过程,同时各个地方在统计数据的标准、技术等方面也存在差异,有着不可逆推导的局限性。交通大数据的基础单元更精细,并且可以逐层汇总或逆向推算,能够较好地克服统计数据的局限性。

从数据量和属性来看,交通大数据最宝贵的价值在于提供了海量精确的人类社会经济活动中产生的与交通运输相关的数据记录,如货物运输、居民出行、车辆移动等记录^[23],并包括相应活动产生的时间、空间以及事件信息,如出发地(Origin)、目的地(Destination)和相应时刻信息,或者这些关键信息具有可推算性。传统数据在追溯相关信息时,

表1 交通大数据与传统问卷数据特征对比

Tab. 1 Characteristics of transport big data and traditional survey day

	交通大数据	传统数据
获取方式	被动收集、采集成本低	主动征集、采集成本高
数据量	大	小
数据属性	时空精确性高、属性少	时空精确性差、属性多
数据连续性	连续性强、周期丰富	连续性差、周期存在限制性

多采用问卷调查法,获得的信息多出现时空信息不准确的问题。值得说明的是,传统数据可采集较多的社会经济属性,数据维度高,而交通大数据在这方面还存在一些限制。目前,应用较为广泛的交通大数据包括:车载GPS轨迹数据、公共交通刷卡数据、滴滴订单、共享单车轨迹、高速公路收费站记录、手机信令数据等^[24-27]。这些数据既有助于从微观视角剖析人类社会经济活动的空间格局演变过程,还有利于准确地把握人类社会经济活动的宏观态势。

从数据连续性来看,交通大数据可以支撑人文与经济地理学各分支学科多时空维度的分析,使得研究的时空尺度和粒度将向多元化、精细化方向发展,且研究的时间粒度更连续、周期更丰富。传统数据只在固定时间节点统计,且统计时间间隔较长。不同于传统的面板数据,交通大数据通常能够连续地记录个体尺度的社会经济活动,如GPS浮动车数据通常是每隔5 s记录一次车的空间位置,运输订单数据也是连续捕捉货物的位置信息,以掌握订单完整的运输轨迹。由于交通大数据的时间粒度更连续更精确,不同的研究议题可以根据需要进行切割数据,使得研究周期更丰富,不再局限于传统数据的固定统计周期。

3 基于交通大数据的人文与经济地理学研究理论体系建设

交通大数据的研究丰富和完善了人文与经济地理学的理论体系。人文与经济地理学的发展,必须依靠科学的基础理论建设、完善的时空数据挖掘技术、精确的空间模拟方法,进行交叉学科的创新性研究与融合^[4]。基于交通大数据的人文与经济地理学研究框架体系的构建,需要剖析交通大数据带来的研究体系革新,进而分析相应理论基础的延伸方向,再提出与相关分支学科的研究理论体系(图1)。

3.1 研究框架体系

交通大数据研究的发展在很大程度上革新了交通区位测度的研究体系。同时,区位论、空间相互作用关系、时空行为等理论研究进一步提升。基于交通大数据的区位测度将融合更多的测算因素和时空要素,不仅能从距离视角来分析经济活动的空间关系,而且更加全面地考虑不同时刻、空间、环境因素带来的不同影响,为产业地理、健康地理、行

为地理等提供了扎实的理论基础和测算依据:① 基于个人出行偶然性和场合性特征识别的购物、娱乐出行,能够为商业和服务业区位选择提供依据,丰富区位论的内涵。类似地,根据就医出行与医院空间关系,能够更精准地识别医院的服务区范围,深化空间相互作用关系的研究。② 基于个人出行的时空规律性,持续地、动态地、精准地观测居民活动的交通轨迹,丰富了研究居民生活与城市空间组织相互影响机制的数据基础,有助于职住平衡理论体系的在个人尺度的研究,有助于研究活动空间(Activity Space)、时空棱柱(Space-time Prism)、居住自选择(Residential Self-selection)等理论内涵^[28],促进时空行为理论的发展。

交通大数据的引入丰富了组织网络和需求网络的研究体系,进而促进流空间理论在交通地理与物流管理研究的发展壮大,从网络结构来分析人、货物、地点和时间的依存关系。区域交通研究中,需从物理设施网络转变为融入组织网络、需求网络等交通流数据综合测度网络依存关系、空间结构和空间联系,丰富复杂网络理论的研究。城市交通研究中,需从依赖于问卷调查估计转变为考虑实际因素的实时在线计算^[25];基于出行行为选择理论,考虑建成环境和社会经济属性,综合步行、公交、地铁、驾车等多种出行方式计算门到门时间,有效地提升了测度的精确性。物流管理研究中,货物的运

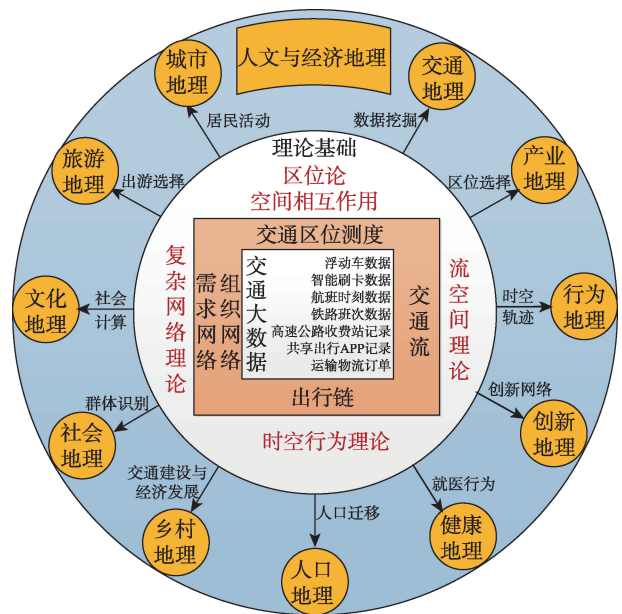


图1 基于交通大数据的人文与经济地理学研究框架体系
Fig. 1 A research framework of human and economic geography with transport big data

输轨迹及订单数据有助于进一步地优化运输枢纽的空间布局,引入运输需求的轴辐网络模型将成为未来物流管理的重要理论依据。

从城市网络的视角来看,交通大数据的时空分布格局能够反映城市间、区域间交通联系强度,进而表征城市空间级联系统^[29]。高铁、航空、高速公路等不同出行方式的时刻表信息、客流分布等有助于城市空间级联系统的多重网络映射理论的研究。并且,结合社会经济发展中的创新网络、投资活动等,剖析人流、货流和社会经济活动的相互作用关系、城市等级结构、空间集聚效应、以及网络复杂性特征,讨论区域协同发展、交通与社会经济发展的相关议题^[30]。

3.2 技术方法

以交通大数据为核心的人文与经济地理学研究促进了技术方法的革新(图2)。首先,数据采集的技术方法从传统问卷调查、统计年鉴梳理、深入访谈转变为空间定位、移动信息设备采集、网络数据信息抓取等手段获取传感器、社交网站、智能手机等的人类出行活动数据。在数据分析中,传统研究依赖于描述性的统计分析、因果关系解析、情景模拟和机制剖析等方法。目前,人文与经济地理学的各分支学科逐步运用数据挖掘技术的新方法。

数据聚类、感知计算、时空索引、模式识别、以及动态可视化等方面已经开始引入新方法、新模型^[31-33],进而拓展人文与经济地理学相关理论的应用领域。利用人文与经济地理学的研究范式和GIS方法对交通大数据进行分析,运用K均值、层次自聚类、图谱聚类等方法剖析研究对象的内在体系。并

且,以个体尺度或微观群体尺度为研究单元,运用贝叶斯估计、决策树等方法,进行自下而上、层层递进、且可推导的分类分析。个人尺度,构建的职住通勤链和全目的出行链成为时空行为研究的重要技术方法,GIS-T和网络分析方法也成为研究行为轨迹和时空数据的重要技术方法。

运用人工智能领域先进的数据挖掘方法,构建以居民个体或群体组织行为分析为核心的交通大数据研究范式,对城市居民活动、基础设施空间布局、公共服务供给及城市治理等领域的发展产生了重要的影响。首先,复杂的数据结构、繁琐的内在关联和时空相互作用关系可以运用Apriori、FP-Growth等关联推测算法进行分析。其次,神经网络深度学习算法、随机森林算法等逐步被用于空间相互作用关系的理论研究中、综合评价关键指标甄别、交通流预测等方面。

同时,拓扑网络分析的技术方法也不断成熟,从可达性、枢纽逐步扩展到中心性、可靠性、社团识别、交通流加权最短距离等^[7]。随着交通大数据类型的不断丰富和新型出行模式的不断涌现,多出行模式的数据融合(Inter-modal Data Fusion)和交通流的持续调控(Continuous Coordination)技术将成为交通流预测模型应用的新趋势^[33]。总体来看,以交通大数据为核心的人文与经济地理学研究框架将促使学科借鉴自然地理学、社会学、经济学、计算机科学、统计学等其他学科的技术方法,进而开发新方法来完成自身的研究体系^[19]。

3.3 对学科发展的影响

交通大数据既可以在微观上反映个体出行的

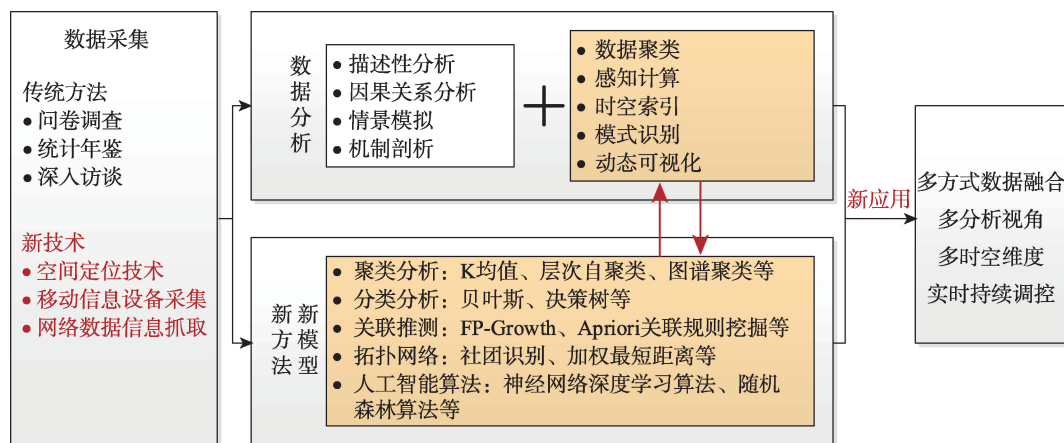


图2 交通大数据应用的新旧方法融合

Fig. 2 Classic methods and new technologies in applications of transport big data

位移与时空轨迹,又能在宏观尺度反应客货流的集疏运特征,为人文与经济地理学各个分支学科提供了更深入、更精细、广范围、多视角的研究视角。交通大数据对各分支学科产生的影响主要包括:

(1)个体尺度的交通大数据(公交刷卡数据、手机信令数据等)可以反映个体出行活动的时空差异且可以长时序追踪研究,为行为地理、文化地理、社会地理等关注个体差异的分支学科提供了更多的研究内容。行为地理学中,个体尺度的交通大数据反映了居民个体如何选择出行方式、时间以及出发地和目的地的空间分布构成的出行链,有助于研究居民的生活状态、文化背景、社会经济属性等。更进一步,文化地理学研究中,大量居民活动的时空轨迹中可以帮助学者分析城市文化特质或结构,进而探讨人类文化活动对区域或城市氛围的影响。社会地理学研究中,基于位置的社交网络(Location-based Social Network)可以从不同的交通出行习惯识别出不同的社会群体,探讨社会公平与交通发展的可能性,进而提出关怀少数群体的政策建议。

(2)基于个体的集聚数据可以反映不同尺度的交通流时空演化格局,在时空粒度上比传统统计数据的灵活性更高。因此,交通大数据能够从更多的时间、空间尺度揭示人类活动、客货流的集聚特征。例如,长时间尺度的全球人口迁移流、文化名流移动,全国尺度的人口迁移、城市内部的长时序职住格局演化等。因此,人口地理、城市地理、旅游地理、产业地理、健康地理、乡村地理等学科的相关议题研究都逐步应用于交通大数据。人口地理学中,春运、节假日等特殊时间的交通流方向、流量、强度、及地区差异,可用于估计区域间流动人口分布,进而映射城际间务工人员流动的空间格局^[27]。城市地理学中,在交通大数据支持下,长时序、高精度、多模式的居民活动测度有助于职住关系、活动空间、城市边界识别、城市空间与功能区等研究议题的深入讨论。旅游地理中,交通流是居民出游偏好的载体,可以反映相应基础设施的服务能力、客流分布、辐射范围、旅游热点等,为旅游地理学中景点布局、旅游区规划、区域旅游发展提供了一定的理论基础。类似地,产业地理学中,客货流的时空特征、网络结构与城市空间布局的关联,可以用于剖析产业的空间关联、聚集特征、选址布局影响因素等。并且,基于交通大数据的就医行为识别方法正逐步影响健康地理学中医院服务范围、公共医疗资源布局等研究。乡村地理研究中,依据交通建

设带来的客货流时空变化,可以解析贫困人口获得经济发展机遇的可能性,深入探讨交通建设与精准扶贫的相互作用关系。

4 人文与经济地理学中交通大数据主要应用方向与趋势

4.1 出行即服务的交通规划理论体系

交通大数据包含的海量出行轨迹和时空信息是交通规划中实时预测和微观尺度研究的关键数据,未来中长期交通规划也将逐步引入交通大数据^[34-35]。出行即服务(Mobility as a Service, MaaS)的理念深入到规划的全过程,整体提升交通系统的效率。具体包括:

(1)城市居民出行的交通圈测度。交通圈测度已经逐步转向考虑个人出行的全过程(“门到门”出行),综合分析多种出行方式的在途时间以及相互之间的衔接时间,以精准测度城市居民出行的交通圈,包括15 min步行圈、0.5 h通勤圈、1 h出行圈等。这些研究将为多层次交通圈规划和城市居民出行幸福感研究提供理论依据。

(2)基于个人出行链的中长期交通规划。MaaS是智慧交通基础设施布局的重要依据。多元化的出行需求引发居民出行链的改变,个人时空活动轨迹的多样化发展,以及出行群体的多类型、多模式转变。因此,出行群体(Mobility Group)识别方法体系将进一步革新,依托于交通大数据和数据挖掘技术剖析群体的出行范围、时空分布和特征;同时应用相关传统交通调查数据深入分析出行选择机制和出行模式机理,以更好地完善交通出行行为与社会经济属性的相互影响机制分析,为中长期交通规划提供理论基础。

4.2 “人工智能+大数据”的城市精细化管理

智慧城市建设中,居民社会经济活动中所反映出来的日常活动空间、旅游偏好、就医倾向、教育资源选择等多样化的需求可以从交通大数据之中挖掘^[36-37]。因此,交通大数据研究可以为智慧城市建设、智慧基础设施布局和优化提供科学的依据。更重要的是,人工智能将运用到短时出行需求预测,进而能够提供及时有效的服务;提供可靠性高的交通流实时估计,进而能够精准分析交通拥堵的路段和时长,以提出相应的疏解方案。

(1)“人工智能+交通大数据”可以识别人口分

布、居民活动时空分布格局等^[38-42],可用于精细化空间模拟分析和预测模型,评估城市规划合理性,应用于城市功能分区和空间结构优化。

(2)通过人工智能算法和可视化技术,分析城市居民聚集的热点分布和群体性规律,识别瓶颈和要点,为城市精细化管理和重大事件防拥堵、防踩踏等提供建设性意见。

(3)以时空粒度更细微的空间可达性测度为基准,分析交通对于多元化城市居民生活的服务能力和功效空间,进而为促进交通对旅游、医疗、教育资源效用最大化的支撑作用,为智慧基础设施优化布局提供科学的依据^[43]。

4.3 大尺度交通流迁移分析与模拟

区域尺度,物质、能量、人员和信息的交换依赖于不同的交通运输方式。因此,交通运输是空间相互作用表征的一种重要形式。要素的扩散引致了全球化、社会经济活动空间分异、区域运输网络的拓展等。交通流迁移的时空演化格局、模型构建和模拟分析都将向精细化、多维度、大尺度发展。

(1)基于多元交通大数据融合的交通流分析。交通流的刻画需要可以借助海量的时空信息,包括设施网络的矢量化数据、运输组织网络的时刻表数据、以及物流配送的时空轨迹数据等,基于数据融合技术丰富研究的范围、时间粒度和周期。

(2)理论模型和模拟分析向多维度发展。借助时空标记和轨迹数据集,交通优势度模型、轴辐网络模型等将考虑更多的影响因素,研究从空间联系不断拓展到时空二维尺度,促进模型指标和参数的丰富化。例如,航空运输体系从采用航线刻画的节点优势逐步转向运用航班时刻表、实际载运客流量构建交通流的理论模型^[44]。

(3)多重交通网络的对比分析。传统的交通流系统分析多聚焦在单一网络,引入交通大数据的研究逐步转向多类型网络的横向比较。例如,运用航空、铁路交通流数据和运营时刻表,学者们剖析了不同交通方式对区域尺度上城市网络等级结构和组织模式的影响^[45]。

4.4 “流空间”与“场所空间”的多维度相互作用关系

交通大数据的可获取性和空间覆盖范围在网络抓取技术、API工具的普及上大大提升;部分数据的开源使用(如 OpenStreetMap、Worldpop 等)进一步提升了研发的共享和规范性^[41-42]。交通流、人口

流等方面的数据挖掘,有助于“流空间”与“场所空间”理论研究的完善与进步。

(1)大尺度“流空间”到小尺度“场所空间”的衔接关系。运用社会经济属性、ID卡号等信息,将城际之间与城市内部不同要素的流动联系起来,既可以构建城际—城市尺度的个人出行链,又可以完善大尺度全网络的研究方法^[46],成为研究全球生产网络、区域通道与全球通道的协同发展、空间不均衡的社会经济发展格局的重要技术手段。

(2)“流空间—场所空间”在区域尺度的相互作用关系。区域尺度,结合不同类型的交通大数据,基于“中心地理论”和“中心流理论”,对比分析基于“网络联系”和“节点属性”的城市体系等级结构、枢纽城市等。结合交通大数据识别不同要素流的空间效应,进而识别枢纽城市的腹地范围、功效空间等。

5 问题与展望

目前,交通大数据在人文与经济地理学的研究处于快速发展阶段,主要关注宏观交通流的时空分布特征所反映的大尺度人类经济社会活动,及微观尺度的出行行为分异所反映的社会群体特征。技术层面上,GIS空间分析技术的应用已经趋于成熟,大数据挖掘及人工智能等相关技术的应用处于发展阶段。具体存在问题有:

(1)交通大数据的获取技术难度因来源而存在差异。①越来越多的互联网平台提供开源数据,如腾讯位置大数据、百度热力地图、OpenStreetMap等。从获取便利的角度,开源数据无疑为研究提供了很大的便利,但是开源数据的准确性需要进行验证^[47]。②研究者可以运用种类繁杂的在线API收集所需要的数据,如运用高德出行规划API在线计算早高峰时段北京市公里格网间的驾车时间。这类数据能够让研究者灵活地设定研究时段和空间粒度,但是收集需要在线调用程序的技术基础,并且存在一定的调用限量。③特定的交通大数据(手机信令轨迹数据、公交卡刷卡数据)等高精度的个体尺度的数据,目前开放程度较低且获取难度大,需要研究者与数据持有方构建长期有效的合作机制,并且严格规范使用程序和数据保密制度。

(2)交通大数据与其他数据一样存在一定的有偏性。交通大数据的数据量虽然大,但是并不是全样本数据。在交通大数据的应用中,研究者应充分

了解不同数据的产生和收集过程,了解有偏性和局限性。针对这一问题,可以借鉴的解决办法包括:① 尽量利用指标的相对值来说明问题,而不是用绝对值;② 运用大尺度上的统计数据进行交叉验证;③ 结合更多的相关要素来解析研究问题。从技术方法上来说,交通大数据的研究应该聚焦在挖掘交通大数据的社会经济内涵、多源数据融合和交叉验证。总的来说,交通大数据研究将促进数据挖掘技术、空间分析技术、人工智能算法等方面的进步。

今后交通大数据的主要应用方向将是大数据与智慧城市建设、实时的精细化城市管理、多要素及多层次的区域规划等。目前,我国进入社会经济和信息技术快速发展的阶段,以交通大数据为基础的理论体系与技术方法构建有助于人文与经济地理学更好地服务于国家发展战略和人民对美好生活向往的需求,并且促进交通运输与经济社会发展的协同化、高效化、创新化。

6 结论

在大数据时代,交通大数据作为记录人类社会经济活动的重要数据,它在人文与经济地理学中的应用价值及学科影响在逐步显现。今后的交通大数据研究将立足高精度、大尺度、多维度的角度出发,更全面地剖析人类行为与社会经济发展的基本脉络、城市空间与基础设施的相互作用关系、大尺度人地关系的交互模式等。并且,基于交通大数据的研究将促进人文与经济地理与其他学科的相互融合,进而更好地解决地理学的基础科学问题,包括地理空间认知中人、地图、环境等之间的动态演化机制,虚拟地理中的人文感知等。

参考文献(References):

- [1] Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism[J]. *GeoJournal*, 2014,79(1):1-14.
- [2] Schwanen T. Geographies of transport I: Reinventing a field?[J]. *Progress in Human Geography*, 2016,40(1):126-137.
- [3] 陆锋,刘康,陈洁.大数据时代的人类移动性研究[J]. *地球信息科学学报*, 2014,16(5):665-672. [Lu F, Liu K, Chen J. Research on human mobility in big data era[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2014,16(5):665-672.]
- [4] 金凤君,靳海涛.人文—经济地理学的学科融合和创新[J]. *地理科学进展*, 2018,37(3):309-316. [Jin F J, Jin H T. Integration and innovation paths of human geography[J]. *Progress in Geography*, 2018,37(3):309-316.]
- [5] 裴韬,刘亚溪,郭思慧,等.地理大数据挖掘的本质[J]. *地理学报*, 2019,74(3):586-598. [Pei T, Liu Y X, Guo S H, et al. Principle of big geodata mining[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019,74(3):586-598.]
- [6] 陈航,张文尝,金凤君,等.中国交通地理[M].北京:科学出版社, 2000. [Chen H, Zhang W C, Jin F J, et al. *Transport geography in China*[M]. Beijing: Beijing Science Press, 2000.]
- [7] 陆大道,樊杰.区域可持续发展研究的兴起与作用[J]. *中国科学院院刊*, 2012,27(3):290-319. [Lu D D, Fan J. The rise and effects of regional sustainable development studies in China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2012,27(3):290-319.]
- [8] 王姣娥,焦敬娟,黄洁,等.交通发展区位测度的理论与方法[J]. *地理学报*, 2018,73(4):666-676. [Wang J E, Jiao J J, Huang J, et al. Theory and methodology of transportation development and location measures[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018,73(4):666-676.]
- [9] Sun L, Axhausen K W, Lee D H, et al. Understanding metropolitan patterns of daily encounters[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013,110(34):13774-13779.
- [10] Huang J, Levinson D, Wang J E, et al. Tracking job and housing dynamics with smartcard data[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018,115(50):12710-12715.
- [11] 李思宇,向隆刚,张彩丽,等.基于低频出租车轨迹的城市路网交叉口提取研究[J]. *地球信息科学学报*, 2019,21(12):1845-1854. [Li S Y, Xiang L G, Zhang C L, et al. Extraction of urban road network intersections based on low-frequency taxi trajectory data[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2019,21(12):1845-1854.]
- [12] Chen C, Ma J, Susilo Y, et al. The promises of big data and small data for travel behavior (aka human mobility) analysis[J]. *Transportation research part C: emerging technologies*, 2016,68:285-299.
- [13] Wang Q, Phillips N E, Small M L, et al. Urban mobility and neighborhood isolation in America's 50 largest cities [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018,115(30):7735-7740.
- [14] 蒋小荣,汪胜兰,杨永春.中国城市人口流动网络研究——基于百度LBS大数据分析[J]. *人口与发展*, 2017,23(1):13-23. [Jiang X R, Wang S L, Yang Y C. Research on China's urban population mobility network based on Baidu LBS big data[J]. *Population & Development*, 2017,23(1):13-23.]
- [15] 王德,朱查松,谢栋灿.上海市居民就业地迁移研究——基于手机信令数据的分析[J]. *中国人口科学*, 2016(1):80-89. [Wang D, Zhu C S, Xie D C. Research on intra-city

- employment mobility in Shanghai: Based on cell phone data[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2016(1): 80-89.]
- [16] 王姣娥,景悦.中国城市网络等级结构特征及组织模式——基于铁路和航空流的比较[J].*地理学报*,2017,72(8): 1508-1519. [Wang J E, Jing Y. Comparison of spatial structure and organization mode of inter-city networks from the perspective of railway and air passenger flow[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017,72(8):1508-1519.]
- [17] 黄洁,王姣娥.枢纽机场的航班波体系结构及其喂给航线的空间格局研究[J].*地理科学*,2018,38(11):1749-1757. [Huang J, Wang J E. Wave-system structures of airport hubs and spatial patterns of possible indirect connections[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018,38(11):1749-1757.]
- [18] Huang J, Wang J E. A comparison of indirect connectivity in Chinese airport hubs: 2010 vs. 2015[J]. *Journal of Air Transport Management*, 2017,65:29-39.
- [19] 杨振山,龙瀛,Douay N.大数据对人文—经济地理学研究的促进与局限[J].*地理科学进展*,2015,34(4):410-417. [Yang Z S, Long Y, Douay N. Opportunities and limitations of big data applications to human and economic geography: the state of the art[J]. *Progress in Geography*, 2015,34(4):410-417.]
- [20] 甄峰,秦萧,王波.大数据时代的人文地理研究与应用实践[J].*人文地理*,2014,29(3):1-6. [Zhen F, Qin X, Wang B. Human geography research and practical application in big data era[J]. *Human geography*. 2014,29(3):1-6.]
- [21] 马静,柴彦威,符婷婷.居民时空行为与环境污染暴露对健康影响的研究进展[J].*地理科学进展*,2017,36(10): 1260-1269. [Ma J, Chai Y W, Fu T T. Progress of research on the health impact of people's space-time behavior and environmental pollution exposure[J]. *Progress in Geography*,2017,36(10):1260-1269.]
- [22] 李国旗,金凤君,陈娱,等.基于POI的北京物流业区位特征与分异机制[J].*地理学报*,2017,72(6):1091-1103. [Li G Q, Jin F J, Chen Y, et al. Location characteristics and differentiation mechanism of logistics industry based on points of interest: A case study of Beijing[J].*Acta Geographica Sinica*, 2017,72(6):1091-1103.]
- [23] Toole J L, Colak S, Sturt B, et al. The path most traveled: Travel demand estimation using big data resources[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015,58:162-177.
- [24] 黄洁,王姣娥,靳海涛,等.北京市地铁客流的时空分布格局及特征——基于智能交通卡数据[J].*地理科学进展*, 2018,37(3):397-406. [Huang J, Wang J E, Jin H T, et al. Investigating spatiotemporal patterns of passenger flows in the Beijing metro system from smart card data[J]. *Progress in Geography*, 2018,37(3):397-406.]
- [25] Huang J, Levinson D M. Circuitry in urban transit networks[J]. *Journal of Transport Geography*, 2015,48:145-153.
- [26] 魏冶,修春亮,刘志敏,等.春运人口流动透视的转型期中国城市网络结构[J].*地理科学*,2016,36(11):1654-1660. [Wei Y, Xiu C L, Liu Z M, et al. Spatial pattern of city network in transitional China based on the population flows in "Chunyun" Period[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016,36(11):1654-1660.]
- [27] 刘瑜,康朝贵,王法辉.大数据驱动的人类移动模式和模型研究[J].*武汉大学学报·信息科学版*,2014,39(6):660-666. [Liu Y, Kang C G, Wang F H. Towards big data-driven human mobility patterns and models[J].*Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014,39(6):660-666.]
- [28] 柴彦威,申悦,肖作鹏,等.时空间行为研究动态及其实践应用前景[J].*地理科学进展*,2012,31(6):667-675. [Chai Y W, Shen Y, Xiao Z P, et al. Review for space-time behavior research: Theory frontiers and application in the future[J]. *Progress in Geography*, 2012,31(6):667-675.]
- [29] 焦敬娟,王姣娥,金凤君,等.高速铁路对城市网络结构的影响研究——基于铁路客运班列分析[J].*地理学报*, 2016,17(2):265-280. [Jiao J J, Wang J E, Jin F J, et al. Impact of high-speed rail on inter-city network based on the passenger train network in China, 2003-2013[J]. *Acta Geographica Sinica*. 2016,17(2):265-280.]
- [30] 刘卫东.经济地理学思维[M].北京:科学出版社,2013. [Liu W D. *Philosophies of economic geography*[M]. Beijing: Beijing Science Press, 2013.]
- [31] 程昌秀,史培军,宋长青,等.地理大数据为地理复杂性研究提供新机遇[J].*地理学报*,2018,73(8):1397-1406. [Cheng C X, Shi P J, Song C Q, et al. Geographic big-data: A new opportunity for geography complexity study. *Acta Geographica Sinica*, 2018,73(8):1397-1406.]
- [32] 赵珂,于立.大规划:大数据时代的参与式地理设计[J].*城市发展研究*,2014,21(10):28-32. [Zhao K, Yu L. Big planning: Participatory geodesign in the age of big data [J]. *Urban Development Studies*, 2014,21(10):28-32.]
- [33] 李晨阳.大数据环境下人工智能计算技术[J].*电子技术与软件工程*,2018(11):180-181. [Li C Y. Artificial intelligence computing technology in big data environment[J]. *Electronic Technology & Software Engineering*, 2018(11):180-181.]
- [34] Milne D, Watling D. Big data and understanding change in the context of planning transport systems[J]. *Journal of Transport Geography*, 2019,76:235-244.

- [35] 杨东援.通过大数据促进城市交通规划理论的变革[J]. 城市交通,2016,14(3):72-80. [Yang D Y. Promoting urban transportation planning theory innovation using big data [J]. Urban Transportation of China,2016,14(3):72-80.]
- [36] 柴彦威,申悦,陈梓烽.基于时空间行为的人本导向的智慧城市规划与管理[J].国际城市规划,2014,29(6):31-37. [Chai Y W, Shen Y, Chen Z F. Towards smarter cities: Human-oriented urban planning and management based on space-time behavior research[J].Urban Planning International, 2014,29(6):31-37.]
- [37] 甄峰,席广亮,秦萧.基于地理视角的智慧城市规划与建设的理论思考[J].地理科学进展,2015,34(4):402-409. [Zhen F, Xi G L, Qin X. Smart city planning and construction based on geographic perspectives: Some theoretical thinking[J]. Progress in Geography, 2015,34(4):402-409.]
- [38] Gonzalez M C, Hidalgo C A, Barabasi A L. Understanding individual human mobility patterns[J]. Nature. 2008, 453(7196):779.
- [39] Çolak S, Lima A, González M C. Understanding congested travel in urban areas[J]. Nature communications, 2016, 7:10793.
- [40] Liu X, Gong L, Gong Y, et al. Revealing travel patterns and city structure with taxi trip data[J]. Journal of Transport Geography, 2015,43:78-90.
- [41] Jiang S, Yang Y, Gupta S, et al. The TimeGeo modeling framework for urban mobility without travel surveys[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2016, 113(37):5370-5378.
- [42] Huang J, Levinson D, Wang J E, et al. Job-worker spatial dynamics in Beijing: Insights from smart card data[J]. Cities, 2019,86:83-93.
- [43] Batty M. Big data, smart cities and city planning[J]. Dialogues in Human Geography, 2013,3(3):274-279.
- [44] Jiao J J, Wang J E, Jin F J. Impacts of high-speed rail lines on the city network in China[J]. Journal of Transport Geography, 2017,60:257-266.
- [45] Huang J, Wang J E. A comparison of indirect connectivity in Chinese airport hubs 2010 vs 2015[J]. Journal of Air Transport Management, 2017,65:29-39.
- [46] Yan X Y, Wang W X, Gao Z Y, et al. Universal model of individual and population mobility on diverse spatial scales[J]. Nature Communications, 2017,8(1):1639.
- [47] 李德仁.论时空大数据的智能处理与服务[J].地球信息科学学报,2019,21(12):1825-1831. [Li D. The intelligent processing and service of spatiotemporal big data[J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21(12):1825-1831.]