电子科技大学学报
Journal of University of Electronic Science and Technology of China
ISSN 1001-0548,CN 51-1207/T

《电子科技大学学报》网络首发论文

题目：　新冠肺炎爆发前期武汉外流人口的地理去向分布及影响
作者：　许小可，文成，张光耀，孙皓宸，刘波，王贤文
收稿日期：　2020-02-03
网络首发日期：　2020-02-14
引用格式：　许小可，文成，张光耀，孙皓宸，刘波，王贤文．新冠肺炎爆发前期武汉外流人口的地理去向分布及影响[J/OL]．电子科技大学学报．
http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1207.T.20200213.2002.002.html

电 子 科 技 大 学 学 报
Journal of University of Electronic Science and Technology of China

新冠肺炎爆发前期武汉外流人口的地理去向分布及影响

许小可[1]，文 成[1]，张光耀[2]，孙皓宸[1]，刘 波[3]，王贤文[2*]

(1. 大连民族大学信息与通信工程学院 辽宁 大连 116600；2. 大连理工大学科学学与科技管理研究所暨 WISE 实验室 辽宁 大连 116024；
3. 电子科技大学基础与前沿研究院 成都 610000)

【摘要】新型冠状病毒 ((2019-nCoV，或 NCP)) 肺炎疫情在武汉爆发后，迅速在极短时间内蔓延到全国以及海外地区，疫情爆发中心武汉的人口外流情况对疫情在其他地区的传播产生了很大影响。该文基于腾讯和百度等地理位置服务所收集到的大规模人口流动数据，对春节前从武汉离开人口的地理分布进行了统计分析。研究发现，首先，虽然武汉市关闭出城通道前的 500 万流出人口和往年春运期间的正常人口流动无较大差别，但确实有少量人口在“封城”前的最后一段时间内涌出武汉。其次，统计了 2020 年开始从武汉流出人口的目的地城市信息，发现和往年的目的地分布基本上是一致的。最后，分析了离汉人口对于疾病传播的影响，在衡量影响时必须要考虑潜伏期的作用。该文研究有助于相关人员掌握疫情扩散速度、评估疫情风险，对预测以及阻止新冠肺炎传播提供参考。

关 键 词 新冠肺炎； 人口流动； 2019-nCoV； 地理大数据
中图分类号 TP391 **文献标志码** A doi:10.12178/1001-0548.2020033

The Geographical Destination Distribution and Effect of Outflow Population of Wuhan When the Outbreak of the 2019-nCoV Pneumonia

XU Xiao-ke[1], WEN Cheng[1], ZHANG Guang-yao[2], SUN Hao-chen[1], LIU Bo[3], and WANG Xian-wen[2*]

(1. College of Information and Communication Engineering, Dalian Minzu University Dalian Liaoning 116600; 2. WISE Lab, Institute of Science of Science and S&T Management, Dalian University of Technology Dalian Liaoning 116024; 3. Institute of Fundamental and Frontier Sciences, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610000)

Abstract A novel coronavirus pneumonia outbreak began in Wuhan, and it spread to the whole country and some overseas regions in a very short time. The population outflow of the outbreak center in Wuhan has a greatly impact on the epidemic spread in other regions. In this paper, we provide a statistical analysis of population movements leaving Wuhan based on mass population movement information which collected by geographic services of Tencent and Baidu. Firstly, we find that the five million people leaving Wuhan before the official announcement that they will close the exits are not much different from the normal population movement during the previous Spring Festival travel rush. However, small portion of the population poured out of Wuhan in the last period before the exits closed. Secondly, according to statistics of the destination cities of the outflow population from Wuhan starting from 2020, we find that the destination distribution of folks in 2020 was basically same as that in previous years. Finally, the influence of the population leaving Wuhan on epidemic spread was analyzed. We find that the role of incubation period must be considered when measuring this influence. This study is helpful for relevant personnel to grasp the speed of epidemic spread, assess the risk of epidemic, and provide reference to predict and stop disease spreading.

Key words novel coronavirus pneumonia; population mobility; 2019-nCoV; geographical big data

冠状病毒是包膜核糖核酸病毒，其广泛分布于 人类、其他哺乳动物和鸟类中，可引起呼吸、肠

收稿日期：2020－02－03；修回日期：2020－02－06
基金项目：国家自然科学基金（61773091，71673038）；辽宁省高等学校创新人才支持计划（LR2016070）；辽宁省“兴辽英才”计划项目（XLYC1807106）；辽宁省重点研发计划指导计划项目（2018104016）
作者简介：许小可（1979－），男，教授，主要从事社交网络大数据、计算传播学等方面的研究
通信作者：王贤文，男，教授，教育部青年长江学者，E-mail：xianwenwang@dlut.edu.cn

道、肝脏和神经系统疾病[1]。2019年12月下旬，新型冠状病毒(2019-nCoV)肺炎疫情在武汉爆发后，迅速在极短时间内蔓延到全国以及海外地区[2]。截至北京时间2020年2月3日18时，中国共报告了感染新型冠状(新冠)病毒(2019-nCoV)确诊病例17 335例，其中死亡病例已经超过2003年Sars病毒事件[3-5]。武汉作为九省通衢在中国交通体系中有着重要的枢纽地位，此次疫情爆发刚好在春运期间，这些因素给病毒的传播提供了有利条件[6]。为了阻止病毒随人口流动迅速传播，武汉于2020年1月23日10时全面关闭离汉通道。2020年1月26日晚，在新型冠状病毒感染的肺炎疫情防控工作的新闻发布会上，武汉市长周先旺表示在23日武汉“封城”前有500万人离开武汉，还有900万人留在城中。此消息一经发布，微博上迅速产生了关于“逃离武汉”的热议。那么这500万人都流向何处？他们真的是“逃离”武汉吗？离汉的人口中存在一定数量的病毒携带者，因此分析这部分人员的数量和目的地，对新冠疫情的传播和防治具有至关重要的意义。

当下已有相关媒体和学者使用人口迁徙数据对离汉人口的流动做了初步的分析，如第一财经使用百度慧眼数据对人口流向和比例进行了描述[7]，文献[8]采用2013−2015年百度迁徙数据分析了国内人口流向，并使用来自国际航空运输协会(IATA)的2018年国际航空旅行数据分析了国际/港澳台流向，对从武汉出发的人口流向和模式进行了初步汇报。虽然这些分析在向社会传达信息和政府疾病防控上都有着一定社会意义，但研究仍然停留于定性和简单量化分析，导致公众面对疫情极度恐慌。考虑到一些人对武汉流出人口抱以怀疑和敌对情绪的当下，从更为科学合理的角度对武汉外流人口的地理分布进行准确地量化分析，对于公众舆论的正确引导和对疾病进行更好的防控有着非常重要的意义。

本文使用腾讯和百度公司基于地理信息服务系统收集的大规模人口流动数据，对比往年武汉的春运状况，对武汉外流人口的目的地分布及对疾病传播的影响进行分析。主要关注和研究以下两个问题：1) 节前500万人口离开武汉，是否是这个时间离开武汉的正常人流量，这些人口是属于遇到疫情“逃离”武汉，还是正常的春节前返乡？2) 武汉流向各城市的人口地理分布是什么情况？离汉人流对全国疫情产生了什么影响？回答这些问题以期为预测和阻止疫病传播提供参考。

1 武汉外流人口的性质和地理分布

1.1 数据来源简介

每年春运期间，全国各大城市都有大量的人口进出，因为涉及到飞机、火车、汽车等多种交通方式，基于常规方法难以统计出行人数和目的地信息。随着提供位置服务的各种产品的出现，基于个体记录的“大数据”为地理学研究提供了丰富的群体行为数据。不同于统计年鉴数据，基于地理位置服务的数据具有时效性与连续性，可以包括非户籍迁移数据与旅游流动数据等。这种新数据使一些难以量化的问题得到有效分析和更好研究，而且可以揭示传统研究中难以发现的因素[9]。在基于地理位置服务获取人口流动大数据的背景下，可以准确地对大规模人口迁徙的目的地、具体流量和对疫情的影响进行深度剖析。

我国的主要大型互联网公司，如腾讯、百度等都提供基于地理位置的服务，这些服务可以让用户自报告其所在的地理位置。互联网公司可以利用这些数据开发相关的地理位置产品和服务，如腾讯位置服务(https://heat.qq.com/index.php)和百度迁徙数据服务(http://qianxi.baidu.com/)。腾讯位置服务应用于微信、QQ、京东、滴滴等多项产品，基本覆盖全部智能手机用户[10]，包含汽车、火车(包括高铁)、飞机三种交通方式，提供与360个城市相连的最紧密城市的迁徙数据，涉及我国34个省级行政区域的371个主要城市(以地级市为主)。百度迁徙数据通过对比用户位置的变化，将8小时内所有位置发生变化的智能终端用户数量进行计算分析，也可以全覆盖铁路、公路、航空等各类交通工具[11]。

腾讯位置服务目前终止了迁移数据的提供，因此我们只获取了2016年—2019年的历史数据。目前公开可获得的百度迁移数据是从2020年1月开始提供服务，没有2020年以前的具体历史数据，但是提供2019年与2020年同时期对应的城市人流指数数据。基于以上对腾讯和百度数据的分析，必须综合利用两个数据来源，才能有效分析出2020年武汉流出人口和正常年度的异同。同时，每年春节的阳历时间都不一样，春节和元旦之间的时间差异对春节前的人流动态和数量有一定影响。考虑到2017年春节为1月27日，2020年春节是1月25日，这两年的春节日期是近年来最为接近的，本文选取了腾讯2017年和百度2019、2020年提供的迁徙数据作为数据来源，探讨2017年和2020年的春节

期间的离汉人口数量、目的地分布等多方面的差异。

1.2　离汉人口的数量和动态特征分析

2017 年春运时间为 2017 年 1 月 13 日−2 月 21 日，本文将这个时间段分春节前和春节后进行统计分析。

基于获取的数据，在 1 月 11 日 (腊月十四) 至 1 月 26 日 (腊月二十九) 之间，武汉流入的人口远远低于流出人口，人口的净流出 (这些天流出的总人口-流入的总人口) 的数字合计为 373 万左右，此时人口流出最多的 3 天是腊月 27−29。考虑到 2017 年到 2020 年，人口数量和交通流量均有增长，且并不是所有的流出人口都会使用腾讯的相关产品，因此本文认为根据 2017 年的 373 万部分流出人流量来预测 2020 年的外流人员数量，与武汉市市长在新闻发布会上提出的武汉市有 500 万左右的流出人口数量大致相符。

正常年份下春节前武汉的人口流出较多，人口流入较少；而春节后的情况刚好相反，人口流入较多，流出较少。在 2017 年 1 月 27 日 (腊月三十) 至 2 月 21 日 (正月二十五) 之间，从图 1 可以看到武汉的流出人口数量比较平稳，数量也相对较少。在整个春运期间，春节后流出人口会出现 3 次高峰，分别是正月初六、正月十六这两个外地务工人员回城的高峰，此外还有一个春运马上要结束以前出现的大中专院校学生返校高峰。

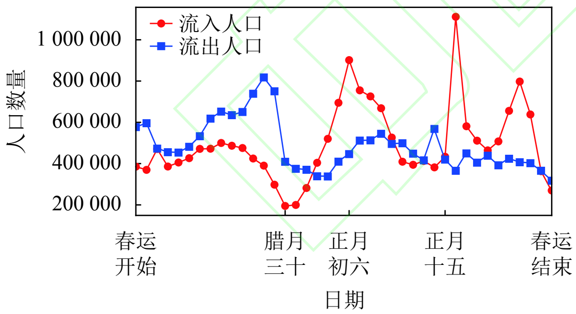
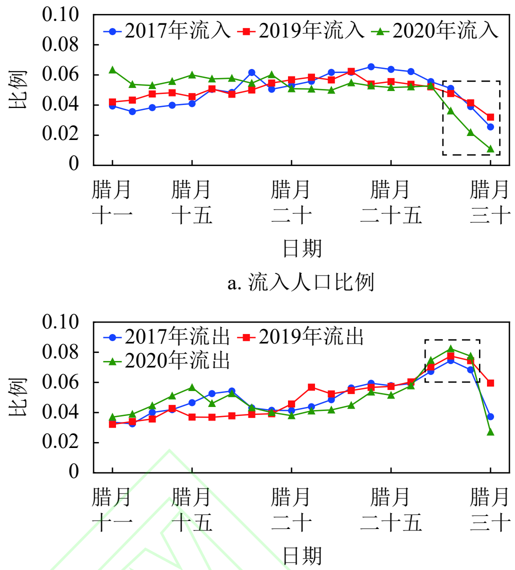


图 1　2017 年春节前后武汉的人口流入和流出数据

在分析完正常年份 2017 年武汉的人流数量和动态特征以后，本文将 2017、2019 和 2020 三年从腊月 11 到春节前武汉的进出人口动态特征进行了比较，如图 2 所示。首先看总体趋势，2020 年的流入和流出人口，从大的趋势上看和 2017、2019 年的情况基本上是相同的。具体上看，从腊月二十开始一直到二十六，2020 年武汉的流入和流出人口相对于往年都略有减少，很显然这段时间肯定不存在网上炒作的武汉人口“逃离”现象。



a. 流入人口比例

b. 流出人口比例

图 2　2017、2019 和 2020 年武汉春运人口流量的动态分析

本文也发现，腊月 28−30 期间流入人流量更是出现明显下滑；而腊月 27−29 三天间流出人口明显增多，尤其是腊月二十九凌晨武汉市宣布关闭离汉通道到 10 点正式关闭的这 10 个小时，涌现出的人流是异于常年的，相比往年有一定的增幅。那么这两个时间段上的输入人口减少和输出人口增加和往年相比是否具有显著性差异呢？考虑到样本量比较少，本文采用配对样本 t 检验来分析 2020 年武汉流入和流出人流的显著性，具体数值见表 1 所示。从腊月 28−30 期间的流入人口的数量来看，2020 年和正常年份具有显著性差别，和 2017 年相比少流入 23.33 万人，比 2019 年少流入 26.12 万人。从腊月 27−29 期间的流出人口的数量来看，2020 年和 2017 年比较具有显著性差别，多流出人口 12.14 万人；与 2019 年相比不具有显著性差异，多流出人口 6.10 万人。

表 1　2020 年和正常年份 2017、2019 年份进出武汉人口的差异

年份	流入(腊月28−30)		流出(腊月27−29)	
	配对t检验P值	少流入数量/万	配对t检验P值	多流出数量/万
2017	0.032	23.33	0.030	12.14
2019	0.024	26.12	**0.916**	6.10

上述结果说明在关闭离汉通道那几天，武汉出现了人口大量离开的现象，但是人口数量相对于往年和整个 500 万的人口数量并不大。此外，也无法确定导致这一现象的原因是疾病爆发还是武汉要关闭出城通道这一消息。如果是正常的返乡人流，他

们从官方和其他渠道得知要关闭离汉通道的消息后，很明显是要选择尽快出城回家过年。他们当中应该有在武汉求学的大学生回家、有辛苦工作一年的外地务工人员返乡，这些人的流出目的地每年几乎都是相同的。而如果是受疫情影响的外出人流，他们的流出目的地就会和返乡人流有一定区别。基于上述考虑，本文在下一节中比较 2020 年和正常年份武汉春节外流人口的地理分布。

1.3　正常和疫情年份武汉春节前外流人口的地理分布比较

基于 2017 年和 2020 年春节前离汉人口的主要流向城市排序和比例如表 2 所示。在表中，排名前四的城市排序都是相同的，排名在前 20 的城市中前 18 名也都是重合的。在 2020 年人口流出前 20 个城市中，仅有排在最后的两个城市北京和上海没有出现在 2017 年的名单中；而在 2017 年人口流出前 20 个城市中，仅有排在最后的两个城市驻马店和南阳没有出现在 2020 年的名单中。上述结果说明了 2017 和 2020 年武汉流出人口目的地的重合度很高。

表 2　2017 和 2020 年离汉人口的前 20 目的地城市比较

排序	2017年		2020年	
	城市	比例	城市	比例
1	孝感市	0.151	孝感市	0.134
2	黄冈市	0.140	黄冈市	0.128
3	荆州市	0.070	荆州市	0.064
4	咸宁市	0.055	咸宁市	0.051
5	襄阳市	0.047	鄂州市	0.041
6	黄石市	0.043	襄阳市	0.039
7	鄂州市	0.039	黄石市	0.038
8	仙桃市	0.037	荆门市	0.032
9	荆门市	0.037	随州市	0.031
10	随州市	0.036	仙桃市	0.029
11	宜昌市	0.032	宜昌市	0.028
12	天门市	0.026	天门市	0.020
13	十堰市	0.022	恩施州	0.018
14	信阳市	0.021	十堰市	0.018
15	恩施州	0.021	信阳市	0.015
16	重庆市	0.019	重庆市	0.013
17	潜江市	0.015	潜江市	0.011
18	长沙市	0.012	长沙市	0.011
19	**驻马店市**	0.012	**北京市**	0.010
20	**南阳市**	0.011	**上海市**	0.007

为了进一步揭示武汉正常年份和疫情年份人口流出目的地城市的相关性，本文选取了武汉 2020 年流出人口的前 50 目的地城市数据，然后计算这些城市和 2017 年流出人口目的地人口分布之间的相关性，具体如图 3 所示。图中所示两者之间的相关性很强，这说明从武汉流出人口的目的地城市，在 2020 年疫情年份和正常非疫情年份的地理分布基本也是一致的。综合以上分析，从 2020 年疫情发生前期，武汉流入人口数还有流出人口的分布这两个角度，本文认为绝大部分人是像往年一样是正常地回家过年，而非网上所言的“逃离”武汉。

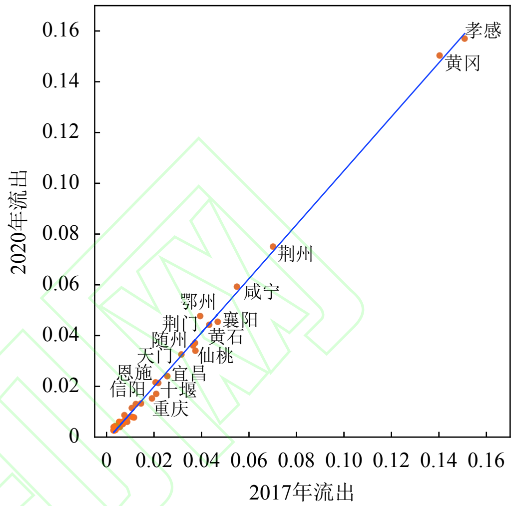


图 3　2017 年和 2020 年武汉春运人口流量目的地分布的相关性

2　武汉外流人口对于疾病传播的影响

新冠肺炎的发源地在武汉 (虽然目前对于病毒发源地华南海鲜市场还存在争议)，其他地方的病例都是从武汉输入或继发传染的，因此可认为从武汉离开的人流对于其他各地的疫情有非常重要的影响。大家直觉认为：一个城市或地区如果从武汉来的人流量越大，这个地区的肺炎病例就有可能越多 (包括原发已感染病例和多代传染病例)。

为了验证这一点，本文计算了武汉流出人口目的地前 50 城市的人流量和截止到 2020 年 1 月 24 日武汉“封城”后这些城市的肺炎病例数关系，如图 4 所示。由该图可以看出，截止到 24 日，重庆和北京是病例最多的城市，但是重庆和北京并非武汉流出人口排名前 2 位的目的地，而且从该图的整体上看，武汉流出的人口比例和病例数之间并不存在较强相关性。

本文分析两者不相关这一结果主要是由新型冠状病毒的潜伏期效应导致的。新冠肺炎患者具有较长的潜伏期，潜伏期中患者仅有较为微弱的症状，如发热、乏力和咳嗽等，甚至感觉不出有何异样。根据 2020 年 1 月 30 日国际医学权威期刊《新英格

兰医学杂志》(NEJM) 中发表的论文“新型冠状病毒感染肺炎在中国武汉的初期传播动力”揭示的新冠肺炎的潜伏期的平均时间为 5.2 天，潜伏期分布情况的第 95 百分位数为 12.5 天[12]。分析到这一点，本文计算截止到 1 月 27 日，考虑潜伏期情况下，前 50 目的地城市的人流量和这些城市的肺炎病例数关系，如图 5 所示。

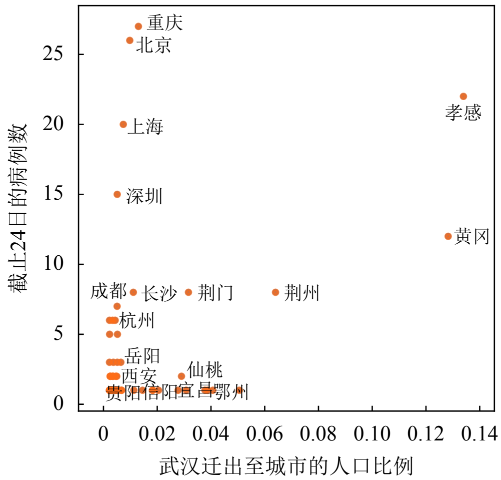


图 4　武汉流出人口目的地前 50 城市和新冠肺炎病例数关系 (截至 2020 年 1 月 24 日，不考虑潜伏期)

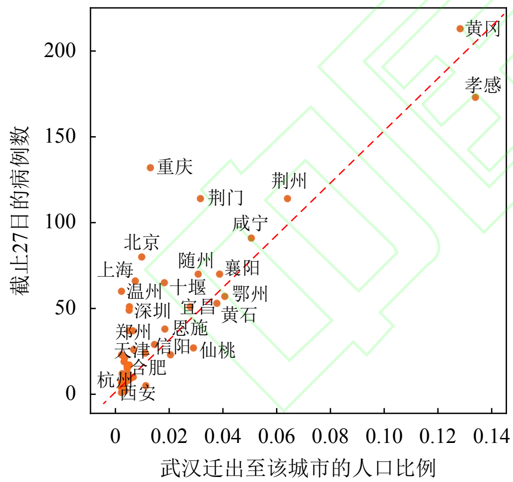


图 5　武汉流出人口目的地前 50 城市和新冠肺炎病例数关系 (截至 2020 年 1 月 27 日，考虑潜伏期)

从图中，可以发现二者存在很明显的线性相关关系。如果考虑到 3～7 天的潜伏期这一重要因素，从武汉离开的人流对全国肺炎疫情的影响确实是非常大的，值得关注。表 3 列出了截止到 1 月 27 日累计病例数排名在前 20 的城市排序，并计算了 24 日～27 日的新增病例数占总病例数的比率，可以发现该值在 67.5%～98.9% 之间，这么高的数值再一次说明疫情分析和防治的过程中不可忽视潜伏期的影响。

表 3　截止到 1 月 27 日累计病例数排名在前 20 的城市

排序	城市名	截止27日的累计病例数	24日到27日的新增病例数	新增病例占比%
1	黄冈市	213	201	94.4%
2	孝感市	171	151	87.3%
3	重庆市	132	105	79.5%
4	荆门市	114	106	93.0%
5	荆州市	114	106	93.0%
6	咸宁市	91	90	98.9%
7	北京市	80	54	67.5%
8	随州市	70	69	98.6%
9	襄阳市	70	69	98.6%
10	上海市	66	46	69.7%
11	十堰市	65	64	98.5%
12	温州市	60	54	90.0%
13	鄂州市	57	56	98.2%
14	黄石州	53	52	98.2%
15	宜昌市	51	50	98.0%
16	广州市	51	46	90.2%
17	深圳市	49	34	69.4%
18	恩施州	38	37	97.4%
19	郑州市	38	34	91.9%
20	成都市	37	30	81.1%

为了分析武汉流出人口对于目的地城市新冠肺炎疫情的长期影响，图 6 绘制了城市接收武汉流出人口的数量和该城市新冠肺炎病例数关系的相关性系数随时间变化曲线。由该图可以发现，随着时间的增长，城市接收的武汉流出人口数和该城的病例数相关性逐渐增加，在 1 月 31 日左右达到 0.92 这一较为稳定值，进一步证实了潜伏期的重要作用。

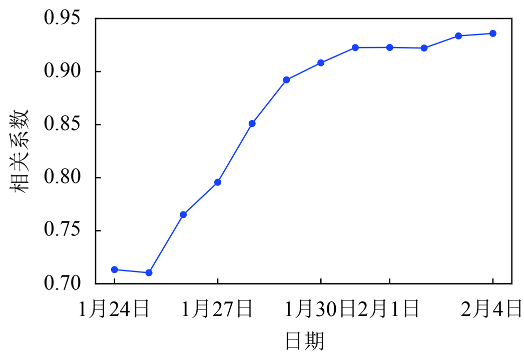


图 6　城市接收武汉流出人口的数量和该城市新冠肺炎病例数关系的相关性系数随时间变化曲线

3　结 束 语

本研究基于腾讯和百度公司的人口迁移数据，分析了春运期间离汉人员的去向，并探讨了人员流动和疫情扩散之间的关系。与其他对数据的简单统计描述相比，本文发现官方公布的节前 500 万人口

离开武汉，大部分都不是社交媒体上热议的“逃离”武汉，绝大部分还是像往年一样正常地返乡过年。

同时也发现：腊月二十以后武汉的流入人口就相对于往年较少，阴历26～28期间更是出现明显下滑；而阴历27～29三天间流出人口明显增多，尤其是腊月二十九凌晨武汉市宣布关闭离汉通道到10点正式关闭的这10个小时，涌出的较大人流是异于往常的。尽管这些现象说明在短时间内武汉出现了部分人口紧急离开的现象，但是这些人口的数量并不大，甚至和2019年没有显著性差异。此外，无法确定导致这一现象的原因是疾病爆发还是武汉要“封城”这一消息。本文比较2020年和正常年份武汉春节外流人口的地理分布，发现两者之间没有特别明显的差别。

从武汉外流人口对疫情传播的影响来看，必须高度重视新冠肺炎潜伏期这一重要因素。由于此次疫病患者在潜伏期中症状轻微但是有很强的传播性，与2003年SARS相比更难以防范，也是此次疫情防控的难点。因此离开武汉的人们进行14天的自我隔离，对于疫情的控制还是非常必要的。而离汉人群需要的是帮助而不是抵制，政府部门应当有相应的保障措施，体现出人性关怀。

基于位置大数据可以对疫情期间的人口流动状况进行可视化呈现和统计分析，能更加有效了解疫区的人口流向，完善疫情地理信息数据库并在此基础上展开分析和建模工作，可有效分析疫情的时空演变和扩散特征，支持疾病应急中心的选址和设计。在此基础上通过引入疾病传播模型，可分析城市传染病传播的防控因素，对以后更好地预测和阻止疾病传播具有重要的参考意义。

本文研究工作的数据分析还得到张童、冉义军的帮助，在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] GAO G F. From “A” IV to “Z” IKV: Attacks from emerging and re-emerging pathogens[J]. Cell, 2018, 172(6): 1157-1159.

[2] 武汉市卫健委. 武汉市卫健委关于当前我市肺炎疫情的情况通报, 2019.[EB/OL].[2019-12-31]. http://wjw.wuhan.gov.cn/front/web/showDetail/2019123108989. opens in new tab.

[3] ZHU N, ZHANG D, WANG W, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019[J]. New England Journal of Medicine, 2020. DOI: 10.1056/NEJMoa2001017. (https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2001017).

[4] HUANG C, WANG Y, LI X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China[J]. The Lancet, 2020. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30183-5. (https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30183-5/fulltext).

[5] CHAN JFW, YUAN S, KOK KH, et al. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: A study of a family cluster[J]. Lancet 2020. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30154-9. (https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(20)30154-9/fulltext).

[6] CASTELLS M. Globalisation, networking, urbanisation: Reflections on the spatial dynamics of the information age[J]. Urban Studies, 2010, 47(13): 2737-2745.

[7] 第一财新: 离开武汉的500多万人都去了哪里？大数据告诉你 [EB/OL].[2020-02-03]. https://m.yicai.com/news/100481655.html?from=groupmessage&isappint=0.

[8] LAI S, ISAAC I B, ALEXANDER W, et al. Preliminary risk analysis of 2019 novel coronavirus spread within and beyond China[EB/OL].[2020-02-03]. https://www.worldpop.org/events/china.

[9] 甄峰, 王波. “大数据”热潮下人文地理学研究的再思考[J]. 地理研究, 2015, 34(5): 803-811.
ZHEN Feng, WANG Bo. Rethinking human geography in the age of big data[J]. Geographical Research, 2015, 34(5): 803-811.

[10] 王贤文, 王虹茵, 李清纯. 基于地理位置大数据的京津冀城市群短期人口流动研究[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2015, 34(5): 803-811.
WANG Xian-wen, WANG Hong-yin, LI Qing-chun. Location based big data analysis of the short-term population flow of Beijing, Tianjin and Hebei urban agglomeration[J]. Journal of Dalian University of Technology (Social Sciences), 2015, 34(5): 803-811.

[11] 蒋小荣, 汪胜兰. 中国地级以上城市人口流动网络研究——基于百度迁徙大数据的分析[J]. 中国人口科学, 2017(2): 35-46.
JIANG Xiao-rong, WANG Sheng-lan. Research on China's urban population mobility network: Based on Baidu migration big data[J]. Chinese Journal of Population Science, 2017(2): 35-46.

[12] LI Qun, GUAN Xuhua, WU Peng, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus — —infected pneumonia[J]. New England Journal of Medicine, 2020. DOI:DOI:10.1056/NEJMoa2001316.(https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2001316).

编 辑 蒋 晓