

深圳市 COVID-19 时空演化特征及影响因素分析

和雅琳

薛宇荣

赵敏

王昭元

摘要

COVID—19 在全球大肆蔓延, 疫情传播是典型时空演化与人地互动的地理过程。因此, 本文运用文本分析、数理统计、空间计量分析等方法, 研究深圳市 COVID-19 的流行病学特征和时空演化过程; 并运用 SAR 模型探索影响广东省各市疫情的关键因素及空间溢出效应, 综合得出疫情防控对策。结果表明: (1) 深圳市确诊人数空间分布呈西高——东低态势; (2) 疫情小区在福田区和南山区南部形成“两核”; (3) 经济越发达、交通越便利的地区疫情风险等级相对越高; (4) 武汉流入人数在相邻区域内存在显著的负向空间溢出效应,

1. 引言

1.1 背景及研究意义

纵观当下, COVID—19 已蔓延到全球 200 个国家和地区, 已成为一起严重的全球性突发公共卫生事件, 早日抑制疫情发展、恢复社会活力是全球人民的共同愿望。深圳市作为国际化城市, 外来人员流动频繁。而疫情在人群与地域的传播扩散是典型时空演化与人地互动的地理过程, 因此, 运用空间计量分析方法, 研究深圳市 COVID-19 时空演化特征及影响因素, 对疫情现实防控有积极作用。

1.2 文献综述

近年来, 学术界对传染病时空传播规律的研究方兴未艾, 研究方向包括传染病时间演化特征、空间集聚和分异特征、影响因素、空间溢出效应等方面。其中, 卢丹丹等 (2018) 以肝吸虫为例, 运用时空扫描、空间面板分析探讨吸虫病的空间分布特征及影响因素, 为疫情防控提供科学依据。金安楠 (2020) 等运用空间分析方法, 解析深圳市 COVID-19 确诊病例的流行病学特征和疫情的时空演化过程, 综合探索疫情防控对策。苏理云 (2020) 运用空间统计方法揭示了中国各省累计确诊人数的静态空间分布和动态演变规律。刘郑倩等 (2020)

通过珠海市 26 个疫情聚集单元的时空特征分析和 4 类典型传播路径的案例剖析, 探讨珠海市 COVID-19 的时空规律和传播路径。

1.3 研究思路

本文通过对深圳市 COVID-19 的时空演变特征及影响因素分析, 对深圳市提出针对性综合防控建议。具体研究思路如下: (1) 初步分析深圳市感染人群的流行病学特征; (2) 解析深圳市疫情时间演化特征; (3) 运用空间自相关方法探索疫情空间关联特征, 采用核密度估计和时空扫描分析方法研究疫情空间聚集特征; (4) 建立空间自回归 (SAR) 模型探索广东省疫情分布的影响因素及深圳市空间溢出效应, 并提出疫情防控建议。

2. 数据来源和方法

2.1 数据来源及处理

深圳市卫生健康局在 1 月 19 日-4 月 13 日公开的 458 例确诊病例数据, 包含患者的个人信息和感染信息等; 地理信息数据来自于 GADM maps and data; 深圳市常住人口、GDP 数据等源自《深圳统计年鉴 2019》; 深圳市疫情小区、每日人群聚集地等 POI 数据是利用 python 从百度地图爬取得来。

由于深圳市每日新增确诊病例个案表统计口径不一致, 在 1 月 19 日-1 月 30 日、2 月 14 日-4 月 13 日为 24h 发布制, 1 月 31 日-2 月 13 日为 12h 制。对其调整, 统一为 24h 制。

2.2 理论方法

1. 全局空间自相关

本文运用全局 Moran'sI 指数来分析深圳市新型冠状病毒感染人群的空间自相关性。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j \neq 1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq 1}^n W_{ij}} \quad (1)$$

上式中, I 为全局 Moran 指数, n 为行政区个数; X_i 、 X_j 为区域 i 、 j 的累计确诊人数。 W_{ij} 为空间权重矩阵, 两地相邻为 1, 不相邻为 0。 S^2 为累计确诊人数观测值的方差, \bar{x} 为累计确诊人数的平均值。

2. 局部空间自相关

Moran' I 指数只能从整体上对空间相关性进行平均度量, 无法反映各区域的空间聚类情况。因此运用 LISA 指数进行局部自相关分析。

$$I = \frac{(X_i - \bar{X})}{S^2} \sum_{j \neq i}^n W_{ij}(X_j - \bar{X}) \quad (2)$$

(2) 式中各元素含义与 (1) 式同。LISA 集聚图能够定量反映出空间上的 4 种聚类特征: 高高聚集、低低聚集、高低聚集、低高聚集。其中高高聚集、低低聚集为空间正相关, 高低聚集、低高聚集为负相关。高高聚集指高风险值的空间统计单元邻近的周围区仍然是高值, 其他定义类似。

2.2.2 核密度估计

核密度估计 (KDE) 方法是计算要素在其周围领域中的密度的方法, 包括点要素核密度分析和线要素核密度分析。核密度估计认为区域内任意位置都有 1 个可测度的事件密度, 可以利用周围单位面积区域内的事件点数量来估计它。它能直观的反映出离散测量值在连续区域内的分布情况, 其结果是中间值大, 周边值小的光滑曲面。其计算公式为:

$$f_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (3)$$

其中 n 等于疫情小区总数; $h > 0$ 为带宽, 即搜索半径; $x - X_i$ 表示点到事件的距离, $k\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$ 为核函数。

2.2.3 时空扫描

时空扫描分析的基本思想是采用移动窗口法, 在地理空间上创建扫描窗口 (圆柱体), 随机选取空间中任一地理位置作为扫描窗口的底面中心, 相应的地理区域 (底面积) 和时间间隔 (高) 不断变化直到达到预先规定的上限。对每一个扫描窗口, 根据窗口内外的理论与实际事件数构造对数似然比 LLR 统计量来描述窗口内事件异常聚集的程度。公式如下:

$$LLR = \log \left[\left(\frac{n}{E(N)} \right)^n \times \left(\frac{N - n}{E(N) - E(n)} \right)^{N-n} \right] \quad (4)$$

其相对风险值 (Relative risk) 即聚集区内的估计风险除以聚集区外的估计风险, 公式为:

$$RR = \frac{n/E(n)}{(N - n)/E(N) - E(n)} \quad (5)$$

其中, $E(N)=N$, N 表示总事件数, n 表示第 i 个窗口的事件数, $E(n)$ 表示第 i 个窗口的期望事件数。

2.2.4 空间计量模型

Anselin 给出了空间回归模型的一般形式：

$$Y = \rho W_1 Y + X\beta + u \quad (6)$$

$$u = \lambda W_2 \varepsilon + \mu \quad \mu \sim N[0, \sigma^2 I]$$

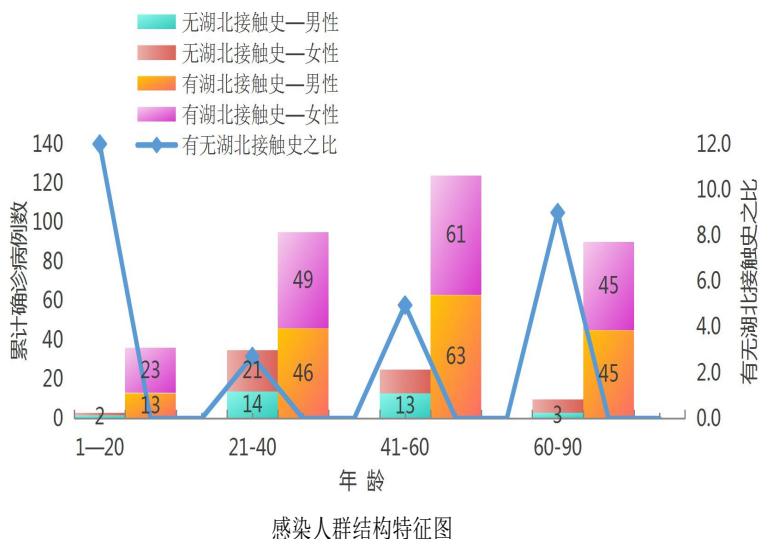
其中， Y 是因变量， X 是解释变量， β 表示解释变量的空间回归系数， u 是随空间变化的误差项， μ 是白噪声， W_1 是反映因变量自身空间趋势的空间权重矩阵， W_2 为反应残差空间趋势的空间权重矩阵， ρ 为空间滞后项的系数，其值为 0 到 1，越接近 1，相邻地区因变量取值越相似， λ 为空间误差系数，其值为 0 到 1，越接近 1，相邻地区解释变量取值越相似，其中 W_1 可以等于 W_2 。

当 $\rho = 0, \lambda = 0$ 时，为普通线性回归模型；当 $\rho \neq 0, \beta = \lambda = 0$ 时，为一阶空间自回归模型；当 $\rho \neq 0, \beta \neq 0, \lambda \neq 0$ 时，模型为空间滞后模型；当 $\rho = 0, \beta \neq 0, \lambda = 0$ 时，为空间误差模型；当 $\rho \neq 0, \beta \neq 0, \lambda \neq 0$ 时，为空间杜宾模型。

3. 流行病学特征分析

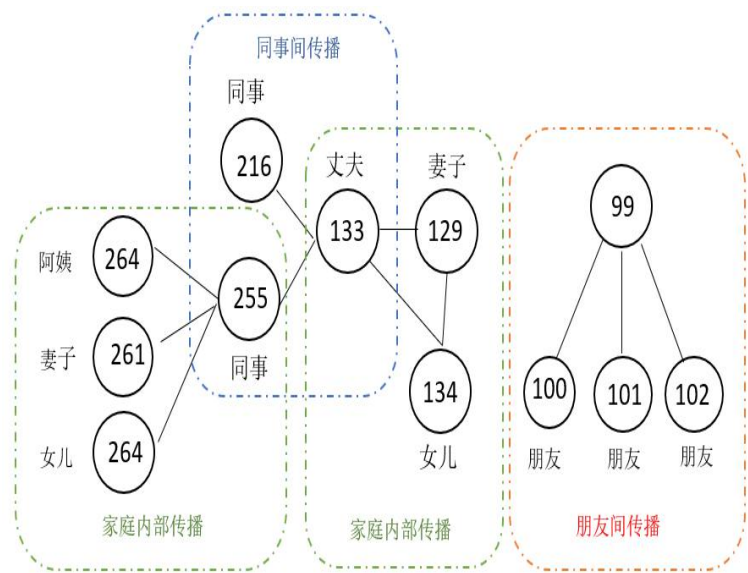
3.1 感染人群结构特征

深圳市感染病例按年龄划分可以分为四组：1-20 岁、21-40 岁、41—60 岁、60-90 岁。由图可知，（1）深圳市感染人数最多的年龄组为 41—60 岁，最少的为 1—20 岁。（2）感染人群中女性占比略多于男性。（3）各年龄组患者中，有湖北接触史的人数明显高于无湖北接触史人数，且二者之比呈倍数关系。后三组有无湖北接触史之比呈递增态势。这表明，21 岁—90 岁人群中，年龄越大的人越可能有湖北接触史。



3.2 染病特征分析

深圳市 458 例确诊病例中，有 208 例存在家庭、朋友或同事等社会网络关系。其中，存在家庭关系的有 199 例，占 43.4%；存在朋友关系的有 6 例，存在同事关系的有 3 例。其余 250 例为散发性病例。因此，深圳市确诊病例以散发性病例为主，聚集性病例以家庭聚集为主。

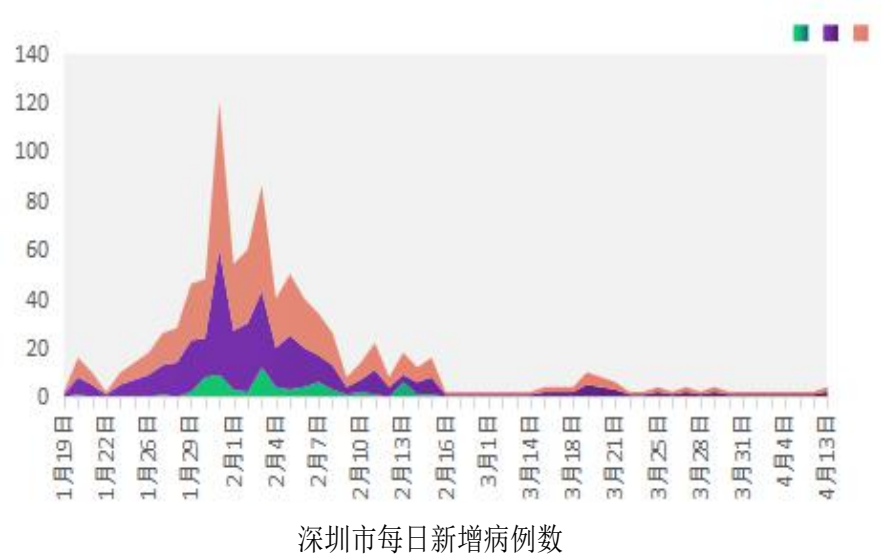


4. 实证分析

4.1 时间演变特征

4.1.1 整体时间特征

深圳市的每日新增确诊人数呈阶段性变化特征。其中，1 月 19 日—1 月 23 日是快速偶发期（第一阶段），疫情处于初始阶段，每日确诊人数最高为 8 例（1 月 20 日）。1 月 24 日—2 月 3 日为快速增长期（第二阶段），整体呈爆发式增长，1 月 31 日确诊病例为 60 例，达到每日确诊人数的峰值。2 月 4 日—2 月 15 日为波动下降期（第三阶段），部分日期呈小幅上涨，整体每日确诊人数呈波动下降趋势。2 月 16 日—4 月 13 日为平稳收缩期（第四阶段），由于居家隔离措施等执行，每日新增病例数不多于 1 例。具体来看，外部输入病例增长和整体增长态势基本一致，每日新增数量多，波动大，在 1 月 31 日达到峰值；内部输入病例日增量少，波动小。初步判断深圳市疫情的峰值是 1 月 31 日。



4.2 空间关联特征

4.2.1 全局空间自相关

本文运用 Geoda 计算深圳市感染人群的 Moran’sI 指数、P 值、Z 值，并检验其显著性。其中，累计确诊人数的 Moran’sI 指数为 0.32，零假设为累计确诊人数在空间上完全随机分布, 根据零假设进行 999 次 MonteCarlo 随机模拟得到 Moran’sI 的 z-score 为 2.132,P 值小于 0.05, 表明深圳市累计确诊人数在空间上显著正相关。

其他影响疫情传播的因素（性别、年龄、发病时间）的全局空间自相关分析如下。（1）性别：女性患者的空间相关性高于男性，因为女性活动范围比男性小、空间更集中。（2）年龄：0-40 岁和 40 岁以上的感染者均服从显著的空间正相关，但由于 40 岁以上病例活动范围小，其相关性更高。

表 4-1 不同类型感染人群的 Moran’s I 统计结果

COVID-19 感染人群	Moran’s I	P 值	Z 值	显著性
累计确诊人数	0.320	0.029	2.132	**
女性	0.2336	0.060	1.7685	*
男性	0.0126	0.285	0.4484	不显著
0-40 岁	0.290	0.041	1.9714	**
大于 40 岁	0.311	0.03	2.095	**

4.2.2 局部空间自相关

本文运用 LISA 聚集图来分析深圳市各区疫情的空间分布模式。整体上看，高风险区域是西南的龙华区和南山区，低风险区域是东部的大鹏区，其它区域传播风险呈随机分布。此外，性别对疫情的空间传播影响小，男性累计确诊人数在空间呈随机分布，女性在龙华区呈现低—高聚集。年龄在 0—40 岁和 40 岁以上的病例的冷点区域相同，均为大鹏区；热点区域不同，0-40 岁为南山区，40 岁以上的为南山区和龙华区。这表明，对于 40 岁以上的中老年人的防控比 0—40 岁的中青年的防控效果差。



4.3 空间集聚特征

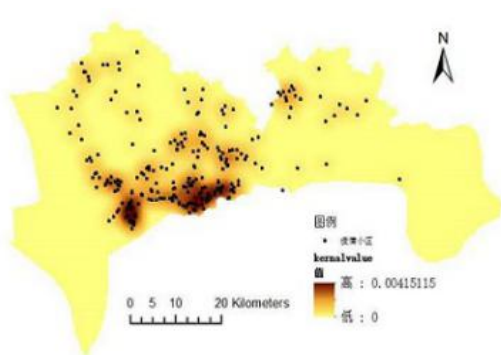
4.3.1 核密度估计

由核密度分布图可知，图中颜色较深处是疫情小区分布较为密集的区域，主要是南山区和福田区，而在颜色较浅处疫情小区分布相对稀疏。形成上述格局的原因主要包括以下三个方面：

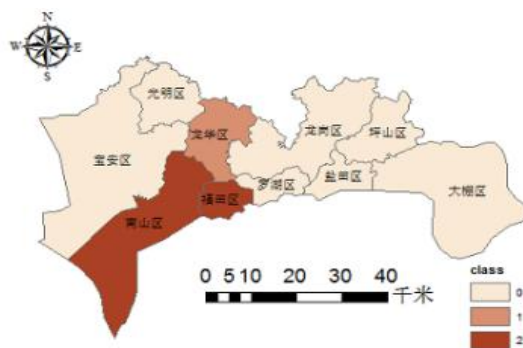
(1) 城市形态因素：深圳市整体呈“东—西”走向的城市形态，西部宽阔，东部狭长，这造成西部区域疫情小的区集中。

(2) 住宅小区分布因素：西南片区邻近海岸线，地势平缓，建有连通香港与澳门的多个口岸，住宅小区集中分布于此。

(3) 片区吸引力因素：福田区为深圳市行政、金融、文化、商贸和国际交往“五大中心”，南山区为深圳市科研、教育、体育中心，相互毗邻的二者是深圳市最具吸引力的片区。



核密度分布图



时空扫描聚集图

4.3.2 时空扫描

表 4-2 时空扫描聚类结果

类型	中心坐标	发病时间	似然比	相对危险度	P-value
1	22.470240 N, 113.886300 E	2020/1/22 to 2020/1/30	33.75	3.70	0.000
2	22.689564 N, 114.041460 E	2020/1/23 to 2020/1/27	8.42	3.04	0.028

时空扫描用于分析定位 COVID-19 在深圳市随着时间空间推移其大小与位置的变化关系，它调节了纯粹时间或空间上危险性的变化。为了探测深圳市该疾病在不同时间、空间尺度上爆发的特性，设置总人口的 30% 为危险人群，以颜色的深浅表示发病率的高低，颜色越深表示发病率越高。由表 4-2 可知，深圳地区有 2 个聚类，第一个聚类发生在 2020/1/22-2020/1/30，中心坐标为（22.470240N,113.886300E），其 LLR 值最大（LLR=33.74）表明 1 月 22 日-1 月 30 日为发病高峰期，相对危险度 RR=3.70 为主要重灾区，其 P 值非常小，具有统计学意义，这说明这种现象不太可能由随机变异引起。第二个聚类发生在 2020/1/23-2020/1/27，对数似然比 LRR=8.42，相对危险度 RR=3.04，属于发病较重区。如图所示的时空扫描聚集图直观的反映出深圳市疫情风险主要聚集区域：颜色最深的南山区、福田区为第一类，其次为较严重的龙华区。

4.4 疫情分布的影响因素分析

自 3 月 1 日起，深圳市新增病例均来自境外输入。截止 2 月 29 日，该市本地累计确诊人数达到 417 人，成为此次疫情中广东省确诊人数最多的城市。为探寻深圳市是广东疫情重灾区的原因，这一小节选取广东省 21 个地级市，引入空间效应和人口经济特征建立空间计量模型，深入分析影响疫情分布的关键因素，并对深圳地区的空间溢出效应进行重点分析。

4.4.1 变量选择与数据来源

将广东省 21 个地级市的累计确诊人数 (Y_i) 作为模型因变量，选取生产总值 (X_1)、年末常住人口 (X_2)、1 月份由武汉市流入各城市的平均人数 (X_3) 作为自变量。其中，

(1) 因变量 (Y_i) 为 2 月 29 日广东省 21 个地级市的累计确诊人数，这一时点各市疫情已接近尾声。(2) 相邻地区确诊人数 (Y_j) 是模型的空间滞后项。(3) 生产总值 (X_1) 是 2019 年各市的生产总值，它是经济繁荣程度的代理变量，可研究疫情空间分布与经济发展的相互关系。(4) 年末常住人口 (X_2) 反映人口聚集情况。(5) 1 月份由武汉市流入广东省各市的每日平均人口 (X_3) 是潜在传播风险的代理变量。该数据来自于北京师范大学相关研究团队，其中武汉来深人数最多，达到 3000 以上。

表 4-3 变量描述性统计结果

变量名称	定义	单位	平均数	标准差	最小值	最大值
X_1	年末生产总值	亿元	5135.117	7187.182	921.96	26927.09
X_2	年末常住人口	万人	1237.714	1511.795	163	6522
X_3	由武汉市流入的平均人口数	人	407.7143	827.5362	23	3403

4.4.2 模型检验与估计

在普通线性回归模型中加入空间效应前,需对各市累计确诊人数进行空间自相关检验。结果显示,各市累计确诊人数的 Moran'sI 值为 0.266, P-Value 为 0.39,空间依赖性显著。

通过 LM 检验进一步选择合适的模型形式,结果显示,空间滞后效应的 LM 检验及其稳健检验均显著,而空间残差效应的各项检验均不显著,因此选择空间自回归模型进行分析。模型具体设定如下:

$$Y_i = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} Y_j + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_0 + \varepsilon_i \quad (7)$$

其中, W_{ij} 为的空间邻接权重矩阵, ρ 为空间自回归系数,指本地确诊人数与相邻地区确诊人数空间相互作用的方向和程度, β_0 是模型系数; β_1 、 β_2 、 β_3 分别为各变量对应的影响系数。使用 GS2sls 对各参数进行估计,回归系数如下表所示:

表 4-4 回归系数估计表

变量	系数	标准差	Z 统计量	P-Value
ρ	-0.2072701	0.1068816	-1.94	0.052
$\ln X_1$	47.31085	15.13332	3.13	0.002
$\ln X_2$	-34.83821	19.70868	-1.77	0.077
X_3	0.1005222	0.0126628	7.94	0.000
β_0	-128.2806	93.9166	-1.37	0.172

空间自回归系数为-0.207,表示累计确诊人数存在显著的负向空间效应;关于疫情的分布特征,经济发展因素 ($\ln X_1$) 与确诊人数 (Y_i) 存在正向关系, β_1 表示该地区 GDP 每增加 1% 时,本地确诊人数平均增加 0.47 个单位。武汉流入人数 (X_3) 也同确诊人数 (Y_i) 存在显著的正向关系。

4.4.3 空间溢出效应

根据偏微分法将总效应分解成直接效应和因空间依赖而产生的间接效应，分解结果见下表。直接效应即本地效应，表示本区域社会经济情况变化对本地确诊人数的影响；间接效应也就是空间溢出效应，表示本区域社会经济因素对相邻地区确诊人数的影响。

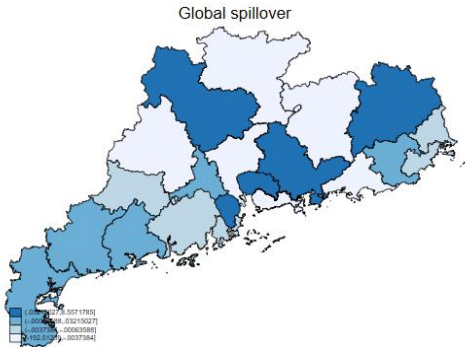
表 4-5 空间自回归模型直接效应和溢出效应分解表

直接效应				间接效应			总效应		
变量	系数	t 值	P 值	系数	t 值	P 值	系数	t 值	P 值
LnX_1	47.689	3.090	0.002	-7.348	-1.510	0.132	40.341	3.380	0.001
LnX_2	-35.117	-1.760	0.078	5.411	1.240	0.215	-29.706	-1.810	0.071
X_3	0.101	8.030	0.000	-0.016	-2.220	0.026	0.086	6.280	0.000

由上表可知，对数 GDP 存在正向的直接效应，表示本地经济越发达，成为疫情重灾区的风险越大；其间接效应值小于零，说明某一地区 GDP 增加，在一定程度上也会抑制周边地区的疫情风险。这可能是由于某地经济在短时间内极度繁荣，吸引了周边地区的人力及资本，对邻近地区经济发展造成阻碍，进而影响其疫情风险。例如深圳和广州市的疫情风险相对周边地区明显偏高，可采用这一机制进行解释。

X_3 的直接效应系数为 0.101，表示武汉流入人数同本地确诊人数呈同向变动；间接效应下的 X_3 系数为-0.015，表示从武汉流入本地的人数与相邻地区确诊人数呈负向变动关系，这说明从疫情爆发地流入本地的平均人数增加，周边地区流入的风险人口相对减少，确诊人数也随之降低。

对比三个社会经济特征的溢出效应，武汉流入人数这一变量最为显著。就深圳市而言，武汉流入人数较多是导致它与其他城市确诊人数差异的最主要原因。以深圳市作为溢出中心，考虑当武汉来深人数由实际的 3000 多下降到 2000 时相邻地区确诊人数的变化情况，其全局溢出效应如下图所示。



武汉来深人数变动全局空间溢出效应图

由于武汉流入人数 (X_3) 的溢出效应为负, 图中深蓝色区域表示武汉来深人数减少带来周边确诊人数的增加。当武汉来深人数减少时, 相邻地区确诊人数反而会增加, 这可能是由于武汉来深减少的人数分散到周边区域造成的。武汉流入人数 (X_3) 的直接效应为正, 整体来看, 武汉流入人口增加会使广东地区确诊人数上升, 因此在疫情期间严禁人口聚集及流动是控制疫情空间蔓延的有力措施。

4.4.4 政策分析

GDP、常住人口数属于各个地区的自身社会经济特征, 短期内无法调整, 而人口流动可以通过实时政策进行调控。假定政府采取封城等管控措施, 使得每个城市的武汉流入人数都下降一个单位时, 预测广东省平均确诊人数的变动情况。

表 4-6 政策变化分析表

政策变化	标准差	Z 统计量	P-Value	置信区间
实行前	64.66986	4.723807	0.000	55.41137
实行后	64.58415	4.724381	0.000	55.32453

对比预测前后的结果, 广东省平均确诊人数从 66.25 下降至 66.13 人。这说明控制从疫情中心流入的人数相当于减少潜在的感染源, 因此武汉的封城政策是防止疫情进一步恶化的关键措施。疫情期间政府应当严格控制人口流动, 减少聚集性活动。

5 结论与不足

5.1 结论

本文运用空间分析方法得到以下两方面结论。

1. 深圳市 COVID-19 时空演化过程分为以下四个阶段: (1) 1 月 19 日至 23 日为偶发期, 首发地点位于南山区, 多为初代感染者, 确诊病例分布随机。(2) 1 月 24 日后-2 月 3 日为增长期, 整体呈爆发式增长, 1 月 31 日为日增病例的峰值; 确诊人数在空间内呈正相关; 疫情小区在空间呈现东北—西南走向, 在福田区和南山区南部形成“两核”。(3) 2 月 4 日-2 月 15 日为下降期, 每日确诊人数减少, 每日出院人数增加。(4) 2 月 16 日-4 月 13 日为收缩期, 新增确诊人数逐渐趋于 0, 疫情得以控制。

2. 通过 SAR 模型, 得到广东省疫情分布与各地级市的武汉流入人数存在显著的空间溢出效应; 经济越发达、人口越密集的地区风险等级越高。对武汉流入人数进行政策分析, 发现武汉封城政策有效阻断感染源, 降低感染风险。

5.2 建议

一是在疫情早期有效切断感染源头。对于疫情中心，政府等决策部门应果断采取封城、管控等措施；对于疫情输入型城市，在各个交通枢纽处设置监测平台，防止疫情向内输入。二是在疫情期间严格控制城市内部人口流动，减少聚集性活动。三是根据各区域经济发展、人口流动等特征，及早对疫情风险进行评估，对风险等级高（经济越发达、交通越便利、人口越密集）的地区进行重点防控。四是及时通过新闻平台公布疫情发展现况，对有焦急情绪的民众提供帮助，进行心理疏导。

5.3 不足

本文研究也存在一定不足，首先，由于缺少深圳市乡镇、街道的确诊病例数据，本文仅对疫情的空间集聚特征进行分析，未研究其空间异质性。其次，由于缺少武汉流入深圳各区的人口数据，本文在挖掘影响疫情分布的关键因素时，只能将深圳市作为一个整体与广东其它市的疫情分布进行横向比较。

6 致谢

岁月不居，时节如流，本学期即将结束，感慨颇多。首先，感谢学校开设了这门课程，让我们能学习前沿知识。其次，感谢闫军老师对这门课的倾情讲授，您不仅让我们学会了用 Github, Rmarkdown 等工具；更培养了我们自主学习、独立思考、团队协作能力，这让我们受益匪浅。此外，感谢我们组的每一位成员，我们一起克服诸多困难，积极参与项目，乐在其中；也感谢在这个过程中帮助过我们的其它老师、同学。最后，祝闫老师万事胜意，同学们学有所成。Last but not least, please remember us, we are Guardians of the Galaxy.

贡献声明

四位成员分工如下：(1) 和雅琳（组长）负责第一部分引言、第三部分流行病学分析第一小节、第四部分时间演化特征、致谢以及最终统稿。(2) 薛宇荣：负责第二部分中空间自相关理论，第三部分中第二小节与第四部分中空间关联特征分析。(3) 赵敏：负责第二部分核密度估计、时空扫描理论以及第四部分空间集聚特征分析、报告整理。(4) 王昭元：负责第二部分中空间计量理论和第四部分疫情分布影响因素的实证分析、报告整理。

参考文献

1. 卢丹丹, 程维虎, 梅树江, 等. 时空统计在食源性疾病中的应用 [J]. 数理统计与管理:2018,37(01):29-39.
2. 金安楠, 李钢, 王皎贝, 徐婷婷, 于悦, 胡志恒, 杨佳辰. 深圳市新型冠状病毒肺炎 (COVID-19) 疫情时空演化与防控对策 [J]. 陕西师范大学学报 (自然科学版),2020,48(03):18-32.
3. 苏理云, 郭雯. 中国各省新型冠状病毒肺炎累计确诊人数的空间聚集及时空格局演变分析 [J/OL]. 重庆理工大学学报 (自然科学):1-11[2020-04-01].
4. 刘郑倩, 叶玉瑶, 张虹鸥, 郭洪旭, 杨骥, 王长建. 珠海市新型冠状病毒肺炎聚集发生的时空特征及传播路径 [J/OL]. 热带地理:1-13[2020-04-01].