

文章编号: 1001-8166(2005)03-0282-10

中国 SARS 疫情的探索性空间数据分析*

范新生, 应龙根

(华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

摘要:运用空间统计学手段对中国省级 SARS 疫情的空间分布格局做了探索性的空间数据分析 (exploratory spatial data analysis)。Moran-I 统计分析表明 SARS 疫情的分布具有很强的空间自相关, Moran Scatterplot 进一步揭示了这一空间关系的地域差异及其各区位 SARS 疫情分布对总体趋势的偏移, G_i^* 统计则确定了疫情分布的空间集聚模式及其随时空转移轨迹。分析表明中国省级 SARS 疫情的发展并非一个相互独立的过程, 而是存在着统计学意义上可测度的空间关系, 且这种关系在空间相邻时最为显著。

关键词: SARS; 流行病学; 空间统计学; 探索性空间数据分析; 中国

中图分类号: P7; C82 **文献标识码:** A

0 引言

SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome) 是由一种新的冠状病毒引起的传染病^[1-3], 最早发现于广东, 随后传播到香港以及其他地区, 直到 2003 年 7 月 5 日世界卫生组织将最后一个 SARS 疫区台湾排除, 历时半年多的 SARS 疫情终于划上了句号。但最近中国卫生部和世界卫生组织对广东一例 SARS 疑似病例的确诊使公众关心 SARS 是否和流感 (influenza) 一样是一种季节性疾病? 病毒会不会从医院和实验室里泄露出来? SARS 的出现已经提出了很多在临床医学和流行病学方面的问题^[4]。

目前国内已有一部分科研机构用统计分析模型研究 SARS 流行期各项可能的影响因子, 预测疫情的走势和估计潜在的风险。如王铮等^[5,6]对中国 SARS 疫情流行期的气候特征和天气特征做了事件相关分析和统计分析, 提出 SARS 流行的气候风险作为认识 SARS 流行的季节性风险的基础, 估计了全国流行 SARS 的季节性风险, 认为 SARS 疫情高发可能与大约 8 日前的气温日较差阶段性降低有关

系。叶沿林等^[7]在考虑每个 SARS 病人每日平均传染概率和直接传染平均期限的基础上建立了一个统计分析模型, 认为每个病人可以造成直接感染他人的期限平均在 20 天左右。但是这些研究忽视了 SARS 疫情地理分布的空间关系。王劲峰等^[8]认为空间数据不同于时间序列数据, 并对空间数据的性质以及空间统计分析方法做了介绍^[9]; 而陈斐等^[10]、吕安民等^[11]已将空间统计分析应用于区域经济和人口增长的研究中。本研究应用空间统计学手段来研究中国 SARS 疫情的空间分布。

1 数据的获取

本研究采用了中国内地和香港、台湾、澳门的数据进行分析。其中中国内地截止到 2003 年 3 月 31 日的数据从 2003 年 4 月 7 日卫生部的疫情通报获得, 3 月 31 号后的内地数据由中华人民共和国卫生部授权发布 SARS 疫情信息的中国网 (<http://www.sars.china.com.cn>) 上获取。香港、澳门、台湾的数据源于世界卫生组织网站 (<http://www.who.int/csr/sars/en/>) 公布的疫情通报, 包括 3 月 17 日以后

* 收稿日期: 2004-02-25; 修回日期: 2004-07-12

* 基金项目: 国家自然科学基金项目“中国地区经济增长空间分析”(编号: 40271033); 教育部科学技术研究重点项目“GIS 空间数据现代分析”(编号: 03074) 资助。

作者简介: 范新生 (1980-), 男, 安徽省太湖县人, 硕士研究生, 主要从事地理信息科学研究。E-mail: fanxs80@163.com

的每日新增病例和累计病例以及死亡人数。

根据世界卫生组织网站(同上)提供的资料,中国的 SARS 疫情源于广东(2002 年 11 月 16 日),并于 2003 年 2 月进入了暴发期。同时周边地区,如广西、四川、湖南甚至山西都发现了从广东输入的 SARS 病例。香港在 2003 年 2 月 22 日首次发现 SARS 病例,不久大批医护人员感染病倒;在 3 月下旬 SARS 进入了社区,受感染人数每日以数十人的速度增加。

早在 3 月 1 日,北京的首例 SARS 患者是 26 岁的山西籍女子于某,此前在广东经商,其数位家人也先后受到传染,来到北京求治。这是北京 SARS 流行的源头之一。作为首都的北京疫情出现,其危害也甚烈。以北京为中转站,全国各地纷纷出现可疑病例。

到 4 月下旬,短短几个月时间内已经在中国内地 26 个省份、港澳台地区报告有非典型肺炎临床诊断病例或疑似病例。至 5 月中旬,中国内地及港澳地区的疫情已经得到了控制,但台湾地区的疫情却出现了骤然上升的势头,5 月 21~25 日,每日新增报告 SARS 病例达到 50 宗以上。进入 6 月份,中国 SARS 疫情总体上得到了有效地控制,直到 7 月 14 日,世界卫生组织 SARS 疫区名单上最后一个地区——台湾被排除,至此中国 SARS 疫情划上了句号。

综合上面的分析,将整个中国疫情数据分为 4 个阶段:

- (1) 第一阶段为 SARS 发源期,从 2002 年 11 月 16 号广东发现首例 SARS 到 2003 年 3 月 31 日中国卫生部第一次通报疫情。
- (2) 第二阶段为 SARS 暴发中心 (superspread cluster) 转移期 (2003 年 4 月 1 日~25 日)。
- (3) 第三阶段北京成为新的 SARS 暴发中心 (4 月 26 日~5 月 15 日)。
- (4) 第四阶段台湾出现 SARS 高发期 (5 月 16 日~7 月 14 日)。不同阶段 SARS 确诊病例数、累计 SARS 报告病例数,以及累计 SARS 死亡人数见表 1。

2 空间联系和空间权重矩阵

从广义上讲,空间分析是空间现象的定量化研究。这意味着空间分析的重点是在区位、区域、距离和相互影响上。地理学第一定理^[12]指出:在地球表面,每一个事物都和其它事物相联系,而距离越近则它们的联系也越强。为了准确无误地理解“近”与“远”在特定环境中的意义,研究对象的观测值需要

参照它们分别在空间中的区位。这种空间区位及其空间联系一般通过空间权重来表达。

最初由 Moran 和 Geary 开发的空间联系的测量,或更精确地说,空间自相关的测量,是建立在空间单元相邻与否的多元逻辑基础上的^[13]。按照这一定义,邻居的结构由 0-1 来表达。如果 2 个空间单元共有非零长度的边界,那么它们就被认为空间上相邻,从而赋予 1 的空间贴适度,否则赋予 0。这一空间相邻的测量是通过在地图上分析区域边界来实施的。对于不规则的空间单元布局,这种定义和工作方法非常直观。但当空间单元布局呈规则的栅格或是一组不规则分布的点时,空间相邻的测量就比较复杂。

在大多数空间数据分析研究时,权重矩阵的构造一般都同时考虑了距离的关系和简单的空间相邻问题。为使用距离指数,一般用观测点之间的距离来定义一个 0-1 的空间权重对称矩阵。在这里点的选择既非主观亦非基于距离的长短,而是以被观测区的行政中心来代表它的区位,距离则采用两点之间的欧几里德直线,不考虑地表障碍物及其它因素。当区域 i 和区域 j 的行政中心的距离在给定的距离 d 之内时,空间权重矩阵的元素 {w_{ij}} 为 1,否则为 0^[13]。

在本研究中,我们构建了 13 组空间权重矩阵。第一组 (SWM) 只考虑空间相邻因素,内地各省市及港澳地区都按照有无公共边界来决定是否存在邻接关系;对于台湾地区,尽管其与福建、上海、浙江的空间距离很小,但是由于目前两岸尚未实现“三通”,人员来往均需通过港澳入境,所以仅将港澳地区设为它的邻居;其它 12 组空间权重矩阵 (SW09~SW20),均以距离来定义,我们选择观测区的行政中心代表它的区位,距离采用两点之间的经纬度距离,距离在 d_i (d_i = 900, 1 000, ... 2 000 km) 之内为邻居,否则不为邻居。所有空间权重矩阵均通过 Luc Anselin 的 SPACESTAT™ V1.93 实现。

3 空间自相关分析

表示空间活动的全局空间自相关 (global spatial autocorrelation) 性质的指标通常是 Moran-I^[14,15],其公式为:

$$I = [\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \mu) (x_j - \mu)] / [s^2 \sum_i \sum_j w_{ij}] \quad (1)$$

其中 (x_i - μ) (x_j - μ) 代表属性的相似性指标, x_i 是位置 i 的属性值, μ 是样本中所有属性值的均值, s² 是样本的方差, w_{ij} 是空间权重矩阵。



表 1 中国 SARS 疫情原始资料
Table 1 China's reported SARS cases

编号	省份	纬度—X	经度—Y	阶段 1	阶段 2	阶段 3	阶段 4	累计病例	死亡病例
1	新疆	43. 8233460	87. 4962270	0	0	0	0	0	0
2	西藏	29. 7207560	91. 2377300	0	0	0	0	0	0
3	青海	36. 6281470	101. 6563780	0	0	1	0	1	0
4	云南	25. 1158290	102. 1158290	0	0	0	0	0	0
5	甘肃	36. 0525310	103. 6134720	0	2	6	0	8	1
6	四川	30. 7568650	104. 0164030	3	6	8	5	22	2
7	宁夏	38. 5276790	106. 2613050	0	5	1	0	6	1
8	贵州	26. 6699920	106. 6642360	0	0	0	0	0	0
9	广西	22. 7558040	108. 3910840	11	5	4	2	22	3
10	陕西	34. 2681220	109. 0242620	0	2	10	0	12	0
11	内蒙	40. 8877040	111. 7296560	1	69	236	11	317	28
12	海南	20. 1655320	110. 3481780	0	0	0	0	0	0
13	山西	37. 8369400	112. 4779570	4	169	289	13	475	24
14	湖南	28. 1665930	113. 0535730	6	0	0	0	6	1
15	河南	34. 7286140	113. 5716270	0	9	6	0	15	0
16	河北	38. 1247480	114. 4926130	0	18	183	32	233	12
17	湖北	30. 5725000	114. 2791670	0	1	5	1	7	1
18	广东	23. 2162960	113. 2838190	1 153	221	141	5	1 520	58
19	北京	39. 9667190	116. 4497070	12	865	1 703	192	2 772	192
20	天津	39. 2184180	117. 2555690	0	21	161	4	186	14
21	江西	28. 7997710	115. 9316520	0	0	1	0	1	0
22	山东	36. 7432700	117. 0828840	0	1	0	0	1	0
23	安徽	31. 9656580	117. 3131310	0	1	11	0	12	0
24	江苏	32. 0232200	118. 6946090	0	0	8	0	8	0
25	福建	26. 1519370	119. 2126630	0	3	0	0	3	0
26	浙江	30. 2388100	120. 0760870	0	3	1	0	4	1
27	辽宁	41. 8086900	123. 2419740	0	1	2	4	7	2
28	上海	31. 1597960	121. 4575650	0	2	6	1	9	2
29	吉林	44. 0535920	125. 4293150	0	7	25	3	35	6
30	黑龙江	45. 8955630	126. 6956700	0	0	0	0	0	0
31	重庆	29. 4905100	106. 6066750	0	0	3	0	3	0
32	香港	22. 3528720	114. 2048050	530	980	193	52	1 755	298
33	澳门	22. 1226260	113. 6291890	0	0	0	1	1	0
34	台湾	25. 1158290	121. 4575650	10	31	218	594	853	84

Moran-I 测度考察中的变量空间取值的相似性。当 I 的值为正时,表明变量取值表现出空间上的相似性;当 I 的值为负时,则表现出变量空间取值的不相似性。 I 值的统计学意义可通过标准正态化后的 Z 检验来评价。根据中国 SARS 疫情计算的 Moran-I 值见表 2。

由表 2 可知,第一阶段 (P-1)、第三阶段 (P-3) 以及死亡人数 (death) 3 项在选择矩阵 SCM 作为空间权重矩阵时,表现出强烈的空间自相关 ($p < 0.05$)。但是,Moran-I 只是揭示了一个考察中空间场的一般性质,并未给出空间关系的局域分布,而这对于一个非平稳空间过程 (spatial non-stationary process) 而言是极为重要的。1994 年 Anselin^[13] 提出了空间联系的局部指标 LISA,可以揭示局部直至每个空间单元的空间自相关性质,其中一种重要的

手段就是 Moran Scatterplot。

图 1 通过 Moran Scatterplot 提供了中国省级 SARS 疫情 (第一阶段) 空间自相关性质的局域化分析。在图 1 中,各点横坐标值为第一阶段各省标准化后的 SARS 报告病例数,纵坐标值为标准化后 SARS 报告病例数的空间位滞 (spatial lag)。一个地区的空间位滞是其相邻区域的 SARS 报告病例的加权平均值。图 1 中 4 个象限把省级 SARS 疫情的空间自相关性质分为 4 类: (HH) 高值地区和高值邻居 (第一象限); (LH) 低值地区和高值邻居 (第二象限); (LL) 低值地区和低值邻居 (第三象限); (HL) 高值地区和低值邻居 (第四象限)。第一象限和第三象限代表正的空间自相关,而第二象限和第四象限则揭示了负的空间自相关。Moran Scatterplot 还可以用来确定拟合度和找出偏离一般趋势的异常

点。如在图 1 中,我们对标准化后的 SARS 报告病例数及其空间位滞作线性回归,得到的斜率即为

Moran-I 的值,而广东和香港因远离一般趋势的回归线被确定为极端异常值。

表 2 中国 SARS 疫情 Moran-I 计算结果

Table 2 Global measures of spatial autocorrelation Moran's I

空间权重矩阵	阶段 1		阶段 2		阶段 3		阶段 4		累计病例		死亡病例	
	Z 值	p 值	Z 值	p 值	Z 值	p 值	Z 值	p 值	Z 值	p 值	Z 值	p 值
SCM	2.125	0.034	0.356	0.722	2.980	0.003	1.236	0.216	1.635	0.102	2.166	0.030
SW-09	0.825	0.409	-1.024	0.306	-0.451	0.652	-0.394	0.693	-1.069	0.285	-0.731	0.465
SW-10	1.173	0.241	-1.102	0.271	-0.605	0.545	-0.456	0.649	-1.255	0.209	-0.836	0.403
SW-11	1.033	0.302	-1.139	0.255	0.074	0.941	1.065	0.287	-0.715	0.475	-0.550	0.582
SW-12	1.033	0.302	-1.139	0.255	0.074	0.941	1.065	0.287	-0.715	0.475	-0.550	0.582
SW-13	0.684	0.494	-0.901	0.367	0.583	0.560	0.985	0.325	0.136	0.892	-0.419	0.675
SW-14	0.607	0.544	0.680	0.497	0.583	0.560	0.615	0.539	1.099	0.272	0.933	0.351
SW-15	0.829	0.407	0.680	0.497	0.191	0.848	0.529	0.597	1.060	0.289	0.983	0.325
SW-16	0.545	0.586	0.555	0.579	-0.082	0.934	0.127	0.899	0.635	0.525	0.732	0.464
SW-17	0.389	0.697	-0.040	0.968	-1.114	0.265	-0.028	0.977	-0.122	0.903	0.161	0.872
SW-18	0.406	0.685	-0.094	0.925	-1.012	0.311	0.099	0.921	-0.064	0.949	0.155	0.877
SW-19	0.362	0.717	0.058	0.953	-0.553	0.581	0.198	0.843	0.139	0.889	0.248	0.804
SW-20	0.496	0.620	0.199	0.842	-0.387	0.699	0.347	0.728	0.351	0.725	0.438	0.661

图 1 表示在第一阶段中,各省标准化后的 SARS 报告病例数最高为广东,受影响最大地区为香港,表明这两个区域不仅自身的属性值高于平均值,而且和临近区域在 SARS 空间活动上有较高的相似性,即周边地区也存在较高的属性值(处于第一象限)。此外,澳门、海南、福建、台湾、广西、江西和湖南地区处于第二象限,自身的属性值低于平均水平,但它们均为广东的相邻地区,而广东则为高发区。

图 2 表示在第三阶段中,各省标准化后的 SARS 报告病例数最高为北京,天津、河北、香港、山西、台湾地区也表现出高于平均值,且其相邻地区也存在

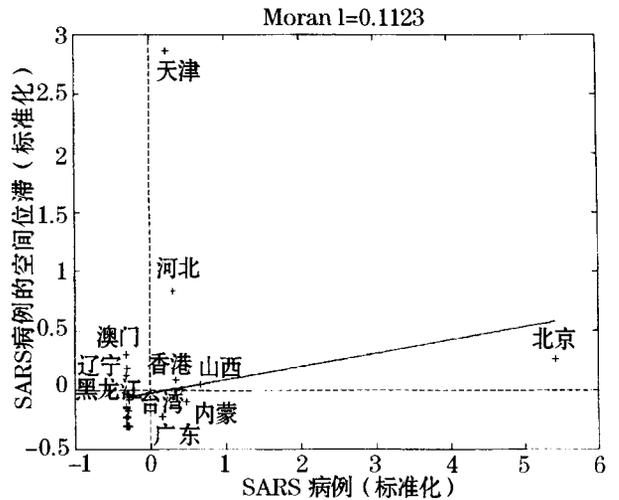


图 2 第三阶段中国 SARS 疫情 Moran Scatterplot
Fig 2 Moran Scatterplot in Phase 3

高于平均水平的属性值。澳门、辽宁、黑龙江地区处于第二象限,自身的属性值低于均值,但是周边区域存在较高的属性值,有被属性值高的地区包围的趋势。内蒙、广东地区在第四象限,其本身的属性值高于平均水平,但是相邻区域有较低的属性值。其余区域均在第三象限,即自身和周边区域的属性值都处于较低的水平。

图 3 表示中国省份 SARS 死亡人数,其中香港、广东、台湾地区处于第一象限,表明不仅这些区域的

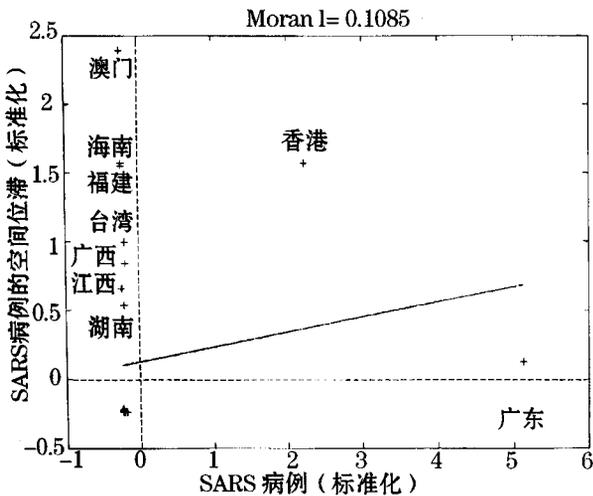


图 1 第一阶段中国 SARS 疫情 Moran Scatterplot
Fig 1 Moran Scatterplot in Phase 1

死亡病例高于平均水平,而且其周边区域也存在高于均值的死亡病例。澳门、天津、河北在第二象限,其属性值低于平均水平,但是相邻区域有较高的属性值。北京、山西、内蒙地区在第四象限,即这些地区的死亡病例高于平均值,但是周边地区存在较低的属性值。而其余地区均处于第三象限,自身和周边地区 SARS 死亡病例都低于平均水平。

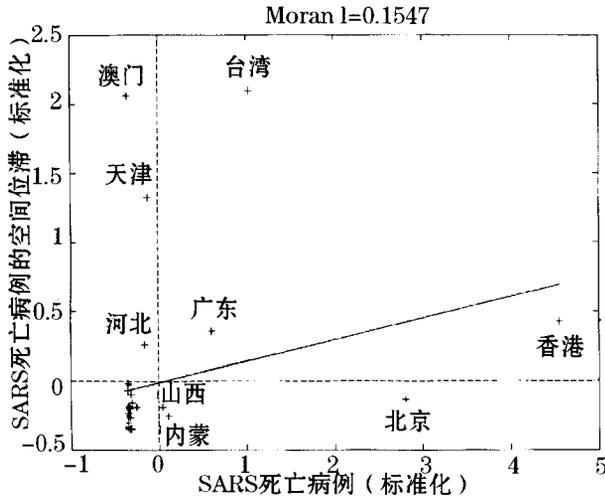


图 3 中国 SARS 死亡病例 Moran I 散点图
Fig 3 Moran Scatterplot in Death Cases

4 空间集聚分析

由于 Moran I 的模型结构,它不能区分变量空间取值的高值区和低值区,而根据 Barkley 等^[16]的看法,变量空间取值的集聚最好通过 Getis 等^[17]的 G 指标来度量。1995 年 Ord 等^[18]又开发了新的 Local G 统计指标,用以测度局域的空间联系,其中

$$G_i^* = \frac{w_{ij} x_j - w_i^* x_i}{s \{ [(n) s_{ii}^* - W_i^{*2}] / (n - 1) \}^{1/2}} \quad (1)$$

式中: n 为观测值个数, x_i 是位置 i 的属性值, w_{ij} 是空间权重矩阵,并且

$$s_{ii}^* = \sum_j (W_{ij})^2, \quad i = j \quad (2)$$

$$x_i^* = \sum_j x_j / n; \quad (3)$$

$$W_i^* = \sum_j W_{ij} \quad (4)$$

Ord 等^[18]指出,正的 G_i^* 值揭示了一个高值的空间集聚,负的 G_i^* 则指示一个低值的空间集聚, G_i^* 的统计意义也可以通过一个标准正态化后的 Z 值来检验。

由图 4 可知,在第一阶段,在华南地区,包括广东、广西、福建、海南、以及香港和澳门地区的 G_i^* 统计的 Z 值为正,而且其概率小于 0.1 和 0.05,表明

这些地区形成了一个 SARS 疫情高发区。其它地区虽然 G_i^* 统计的 Z 值为正,但因其 p 值大于 0.1,故在统计学上不显著。

图 5 揭示了 SARS 疫情第二阶段的空间集聚形势。第一阶段以华南地区为中心的 SARS 疫情集聚开始空间上的转移,香港发展成为中国 SARS 疫情的空间中心,同时在北京一个次一级的空间中心也开始形成。图 6 进入了 SARS 疫情发展的第三阶段。此时, SARS 疫情的空间中心已从香港消失,而第二阶段形成于北京的次一级中心现已得到增强,并在华北地区发展成为中国 SARS 疫情空间积聚中心。在 SARS 疫情发展的最后阶段(图 7),由于台湾 SARS 病例的高发率而同时内地疫情得到控制,空间积聚中心已经从北京转移到了港澳台地区。

图 8 揭示了中国 SARS 累计报告病例的空间集聚形势,一个中心是在南部的港澳台地区,另一个中心是在华北的京津地区。图 9 是中国 SARS 死亡病例的空间集聚形势,唯一的高值集聚中心出现在港澳台地区。

5 结论

SARS 是一种新的呼吸道传染疾病,同样也具有传染病的一般特征。广东作为 SARS 的发源地,从 2002 年 11 月发现第一例病例以来,整个疫情发展经历了 3 个阶段:从发现到 2003 年 2 月中旬为初始阶段;2 月下旬到 3 月中下旬为高发阶段,并开始向其它地区传播;自 4 月份以来广东疫情得到了有效控制,处于低位平稳发展阶段。

据卫生部统计,全国出现 SARS 疫情的内地省份共有 26 个,但是就每日疫情与累计报告临床诊断与疑似病例情况来看, SARS 病例的数量分布存在着显著的地区差异。迄今为止, SARS 疫情集中出现在东、中部地区,贵州、云南、青海、西藏和海南还没有发现 SARS 临床诊断病例和疑似病例。这些地区地理位置比较偏远,与其它地区的交流相对较少,因此感染的机会也少。在 SARS 疫情的传播过程中,地理与时间次序的规律性并不显著,如并非首先向地域邻近的地区传播或沿某一河流、交通线路依次传播等。但是,交通无疑是 SARS 传播的重要工具,而传播途径则以外来人口返乡和经济文化活动引起的人口流动为主要媒介。

本研究基于空间数据的特异性(空间依赖性),运用空间统计学手段对中国 SARS 疫情的发展及其扩散过程进行了探索性的空间数据分析(exploratory

spatial data analysis)。

首先,我们发现中国 SARS 疫情的发展在地理上表现出明显的空间相互联系。全局 Moran-I 的分析表明中国省级 SARS 疫情的空间分布在第一、三阶段及死亡人数上具有强烈的空间自相关,即相邻的省份表现出疫情发展的相似性(表 2)。其次,局域 Moran Scatterplot 则揭示出这一空间自相关的具体分布形势(图 1~3)。最后,我们通过局域 G 指标分析确定了 SARS 疫情不同发展阶段的空间集聚中心,并给出了这一中心随时间的空间转移轨迹。

应用局域 G 指标分析还揭示了研究区 SARS 累计病例的空间集聚中心为港澳台地区和京津地区, SARS 死亡人数的中心为港澳台地区;而局域 Moran Scatterplot 则进一步揭示出这几个高发区与其它次生传染区的空间相互影响。如刘玉等^[19]曾报导,内地多数省份的首次病例是由广东、北京和香港等地区输入的,主要通过上述地区学习、务工、出差、旅游的返乡人员实现的。这突出反映了 SARS 作为一种流行病,其主要传播媒介是人的流动,而与风、水的流向以及其它自然因素关系不大。据此,中央和各级地方政府在 SARS 疫情公布后采取的各项检查与隔离措施是正确及时的。

致谢:感谢华东师范大学黄余明教授提供基础底图。

参考文献 (References):

- [1] Drosten C, Günther S, Preiser W, et al. Identification of a novel coronavirus in patients with severe acute respiratory syndrome[J]. *The New England Journal of Medicine*, 2003, 348: 1 967-1 976.
- [2] Richard P, Michael B. Mapping SARS amidst uncertainty[J]. *The New England Journal of Medicine*, 2003, 348: 1 947-1 948.
- [3] Rota P A, Oberste M S, Monroe S S, et al. Characterization of a novel coronavirus associated with Severe Acute Respiratory Syndrome[J]. *Science*, 2003, 300: 1 394-1 399.
- [4] Martin E. The big question now: Will it be back? [J]. *Science*, 2003, 301: 299.
- [5] Wang Zheng, Cai Di, Li Shan, et al. On season risk of the prevalence of SARS in China[J]. *Geographical Research*, 2003, 22(5): 541-550. [王铮,蔡砥,李山,等.中国 SARS 流行的季节性风险探讨[J].*地理研究*, 2003, 22(5): 541-550.]
- [6] Wang Zheng, Cai Di, Li Shan, et al. An analysis of SARS epidemic with weather scale[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(6): 692-701. [王铮,蔡砥,李山,等. SARS 流行期的天气学尺度分析[J].*第四纪研究*, 2003, 23(6): 692-701.]
- [7] Ye Yanlin, Pang Danyang, Liu Xunxu. Analysis of the current SARS epidemic and the forecast for Beijing[J]. *Physics & Society*, 2003, 32(5): 345-347. [叶沿林,庞丹阳,刘循序. SARS 疫情分析及对北京疫情走势的预测[J].*物理学与社会*, 2003, 32(5): 345-347.]
- [8] Wang Jinfeng, Li Lianfa, Ge Yong, et al. A theoretic framework for spatial analysis[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(1): 92-103. [王劲峰,李连发,葛咏,等.地理信息空间分析的理论体系探讨[J].*地理学报*, 2000, 55(1): 92-103.]
- [9] Wang Jinfeng, Bo Yanchen, Zhu Caiying, et al. Research and development of spatial analysis functions in GIS[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2001, 6(9): 849-853. [王劲峰,柏延臣,朱彩英,等.地理信息系统空间分析能力探讨[J].*中国图像图形学报*, 2001, 6(9): 849-853.]
- [10] Chen Fei, Du Daosheng. Application of the integration of spatial statistical analysis with GIS to the analysis of regional economy[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2002, 27(4): 391-396. [陈斐,杜道生.空间统计分析与 GIS 在区域经济分析中的应用[J].*武汉大学学报(信息科学版)*, 2002, 27(4): 391-396.]
- [11] Lü Anmin, Li Chengning, Lin Zongjian, et al. Population growth rate and its spatial association by province in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(2): 143-150. [吕安民,李成名,林宗坚,等.中国省级人口增长率及其空间关联分析[J].*地理学报*, 2002, 57(2): 143-150.]
- [12] Tobler W. Cellular geography [A]. In: Gale S, Olsson G, eds. *Philosophy in Geography* [C]. Dordrecht: Reidel Publishing, 1979. 379-386.
- [13] Anselin. Local Indicators of Spatial Association: LISA (Research paper 9331) [R]. Morgantown, WV: Regional Research Institute, West Virginia University, 1994.
- [14] Cliff Ord. *Spatial Processes: Models and Applications* [M]. London: Pion, 1981.
- [15] Goodchild. *Spatial Autocorrelation (CATMOG47)* [M]. Norwich, UK: Geobooks, 1986.
- [16] Barkley D, MS Heary, Bao S, et al. How functional are economic areas? Test for intra-regional spatial association using spatial data analysis[J]. *Papers in Regional Science*, 1995, 74(4): 297-316.
- [17] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics[J]. *Geographical Analysis*, 1992, 24: 189-206.
- [18] Ord J K, Getis A. Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and application[J]. *Geographical Analysis*, 1995, 27: 286-306.
- [19] Liu Yu, Niu Shuhai, Liu Yi. The temporal-spatial characteristics of SARS in China [N]. *Science Times*, 2003-05-15. [刘玉,牛树海,刘毅.中国 SARS 的时空分布特征 [N].*科学时报*, 2003-05-15.]

AN EXPLORATORY SPATIAL DATA ANALYSIS OF SARS EPIDEMIC IN CHINA

FAN Xin-sheng, YING Long-gen

(Key Laboratory of GIScience, Ministry of Education, ECNU, Shanghai 200062, China)

Abstract: Based on recently developed methods of exploratory spatial data analysis, this paper analyzes the SARS epidemic in China from a spatial perspective. Our results show strong evidence of spatial autocorrelation in the levels of reported SARS cases. A global measure of spatial autocorrelation with Moran's I reveals the dominant pattern of spatial processes being positive, which suggests that provinces with high (low) reported SARS cases tend to be spatially clustered in nature. A local spatial autocorrelation analysis using Moran scatterplot provides a visual impression on the local regimes of spatial dependence as well as the pockets of local non-stationarity with respect to the global spatial process. A further spatial clustering analysis using the local G_i^* statistic detects the spatial center of SARS epidemic development and its spatial shifting trajectory. All this strongly suggests that, while regions may be growing or declining in reported SARS cases, they do not do so independently but rather tend to display dynamics similar to their contiguity neighbors.

Key words: SARS; Epidemic; Spatial statistics; ESDA, China

第五届 IASA-DPR 灾害综合风险管理年会通知

第五届 IASA-DPR 灾害综合风险管理年会将于 2005 年 9 月 14~18 日在北京师范大学国际学术交流中心召开。本次会议由北京师范大学、民政部国家减灾中心、奥地利国际应用系统分析研究所 (IASA) 与日本京都大学防灾所 (DPR) 联合主办。该系列年会最初是由奥地利国际应用系统分析研究所和日本京都大学防灾所发起,并且已经于 2001—2004 年分别在奥地利、日本和意大利召开了四届。本次会议将邀请到国内外著名专家 40 余位,就自然灾害、技术事故和传染疾病三个主题进行探讨,具体内容包括:

现代综合灾害风险管理理论;综合灾害风险管理区域实证分析;主要灾害(地震、洪水、技术灾害、传染性疾病等)综合风险管理中的科学与政策创新;综合灾害风险管理创新科学与政策的实施;自然灾害应急响应与救助管理;自然灾害保险机制与技术;灾害风险行政管理与灾害经济。

会议拟在会议前出会议摘要集,会议后将选择优秀论文出会议论文集或期刊专辑。会议使用英语,参会代表人数控制为 120 人。会议网站已经正式开通,提交摘要的截止时间为 4 月 30 日,欢迎提交全文,全文提交截止时间为 7 月 31 日,会议注册的截止时间为 7 月 31 日。欢迎大家前来参会。

详情请联系会议秘书组:北京市新街口外大街 19 号,100875 北京师范大学资源学院

电话:010-58808179 传真:010-58802158

联系人:叶涛(yetao@ires.cn)、郑(zhengjing@ires.cn)

会议网址: <http://ires.cn/DPR2005/>

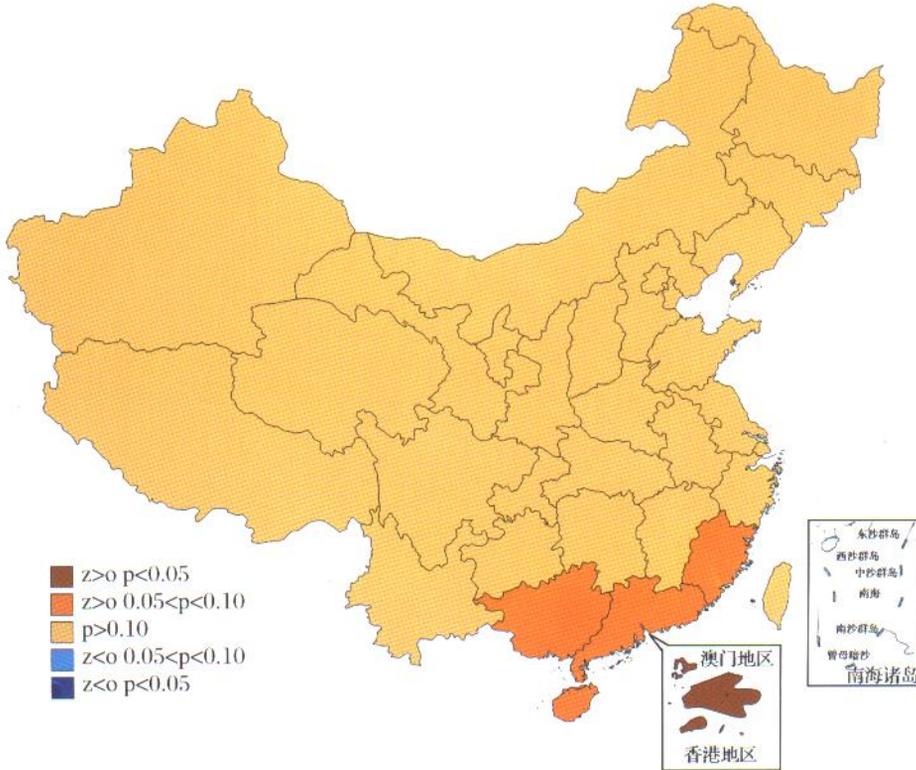


图 4 第一阶段中国省级 SARS 疫情的空间集聚

Fig 4 Spatial clustering of reported SARS Epidemics in Phase 1

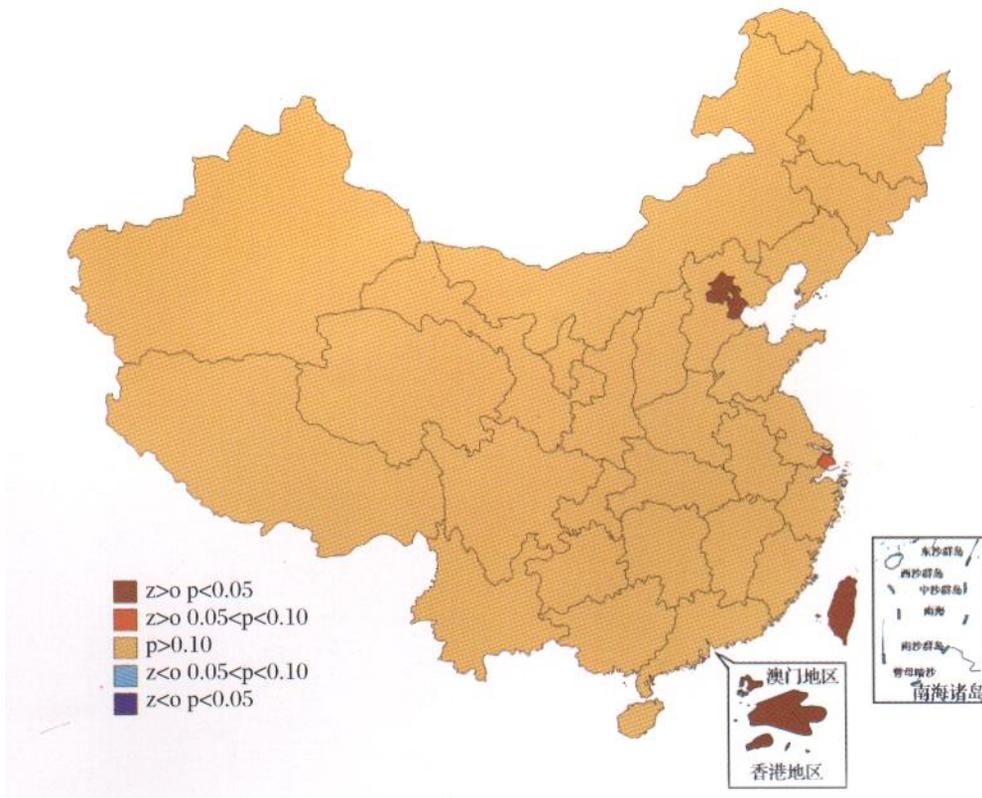


图 5 第二阶段中国省级 SARS 疫情的空间集聚

Fig 5 Spatial clustering of reported SARS Epidemics in Phase 2

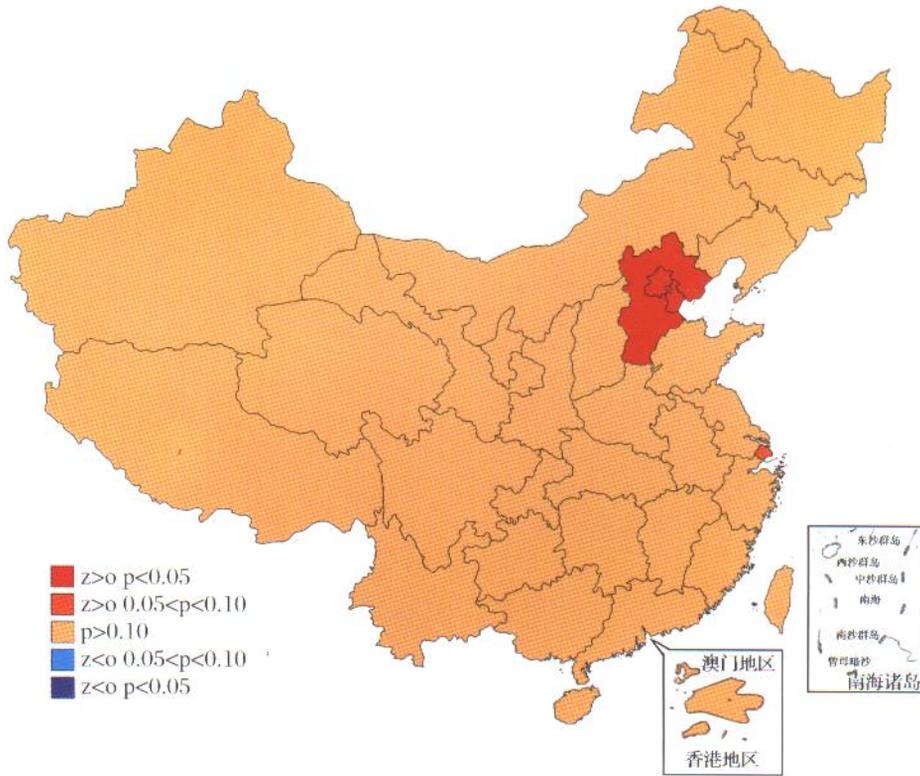


图 6 第三阶段中国省级 SARS 疫情的空间集聚

Fig 6 Spatial clustering of reported SARS cases in Phase 3

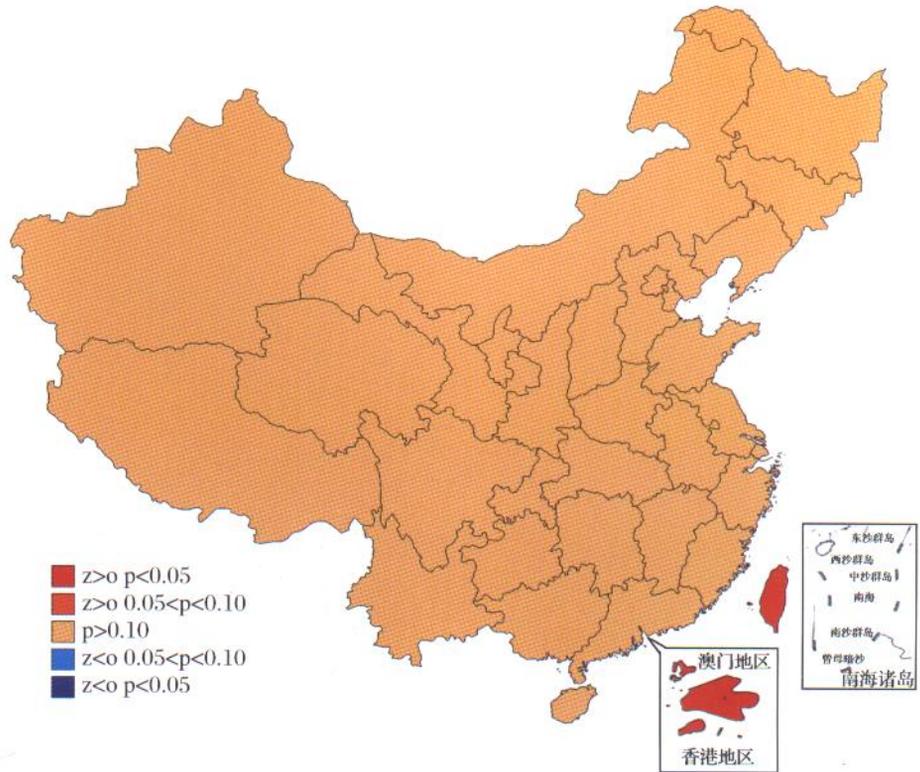


图 7 第四阶段中国省级 SARS 疫情的空间集聚

Fig 7 Spatial clustering of reported SARS Epidemics in Phase 4

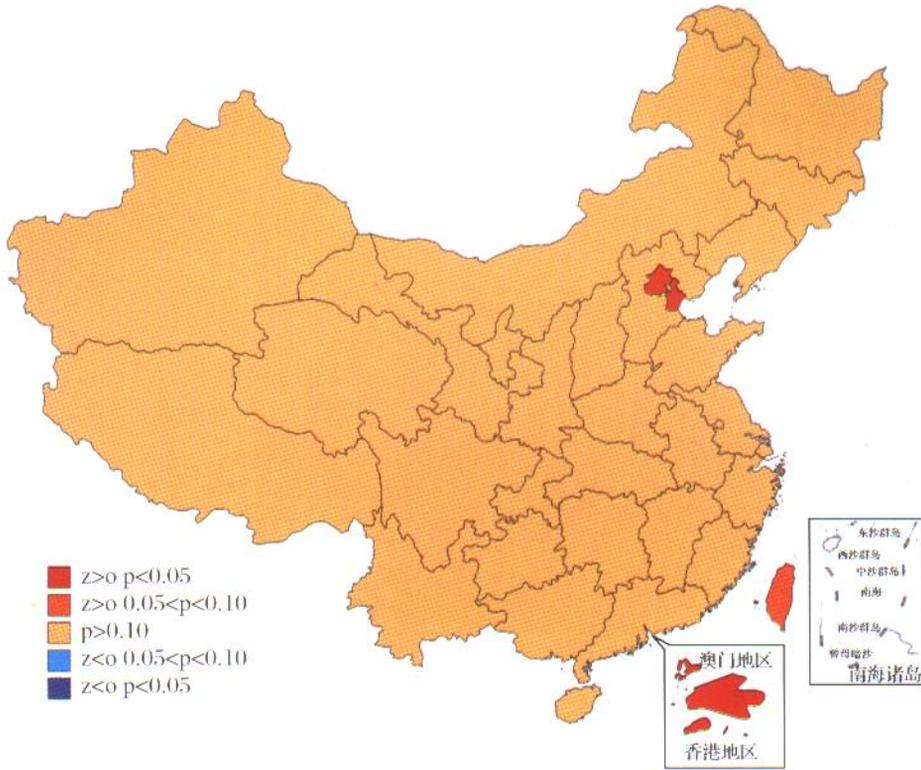


图 8 中国省级 SARS 累计报告病例的空间关联
Fig 8 Spatial clustering of Total reported SARS cases

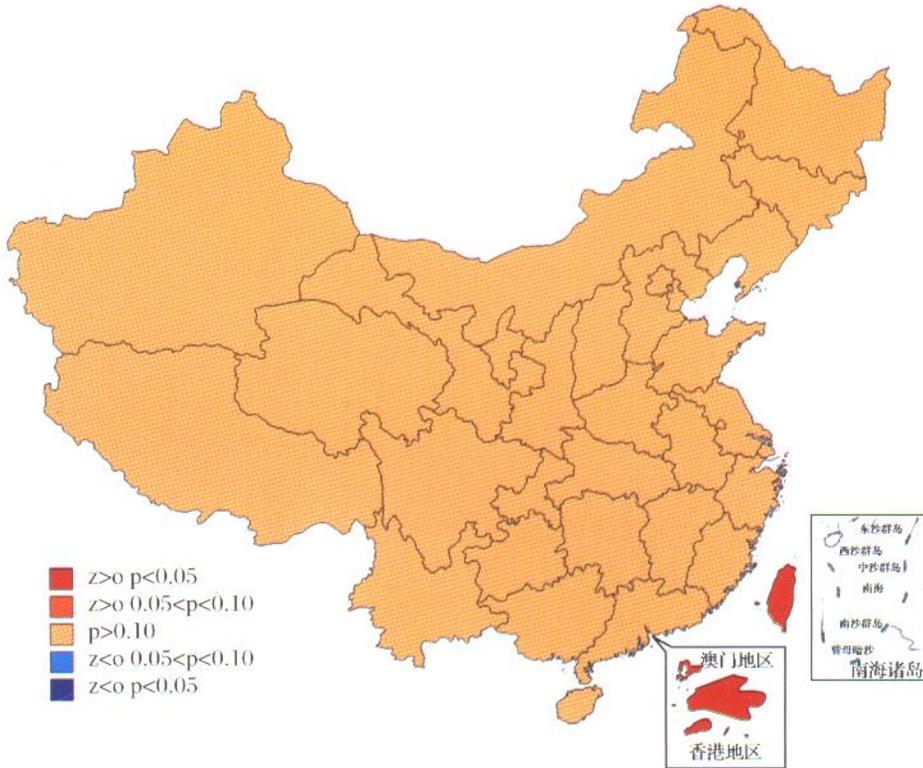


图 9 中国省级 SARS 累计死亡病例的空间关联
Fig 9 Spatial clustering of reported SARS deaths