

萧凌波. 基于核密度估计的清代中国自然灾害时空分布特征[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 92-99. [XIAO Lingbo. Spatio-temporal distribution of natural disasters in China during 1644-1911 based on kernel density estimation[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(4): 92-99. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.017.]

基于核密度估计的清代中国自然灾害时空分布特征*

萧凌波

(中国人民大学清史研究所, 北京 100872)

摘要: 基于《清史·灾赈志》中的历史灾害信息, 提取清代(1644-1911年)自然灾害共24 537县次, 重建逐年灾害频次序列, 以核密度估计法对5类主要灾害(水灾、旱灾、蝗灾、疫灾、冷害)的空间分布特征进行分析。结果表明: 清代自然灾害频次序列没有明显的趋势性特征, 而体现为阶段性波动, 基于灾害频次30年滑动平均值可提取出4个峰值时段(1644-1673、1721-1750、1812-1841和1872-1901年); 相比于现代, 清代灾害类型更加集中在农业灾害, 最为多发的是水灾和旱灾, 合计占总数的近80%, 其次是蝗灾、疫灾和冷害; 灾害最为多发的高风险区分布在黄淮海平原和长江三角洲, 前者集中了水灾、旱灾、蝗灾的极端多发区, 后者除了水旱多发, 还是疫灾和冷害的极端多发区; 4个峰值时段的灾种类型组合和灾害多发区均有明显差异, 时空变化受到致灾因子、暴露度和脆弱性因素的共同作用。上述工作有助于更好地认识历史灾害发生规律, 对于当前及未来的防灾减灾工作具有重要参考价值。

关键词: 自然灾害; 时空分布; 核密度估计; 灾害风险; 清代

中图分类号: P542; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)04-0092-08

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.04.017

中国幅员辽阔, 地理环境要素(地质、地貌、气候、水文等)复杂多变, 历来是世界上自然灾害最为多发的国家之一^[1]。历史时期的中国长期奉行“以农为本”的国策, 生产力水平提升缓慢, 小农经济脆弱性高, 自然灾害对人民生命财产安全的威胁更为巨大, 甚至可能成为社会动荡和朝代更替的诱因^[2]。对历史自然灾害的时空过程进行复原与剖析, 有利于我们更好的把握当前自然灾害的发生规律, 对未来防灾减灾工作提供参考^[3]。

清(1644-1911年)是距今最近的一个封建王朝, 既是一个自然灾害多发的历史时期, 也是一个历史文献资料极大丰富的时代, 保存在官方档案、地方志、私人文献中的海量灾害信息历来是学者们整理和研究的重点对象^[4]。不计历史灾害整编资料和工具书, 清代自然灾害的重建成果可以分为3个代表性方向: 一是聚焦于“区域”, 在大区、省域等空间尺度上对历史灾害进行综合研究^[5-6]; 二是聚焦于“灾种”, 对某种具体自然灾害(如水灾、旱灾)的宏观时空规律进行探讨^[7-8]; 三是聚焦于“事件”, 对典型极端灾害案例(如光绪初年华北大旱^[9]、1823年大水^[10])进行时空过程复原。

尽管成果丰硕, 对清代自然灾害的研究在以下方面仍有深化余地: ①以往研究多侧重于单个

灾种和区域尺度, 对于全国尺度的宏观规律把握尚有欠缺, 如自然灾害的总体时空分布、不同灾种的风险排序等; ②历史灾害数据源多侧重于某一类历史文献, 如最为常见的是利用清代丰富的地方志资料(以及主要取自方志的灾害整编资料如《中国三千年气象记录总集》^[11])中保存的灾害记录, 对灾赈档案资料的利用尚有欠缺, 多源历史文献资料综合利用的更不多见; ③定量描述灾害空间分布特征的技术手段尚不丰富, 目前常见的做法是以县级政区为单元, 统计研究时段内的各县灾害发生频次并成图^[1, 7-8], 这一方法空间分辨率较高, 但对灾害在空间上的集聚特征刻画尚不够直观。随着当前历史灾害数据库的加速建设以及空间分析技术手段的多样化, 上述问题也可望得到有效解决。

本文拟以一套多源清代历史灾害整编资料《清史·灾赈志》为基础, 从中提取清代7类自然灾害的时空信息, 建立逐年灾害发生频次序列并分析灾种组合特征; 基于核密度估计方法, 对主要灾种及典型时段的灾害空间分布和多发区集聚特征进行描述; 通过古今对比, 讨论清代自然灾害时空特征与现代的区别与联系, 以便更好地认识历史灾害发生规律, 并对历史灾害的量化方法及空间分析手段有所改进。

* 收稿日期: 2019-04-16 修回日期: 2019-06-21

基金项目: 中国人民大学科学研究基金(中央高校基本科研业务费专项资金资助)项目(15XNQ014)

作者简介: 萧凌波(1982-), 男, 湖北天门人, 博士, 讲师, 主要研究方向为历史时期气候变化、灾害及其影响。

E-mail: xlingbo@163.com

1 数据与方法

1.1 历史灾害数据整理

本文使用的清代历史灾害数据来自《清史·灾赈志》及与之配套的清代历朝《灾赈资料长编》。《清史·灾赈志》是由文化部牵头、国家清史编纂委员会负责的国家《清史》纂修工程主体内容之一,属于“典志”部分,继承二十四史中“五行志(灾异志)”的传统并加以创新,旨在“描叙清代自然灾害的总体面貌、演变过程及其对社会的影响”,现已完成审校,预计2020年与《清史》其他各卷一起出版^[12]。《灾赈资料长编》(以下简称《长编》)是《清史·灾赈志》课题组为编纂《灾赈志》而先期完成的灾害和荒政史料汇编,其特点是比较全面的收录了档案、方志、私人文献等多源灾荒史料,特别是对清代宫廷档案中历年官员上报朝廷的地方灾情汇总中的受灾地点信息保存比较完整。

《灾赈志》的第一部分为“灾情篇”,对《长编》中的原始记录进行了整理、筛选和提炼,将清代自然灾害分为7个主要种类:地震、风灾、旱灾、蝗灾、冷害、水灾和疫灾,以不同皇帝在位时期为单位,逐年概述各地受灾情况。本文对历史灾害数据的整理首先立足于《灾赈志》,从原文中提取自然灾害的时空信息,包括灾种、受灾地点(精确到县级政区)、时间(精确到年)。对于包含信息比较明确的记录,如“(顺治)八年,(山西)岢岚春、夏续旱,寿阳夏五月大旱”,可以直接提取;对于概述性文字,如“(乾隆)十三年,直隶青县、交河等29州县春夏两季遇旱”,则查对《长编》中对应的原始记录,对省略的地点进行补充。

1.2 历史灾害量化指标

对于获得的灾害数据,进一步进行时空信息订正。时间信息的校订做了一定简化处理,即原始的年号纪年除明确带有日期信息者,均直接转换为公历年。考虑到绝大部分灾害发生时间均在作物生长季(春季至秋季),发生在冬季的冷冻害日期记载又多比较明确(如雍正七年,“漳州府正月二十七日大雪”),因农历与公历日期不完全重叠造成的误差影响不大。空间信息方面,根据《清代政区沿革综表》^[13],提取清代县级政区(包括县、州、厅)名的现地信息,并录入经纬坐标,以便空间成图。

对于逐年灾害频次的量化,本文中“县次”作为指标,定义1年1县遭受1种灾害为1县次,对于同一年内一地遭受数种灾害,或者同一地连续数年受灾的极端情景,均分开进行赋值。对于灾害频次的量化,最初的通行做法是“计次”,即不论灾情轻重和灾区广狭,只要在1年内发生,即记为1次^[14];由于清代灾害史料的时空分辨率较高,以逐年受灾县级政区数作为频次指标的做法也已广泛为研究者所采用^[1, 15]。相比于对受灾程度不加区分,直接以受灾与否作为取舍标准的做法,本文使用的《灾赈志》在筛选灾害时,本身已经对灾情轻重进行了判断,收录的一般为灾情较为严重,达到政府蠲免赋税、赈济钱粮标准的灾害(清代一般以成灾5分,即减产50%作为蠲赈起

点),不够标准的轻灾已经舍去,这就保证了全书中的灾害是以相对统一的标准提取。本文中的“县次”除了表征频次之外,在一定程度上也能体现当年的灾害强度。最终得到1644-1911年间中国境内发生自然灾害共24 537县次,作为下文中时序和空间分析的数据基础。

1.3 核密度估计

本文空间分析的目的在于描述不同自然灾害种类以及不同典型时段中自然灾害的总体分布特征,并对相对高风险区(灾害多发地在空间上的集聚)进行识别和提取。在之前的数据处理中,已将灾害发生地在数据库中记录为带有经纬坐标的点要素(县治所在地)而非面要素(整个县域),考虑利用核密度估计法,对灾害在全国尺度上的空间分布特征进行描述。

核密度估计是一种应用十分广泛的空间平滑方法,特别有利于对离散点的空间分布趋势进行呈现。其几何意义为:以某个样本点为中心,设定一个搜索半径,对落入搜索区内的各要素点赋予不同的权重值,靠近中心的点权重较大,向外逐渐降低,在搜索区边缘降为0,位于中心的样本点处核密度值为整个搜索区内密度之和^[16],其公式如下:

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: K 为核密度方程, h 为搜索半径, n 为搜索区内的点数, d 为数据的维数, $x-x_i$ 为估计点 x 到样本点 x_i 处的距离。利用ArcGIS 10.2软件中的核密度分析组件,以自然断裂点分级法,将灾害发生县次的核密度值从低到高分5级,据此对灾害多发区的分布与迁移进行识别和分析。

2 结果与分析

2.1 清代自然灾害的构成及其频次变化

基于《清史·灾赈志》,清代共发生自然灾害24 537县次(平均每年91.6县次),由7个大类组成,其数量比例如图1所示。占比最高的为水灾(10 886县次),其次为旱灾(8 217县次),水旱合计占比接近80%,以下依次为蝗灾、疫灾和冷害,最少的为地震与风灾。与李向军统计的清代(1644-1839年)清代灾害频次组成^[15]相比,后者亦以水旱灾害为主导且集中程度更高(水、旱合计占总数的88%),同时水灾占比也更高(占总数的56%),除了两者依据的史料来源有所差异之外,《灾赈志》基于灾情轻重程度对灾害所做的筛选也是一个重要原因。与现代相比,清代自然灾害具有两个鲜明特征:一是在统计灾损时更偏重作物减产,报灾和蠲赈的依据都是收成分数,这就使得史料中农业灾害特别是水旱所占比重更大,而现代对生命财产影响较为强烈的风灾和地震等灾害,在农业社会因影响范围有限反而容易被忽视;二是清代仅次于水旱的两大类灾害蝗灾和疫灾,随着近代以来科学技术水平的进步,社会建立了比较完善的防治体系,其危害程度显著降低,现代农业灾害中已经很少将蝗灾单列^[17],而在清代

曾造成无数人死亡的鼠疫、天花等流行疫病也已逐渐退出历史舞台。

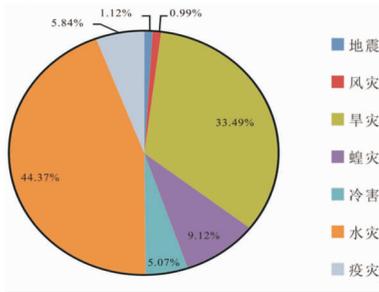


图1 清代不同自然灾害发生县次占总数的比例

1644-1911年逐年受灾县次如图2所示,纵观整个清代,灾害频次并未体现出明显的上升或下降的长期趋势,而是呈现为阶段性的波动,并形成数个灾害多发的峰值时段。按照30年滑动平均值,几个显著的峰值时段分别出现在清初(1644-1673年,平均受灾县次106)、18世纪上半叶(1721-1750年,110.7县次)、19世纪上半叶(1812-1841年,142县次,为整个序列的峰值时段)和19世纪晚期(1872-1901年,92.7县次),各时段年均受灾县次均高于序列平均。按单年受灾县次数量,清代超过200县次受灾的大灾年有28个,其中有18个分布在上述4个峰值时段中。张琨佳等基于受灾县次统计(主要利用方志资料)得到的清代水旱多发时段集中在1660年代-1680年代、1830年代-1850年代和1870年代,与上述几个峰值时段有较多重合,但由于使用资料、自然灾害种类及受灾统计标准不一,亦存在一定差别^[18]。下文将以这4个时段为例,分析清代不同时段灾害种类构成以及灾害空间分布方面的变化特征。

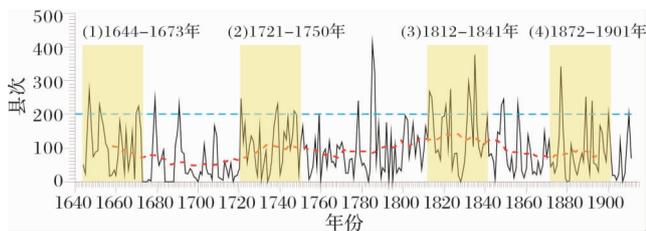


图2 清代逐年自然灾害发生县次序列(虚线为30年滑动平均值)

2.2 主要自然灾害的空间分布特征

考虑到地震和风灾占比偏低,取水灾、旱灾、蝗灾、疫灾和冷害5类主要自然灾害,连同7种灾害之和,分别进行核密度分析,据此对各灾种空间分布特征进行分析,并对多发区进行识别(图3)。

清代水灾多发区主要集中在各主要河流中下游平原区,特别是黄淮海平原及长江中下游平原,集中了几乎所有3级以上水灾多发区,而尤以海河、黄河流域下游的冀中和鲁西北平原为最,所有的5级极端多发区均集中于此(图3a)。这一空间分布特征与张琨佳等^[7]利用方志资料得到的清代中国水灾时空分布特征基本一致。而与王静爱等^[1]基于县域受灾频次得到的1978-2000年中国水灾分布格局相比,最大的差别在于清代位于黄淮海平原北部的的水灾极端多发区近几十年间几乎

彻底消失,这主要应归功于下游地区大规模的防洪设施建设。

清代旱灾多发区(3级以上)主要分布在黄河与长江中下游的平原区,特别是黄河、海河流域集中了所有的极端多发区(5级),分别位于汾渭谷地、豫北、冀南和鲁西北等地(图3b)。与之相比,现代(1978-2000年)^[19]华北平原北部的旱灾风险大为降低,旱灾多发区向东北、西南方向迁移,其间原因与水灾类似,传统农耕区在现代由于农田基本建设的广泛开展(特别是灌溉条件改善),对旱灾抵御能力增强。

蝗灾在清代是仅次于水旱的第三大自然灾害,常与水旱灾害(特别是旱灾)伴随爆发,往往对社会经济造成严重破坏。清代影响中国东部地区的主要蝗虫种类为东亚飞蝗,其3级以上多发区从黄河中游的汾河谷地到黄淮海平原及长江下游平原连成一片,并在冀中至鲁西北的太行山东麓及海河、黄河下游形成一个条带状的极端多发区(图3c)。这一空间特征受飞蝗孳生、迁飞习性及地理环境因子(地形、气候、水文等)的共同作用,与现代东亚飞蝗的空间分布特征基本一致^[20]。

清代疫灾多发区(3级以上)的分布总体显得较为分散,基本位于广大平原地带(包括东南部的几块滨海平原),面积最大的多发区位于华北(包括冀鲁豫三省大部),而最集中的多发区则位于长江下游地区,特别是三角洲地区(太湖以东)为5级极端多发区(图3d)。龚胜生总结历史时期疫灾多发区的几个特征为:一是倾向人口密集的平原和城市地带分布,二是倾向自然疫源地(如鼠疫源地)分布,三是倾向自然灾害多发区分布(“大灾之后必有大疫”)^[21]。长江三角洲(“江南”)在清代为全国经济中心,城市化程度高,人口稠密,加之地势低洼,气候湿热,水旱等自然灾害多发,利于病原体孳生和疫病传播,从而成为疫灾最为集中的区域^[22]。

冷害多发区的分布进一步分散,3级以上多发区在北方主要集中在晋冀鲁豫4省的平原地带;在长江流域主要分布于以长江中下游三大平原为中心的3块区域内,太湖周边的苏南、浙北为5级极端多发区;此外在岭南,珠江流域还存在一个多发区(图3e)。从现代(1986-2005年)分省低温冷害受灾面积排序来看,受影响较重的省区集中在两个区域,一是东北(以黑龙江为最),二是华中和华东(主要是山东、河南、湖北、安徽、江苏5省)^[23],后一个集中分布区与清代冷害多发区比较接近,只是清代冷害更集中在长江三角洲一带。长江三角洲是当时中国境内农业集约化和商品化程度最高的地区,粮食和经济作物种类繁多,种植制度对热量的利用比较充分(普遍实行稻麦连作甚至双季稻制度)^[24],在寒潮频发的冬春季节,越冬作物、蔬菜、果树等相对更易遭受冷害。

综合来看,清代自然灾害3级以上多发区,从黄河中游的汾渭平原到下游的黄淮海平原,再到

长江中下游三大平原，在中国东中部的平原地带呈连片分布态势，另在珠江三角洲有一独立多发区(图 3f)。其中位于海河、黄河下游的黄淮海平原北部(主要包括冀中南和鲁西北)和长江三角洲平原(苏南和浙北)为 5 级极端多发区，前者的典型自然灾害组合形式为水灾 - 旱灾 - 蝗灾，后者则为水灾 - 旱灾 - 疫灾 - 冷害。时至今日，随着国土开发的加剧和人口密度的提升，许多在清代并非灾害多发区的区域(如东北、西南、西北地区)地位日益凸显，但作为全国政治和经济中心，黄淮海平原和长江三角洲仍然是自然灾害风险最高的区域之一。如王铮等指出，以对经济的威胁

而论，黄淮海平原和长江三角洲的灾害影响最为突出，是两个应该优先考虑的重点减灾区之一(另一个为川滇黔桂一带，因地质灾害造成的人员伤亡情况突出)^[25]；李炳元等按照主要自然灾害类别的区域组合特征对全国进行区划，其 12 个二级区中，“东部平原区”正好涵盖了黄淮海平原(并包含山东丘陵)和长江三角洲平原，该区面积仅占全国的 5.9%，人口则接近 1/3，产值更是接近一半，无论致灾因子强度(反映灾害强度)，还是致灾程度指数(反映灾情程度)，在干旱、洪涝、地震等主要灾害种类中均列各区前列，是全国自然灾害最严重的地区^[26]。

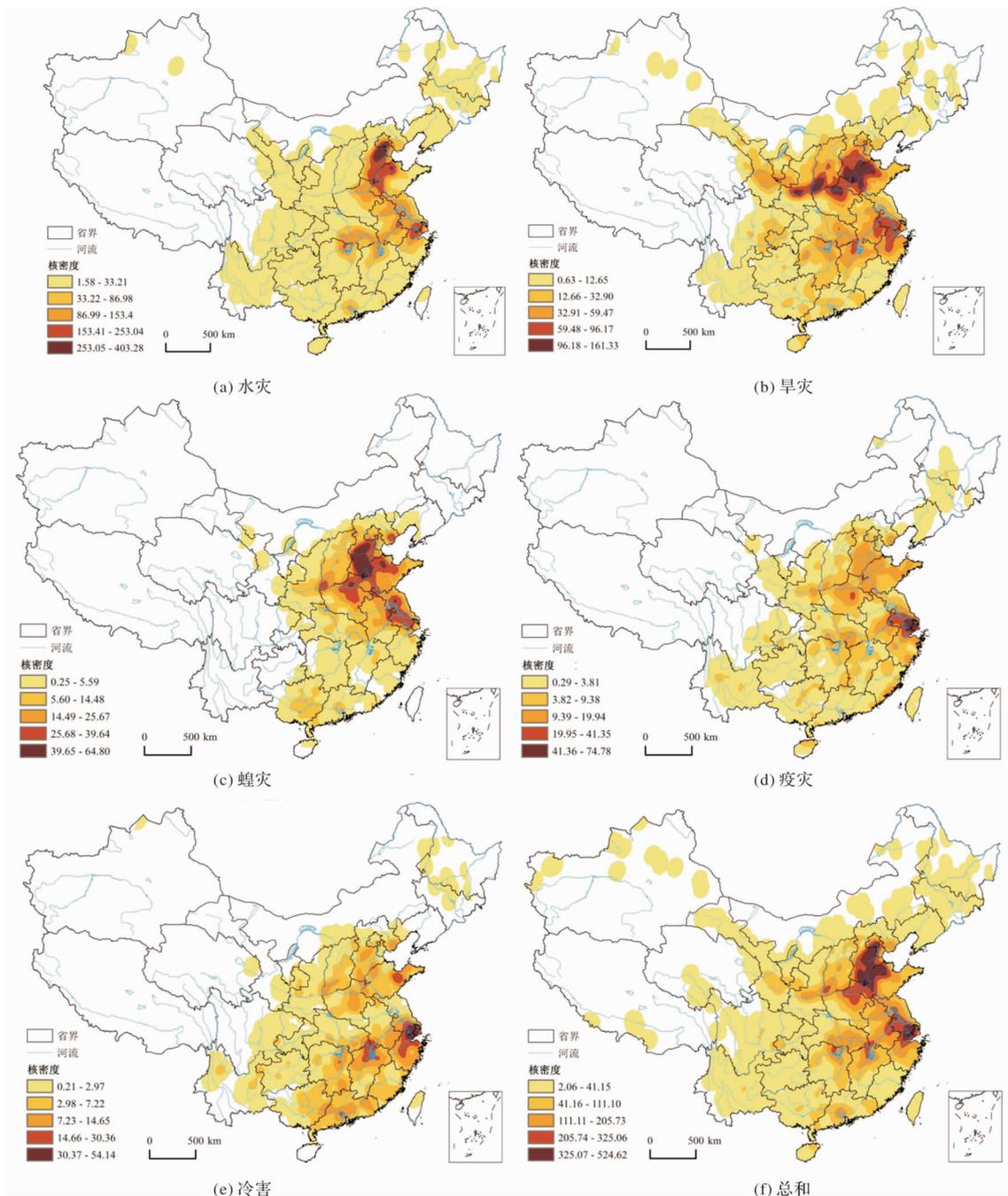


图 3 清代主要自然灾害发生县次核密度分布

表 1 清代不同时段主要灾害发生层次分别占总数的比例 (%)

	1644 - 1911 年	1644 - 1673 年	1721 - 1750 年	1812 - 1841 年	1872 - 1901 年
水灾	44.37	33.09	49.44	40.81	58.72
旱灾	33.49	34.00	33.42	26.94	32.29
蝗灾	9.12	19.04	7.05	9.39	1.69
疫灾	5.84	3.30	4.31	11.17	0.83
冷害	5.07	8.27	2.56	10.70	4.28

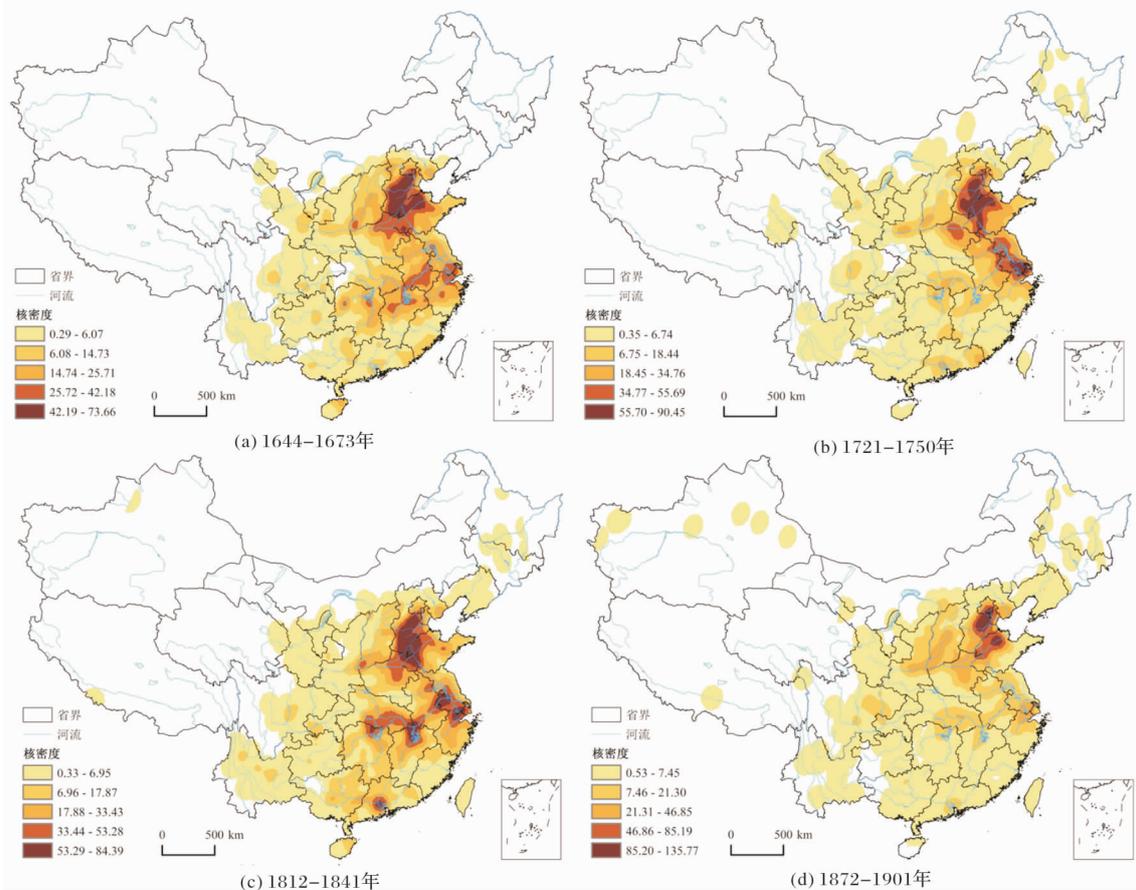


图 4 清代不同时段自然灾害发生层次核密度分布

2.3 不同时段灾害组合及多发区分布对比

前文中基于清代灾害频次序列提取了 4 个峰值时段, 分别代表了清代几个灾害多发的典型时期。在不同的时段中, 几类主要自然灾害的数量组合及灾害多发区在空间分布上的变化, 可以帮助我们更好地理解清代自然灾害的发生特征。首先将不同时段中 5 类主要自然灾害的发生频次占比进行统计, 列表如下; 然后对不同时段自然灾害发生层次做核密度估计(图 4), 结合图 3f 分析灾害多发区的空间迁移。

(1) 1644 - 1673 年

自晚明(16、17 世纪之交)以来, 气候持续恶化, 极端灾害多发, 至明末崇祯大旱(1637 - 1643 年)期间发展至顶点, 旱灾之外, 蝗灾、疫灾、低温冷害均十分常见^[2, 27]。这一灾害多发期一直延续至清初, 形成清代第一个灾害频次峰值时段。其灾害种类构成与明末比较相近, 特别是蝗灾与冷害占比十分突出(表 1)。蝗灾多发系继承了明末

北方蝗灾群发的余绪^[28], 清初社会秩序尚未恢复, 难以组织系统性灭蝗, 加之人口减少, 黄淮海平原许多低洼处蝗蝻聚集, 极易迁飞, 成为清代蝗灾最为集中的时段^[29]。低温冷害的多发, 则与这一时段处在明清小冰期的一个冷谷有关^[30]。这一时段自然灾害基本分布于明长城以南的内地各省, 边疆地区或者人口稀少(如东北), 或者尚未纳入清政府管辖范围(如台湾省), 基本没有灾害记录; 就灾害多发区来说, 本时段的多发区明显更偏于北方, 在长江流域仅有不连片的 4 级多发区分布, 而在黄淮海平原北部则形成一个连片的 5 级极端多发区, 基本覆盖河北中南部和鲁西北(图 4a), 水灾、旱灾、蝗灾均很多见, 而以水灾最为频繁, 如 1647 - 1648 年大水、1652 - 1653 年大水。

(2) 1721 - 1750 年

这一时段在清代著名的“康乾盛世”中处在承前启后的阶段, 跨越康熙、雍正、乾隆三朝。气候显著转暖, 冷害占比随之降低(为各时段最低),

疫灾、蝗灾风险也相对较低(表1)。水灾县次占总数接近一半,显示这是一个水灾多发的时段,不过最严重的灾害则是1721-1723年大旱,从华北一直蔓延至江淮地区。这一时段位于华北的5级灾害极端多发区相比前一时段范围缩小,在鲁西运河沿线出现一个条带状高值区,同时在长江三角洲出现一个新的5级区;此时的黄河仍沿故道夺淮入海,黄、淮、运3条河流在苏北交汇,水灾多发,使得这里也成为显著的多发区(4级);随着向东北的移民增多以及台湾纳入版图,两地的灾害记录亦开始出现(图4b)。

(3) 1812-1841年

18世纪末至19世纪上半叶(乾隆末年至嘉庆、道光两朝)是清代灾害最为集中的时段,1812-1841年这一峰值时段之前和之后,受灾县次的30年滑动平均值在相当长的一段时间内高于清代平均值(图2)。灾害频发的同时伴随着大幅度的降温,进入小冰期最后一个寒冷时段^[30],对当时社会造成了严重影响,以至将气候、灾害要素与清代社会发展的转折(由盛转衰)联系在一起的研究亦不乏其例^[31-32]。这一时期冷害和疫灾占比均为最高,旱灾占比相应降低,水灾仍为最主要的灾害(表1)。在空间分布上,这一时期最显著的特征在于灾害极端多发区的分散,除了在黄淮海平原北部仍有一个5级区,在长江中下游的两湖平原、鄱阳湖平原、宁镇丘陵、太湖流域,各出现一个5级多发区(图4c)。长江流域灾害在空间上的集聚,显然与当时多发的水灾有关。特别是1823年(道光三年)长江流域大水,沉重打击了当地社会,特别是对经济中心太湖流域造成的持久影响,被认为应对道光年间全国性的经济衰退(“道光萧条”)负有责任^[32-33]。此外值得注意的是在珠江三角洲一带亦出现一个独立的5级多发区,这里的主要灾害种类是水灾和风灾。

(4) 1872-1901年

这一时段已处于晚清,灾害就频次而言较19世纪上半叶有所降低,是4个峰值时段中最低的一段。但由于晚清特殊的政治人文背景,极端灾害造成的后果却十分严重,清代人口损失最为惨重(2000万以上)的光绪初年大旱(1876-1878年,史称“丁戊奇荒”)即发生在这一时段内^[34]。而就灾害组合来说,这一时段却是一个水灾多发期,水灾占比高达近60%(表1)。而且从空间分布来看,这一时段灾害的集聚程度远超其他时段,5级多发区仅集中在冀中平原(海河下游)和鲁西北(黄河下游)的局域,核密度值为各时段5级区之首(图4d)。这种空间上的集聚与这一时期当地水灾的极端多发有关,晚清时期海河水系由于水利设施失修,政治腐败,加上降水集中,几乎无年不发水灾,文安等地长期积水,无法住人;鲁西北一带在黄河由铜瓦厢改道北流之后(1855年),大清河被夺,两岸黄河大堤迟迟没有修建,同样造

成连年水患,水灾在局域的高度聚集,也是当时社会政治的一个缩影^[35]。

3 讨论

3.1 影响灾害时空分布的因素

自然灾害频次的时空分布实质上是灾害风险的变化,根据IPCC特别报告^[36],灾害风险(disaster risk)是致灾因子(disaster,自然灾害本身的物理属性)、暴露度(exposure,暴露在灾害之下的人员、资源、财产、设施等的总和)和脆弱性(vulnerability,人类社会-生态系统受到灾害不利影响的倾向或趋势,又可分为敏感性和响应能力两个维度^[37])三者综合作用的结果。影响清代自然灾害时空分布的因素,也可以从这3个方面进行归纳,并可进一步识别在不同的时空情境下,导致某一类灾害风险发生变化的主导因素。例如冷害的发生首先与气候背景有关,本文中4个峰值时段中冷害的占比高低,恰与同时段的温度冷暖^[30]排序形成反比(即相对寒冷的时段冷害占比高,反之亦然),致灾因子的变化扮演了重要角色;各边疆区的自然灾害在清代从无到有、从少到多的变化趋势,则与当地的移民开发进程密切相关,人口的增加与农业经济的兴起显著提升了区域人类社会面对自然灾害的暴露度;自然灾害多发区在空间上的集聚(东部平原区)是致灾因子(气候、水文、地貌等条件导致灾害多发)和暴露度(人口集中、经济发达)共同起作用,而像19世纪上半叶长江流域水灾频次猛增,以及下半叶水灾向黄河、海河下游高度集中这样的事件发生,又与区域人类社会系统脆弱性的反常变化有关(如长江流域清前期山区开发和围湖造田活动,海河、黄河下游清代晚期的水利设施失修,都严重降低了当地对水灾的抵御能力^[35])。再具体到影响因素的定量识别和影响程度评估,尚有深入挖掘的空间,可留待未来进一步开展研究。

3.2 历史自然灾害的量化指标与空间刻画

如前所述,本文对历史自然灾害的用“县次”作为量化指标,这主要是一个频次指标,只是由于灾害提取标准相对一致,使其在一定程度上可以反映灾情轻重。但其毕竟无法完全替代灾情程度指标。以水旱灾害为例,清代发生频次最多的是水灾,但我们不能就此得出结论,清代水灾对社会影响最大。以现代经验来看,旱灾造成粮食减产的幅度要大于洪涝^[17,38],在灌溉农业远未普及的清代,持续一年甚至多年的大旱灾对农业造成的打击会是毁灭性的,随即就可能引发严重的饥荒(如光绪初年大旱);而水灾固然来势凶猛,但持续时间有限,往往影响的只是当季收成,还有补救余地。这种严重程度上的差异是难以通过“县次”来进行区分的,持续一年和持续一月的灾

害,都被记为1次。现代可用于量化灾情的指标很多,包括粮食减产、人员伤亡、财产损失等等,但清代尚未形成严密的数字统计制度,灾损统计带有很大的随意性,只有粮食减产(收成)奏报制度相对完善,如何更为精确地提取历史灾害信息,量化灾害强度,还需要史料整理工作和相关研究的持续推进。

另外,本文使用的核密度估计法有利于在宏观尺度上呈现灾害多发区在空间上的聚集特征,比较直观的识别出高风险区,并比较区域差异。但由于将面状要素(县域)抽象为点状要素(县治),不可避免的会损失一部分空间信息,只是由于空间尺度较大,可以将这种误差控制在可接受范围之内。目前常见的在县域尺度上统计灾害频次的重建方法在空间分辨率上仍有其不可替代的优势,需要针对研究的具体问题和空间尺度来对方法进行取舍。

4 结论

本文利用《清史·灾赈志》中的多源历史灾害信息整理得到1644-1911年间中国境内7类自然灾害24537县次,重建逐年受灾频次序列;利用核密度估计法,对5类主要自然灾害(水灾、旱灾、蝗灾、疫灾、冷害)的空间分布特征进行刻画,并对多发区进行识别;进一步对4个灾害多发时段的灾害类型组合及多发区的迁移进行了分析。主要结论如下:

(1)清代自然灾害频次序列没有明显的趋势性特征,而体现为阶段性波动,根据30年滑动平均值,可以辨识出4个峰值时段(1644-1673年、1721-1750年、1812-1841年、1872-1901年);7类自然灾害中占比最高的是水灾和旱灾(合计近80%),其次是蝗灾、疫灾和冷害,相比于现代灾害类型更加集中在农业灾害,这与清代社会“以农为本”,灾损统计以粮食减产为主有关。

(2)清代灾害相对多发区(核密度值3级以上)在东部平原区连片分布,极端多发区(5级)则集中在黄淮海平原与长江中下游平原,这是致灾因子(气候、水文、地貌等条件导致灾害多发)和暴露度(人口集中、经济发达)共同起作用的结果。具体到各个灾种的极端多发区分布,水灾集中在冀中和鲁西北(海河、黄河下游),旱灾集中在汾渭谷地、豫北、冀南和鲁西北(黄河中下游和海河流域平原地带),蝗灾集中在冀中至鲁西北(太行山东麓及海河、黄河下游),疫灾和冷害均以长江三角洲平原最为集中。

(3)4个峰值时段的灾种类型组合和灾害多发区均有明显差异。其间原因有的与致灾因子关系密切,如冷害在温暖时段相对少发,反之亦然;有的与暴露度有关,如边疆区灾害风险的逐渐上

升是清代内地不断向边疆移民开发的必然结果;而像19世纪上半叶长江流域水灾频次猛增,以及下半叶水灾向黄河、海河下游高度集中这样的事件发生,又与区域人类社会系统脆弱性的反常变化有关。

上述工作的主要贡献首先在于比较全面的勾勒了清代自然灾害(主要灾种)的总体时空分布特征,特别是灾害多发区的分布与迁移;尽管分布特征与现代有明显差异,但也要看到,清代灾害极端多发的黄淮海平原与长江三角洲在现代依然是灾害发生频率最高、灾种组合最为丰富、减灾压力最大的区域,清代的灾害发生规律与历史经验教训对当前及未来的防灾减灾工作有着重要的参考价值。在方法层面,本文对历史灾害信息的提取尽量兼顾了不同来源的历史文献资料(特别是档案和方志两大类),进行空间分析时使用的核密度估计法也被证明在刻画灾害多发区的集聚特征时有很好的适用性。在未来进一步的研究中,可以将重点在以下两个方面:(1)对影响历史时期自然灾害时空分布的自然和人文因素进行更加全面的讨论,并引入数理统计模型对影响方式和程度进行量化表达;(2)在全面获取、整理不同来源历史灾害数据的前提下,进一步改进灾害定量指标(使之能更好地描述灾害强度)并提升空间分析的精度。

参考文献:

- [1] 王静爱,史培军,王平,等.中国自然灾害的时空格局[M].北京:科学出版社,2006.
- [2] 刘志刚.天人之际:灾害、生态与明清易代[J].长沙:中南大学出版社,2013.
- [3] 许厚德.论我国灾害历史的研究[J].灾害学,1995,10(1):18-21.
- [4] 朱泚.二十世纪清代灾荒史研究述评[J].清史研究,2003,(2):104-119.
- [5] 张崇旺.明清时期江淮地区的自然灾害与社会经济[M].福州:福建人民出版社,2006.
- [6] 杨煜达.清代云南季风气候与天气灾害研究[M].上海:复旦大学出版社,2006.
- [7] 张琨佳,刘璐,苏筠.中国清代历史水灾时空特征研究[J].自然灾害学报,2015,24(4):104-110.
- [8] 万金红,谭徐明,刘昌东.基于清代故宫旱灾档案的中国旱灾时空格局[J].水科学进展,2012,24(1):18-23.
- [9] 文彦君,方修琦,李屹凯,等.华北地区1876-1879年旱灾研究文献综述[J].灾害学,2019,34(1):172-180.
- [10] 张德二,陆龙骅.历史极端雨涝事件研究——1823年我国东部大范围雨涝[J].第四纪研究,2011,31(1):29-35.
- [11] 张德二.中国三千年气象记录总集[M].南京:凤凰出版社,江苏教育出版社,2004.
- [12] 马大正.清史纂修简述[J].社会科学战线,2009(11):123-131.
- [13] 牛平汉.清代政区沿革综表[M].北京:中国地图出版社,1990.
- [14] 邓云特.中国救荒史[M].上海:商务印书馆,1937.
- [15] 李向军.清代荒政研究[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [16] 王法辉.基于GIS的数量方法与应用[M].姜世国,滕骏华,

- 译. 北京: 商务印书馆, 2009.
- [17] 张峭, 王克. 我国农业自然灾害风险评估与区划[J]. 中国农业资源与区划, 2011, 32(3): 32-36.
- [18] 张琨佳, 杨帅, 苏筠. 明清时期我国水、旱灾害时空演变特点的对比如析[J]. 地球环境学报, 2014, 5(6): 385-391.
- [19] 王静爱, 孙恒, 徐伟, 等. 近 50 年中国旱灾的时空变化[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 1-6.
- [20] 马世骏, 尤其傲, 陈永林, 等. 中国东亚飞蝗蝗区的研究[M]. 北京: 科学出版社, 1965.
- [21] 龚胜生. 中国疫灾的时空分布变迁规律[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 870-878.
- [22] 余新忠. 清代江南的瘟疫与社会: 一项医疗社会史的研究[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2014.
- [23] 高懋芳, 邱建军, 刘三超, 等. 我国低温冷冻害的发生规律分析[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(5): 1167-1172.
- [24] 李伯重. 江南农业的发展(1620-1850)[M]. 上海: 上海古籍出版社, 2007.
- [25] 王铮, 张丕远, 刘啸雷. 中国自然灾害的空间分布特征[J]. 地理学报, 1995, 50(3): 248-255.
- [26] 李炳元, 李钜章, 王建军. 中国自然灾害的区域组合规律[J]. 地理学报, 1996, 51(1): 1-11.
- [27] ZHENG J Y, XIAO L B, FANG X Q, et al. How climate change impacted the collapse of the Ming Dynasty[J]. Climatic Change, 2014, 127(2): 169-182.
- [28] 李钢. 蝗灾·气候·社会[M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [29] 萧凌波. 清代华北蝗灾时空分布及其与水旱灾害的关系[J]. 古地理学报, 2018, 20(6): 1113-1122.
- [30] GE Q S, HAO Z X, ZHENG J Y, et al. Temperature changes over the past 2000 yr in China and comparison with the Northern Hemisphere[J]. Climate of the Past, 2013, 9: 1153-1160.
- [31] 方修琦, 萧凌波, 魏柱灯. 18-19 世纪之交华北平原气候转冷的社会影响及其发生机制[J]. 中国科学, (地球科学), 2013, 43(5): 810-823.
- [32] 李伯重. “道光萧条”与“癸未大水”——经济衰退、气候剧变及 19 世纪的危机在松江[J]. 社会科学, 2007(6): 173-178.
- [33] 倪玉平, 高晓燕. 清朝道光“癸未大水”的财政损失[J]. 清华大学学报(哲学社会科学版), 2014, 29(4): 99-109, 171-172.
- [34] 郝志新, 郑景云, 伍国凤, 等. 1876-1878 年华北大旱: 史实、影响及气候背景[J]. 科学通报, 2010, 55(23): 2321-2328.
- [35] 萧凌波. 1736-1911 年中国水灾多发区分布及空间迁移特征[J]. 地理科学进展, 2018, 37(4): 495-503.
- [36] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation; Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2012.
- [37] Gallopin G C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity[J]. Global Environmental Change, 2006, 16: 293-303.
- [38] 赵映慧, 郭晶鹏, 毛克彪, 等. 1949-2015 年中国典型自然灾害及粮食灾损特征[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1261-1276.

Spatio-temporal Distribution of Natural Disasters in China during 1644 - 1911 based on Kernel Density Estimation

XIAO Lingbo

(The Institute of Qing History, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: Based on the information about historical disasters kept in the Qing History, counties suffered from natural disasters during the Qing dynasty (1644 - 1911AD) were identified year by year, which sum to 24 537, and annual frequency series of disaster was reconstructed. Spatial distribution of 5 main disasters (flood, drought, locust plague, epidemic, and cold damage) was analyzed with kernel density estimation. ①There was no significant trend in frequency series, but fluctuation by phases, and four peak periods could be identified with 30-year running average, namely 1644 - 1673, 1721 - 1750, 1812 - 1841 and 1872 - 1901AD. ②Compared with modern times, more agricultural disasters were kept in the statistics of Qing dynasty, which means about 80% of the total was flood and drought, and then locust plague, epidemic, and cold damage. ③Huang-Huai-Hai Plain and Yangtze River Delta were the most significant hotspots where natural disasters were concentrated. Flood, drought and locust plague occurred most frequently in the former, while epidemic and cold damage in the latter. ④The composition of typical disasters and temporal distribution of all disasters varied in four peak periods, which was caused by physical characteristics of disasters, exposure, and vulnerability of social ecosystem. These conclusions could be helpful for the improvement of knowledge about the occurrence regulation of historical disasters, and provide important references for disaster prevention and mitigation in the present and future.

Key words: natural disaster; spatio-temporal distribution; kernel density estimation; disaster risk; Qing dynasty